

Mathematical Model of Location, Multi-Commodity and Multi-Period in Sustainable Closed-Loop Supply Chain Considering Risk and Demand and Quality Uncertainty (A case Study)

Sina Sajedi^{*}, Amir Homayoun Sarfaraz^{},
Shahrooz Bamdad^{***}, Kaveh Khalili-Damghani^{****}**

Abstract

The main objective of sustainable supply chain is to balance the economic, environmental, and social goals that companies have to use closed-loop supply chains for cost reduction and increasing the efficiency of the supply chain. According to the research literature, considering the risk in supply chains, especially the return supply chain, is one of the topics that has been little studied. Therefore, the aim of this study is to locate the components of a three-objective, sustainable closed-loop, multi-commodity, and multi-period supply chain, considering uncertainty and market scenarios with a risk approach. Location in the sustainable closed-loop supply chain, considering the risk, and also paying attention to the quality of manufactured products and different scenarios of demand are among the innovations of this research. Due to the NP-Hard nature of the problem, the model is solved by the nondominated sorting genetic algorithm II (NSGA-II). Sensitivity analysis has been performed on the parameters of the problem, and the efficiency of the studied methods has been investigated. The average Pareto points obtained from the first objective function is 56789.9, the average Pareto points for the second objective function is 1828.8 and for the third objective function is 77365.32, and also the average solution time of the model is 15.9 seconds.

Keywords: Sustainable Closed-Loop Supply Chain; Uncertainty; Risk Assessment.

Received: May. 24, 2020; Accepted: Apr. 25, 2021.

* Ph.D Student, South Tehran Branch, Islamic Azad University.

** Assistant Professor, South Tehran Branch, Islamic Azad University (Corresponding Author).

E-mail: dr.ahsarfaraz@yahoo.com

*** Assistant Professor, South Tehran Branch, Islamic Azad University.

**** Associate Professor, South Tehran Branch, Islamic Azad University.

چشم‌انداز مدیریت صنعتی

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

سال یازدهم، شماره ۴۲، تابستان ۱۴۰۰، صص ۲۷۱-۳۰۴ (نوع مقاله: پژوهشی)

DOI: [10.52547/JIMP.11.2.271](https://doi.org/10.52547/JIMP.11.2.271)

ارائه مدل ریاضی مکان‌یابی، چندکالایی و چنددوره‌ای در زنجیره حلقه‌بسته پایدار با در نظر گرفتن ریسک و عدم قطعیت در تقاضا و کیفیت

سینا ساجدی*، امیرهمایون سرفراز**، شهروز بامداد***،

کاوه خلیلی دامغانی****

چکیده

زنجیره‌های تأمین پایدار به دنبال ایجاد تعادل بین اهداف اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی هستند. شرکت‌ها نیز به منظور کاهش هزینه‌ها و افزایش کارایی زنجیره تأمین مجبور به استفاده از زنجیره تأمین حلقه‌بسته هستند. در نظر گرفتن ریسک در زنجیره‌های تأمین به خصوص زنجیره‌های تأمین بازگشتی یکی از موضوع‌هایی است که مطالعات زیادی در خصوص آن انجام نشده است؛ بنابراین در این پژوهش به مکان‌یابی اجزای یک زنجیره تأمین سه‌هدفه، حلقه‌بسته پایدار، چندکالایی، چنددوره‌ای با در نظر گرفتن عدم قطعیت و سناریوهای بازار برای با رویکرد ریسک پرداخته می‌شود. نوآوری‌های پژوهش عبارت‌اند از: در نظر گرفتن ریسک در زنجیره تأمین حلقه‌بسته پایدار به عنوان بخشی از تابع هدف؛ در نظر گرفتن عدم قطعیت تقاضا در زنجیره تأمین با استفاده از سناریوهای تعریف شده؛ توجه به کیفیت محصولات بازگشتی؛ چنددوره‌ای بودن و چندمحصولی بودن مدل و سفارشی کردن مدل پیشنهادی برای یک مطالعه موردی واقعی. با توجه به NP-Hard بودن مسئله، مدل پیشنهادی با استفاده از رویکرد فراابتکاری ژنتیک رتبه‌بندی نامغلوب NSGA-II حل شده است. تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای مسئله انجام شده است و کارایی روش‌های مورد مطالعه بررسی شده‌اند. میانگین نقاط پارتو حاصل از تابع هدف اول برابر ۵۶۷۸۹/۹، میانگین نقاط پارتو برای تابع هدف دوم برابر ۱۸۲۸/۸ و برای تابع هدف سوم برابر ۷۷۳۶۵/۳۳ و همچنین میانگین زمان حل مدل برابر ۱۵/۹ ثانیه است.

کلیدواژه‌ها: زنجیره تأمین حلقه‌بسته پایدار؛ ریسک؛ عدم قطعیت؛ رویکرد CVaR.

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۳/۰۴، تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۰۲/۰۵.

* دانشجوی دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران.

** استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران (نویسنده مسئول).

Email: dr.ahsarfaraz@yahoo.com

*** استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران.

**** دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، تهران، ایران.

۱. مقدمه

زنجیره تأمین از چند سازمان تشکیل می‌شود که از یکدیگر جدا هستند و به‌وسیله جریان‌های مواد و اطلاعات به یکدیگر مربوط می‌شوند. رقابتی‌شدن، فشارهای اقتصادی و جهانی‌شدن باعث توجه شدید سازمان‌ها به زنجیره تأمین‌های خود شده است [۳۴]. در سال‌های اخیر مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته، به دلیل رقابت به‌وجود آمده توسط بازار جهانی، اهمیت بیشتری یافته است [۴۸]. امروزه به دلایل اقتصادی، اجتماعی، قانونی و زیست‌محیطی استفاده از زنجیره تأمین بازگشتی اجتناب‌ناپذیر است [۶]. شرکت‌ها به‌منظور کاهش هزینه‌ها و افزایش کارایی زنجیره تأمین مجبور به استفاده از زنجیره تأمین حلقه‌بسته هستند [۴۳]. زنجیره تأمین حلقه‌بسته، در مسیر روبه‌جلو شامل فعالیت‌هایی از تأمین‌کننده به مشتری و در مسیر بازگشتی شامل فعالیت‌هایی در خصوص جمع‌آوری و بازتولید محصولات است. [۴۲]. وجود مسیر بازگشتی باعث کاهش هزینه‌های تولید و همچنین کاهش مصرف مواد اولیه می‌شود. به دلایل مختلف، جریان مواد و محصولات در جهت عکس زنجیره تأمین، موضوعی اجتناب‌ناپذیر است؛ بنابراین طراحی شبکه لجستیک معکوس ضروری محسوب می‌شود [۱۶].

زنجیره تأمین پایدار یعنی ایجاد یک زنجیره تأمین هماهنگ، از طریق یکپارچه‌کردن ملاحظات اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی با سیستم‌های کسب‌وکاری که درون یک زنجیره تأمین قرار دارد. این یکپارچگی برای مدیریت کارا و اثربخش مواد، اطلاعات و جریان‌های مرتبط با خرید، تولید و توزیع محصول یا خدمات است و هدف آن تأمین نیازهای ذی‌نفعان، بالابردن سود، مزیت رقابتی و پایداری زنجیره در کوتاه‌مدت و بلندمدت است [۱۰]. این نوع زنجیره‌ها به دنبال ایجاد تعادل بین توابع هدف اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی هستند. علاوه بر خواست مشتریان در زمینه توجه به ابعاد پایداری در تولید محصول و خدمات، سازمان‌های بین‌المللی و دولتی نیز قوانینی در این زمینه تصویب و اجرا کرده‌اند. بررسی روند گسترش این قوانین نشان‌دهنده آن است که در آینده تعداد این قوانین و الزام‌آوری آن‌ها بیشتر خواهد شد. شرکت‌ها برای حفظ مزیت رقابتی خود در آینده باید به این قوانین توجه کرده و به سمت پایدار کردن فرایندهای خود حرکت کنند [۱۴]. امروزه به دلیل اهمیت‌یافتن معیارهای زیست‌محیطی، استفاده مؤثر و کارا از ضایعات و بازیافت می‌تواند بر موفقیت سازمان‌ها تأثیرگذار باشد [۱۵]. در این راستا در سال‌های اخیر به دلیل افزایش استفاده از منابع، افزایش آلودگی‌ها، بازار رقابتی کنونی و همچنین هزینه‌های حمل، توجه به یکپارچه‌سازی مسائل شبکه بازگشتی با شبکه روبه‌جلو باعث ایجاد نوعی خاص از شبکه زنجیره تأمین، به نام «زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار» شده است [۴۱]. زنجیره‌های تأمین به دلایل متعددی مانند مشکلات اقتصادی، پدیده‌های طبیعی، مسائل سیاسی و غیره در معرض ریسک قرار می‌گیرند. این موضوع‌ها در عملکرد زنجیره تأمین خلل ایجاد کرده و هزینه‌های بسیاری را به شرکت‌های تحمیل می‌کنند و باعث عدم‌ارائه

خدمت به‌موقع به مشتری می‌شوند [۳۶]. برای ایجاد سودآوری، زنجیره تأمین باید قادر به واکنش سریع به ریسک‌های داخلی و خارجی باشد و تجارت خود را پویا نگه دارد. زنجیره‌های تأمین باید نسبت به اتفاقات و حوادث غیرمنتظره و فاجعه‌آمیز انعطاف‌پذیر باشند [۴]. در حالت کلی ریسک زنجیره تأمین به شکل رویدادها یا وضعیت‌های ممکن الوقوع، ولی نامعلوم که در صورت وقوع، اثرات مثبت یا منفی بر اهداف سازمان دارد، تعریف شده است. دو روش کاربردی در مدیریت مالی برای محاسبه ریسک با نام‌های «ارزش در معرض خطر»^۱ (VaR) و «ارزش در معرض خطر شرطی»^۲ (CVaR) وجود دارد [۳۸]. بعضی موضوعات در مبانی نظری زنجیره تأمین مانند مدیریت ریسک زنجیره تأمین، پایداری، قیمت‌گذاری و مدیریت درآمد کمتر بررسی شده‌اند [۳۷]؛ بنابراین در این پژوهش یک رویکرد جدید شامل مکان‌یابی زنجیره تأمین حلقه-بسته پایدار با حضور عدم قطعیت کیفیت و سناریوهای بازار با در نظر گرفتن ریسک ارائه می‌شود. بر خلاف زنجیره‌های تأمین سنتی (روبه‌جلو)، در زنجیره تأمین بازگشتی عدم قطعیت‌های متنوعی مانند قیمت، کیفیت، زمان و میزان محصولات بازگشتی وجود دارد [۶]. تمایز واضح بین زنجیره تأمین‌های سنتی و زنجیره تأمین بازگشتی، عدم قطعیت در کیفیت است [۲۳]. به‌طور دقیق‌تر مبانی نظری مربوطه در خصوص زنجیره تأمین بازگشتی موارد مربوط به کیفیت را به‌صورت قطعی در نظر می‌گیرد [۲۳، ۵، ۱۱]؛ از این رو یکی از ویژگی‌های بارز این پژوهش وجود عدم قطعیت کیفیت در مسیر بازگشتی است. به دلایل نگرانی‌های اقتصادی و زیست‌محیطی داشتن یک زنجیره تأمین مؤثر که شامل مسیر روبه‌جلو و مسیر بازگشتی باشد، اهمیت فراوانی دارد [۴۲]. زنجیره تأمین در صنایع متنوعی مانند نفت و گاز، اتومبیل‌سازی، طلا و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۹]. زنجیره تأمین حلقه‌بسته توسط بسیاری از پژوهشگران مورد مطالعه قرار گرفته است [۲۳، ۲۹، ۳۹، ۴۲]. در مبانی نظری زنجیره تأمین، بررسی ریسک در زنجیره حلقه‌بسته موضوعی جدید به‌شمار می‌رود که مغفول مانده است؛ همچنین در مطالعات گذشته اثر هم‌زمان ریسک و کیفیت به‌طور جدی بررسی نشده است و در این پژوهش ضمن مکان‌یابی تسهیلات، ریسک، کیفیت محصولات بازگشتی و سناریوهای تقاضا در قالب یک زنجیره تأمین حلقه‌بسته پایدار بررسی می‌شود. ضمن اینکه مدل به‌صورت چنددوره‌ای و چندمحصولی در نظر گرفته شده که باعث نزدیک شدن شرایط به دنیای واقعی شده است.

۲. مبانی نظری و پیشینه پژوهش

زنجیره تأمین حلقه‌بسته پایدار. تقی‌زاده یزدی و سلمانی (۱۳۹۸)، برنامه‌ریزی تولید و کنترل موجودی در زنجیره تأمین حلقه‌بسته چندسطحی را بررسی کردند. در این پژوهش مدل ریاضی

1. Value at Risk

2. Conditional Value at Risk

چندهدفه برنامه‌ریزی آمیخته ارائه شده به گونه‌ای ارائه شده است که مجموع هزینه‌ها و میزان مواجهه کارکنان با مواد شیمیایی زبان‌آور به حداقل مقدار ممکن برسد. نتایج پژوهش نشان‌دهنده میزان مواجهه کارکنان با عوامل شیمیایی در حدود مجاز استاندارد است؛ به طوری که سایر هزینه‌ها در حداقل مقدار ممکن قرار گرفته‌اند [۳]. ژائو و همکاران^۱ (۲۰۱۸)، به مکان‌یابی تسهیلات در زنجیره تأمین سبز پرداختند. زنجیره تأمین پیشنهادی به صورت معکوس بوده و در نظر گرفتن اثرات زیست‌محیطی از جمله نوآوری‌های این زنجیره تأمین بود. کمینه‌کردن ریسک در زنجیره تأمین نیز مهم‌ترین هدف این پژوهش است. نتایج پژوهش نیز عملکرد مناسب مدل پیشنهادی را نشان می‌دهد [۴۵]. یان و همکاران^۲ (۲۰۲۰)، یک زنجیره تأمین حلقه‌بسته پایدار با معیارهای اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی ارائه کردند که اهداف آن کمینه‌کردن هزینه‌های کل، کمینه‌کردن میزان دی‌اکسید کربن آزاد شده و بیشینه‌کردن اثرات اجتماعی بود. سه نوع کانال توزیع شامل تحویل نرمال، تحویل مستقیم و جابه‌جایی مستقیم در این پژوهش در نظر گرفته شد. در نهایت مدل با الگوریتم ژنتیک ترکیبی حل شد [۲۰]. ریحانی و همکاران (۲۰۲۰)، یک مدل ریاضی چندهدفه برای زنجیره تأمین حلقه‌بسته پایدار برای محصولات کشاورزی ارائه کردند. اهداف اصلی پژوهش تعیین میزان جریان در هر سطح و مکان‌یابی تسهیلات بود و نتایج نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل پیشنهادی است [۲۲]. ربانی و همکاران (۲۰۲۰)، یک مدل چندهدفه و چنددوره‌ای برای مکان‌یابی و تخصیص در یک زنجیره تأمین پایدار ارائه کردند. در نظر گرفتن فناوری‌های مختلف برای خودروها که به هزینه‌های مختلف از جمله هزینه‌های آزاد شدن دی‌اکسید کربن مختلف منجر می‌شود، از جمله نوآوری‌های این پژوهش است. به منظور مقابله با عدم قطعیت مسئله از رویکرد ترکیبی پایدار HRPP-II استفاده شد. در نهایت مطالعه موردی با رویکرد محدودیت اپسیلون حل گردید [۳۵].

موتا و همکاران^۴ (۲۰۱۸)، به بررسی یک زنجیره تأمین یکپارچه و تاب‌آور در فروشگاه زنجیره‌ای در اروپا پرداختند. در نظر گرفتن مکان‌یابی تسهیلات و اولویت‌بندی تأمین‌کنندگان مهم‌ترین اهداف این پژوهش بود. استفاده از عوامل اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی در محدودیت‌ها باعث تمایز این پژوهش نسبت به پژوهش‌های مشابه شد [۲۷]. فان و همکاران^۵ (۲۰۱۷)، لجستیک معکوس ماشین‌های اسقاطی را بررسی کردند. در مدل آن‌ها توابع هدف فازی و پارامترها قطعی بودند. مسئله مشابه شامل ۴ هدف فازی بود که به ترتیب عبارت‌اند از: حداقل کردن هزینه‌های ارسال و حمل‌ونقل؛ حداقل کردن هزینه‌های احداث انبار؛ حداکثر کردن خدمت

1. Zhao, et al.

2. Yan, et al.

3. Hybrid Robust Possibilistic Programming-II

4. Mota, et al.

5. Phuc, et al.

معکوس در جریان‌های برگشتی. نتایج حل مدل نشان‌دهنده کاهش ۱۵ درصدی هزینه‌های کل سیستم بود [۳۱].

عدم قطعیت. حیدری و همکاران (۱۳۹۸)، هماهنگی در زنجیره تأمین سبز و تأثیر تصمیم‌گیری مشارکتی بر تصمیمات کلیدی زنجیره تأمین در حالتی که تقاضا متأثر از چهار عامل قیمت، تبلیغات/بازاریابی، کیفیت عملکردی و کیفیت زیست‌محیطی محصول است را بررسی کردند. در این پژوهش، خرده‌فروش در مورد قیمت و تبلیغات تصمیم‌گیری کرده و تولیدکننده در مورد کیفیت عملکردی و کیفیت زیست‌محیطی محصول تصمیم‌گیری می‌کند؛ بنابراین مدل ارائه‌شده دارای چهار متغیر تصمیم در دو سطح زنجیره تأمین است. این مدل تحت سه سناریوی تصمیم‌گیری غیرمتمرکز، متمرکز و مشارکتی بررسی می‌شود و مقدار بهینه متغیرهای تصمیم محاسبه می‌شوند. نتایج نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل پیشنهادی است [۵۱].

رادفر و محمدی‌تبار (۱۳۹۸)، به بررسی و حل مسئله دوهدفه در یک زنجیره تأمین سه سطحی سبز شامل یک تولیدکننده، چند فروشنده و چند خرده‌فروش با در نظر گرفتن کمبود پس-افت پرداختند. از جمله اهداف این پژوهش کمینه‌کردن هزینه‌های مرتبط با موجودی و آلاینده‌های زیست‌محیطی و بیشینه‌کردن قابلیت اطمینان تولید بود. در این پژوهش، روش‌های فراابتکاری ژنتیک، انجماد تدریجی و ترکیبی از ژنتیک - انجماد تدریجی برای حل مسئله به کار رفت. برای افزایش کارایی الگوریتم‌های موردنظر از روش تاگوچی برای تنظیم پارامتر آن‌ها استفاده شد. در نهایت از آنجاکه مدل ارائه‌شده یک مدل دوهدفه و غیرخطی بود، از معیارهایی به منظور بررسی جبهه پارتو برای مسائل نمونه‌ای با اندازه بزرگ نیز بهره‌گیری شد که نتایج آن‌ها نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل پیشنهادی است [۲۸].

هوانگ و همکاران^۱ (۲۰۲۰)، به مدل‌سازی یک زنجیره تأمین سبز حلقه‌بسته با در نظر گرفتن دی‌اکسید کربن آزادشده پرداختند. آن‌ها یک مدل دو هدفه برای تعادل بین هزینه‌های عملیاتی و زیست‌محیطی ارائه کردند. سطوح مختلف ظرفیت به همراه در نظر گرفتن سطوح مختلف زیست‌محیطی برای تسهیلات از جمله نوآوری‌های این پژوهش بود. عدم قطعیت در نظر گرفته‌شده به صورت سناریویی بوده و برای حل مدل نیز از رویکرد محدودیت افسیلون استفاده شده است [۲۶].

وحدانی و همکاران (۲۰۱۹)، یک زنجیره تأمین حلقه‌بسته با در نظر گرفتن عدم قطعیت در تقاضا برای محصولات وابسته به فناوری اطلاعات ارائه کردند. در نظر گرفتن تصمیمات مکان‌یابی و موجودی از جمله نوآوری‌های این پژوهش به شمار می‌رود. بیشینه‌کردن درآمد ذی‌نفعان نیز

1. Huang, et al.

مهم‌ترین هدف این پژوهش بود. مدل پیشنهادی نیز با الگوریتم‌های فراابتکاری حل و با یکدیگر مقایسه شد [۴۲].

باپتیستا و همکاران^۱ (۲۰۱۹)، یک مدل چنددوره‌ای و چندمحصولی در زنجیره تأمین حلقه بسته ارائه کردند. مدل پیشنهادی به صورت احتمالی و دوسطحی بود. با توجه به عدم قطعیت موجود در تقاضا برای حل مدل از محدودیت شانس استفاده شد. کارخانه‌ها، مراکز توزیع و مراکز بازیافت از جمله سطوح زنجیره در این پژوهش بودند. در نظر گرفتن ریسک زنجیره از جمله نوآوری‌های این پژوهش به شمار می‌رود [۷].

مسعودپور و همکاران (۲۰۱۷)، یک مسئله زنجیره تأمین حلقه‌بسته را با در نظر گرفتن بازسازی قطعات مدل‌سازی کردند. مهم‌ترین نوآوری این پژوهش عدم قطعیت کیفیت بود. پیشینه کردن سود تولیدکننده نیز مهم‌ترین هدف این پژوهش بوده است. مطالعه موردی در نظر گرفته شده برای صنعت منسوجات نشان‌دهنده عملکرد مناسب مدل پیشنهادی است [۲۱].

ریسک. سلیمانی و گویندان (۲۰۱۴)، با استفاده از یک مدل تصادفی دومرحله‌ای، اثربخشی ریسک در یک زنجیره تأمین حلقه‌بسته را با استفاده از ارزش در معرض خطر شرطی بررسی کردند [۶]. ژو و همکاران^۲ (۲۰۱۳)، بر اساس ارزش در معرض خطر شرطی یک زنجیره تأمین سه‌سطحی ارائه کردند که در این مدل، تأمین‌کننده و تولیدکننده به دنبال افزایش سود و خرده‌فروش‌ها به دنبال افزایش سود خود با در نظر گرفتن ارزش در معرض خطر شرطی هستند و در نهایت نتایج عددی نشان‌دهنده کارایی مدل در یک زنجیره تأمین سه‌سطحی است [۴۷].

یورایسف و راکفلر^۳ (۲۰۰۰)، رویکرد جدیدی را برای کاهش ریسک با استفاده از روش‌های ارزش در معرض خطر و ارزش در معرض خطر شرطی ارائه کردند [۳۲]. ساویک^۴ (۲۰۱۱)، یک مدل عدد صحیح مختلط برای انتخاب تأمین‌کنندگان با در نظر گرفتن ریسک ارائه کرد. از جمله مهم‌ترین اهداف این پژوهش کمینه‌کردن هزینه‌ها و کمینه‌کردن ریسک تأخیر بود که به منظور کنترل ریسک تأخیر از دو رویکرد ارزش در معرض خطر و ارزش در معرض خطر شرطی استفاده شد [۳۸]. رحیمی و قضاوتی (۲۰۱۸)، یک زنجیره تأمین حلقه‌بسته پایدار طراحی کردند که اصلی‌ترین نوآوری آن در نظر گرفتن ارزش در معرض خطر شرطی و پایداری در یک زنجیره تأمین حلقه‌بسته بود [۱۸].

1. Baptista, et al.

2. Xu, et al.

3. Rockafellar & Uryasev

4. Swaik

جدول ۱. مروری بر مبانی نظری پژوهش

روش حل	نوع هدف	پارامتر	عدم قطعیت	پارامترها	نوع زنجیره تامین	پژوهشگر
* الگوریتم‌های فراابتکاری	دقیق	اهداف	حداقل کردن هزینه	میانگین	تفکیک	یان و همکاران، (۲۰۲۰) [۴۰]
*	دقیق	اهداف	حداقل کردن ریسک	میانگین	تفکیک	هوانگ و همکاران، (۲۰۲۰) [۲۶]
*	دقیق	اهداف	حداقل کردن هزینه	میانگین	تفکیک	ریحانی و همکاران، (۲۰۲۰) [۲۲]
*	دقیق	اهداف	حداقل کردن هزینه	میانگین	تفکیک	ژانگ و همکاران، (۲۰۲۰) [۲۸]
*	دقیق	اهداف	حداقل کردن هزینه	میانگین	تفکیک	ربانی و همکاران، (۲۰۲۰) [۳۵]
*	دقیق	اهداف	حداقل کردن هزینه	میانگین	تفکیک	سینیا و همکاران، (۲۰۱۹) [۳۳]
*	دقیق	اهداف	حداقل کردن هزینه	میانگین	تفکیک	وختانی و همکاران، (۲۰۱۹) [۴۲]
*	دقیق	اهداف	حداقل کردن هزینه	میانگین	تفکیک	بایستنا و همکاران، (۲۰۱۹) [۷]
*	دقیق	اهداف	حداقل کردن هزینه	میانگین	تفکیک	فرخ و همکاران، (۲۰۱۸) [۱۷]
*	دقیق	اهداف	حداقل کردن هزینه	میانگین	تفکیک	دهقان و همکاران، (۲۰۱۸) [۱۲]
*	دقیق	اهداف	حداقل کردن هزینه	میانگین	تفکیک	ژانو و همکاران، (۲۰۱۸) [۴۵]
*	دقیق	اهداف	حداقل کردن هزینه	میانگین	تفکیک	کیم و همکاران، (۲۰۱۸) [۳۴]
*	دقیق	اهداف	حداقل کردن هزینه	میانگین	تفکیک	سیرنکا و همکاران، (۲۰۱۸) [۴۰]
*	دقیق	اهداف	حداقل کردن هزینه	میانگین	تفکیک	یو و همکاران، (۲۰۱۸) [۵۰]
*	دقیق	اهداف	حداقل کردن هزینه	میانگین	تفکیک	موتا و همکاران، (۲۰۱۸) [۳۷]
*	دقیق	اهداف	حداقل کردن هزینه	میانگین	تفکیک	رحیمی و قشواتی، (۲۰۱۸) [۱۸]
*	دقیق	اهداف	حداقل کردن هزینه	میانگین	تفکیک	پیرام و همکاران، (۲۰۱۷) [۳۰]
*	دقیق	اهداف	حداقل کردن هزینه	میانگین	تفکیک	مسمودپور و همکاران، (۲۰۱۷) [۳۸]
*	دقیق	اهداف	حداقل کردن هزینه	میانگین	تفکیک	این پژوهش

با توجه به پیشینه پژوهش، پژوهش رحیمی و قضاوتی (۲۰۱۸)، اساسی‌ترین پژوهشی است که در خصوص ریسک و پایداری انجام شده است. در این تحقیق تقاضا و کیفیت به صورت قطعی در نظر گرفته شده و حل مدل بر اساس روش‌های قطعی است؛ ولی در پژوهش حاضر علاوه بر در نظر گرفتن دو سناریو برای تقاضا، کیفیت نیز به صورت عدم قطعیت بیان شده و مدل به صورت چنددوره‌ای و چندمحصولی است.

با توجه به جدول مرور مبانی نظری می‌توان دریافت در پژوهش‌های گذشته موارد زیر به صورت دقیق و هم‌زمان بررسی نشده است:

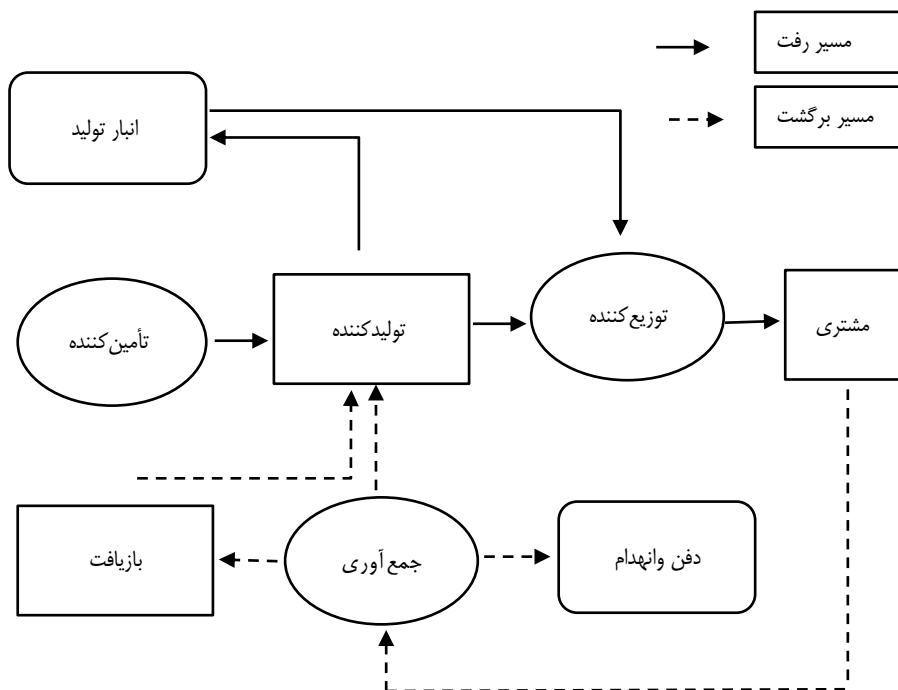
۱. بی‌توجهی به توجه به کیفیت محصولات تولیدی؛
۲. بی‌توجهی به در نظر گرفتن ریسک در زنجیره تأمین حلقه‌بسته پایدار؛
۳. بی‌توجهی به عدم قطعیت در زنجیره تأمین با استفاده از سناریوهای تعریف‌شده؛
۴. چنددوره‌ای و چندمحصولی بودن مدل به صورت هم‌زمان
۵. بی‌توجهی به سفارشی کردن مدل پیشنهادی برای یک مطالعه موردی واقعی.

بنابراین نوآوری‌های پژوهش به شرح زیر است:

۱. توجه به کیفیت محصولات تولیدی؛
۲. در نظر گرفتن ریسک در زنجیره تأمین حلقه‌بسته پایدار؛
۳. در نظر گرفتن عدم قطعیت در زنجیره تأمین با استفاده از سناریوهای تعریف‌شده؛
۴. چنددوره‌ای بودن و چندمحصولی بودن مدل؛
۵. سفارشی کردن مدل پیشنهادی برای یک مطالعه موردی واقعی.

پژوهش حاضر در پنج بخش ارائه شده است: بخش اول به مقدمه اختصاص یافت. در بخش دوم به مرور مبانی نظری پرداخته شد. در بخش سوم، مدل ریاضی ارائه می‌شود. بخش چهارم به تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش و بخش پنجم به نتیجه‌گیری و پیشنهاد اختصاص دارد.

مدل‌سازی ریاضی. در این پژوهش یک شبکه زنجیره تأمین چهارسطحی شامل تأمین‌کننده، کارخانه، مراکز توزیع و مشتریان به صورت مستقیم و در مسیر معکوس شامل مراکز جمع‌آوری، بازیافت و انهدام است. این مدل چندمحصولی و چنددوره‌ای است؛ همچنین مراکز توزیع، جمع‌آوری، بازیافت و انهدام دارای قابلیت بازگشایی هستند. مازاد تولید در کارخانه‌های به انبار تولیدکننده انتقال می‌یابد و هم تولیدکننده و هم انبار تولید می‌توانند به طور مستقیم به مراکز توزیع، کالا ارسال کنند. تأمین‌کنندگان، مراکز جمع‌آوری و بازیافت مسئول ارائه اجزا و مواد خام به تجهیزات تولید هستند (نقش تأمین‌کننده). شکل ۱، ساختار زنجیره تأمین پیشنهادی را نشان می‌دهد:



شکل ۱. ساختار زنجیره تأمین پیشنهادی

با توجه به شکل ۱، محصولات جدید از طریق مراکز توزیع از کارخانه‌ها به مشتریان فرستاده می‌شوند تا تقاضایشان را برآورده کنند و فرآیند زنجیره تأمین معکوس با بازگشتی‌های مشتریان آغاز می‌شود. نقش تعیین‌کننده در نحوه جریان محصولات بازگشتی را کیفیت آن‌ها بر عهده می‌گیرد؛ به نحوی که محصولات بازگشتی با توجه به کیفیت آن‌ها در مراکز جمع‌آوری دمونتاز شده و قطعات باکیفیت (qs_1) به مراکز تولید و قطعات قابل بازتولید (qs_2) به مراکز بازیافت و قطعات غیرقابل استفاده (qs_3) به بخش انهدام ارسال می‌شود. در ادامه بر اساس تشریح مسئله، مدل ریاضی طراحی شده است و اجزای مدل شرح داده شده‌اند. در این پژوهش مدل بر اساس وضعیت بازار و سناریوهای مرتبط با آن، میزان بهینه ارسال محصول به بازار را تعیین می‌کند. در پژوهش حاضر دو حالت برای سناریوهای مختلف در نظر گرفته شده است: سناریوی نخست، رونق و سناریوی دوم، رونق کم بازار است. هر یک از این سناریوها بر تقاضاهای محصولات تأثیرگذار خواهد بود و به تغییر در تقاضا منجر خواهد شد. در این پژوهش برای بیان پایداری سه تابع هدف در نظر گرفته شده است: تابع هدف نخست به دنبال کاهش هزینه‌ها، تابع هدف دوم به دنبال افزایش تعداد فرصت‌های شغلی به عنوان مسئولیت اجتماعی و تابع هدف سوم به دنبال کمینه‌کردن هزینه‌های زیست‌محیطی است.

ساختار اصلی مدل ریاضی. مفروضات مدل عبارت‌اند از:

۱. مدل به صورت چندکالایی و چنددوره‌ای است و کمبود در مدل مجاز نیست؛
۲. هر توزیع‌کننده می‌تواند توسط تمامی انبارها و هر انبار می‌تواند توسط تمامی مراکز تولید خدمت‌دهی شود؛
۳. هر کالا در یک دوره می‌تواند پس گرفته شود و هر کالای برگشتی تنها می‌تواند در همان دوره، باز یافت، جمع‌آوری و انهدام و یا به مراکز تأمین، تولید و توزیع ارسال شود؛
۴. تعداد فرصت‌های شغلی در مراکزی که قابلیت بازگشایی دارند، برابر است؛
۵. هر تولیدکننده یک انبار دارد.

اندیس‌ها و پارامترهای مدل

اندیس‌ها:

- I : اندیس مجموعه نقاط ثابت برای مراکز تأمین‌کنندگان $i \in I$
- J : اندیس مجموعه نقاط ثابت برای مراکز تولیدکنندگان $j \in J$
- K : اندیس مجموعه نقاط بالقوه برای مراکز توزیع $k \in K$
- L : اندیس مجموعه نقاط ثابت برای مشتریان $l \in L$
- M : اندیس مجموعه نقاط بالقوه برای مراکز جمع‌آوری و احیا $m \in M$
- P : اندیس مجموعه نقاط بالقوه برای مراکز باز یافت $p \in P$
- N : اندیس مجموعه نقاط بالقوه برای مراکز دفن و انهدام $n \in N$
- S : اندیس مجموعه محصولات $s \in S$
- T : اندیس دوره $t \in T$
- qs : سطوح کیفیت محصولات بازگشتی ($qs = \dots, QS$)
- Sen : مجموعه سناریوها ($sen = 1, 2, \dots, scenario$)

پارامترها:

- $r_{l,qs,sen}^{st}$: نرخ برگشتی محصول s با سطح کیفیت qs از مرکز مشتری l در دوره t در سناریوی sen
- $d_{l,sen}^{st}$: میزان تقاضای محصول s توسط مشتری l در دوره t در سناریوی sen
- $Price_{s,sen}$: قیمت کالای s که به مشتری تحویل داده می‌شود در سناریوی sen
- $fp_{s,qs}^{sen}$: قیمت بهینه یک واحد محصول بازگشتی s با کیفیت qs در سناریوی sen
- $cost_{s,t,sen}$: هزینه تولید یک واحد محصول s در دوره t در سناریوی sen
- $costm_{s,sen}$: هزینه جمع‌آوری یک واحد محصول s در سناریوی sen

- $costp_{s, sen}$: هزینه بازیافت یک واحد محصول s در سناریوی sen
- $costn_{s, sen}$: هزینه انهدام یک واحد محصول s در سناریوی sen
- $value_{s, sen}$: ارزش افزوده به سیستم پس از بازیافت یک واحد محصول s در سناریوی sen
- Bj^{st} : نرخ بازگشتی محصول s از مرکز جمع‌آوری و احیا به مرکز تولیدکننده در دوره t
- Bn^{st} : نرخ بازگشتی محصول s از مرکز جمع‌آوری و احیا به مرکز دفن و انهدام در دوره t
- Bn^{st} : نرخ بازگشتی محصول s از مرکز جمع‌آوری و احیا به مرکز بازیافت در دوره t
- f_k : هزینه ثابت احداث مرکز توزیع در محل k
- f_m : هزینه احداث مرکز جمع‌آوری و احیا در محل m
- f_p : هزینه احداث مرکز بازیافت در محل p
- f_n : هزینه احداث مرکز دفن و انهدام در محل n
- C_{ij}^s : هزینه حمل محصول s از مرکز تأمین‌کننده i به مرکز تولیدکننده j در سناریوی sen
- C_{jk}^s : هزینه حمل محصول s از مرکز تولیدکننده j به مرکز توزیع k در سناریوی sen
- C_{kl}^s : هزینه حمل محصول s از مرکز توزیع k به مرکز مشتری l در سناریوی sen
- C_{lm}^s : هزینه حمل هر واحد محصول برگشتی از مشتری l به مرکز جمع‌آوری m در سناریوی sen
- $C_{mp, qs, sen}^s$: هزینه حمل هر واحد محصول برگشتی با سطح کیفیت qs از مرکز جمع‌آوری m به مرکز بازیافت p در سناریوی sen
- $C_{mn, qs, sen}^s$: هزینه حمل هر واحد محصول برگشتی با سطح کیفیت qs از مرکز جمع‌آوری m به مرکز دفن n در سناریوی sen
- $C_{mj, qs, sen}^s$: هزینه حمل هر واحد محصول برگشتی با سطح کیفیت qs از مرکز جمع‌آوری m به مرکز تولید j در سناریوی sen
- $C_{pj, sen}^s$: هزینه حمل هر واحد محصول برگشتی s از مرکز بازیافت p به مرکز تولید j در سناریوی sen
- $CQ_{ij, sen}^s$: هزینه حمل محصول s از مرکز تولیدکننده j به انبار خودش در سناریوی sen
- $CQ_{jk, sen}^s$: هزینه حمل و جابه‌جایی محصول s از انبار تولیدکننده j به مرکز توزیع k در سناریوی sen
- ca_i : ظرفیت مرکز تأمین‌کننده در محل i
- ca_j : ظرفیت مرکز تولیدکننده در محل j
- ca_{jj} : ظرفیت انبار تولیدکننده در محل j

- cr_j : ظرفیت برای ساخت مجدد محصولات در مرکز تولیدکننده در محل j
- ca_k : ظرفیت مرکز توزیع در محل k
- ca_m : ظرفیت مرکز جمع‌آوری در محل m
- $\alpha_{k, sen}$: تعداد فرصت‌های شغلی ایجادشده در مرکز توزیع k در سناریوی sen
- $\alpha_{inv, sen}$: تعداد فرصت‌های شغلی ایجادشده در مراکز مربوط به لجستیک معکوس در سناریوی sen
- dl_j : متوسط روزهای کاری ازدست‌رفته ناشی از آسیب کار در مرکز تولید j به‌ازای یک واحد تولید
- ca_p : ظرفیت مرکز بازیافت در محل p
- ca_n : ظرفیت مرکز دفن و انهدام در محل n
- $h_{j, sen}^{st}$: هزینه نگهداری هر واحد محصول s در انبار تولیدکننده در محل j در دوره t در سناریوی sen
- O_k : مقدار ثابت CO_2 (برحسب کیلوگرم) که در جریان تأسیس مرکز توزیع K آزاد شده است.
- O'_m : مقدار ثابت CO_2 آزادشده (برحسب کیلوگرم) در جریان تأسیس مرکز جمع‌آوری m
- O''_p : مقدار ثابت CO_2 آزادشده (برحسب کیلوگرم) در جریان تأسیس مرکز بازیافت p
- O'''_n : مقدار ثابت CO_2 آزادشده (برحسب کیلوگرم) در جریان تأسیس مرکز دفن و انهدام n
- COM : مقدار CO_2 آزادشده (برحسب کیلوگرم) از حمل یک واحد محصول در یک کیلومتر
- $d_{ij, sen}^s$: مسافت حمل محصول s از مرکز تأمین‌کننده i به مرکز تولید j در سناریوی sen
- $d_{jk, sen}^s$: مسافت حمل محصول s از مرکز تولیدکننده j به مرکز توزیع k در سناریوی sen
- $d_{kl, sen}^s$: مسافت حمل محصول s از مرکز توزیع k به مرکز مشتری l در سناریوی sen
- $d_{lm, sen}^s$: مسافت حمل هر واحد محصول برگشتی از مشتری l به مرکز جمع‌آوری m در سناریوی sen
- $d_{mp, qs, sen}^s$: مسافت حمل و هر واحد محصول برگشتی با سطح کیفیت qs از مرکز جمع‌آوری m به مرکز بازیافت p در سناریوی sen
- $d_{mn, qs, sen}^s$: مسافت حمل هر واحد محصول برگشتی با سطح کیفیت qs از مرکز جمع‌آوری m به مرکز دفن n در سناریوی sen
- $d_{mj, qs, sen}^s$: مسافت حمل هر واحد محصول برگشتی با سطح کیفیت qs از مرکز جمع‌آوری m به مرکز تولید j در سناریوی sen
- $d_{pj, sen}^s$: مسافت حمل هر واحد محصول برگشتی S از مرکز بازیافت p به مرکز تولید j در سناریوی sen

$dq_{ij, sen}^s$: مسافت حمل محصول s از مرکز تولیدکننده j به انبار خودش در سناریوی sen
 $dq_{jk, sen}^s$: مسافت حمل محصول s از انبار تولیدکننده j به مرکز توزیع k در سناریوی sen

متغیرهای مدل:

y_k : اگر مرکز توزیع در مکان k تأسیس شود، مقدار آن ۱ و در غیر این صورت صفر است.
 y_m : اگر مرکز جمع‌آوری در مکان m تأسیس شود، مقدار آن ۱ و در غیر این صورت صفر است.
 y_p : اگر مرکز بازیافت در مکان p تأسیس شود، مقدار آن ۱ و در غیر این صورت صفر است.
 y_n : اگر مرکز دفن و انهدام در مکان n تأسیس شود، مقدار آن ۱ و در غیر این صورت صفر است.

$x_{ij, sen}^{st}$: مقدار جریان محصول s از مرکز تأمین‌کننده i به مرکز تولید j در دوره t در سناریوی sen

$x_{jk, sen}^{st}$: مقدار جریان محصول s از مرکز تولیدکننده j به مرکز توزیع k در دوره t در سناریوی sen

$Q_{jj, sen}^{st}$: مقدار جریان محصول s از مرکز تولیدکننده j به انبار خودش در دوره t در سناریوی sen

$x_{kl, sen}^{st}$: مقدار جریان محصول s از مرکز توزیع k به مشتری l در دوره t در سناریوی sen

$Q_{jk, sen}^{st}$: مقدار جریان محصول s از انبار تولیدکننده j به مرکز توزیع k در دوره t در سناریوی sen

$x_{lm, qs, sen}^{st}$: مقدار جریان محصول بازگشتی s با سطح کیفیت qs از مشتری l به مرکز جمع‌آوری m در دوره t با سناریوی sen

$x_{mp, qs, sen}^{st}$: مقدار جریان محصول بازگشتی s با سطح کیفیت qs از مرکز جمع‌آوری m به مرکز بازیافت p در دوره t در سناریوی sen

$x_{mn, qs, sen}^{st}$: مقدار محصول بازگشتی s با سطح کیفیت qs از مرکز جمع‌آوری m به مرکز انهدام n در دوره t در سناریوی sen

$x_{mj, qs, sen}^{st}$: مقدار محصول بازگشتی s با سطح کیفیت qs که از مرکز جمع‌آوری m به مرکز تولیدکننده j در دوره t می‌رود در سناریوی sen

$x_{pj, sen}^{st}$: مقدار محصول s دوباره استفاده‌شده که از مرکز بازیافت p به مرکز تولیدکننده j در دوره t می‌رود در سناریوی sen

$U_{j, sen}^{st}$: میزان موجودی باقی‌مانده محصول s در انبار مرکز تولیدکننده j در دوره t در سناریوی sen

ساختار اصلی مدل ریاضی. ارزش در معرض خطر، یک معیار ریسک مالی است که در صنعت مالی به صورت گسترده استفاده می‌شود [۴۷]. برای متغیر تصمیم x که از مجموعه معین X انتخاب می‌شود، به ازای هر $x \in X$ زیان $T = L(x, y)$ که در آن x متغیر تصمیم و y متغیر تصادفی است و برای سطح معناداری $(\alpha \in (0, 1))$ ، ارزش در معرض خطر زیان T به صورت زیر تعریف می‌شود [۳۲].

$$VaR_{\alpha}(x) = \min\{\gamma \mid p\{y \mid L(x, y) \leq \gamma\} \geq \alpha\} \quad \text{رابطه (۱)}$$

به دلیل عدم وجود خاصیت تحدب‌پذیری و جمع‌پذیری، معیار VaR مناسب نیست. ویژگی‌هایی مانند خطی و محدب بودن و رفتار مناسب به لحاظ ریاضی باعث می‌شود که از ارزش در معرض خطر شرطی به عنوان ارزیاب ریسک استفاده شود [۶]؛ بنابراین از معیار ارزش در معرض خطر شرطی ($CVaR$) به صوت زیر استفاده می‌شود [۴۷]:

$$CVaR_{\alpha}(x) = \varphi_{\alpha}(x) = E\{L(x, \varepsilon) \mid L(x, \varepsilon) \geq VaR_{\alpha}(x)\} \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$= \frac{1}{1-\alpha} \int_{L(x, y) \geq VaR_{\alpha}(x)} L(x, y) f(y) dy$$

در رابطه بالا، $f(y)$ تابع چگالی ε است. راکفلر و اوریاسف^۱ (۲۰۰۰)، اثبات کردند که برای حداقل کردن $CVaR$ کافی است تابع زیر حداقل شود [۳۳]:

$$CVaR_{\alpha}(x) = F_{\alpha}(x, y) = \gamma + \frac{1}{1-\alpha} E[[L(x, \varepsilon) - \gamma]^+] \quad \text{رابطه (۳)}$$

در رابطه ۳، علامت بعلاوه به شرح زیر است:

$$[t]^+ = \max\{0, t\} \quad \text{رابطه (۴)}$$

تصمیم‌گیرنده ممکن است یک محدوده زیان قبلی (β) را برای خود در نظر بگیرد که این محدودیت به صورت زیر نشان داده می‌شود [۲۵]:

$$CVaR_{\alpha}(x) \leq \beta \quad \text{رابطه (۵)}$$

¹ Rockafellar & Uryasev

مدل‌سازی ریسک. در حالت کلی دو شاخص حداقل کردن هزینه (حداکثر کردن سود) و حداقل کردن زیان برای تصمیم‌گیرندگان اهمیت دارد. برای مشخص کردن این دو معیار به‌طور هم‌زمان در یک مدل از یک نرخ ریسک‌گریزی، $\lambda \epsilon(0,1)$ استفاده می‌شود و ترکیب خطی این معیار و معیار هزینه‌ها $f(x,y)$ در تابع هدف به شرح زیر بیان می‌شود $(h_l(x,y))$ نشان‌دهنده محدودیت‌های مسئله هستند:

$$\begin{aligned} & \min(1-\lambda)E[f(x,y)] + \lambda.CVaR\alpha(x) && \text{رابطه (۶)} \\ & \text{s.t.} \\ & E[h_l(x,y)] = 0 \quad l=1,2,\dots,j \\ & E[h_l(x,y)] \leq 0 \quad l=j+1,\dots,k \\ & CVaR\alpha x \leq \beta \quad x \in X \end{aligned}$$

با جایگذاری فرمول $CVaR$ در مدل بالا خواهیم داشت:

$$\min(1-\lambda)E[f(x,y)] + \lambda\left(\gamma + \frac{1}{1-\alpha}E[[L(x,\epsilon) - \gamma]^+]\right) \quad \text{رابطه (۷)}$$

St:

$$\begin{aligned} & E[h_l(x,y)] = 0 \quad l=1,2,\dots,j \\ & E[h_l(x,y)] \leq 0 \quad l=j+1,\dots,k \\ & \gamma + \frac{1}{1-\alpha}E[[L(x,\epsilon) - \gamma]^+] \leq \beta \quad (x,\gamma) \in X * R \end{aligned}$$

تابع بالا به‌صورت خطی زیر بازنویسی می‌شود [۴۴]:

$$\tilde{F}_\alpha(x,y) = \gamma + \theta \sum [L(x,y) - \gamma]^+ \quad \text{where } \theta = ((1-\alpha)sen)^{-1} \quad \text{رابطه (۸)}$$

$$T_s = L(x,\epsilon) - \gamma \quad \text{رابطه (۹)}$$

مدل نهایی با در نظر گرفتن ریسک و هزینه به‌صورت زیر ارائه می‌شود:

$$\begin{aligned} & \min(1-\lambda)E[f(x,y)] + \lambda\left(\gamma + \theta \sum_{s=1} T_s\right) \\ & \text{St:} && \text{رابطه (۱۰)} \\ & E[h_l(x,y)] = 0 \quad l=1,2,\dots,j \\ & T_s \geq L(x,\epsilon) - \gamma \quad s=1,2,\dots,S \\ & T_s \geq 0 \quad Z_s \in R \quad s=1,2,\dots,S \end{aligned}$$

$$(\gamma + \theta \sum_{s=1}^T T_s) \leq \beta \quad (X, \gamma) \in X * R$$

تابع هدف کمیته‌سازی هزینه‌ها. اجزای هزینه در بالا به صورت مجزا بیان شد و تابع هدف اول که سود زنجیره تأمین است از کسر مجموع هزینه‌ها از درآمد حاصل می‌شود و به صورت زیر است:

رابطه (۱۱)

$$\begin{aligned} \min z1 = & \left(\sum_{k \in K} f_k y_k + \sum_{m \in M} f_m y_m + \sum_{p \in P} f_p y_p + \sum_n f_n y_n \right) \\ & + \sum_{t \in T} \sum_{sen} \left(\sum_{s \in S} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} c_{ij, sen}^s x_{ij, sen}^{st} + \sum_{s \in S} \sum_{j \in J} c_{ij, sen}^s Q_{ij, sen}^{st} + \sum_{s \in S} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} c_{jk, sen}^s x_{jk, sen}^{st} + \sum_{s \in S} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} c_{ijk, sen}^s Q_{ijk, sen}^{st} + \sum_{s \in S} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} c_{kl, sen}^s x_{kl, sen}^{st} \right) \\ & + \sum_{s \in S} \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} c_{lm, sen}^s x_{lm, sen}^{st} + \sum_{s \in S} \sum_{m \in M} \sum_{p \in P} c_{mp, sen}^s x_{mp, sen}^{st} + \sum_{s \in S} \sum_{m \in M} \sum_{n \in N} c_{mn, sen}^s x_{mn, sen}^{st} + \sum_{s \in S} \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} c_{mj, sen}^s x_{mj, sen}^{st} \\ & + \sum_{s \in S} \sum_{p \in P} \sum_{j \in J} c_{pj, sen}^s x_{pj, sen}^{st} + \sum_{s \in S} \sum_{j \in J} h_{j, sen}^{st} U_{j, sen}^{st} \\ & + \sum_{t \in T} \sum_{sen} \left(\sum_{l=1}^L \sum_{m=1}^M \sum_{s=1}^S \sum_{q=1}^{Q^s} x_{lm, q, sen}^{st} f_{p, sen}^{st} \right) + \sum_{t \in T} \sum_{sen} \left(\sum_{m \in M} \sum_{p \in P} \sum_{s \in S} x_{mp, sen}^{st} \cos t_{p, sen} \right) + \sum_{t \in T} \sum_{sen} \left(\sum_{m \in M} \sum_{l \in L} \sum_{s \in S} x_{lm, sen}^{st} \cos t_{m, sen} \right) + \sum_{t \in T} \sum_{sen} \left(\sum_{m \in M} \sum_{n \in N} \sum_{s \in S} x_{mn, sen}^{st} \cos t_{n, sen} \right) \\ & + \sum_{t \in T} \sum_{sen \in \text{scenario}} \sum_{s \in S} \sum_{j \in J} (\cos t_{s, t, sen} (Q_{jj, sen}^{st} + \sum_{k \in K} x_{jk, sen}^{st})) \end{aligned}$$

تابع هدف نخست شامل کمیته‌کردن هزینه‌های احداث تسهیلات، هزینه حمل و نقل جریان مواد بین مراکز، هزینه نگهداری مواد در انبار تولیدکننده، هزینه محصول بازگشتی، هزینه جمع‌آوری، هزینه بازیافت، هزینه دفن و انهدام و هزینه تولید به‌ازای هر محصول است. تابع هدف دوم:

رابطه (۱۲)

$$\max z2 = \sum_{t \in T} \sum_{sen} \left(\sum_{k \in K} \alpha_{k, sen} y_k + \sum_{m \in M} \alpha_{inv, sen} y_m + \sum_{p \in P} \alpha_{inv, sen} y_p + \sum_{n \in N} \alpha_{inv, sen} y_n \right) - \sum_{t \in T} \sum_{sen} \left(\sum_{j \in J} \sum_{s \in S} (dl_j(Q_{jj, sen}^{st} + \sum_{k \in K} x_{jk, sen}^{st})) \right)$$

تابع هدف دوم که در راستای مسئولیت اجتماعی، به صورت رابطه ۱۲، بیان شده است. عبارت اول تابع هدف نشان‌دهنده تعداد فرصت‌های شغلی ایجادشده در تسهیلات با قابلیت بازگشتی، یعنی مراکز توزیع، جمع‌آوری، بازیافت و دفن و انهدام و عبارت دوم نشان‌دهنده آسیب کار در مراکز بالا است.

$$\text{Min} z_3 = TQ + TE$$

$$TE = \sum_{k \in K} y_k \cdot o_k + \sum_{m \in M} y_m \cdot o'_m + \sum_{p \in P} y_p \cdot o''_p + \sum_{n \in N} y_n \cdot o'''_n \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

$$\begin{aligned}
TQ = & \sum_{sen \in Sen} COM [\sum_{s \in S} \sum_{l \in L} \sum_{j \in J} d_{ij, sen}^s x_{ij, sen}^{st} + \sum_{s \in S} \sum_{j \in J} dq_{jj, sen}^s Q_{jj, sen}^{st} + \sum_{s \in S} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} d_{jk, sen}^s x_{jk, sen}^{st} + \sum_{s \in S} \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} dq_{jk, sen}^s Q_{jk, sen}^{st} \\
& + \sum_{s \in S} \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} d_{kl, sen}^s x_{kl, sen}^{st} + \sum_{s \in S} \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} d_{lm, sen}^s x_{lm, sen}^{st} + \sum_{s \in S} \sum_{m \in M} \sum_{p \in P} d_{mp, sen}^s x_{mp, sen}^{st} + \\
& \sum_{s \in S} \sum_{m \in M} \sum_{n \in N} d_{mn, sen}^s x_{mn, sen}^{st} + \sum_{s \in S} \sum_{m \in M} \sum_{j \in J} d_{mj, sen}^s x_{mj, sen}^{st} + \sum_{s \in S} \sum_{p \in P} \sum_{j \in J} d_{pj, sen}^s x_{pj, sen}^{st}]
\end{aligned}$$

تابع هدف سوم نیز از دو بخش تشکیل شده است. در بخش نخست، اثرات دی‌اکسید کربن ناشی از تأسیس مراکز بالقوه کمینه شده و در بخش دوم اثرات مخرب دی‌اکسید کربن آزاد شده ناشی از حمل محصولات کمینه می‌شود.

محدودیت‌ها:

$$\sum_{k \in K} x_{kl, sen}^{st} = d_{l, sen}^{st} \quad \forall l \in L, \forall s \in S, t \in T, sen \in scenario \quad \text{رابطه (۱۴)}$$

$$\sum_{m \in M} x_{lm, qs, sen}^{st} = r_{l, qs, sen}^s \left(\sum_{s \in S} \sum_{l \in L} x_{kl, sen}^{st} \right) \quad \forall l \in L, \forall s \in S, t \in T, qs, sen \in scenario \quad \text{رابطه (۱۵)}$$

عبارت‌های ۱۳ و ۱۴، تضمین می‌کنند که در جریان مستقیم ممکن است به تمامی تقاضای مشتریان پاسخ داده شود و در جریان برگشت تمامی کالاها از مراکز مشتریان جمع‌آوری شود.

$$\sum_{qs_1} \sum_{j \in J} x_{mj, qs, sen}^{st} = B_j^{st} \sum_{qs} \left(\sum_{l \in L} x_{lm, qs, sen}^{st} \right) \quad \forall m \in M, \forall s \in S, t \in T, \forall sen \in scenario \quad \text{رابطه (۱۶)}$$

$$\sum_{qs_2} \sum_{i \in I} x_{mp, qs, sen}^{st} = B_p^{st} \sum_{qs} \left(\sum_{l \in L} x_{lm, qs, sen}^{st} \right) \quad \forall m \in M, \forall s \in S, t \in T, \forall sen \in scenario \quad \text{رابطه (۱۷)}$$

$$\sum_{qs_3} \sum_{n \in N} x_{mn, qs, sen}^{st} = B_n^{st} \sum_{qs} \left(\sum_{l \in L} x_{lm, qs, sen}^{st} \right) \quad \forall m \in M, \forall s \in S, t \in T, \forall sen \in scenario \quad \text{رابطه (۱۸)}$$

$$\sum_{j \in J} (x_{jk, sen}^{st} + Q_{jk, sen}^{st}) = \sum_{l \in L} x_{kl, sen}^{st} \quad \forall k \in K, \forall s \in S, t \in T, \forall sen \in scenario \quad \text{رابطه (۱۹)}$$

$$\sum_{qs_2} \sum_{m \in M} x_{mp, qs, sen}^{st} = \sum_{j \in J} x_{pj, sen}^{st} \quad \forall p \in P, \forall s \in S, t \in T, \forall sen \in scenario \quad \text{رابطه (۲۰)}$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij, sen}^{st} + \sum_{q_1} \sum_{m \in M} x_{mj, qs, sen}^{st} + \sum_{p \in P} x_{pj, sen}^{st} = \sum_{k \in K} x_{jk, sen}^{st} + Q_{jj, sen}^{st} \quad \forall j \in J, \forall s \in S, t \in T, \forall sen \in scenario \quad (21) \text{ رابطه}$$

$$\sum_{q_1} \sum_{j \in J} x_{mj, qs, sen}^{st} + \sum_{q_2} \sum_{p \in P} x_{mp, qs, sen}^{st} + \sum_{q_3} \sum_{n \in N} x_{mn, qs, sen}^{st} = \sum_{q_3} \sum_{l \in L} x_{lm, sen}^{st} \quad \forall m \in M, \forall s \in S, t \in T, \forall sen \in scenario \quad (22) \text{ رابطه}$$

$$U_{j, sen}^{st} = Q_{jj, sen}^{st} - \sum_{k \in K} Q_{jk, sen}^{st} \quad \forall j \in J, \forall s \in S, t \in T, \forall sen \in scenario \quad (23) \text{ رابطه}$$

روابط ۱۶ تا ۲۳، محدودیت‌های تعادل جریان در گره‌ها هستند.

$$\sum_{k \in K} Q_{jk, sen}^{st} \leq Q_{jj, sen}^{st} \quad \forall j \in J, \forall s \in S, t \in T, \forall sen \in scenario \quad (24) \text{ رابطه}$$

عبارت ۲۴، تضمین می‌کند که میزان جریان خروجی از انبار تولید کمتر از مجموع جریان ورودی به آن است.

$$\sum_{s \in S} \sum_{j \in J} x_{ij, sen}^{st} \leq ca_i \quad \forall i \in I, t \in T, \forall sen \in scenario \quad (25) \text{ رابطه}$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{k \in K} x_{jk, sen}^{st} + \sum_{s \in S} Q_{jj, sen}^{st} \leq ca_j \quad \forall j \in J, t \in T, \forall sen \in scenario \quad (26) \text{ رابطه}$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{l \in L} x_{kl, sen}^{st} \leq ca_k y_k \quad \forall k \in K, t \in T, \forall sen \in scenario \quad (27) \text{ رابطه}$$

$$\sum_{q_1} \sum_{s \in S} \sum_{j \in J} x_{mj, qs, sen}^{st} + \sum_{q_2} \sum_{s \in S} \sum_{n \in N} x_{mn, qs, sen}^{st} + \sum_{q_2} \sum_{s \in S} \sum_{p \in P} x_{mp, qs, sen}^{st} \leq ca_m y_m \quad \forall m \in M, t \in T, \forall sen \in scenario \quad (28) \text{ رابطه}$$

$$\sum_{s \in S} \left(\sum_{q_1} \sum_{m \in M} x_{mj, qs, sen}^{st} + \sum_{p \in P} x_{pj, sen}^{st} + \sum_{i \in I} x_{ij, sen}^{st} \right) \leq cr_j \quad \forall j \in J, t \in T, \forall sen \in scenario \quad (29) \text{ رابطه}$$

$$\sum_{q_3} \sum_{s \in S} \sum_{m \in M} x_{mn, qs, sen}^{st} \leq ca_n y_n \quad \forall n \in N, t \in T, \forall sen \in scenario \quad (30) \text{ رابطه}$$

$$\sum_{q_2} \sum_{s \in S} \sum_{m \in M} x_{mp, qs, sen}^{st} \leq ca_p y_p \quad \forall p \in P, t \in T, \forall sen \in scenario \quad (31) \text{ رابطه}$$

$$\sum_{s \in S} U_{j, sen}^{st} \leq ca_j \quad \forall j \in J, t \in T, \forall sen \in scenario \quad (32) \text{ رابطه}$$

عبارت‌های ۲۴ تا ۳۲، تضمین می‌کنند که جریان تنها بین نقاطی در جریان باشد که در آن‌ها تسهیلی احداث شده باشد و همچنین مجموع جریان در هر تسهیل از ظرفیت آن تجاوز نکند.

$$\sum_{k \in K} y_k \geq 1 \quad \text{رابطه (۳۳)}$$

$$\sum_{m \in M} y_m \geq 1 \quad \text{رابطه (۳۴)}$$

$$\sum_{p \in P} y_p \geq 1 \quad \text{رابطه (۳۵)}$$

$$\sum_{n \in N} y_n \geq 1 \quad \text{رابطه (۳۶)}$$

عبارت‌های ۳۳ تا ۳۶، تضمین می‌کنند که حداقل یکی از مراکز بالقوه فعال باشد.

$$Bj^{st} + Bp^{st} + Bn^{st} = 1 \quad \forall s \in S, t \in T \quad \text{رابطه (۳۷)}$$

عبارت ۳۷، تضمین می‌کند که مجموع ضرایب محصولات برگشتی برابر ۱ است.

$$y_m, y_k, y_p, y_n \in \{0, 1\} \quad \forall m \in M, \forall k \in K, \forall p \in P, \forall n \in N, t \in T \quad \text{رابطه (۳۸)}$$

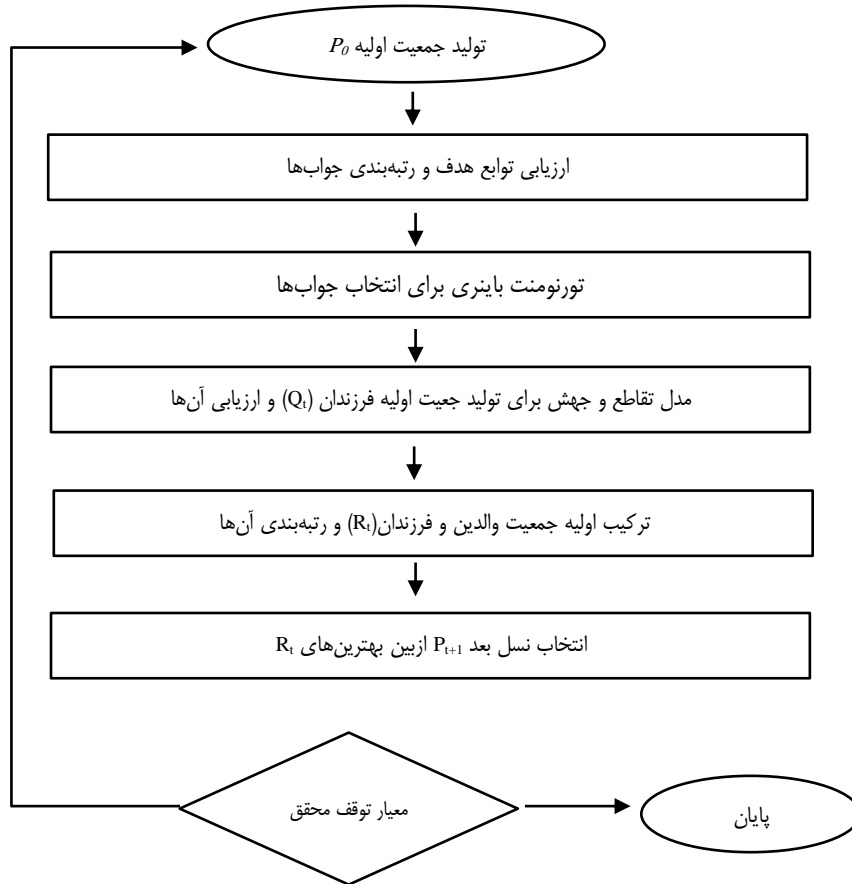
$$x_{ij}^{st}, x_{jk}^{st}, Q_{jj}^{st}, U_j^{st}, x_{kl}^{st}, Q_{jk}^{st}, x_{lm}^{st}, x_{mj}^{st}, x_{mp}^{st}, x_{mn}^{st} \geq 0 \quad \text{رابطه (۳۹)}$$

$$\forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K, \forall l \in L, \forall m \in M, \forall n \in N, \forall p \in P, t \in T$$

محدودیت‌های ۳۸ و ۳۹، محدودیت‌های بدیهی مربوط به متغیرهای تصمیم مسئله هستند.

۴. تحلیل داده‌ها و یافته‌های پژوهش

الگوریتم حل NSGA-II. الگوریتم NSGA-II به دلیل عملکرد مناسب در سایر مطالعات گذشته مورد استفاده قرار گرفته است [۴۶]. در الگوریتم NSGA-II با تغییراتی که در مکانیزم الگوریتم ژنتیک داده شده است، الگوریتم در نهایت به مجموعه‌ای از جواب‌های نامغلوب میل می‌کند.



شکل ۲. فلوجارت الگوریتم NSGA-II [۱۲]

نحوه تولید جمعیت اولیه. در این بخش نیز از رویکرد تصادفی برای تولید جواب‌های اولیه استفاده می‌شود.

نحوه نمایش کروموزوم. در این بخش از یک کروموزوم دوبعدی استفاده می‌شود که هر سطر آن یک جایگشت از مجموع تعداد مشتریان است. در شکل ۳، کروموزوم مربوط به یک مثال نشان داده شده است. این شکل کروموزوم طراحی شده برای متغیر $x_{kl, sen}^{st}$ را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشخص شده است، مقدار جریان محصول S از مرکز تولیدکننده Z به انبار خودش در دوره t در سناریوی sen درون آل‌ها نوشته شده است. دوره‌ها و سناریوها در ستون‌های کروموزوم و مشتری‌ها و محصولات در سطرها طراحی شده است.

		مشتری ۱			مشتری ۲		
		محصول ۱		محصول ۲		محصول ۳	
دوره	سناریوی اول	۱	۳	۶	۴	۲	۷
	سناریوی دوم	۲	۴	۵	۶	۳	۱
	سناریوی سوم	۷	۱	۲	۶	۳	۴

شکل ۳. نمایش کروموزوم دوبعدی

ارزیابی جواب‌ها. در این بخش ابتدا جواب‌ها رتبه‌بندی شده و سپس فاصله تراکمی نیز برای جواب‌ها محاسبه می‌شود. با توجه به جست‌وجوی همسایگی که صورت می‌گیرد ممکن است جواب‌های نشدنی تولید شود که با توجه به استراتژی جریمه این‌گونه جواب‌ها کنار گذاشته می‌شوند و از استراتژی اصلاح برای تصحیح جواب‌های نشدنی نیز استفاده می‌شود [۴۹].

مکانیزم انتخاب. در این روش دو کروموزوم به صورت کاملاً تصادفی از جمعیت حاضر انتخاب شده و بر مبنای عملگر مقایسه تراکمی، با هم مقایسه می‌شوند. هر جوابی که در این مسابقه بر دیگری پیروز شود، به عنوان یکی از والدین معرفی می‌شود [۱۲].

مکانیزم تقاطع. با استفاده از تقاطع دونقطه‌ای، دو نقطه به تصادف انتخاب و ژن‌های بین آن‌ها جابه‌جا خواهد شد.

والد ۱	۱	۳	۶	۴	۲	۷	۵
	۲	۴	۵	۶	۳	۱	۷
	۷	۱	۲	۶	۳	۴	۵
والد ۲	۸	۸	۸	۹	۵	۹	۷
	۵	۲	۵	۶	۵	۶	۱
	۲	۱	۱	۸	۹	۵	۲
فرزند ۱	۱	۳	۹	۸	۹	۷	۵
	۲	۴	۶	۵	۶	۱	۷
	۷	۱	۸	۱	۸	۴	۵
فرزند ۲	۸	۸	۶	۴	۲	۹	۷
	۵	۲	۵	۶	۳	۶	۱
	۲	۱	۲	۶	۳	۵	۲

شکل ۴. عملگر تقاطع

مکانیزم جهش. برای جهش نیز یک سطر تصادف انتخاب و عناصر آن معکوس می‌شود.

نتایج محاسباتی. روش محدودیت اپسیلون یکی از روش‌های دقیق حل برنامه‌ریزی چندهدفه است که بر برخی از مشکلات تحدب روش مجموع وزنی که پایه‌ای‌ترین روش حل این‌گونه مسائل است، غلبه می‌کند. این روش شامل بهینه‌کردن یک تابع هدف اصلی (F_p) و بیان اهداف دیگر به شکل محدودیت‌های نامساوی است.

$$\min_{x \in \Omega} F_p(x) \quad \text{رابطه (۴۰)}$$

$$\text{subject to } F_i(x) \leq \varepsilon_i \quad i = 1, \dots, m \quad i \neq p$$

این روش قادر به شناسایی تعدادی از راه‌حل‌های غیرتحتانی در یک مرز غیرمحدب بوده که با استفاده از روش مجموع وزنی قابل‌حصول نیست؛ برای مثال، در نقطه جواب $F_1 = F_{1s}$ و $F_2 = \varepsilon_2$ ؛ با این حال یکی از مشکلات این روش، انتخاب مقادیر مناسبی از ε هاست که شدنی بودن مسئله را تضمین کند.

گام‌های روش *constraint* - ε به صورت زیر است:

۱. یکی از توابع هدف به عنوان تابع هدف اصلی انتخاب می‌شود؛

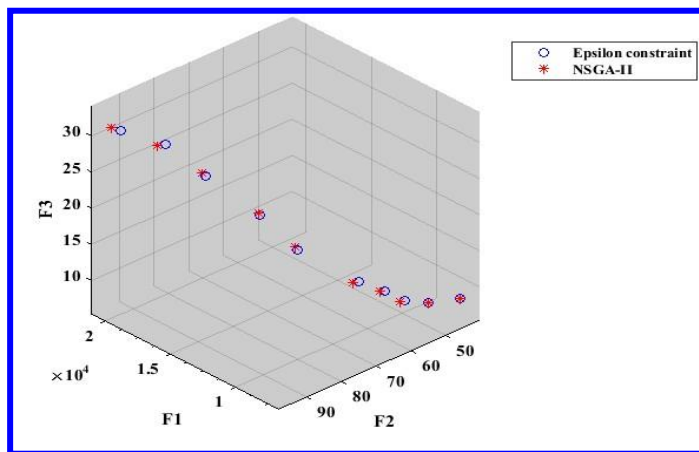
۲. هر بار با توجه به یکی از توابع هدف، مسئله حل می‌شود و مقادیر بهینه هر تابع هدف مشخص می‌گردد؛
۳. بازه بین دو مقدار بهینه توابع هدف فرعی به تعداد از قبل مشخصی تقسیم‌بندی می‌شود و یک جدول مقادیر برای $\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n$ ، به دست می‌آید؛
۴. هر بار مسئله با تابع هدف اصلی با هر یک از مقادیر $\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_n$ حل می‌شود؛
۵. جواب‌های پارتوی یافته شده گزارش می‌شود؛
۶. با ایجاد تغییرات در مقادیر سمت راست محدودیت‌ها (ε_i) جواب‌های کارای مسئله به دست می‌آید.

جدول ۲. نتایج مقایسه‌ای حل در ابعاد کوچک و متوسط

محدودیت اپسیلون			مرتب‌سازی غیر غالب			درصد خطا				
f_3	f_2	f_1	زمان (ثانیه)	f_3	f_2	f_1	زمان (ثانیه)	f_3	f_2	f_1
۲/۳۵۳۷	۲/۸۹/۴	۵/۰۹	۱	۳/۳۵۴۷	۲/۸۹/۴	۵/۰۹	۱	۰	۰/۰۰	۰
۸/۳۵۳۹۶	۳/۰۰/۲	۵/۴۲	۳۷	۸/۳۵۳۹۶	۳/۰۰/۲	۵/۴۲	۵	۰	۰/۰۰۰۰۰/۰	۰
۳/۵۵۳۳	۳/۰۰/۳	۶/۵۰	۴۹	۱/۳۵۵۴۵	۳/۰۲/۱	۶/۵۰	۶	۰/۰۰/۲	۰/۰۰۳۳۷	۰/۰۰۱۵۴
۶/۳۵۵۴۹	۳/۲۲	۶/۹۲	۹۹	۳/۵۵۶/۳	۳/۲۰/۳	۶/۹۲	۱۳	۰/۰۰/۳	۰/۰۰۵۳۱	۰/۰۰۰۳۹
۱/۳۵۵۵۷	۶/۳۱/۷	۱۴/۵۷	۱۰۲۱	۶/۳۵۵۷۲	۶/۲۹	۱۴/۵۷	۲۶	۰/۰۰/۶	۰/۰۰۴۴۵	۰/۰۰۲۰۶
۸/۵۶۱۷۸	۷/۴۰/۴	۱۵/۷۲	۱۴۱۳	۹/۵۶۱۹۹	۷/۳۷/۵	۱۵/۷۲	۳۳	۰/۰۰/۱	۰/۰۰۳۹۳	۰/۰۰۲۵۵
۸/۵۶۱۹۴	۸/۰۷/۲	۱۶/۰۴	۲۹۳۴	۳/۵۶۱۲۲	۸/۰۴/۶	۱۶/۰۴	۳۹	۰/۰۰/۴	۰/۰۰۳۳۳	۰/۰۰۲۵۰
۶/۵۶۱۲۳	۹/۸۶/۵	۱۹/۰۹	۷۳۷۱	۹/۵۶۱۴۵	۹/۸۳/۳	۱۹/۰۹	۶۴	۰/۰۰/۲	۰/۰۰۳۲۵	۰/۰۰۱۰۵

جدول ۲، نتایج حل مدل را در اندازه متوسط و کوچک نشان می‌دهد. چهار نمونه اول مربوط به میانگین جواب‌های مدل در حالت کوچک و چهار نمونه بعدی مربوط به میانگین جواب‌های مدل در اندازه متوسط است. در این جدول نتایج حل دقیق با نتایج روش NSGA-II مقایسه شده است.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، میانگین درصد خطاهای مقادیر تابع هدف زیر یک درصد است. با توجه به اختلاف کم خطای دو الگوریتم، صحت عملکرد و کارایی الگوریتم NSGA-II اثبات می‌شود و می‌توان برای حل مسائل در ابعاد بزرگ نیز به NSGA-II اعتماد کرد. نتایج حل نشان می‌دهد که با بزرگ‌تر شدن ابعاد مسئله زمان حل هر دو روش افزایش می‌یابد؛ البته سرعت افزایش زمان حل روش محدودیت اپسیلون به مراتب بیشتر از NSGA-II است؛ بنابراین با توجه به نتایج جدول ۲، می‌توان برای حل مسائل در ابعاد بزرگ به الگوریتم NSGA-II اعتماد کرد. شکل ۸، نقاط پارتوی مستخرج از مطالعه موردی را نشان می‌دهد. با توجه به چندهدفی بودن مدل جواب‌ها به صورت جبهه پارتو قابل‌ترسیم هستند. نقاط دایره‌شکل نتایج ناشی از حل رویکرد محدودیت اپسیلون و نقاط ستاره‌شکل ناشی از حل رویکرد ژنتیک نامغلوب است.



شکل ۸ نمایش سه‌بعدی نقاط پارتو حاصل از نمونه عددی

مطالعه موردی. در این پژوهش مطالعه موردی «کارخانه صنعت چوب شمال» برای بررسی دقت و صحت مدل پیشنهادی در نظر گرفته شده است. از عمده محصولات این کارخانه نئوپان خام و نئوپان ملامینه است. این شرکت در سال ۱۳۵۷ با تولید نئوپان خام با ظرفیت تولید ۸۰۰۰۰ مترمکعب با فناوری روز آلمان آغاز به کار کرد. در حال حاضر این کارخانه با ۵ شعبه اصلی، ۵ تأمین‌کننده و توزیع اصلی در حال فعالیت است. در این کارخانه تعداد مراکز مشتریان عمده برابر با ۶، تعداد مراکز جمع‌آوری، بازیافت و انهدام برابر با ۵، تعداد محصول برابر با ۲،

تعداد دوره برابر با ۲، تعداد سناریو برابر با ۲ و تعداد سطوح کیفیت برابر با ۳ است. با توجه به سه هدفه‌بودن مسئله موردنظر جواب‌ها برای یک نقطه پارتوی مشخص برای مطالعه موردی گزارش شده است. نحوه انتخاب نقطه پارتو بدین صورت است که با توجه به مهم‌تر بودن عامل هزینه (تابع هدف اول) نسبت به مسئولیت اجتماعی و زیست‌محیطی (تابع هدف دوم و سوم)، نقطه پارتویی برای کالای شماره ۱ انتخاب می‌شود که کمترین مقدار هزینه را داشته باشد. یادآوری این نکته لازم است که مقدار گامای محاسبه‌شده برای نقطه پارتوی موردنظر ۶۶۷۵۰ است. برخی از پارامترهای ورودی مسئله به شرح زیر است. جدول ۳، میزان تقاضای مشتریان را در هر دوره نشان می‌دهد.

جدول ۳. میزان تقاضای محصول s توسط مشتری i در دوره t

مشتری	تقاضای دوره ۱	مشتری	تقاضای دوره ۲
مشتری ۱	محصول ۱ ۱۲۵۰	مشتری ۱	محصول ۱ ۱۳۰۰
مشتری ۱	محصول ۲ ۳۴۵۰	مشتری ۱	محصول ۲ ۳۶۰۰
مشتری ۲	محصول ۱ ۱۵۰۰	مشتری ۲	محصول ۱ ۱۵۰۰
مشتری ۲	محصول ۲ ۳۵۰۰	مشتری ۲	محصول ۲ ۳۰۰۰
مشتری ۳	محصول ۱ ۱۳۰۰	مشتری ۳	محصول ۱ ۱۰۰۰
مشتری ۳	محصول ۲ ۲۸۰۰	مشتری ۳	محصول ۲ ۳۲۰۰
مشتری ۴	محصول ۱ ۱۰۰۰	مشتری ۴	محصول ۱ ۱۳۰۰
مشتری ۴	محصول ۲ ۲۵۰۰	مشتری ۴	محصول ۲ ۲۵۰۰
مشتری ۵	محصول ۱ ۱۱۵۰	مشتری ۵	محصول ۱ ۱۴۰۰
مشتری ۵	محصول ۲ ۳۱۰۰	مشتری ۵	محصول ۲ ۳۴۰۰
مشتری ۶	محصول ۱ ۱۱۰۰	مشتری ۶	محصول ۱ ۱۰۰۰
مشتری ۶	محصول ۲ ۳۰۰۰	مشتری ۶	محصول ۲ ۳۰۰۰

جدول ۴، هزینه تولید یک محصولات را در هر دوره نشان می‌دهد.

جدول ۴. هزینه تولید یک واحد محصول s در دوره t

هزینه تولید دوره ۱	هزینه تولید دوره ۲
محصول ۱ ۵۰	محصول ۱ ۷۵
محصول ۲ ۸۰	محصول ۲ ۱۰۰

جدول ۵، هزینه احداث مرکز جمع‌آوری و احیا را در مطالعه موردی نشان می‌دهد.

جدول ۵. هزینه احداث مرکز جمع‌آوری در محل m

هزینه	مرکز جمع‌آوری
۳۰۰	مرکز ۱
۴۸۰	مرکز ۲
۳۵۰	مرکز ۳
۳۲۰	مرکز ۴
۴۰۰	مرکز ۵

جدول ۶. ظرفیت مراکز بازیافت را نشان می‌دهد.

جدول ۶. ظرفیت مرکز بازیافت در محل p

ظرفیت	مرکز جمع‌آوری
۲۰۰۰	مرکز ۱
۳۰۰۰	مرکز ۲
۲۰۰۰	مرکز ۳
۳۵۰۰	مرکز ۴
۳۰۰۰	مرکز ۵

نتایج حل مدل در نرم‌افزار متلب به‌صورت زیر است. جدول ۵، نقاط پارتوی حاصل از حل مدل را نشان می‌دهد. در این جدول ۱۰ نقطه مورد بررسی قرار گرفته و بررسی زمان حل نمایانگر عملکرد مناسب الگوریتم پیشنهادی است.

جدول ۷. نقاط پارتوی به‌دست‌آمده از حل مدل

زمان (ثانیه)	f_3	f_2	f_1
۱	۷۷۳۶۲/۲	۱۸۲۰/۶	۵۷۷۵۸/۱
۴	۷۷۳۶۶/۶	۱۸۲۳	۵۷۸۸۱
۷	۷۷۳۶۵/۱	۱۸۳۰/۵	۵۷۸۰۰/۱
۱۴	۷۷۳۷۰	۱۸۲۹/۹	۵۷۳۷۹
۱۵	۷۷۳۶۳/۵	۱۸۲۶/۱	۵۷۶۷۰/۲
۱۸	۷۷۳۶۵/۵	۱۸۳۱/۱	۵۷۷۸۸/۶
۲۲	۷۷۳۶۸/۱	۱۸۳۲/۷	۵۷۸۴۱/۳
۲۳	۷۷۳۶۲/۹	۱۸۳۱/۳	۵۷۸۴۲/۲
۲۶	۷۷۳۶۴/۶	۱۸۲۸/۹	۵۷۸۴۹/۴
۲۹	۷۷۳۶۴/۷	۱۸۳۳/۸	۵۸۰۴۴/۵

جدول ۸. مقادیر متغیر مکان‌یابی مراکز توزیع، جمع‌آوری، بازیافت و دفن

شماره مرکز	مرکز دفن	مرکز بازیافت	مرکز جمع‌آوری	مرکز توزیع
۱	۰	۱	۰	۱
۲	۱	۰	۱	۱
۳	۱	۰	۱	۱
۴	۰	۰	۱	۰
۵	۰	۱	۰	۱

جدول ۹. مقادیر جریان محصول از مراکز تأمین به مراکز تولید ($X_{ij, sen}^{jt}$)

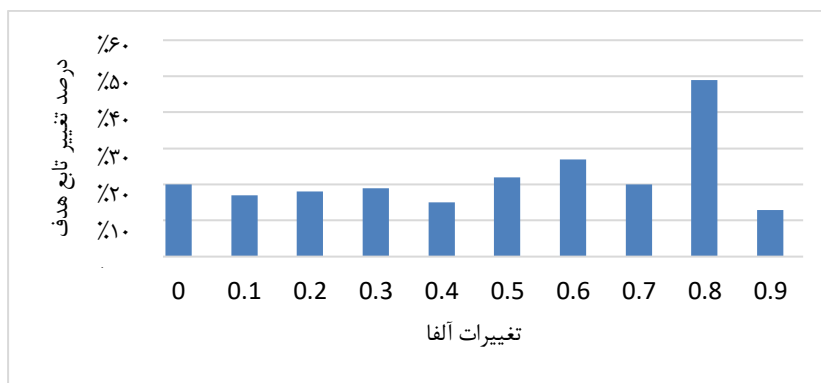
(sen1, t1)	(sen1, t2)	(sen2, t1)	(sen2, t2)	(I, j)/ (sen, t)
۷۳۹	۷۱۰	۱۰۰	۱۱۰	(i1, j1)
۸۹۷	۸۷۶	۲۷۰	۳۲۰	(i1, j4)
۸۳۹	۹۴۱	۵۱۴	۵۰۱	(i2, j3)
۷۲۱	۱۰۱۴	۲۷۱	۲۹۵	(i2, j2)
۱۰۹۰	۹۶۱	۴۴۰	۴۳۵	(i3, j5)
۱۳۰۴	۹۵۹	۳۳۴	۲۹۲	(i3, j4)
۷۲۵	۷۴۱	۲۷۰	۳۱۳	(i4, j1)
۱۱۰۰	۹۱۰	۴۱۰	۴۰۸	(i4, j4)
۸۴۰	۹۲۰	۳۴۷	۳۷۰	(i5, j3)
۹۵۱	۸۳۰	۲۵۶	۲۲۶	(i5, j4)

جدول ۱۰. مقدار جریان محصول بازگشتی از مشتریان به مراکز جمع‌آوری یا سطح کیفیت ۱، ۲ و ۳

کیفیت اول			کیفیت دوم				کیفیت سوم			$(I, m)/$ (sen, t)
sen1,t1	sen1,t2	sen2,t1	sen2,t2	sen1,t1	sen1,t2	sen2,t1	sen2,t2	sen1,t1	sen2,t1	
۶۴	۶۴	۲۳	۸۵	۹۷	۶۷	۶۴	۶۴	۹۸	۸۷	(11,m1)
۵۷	۵۷	۴۷	۸۵	۱۰۱	۶۳	۵۷	۵۷	۱۲۲	۱۰۸	(12,m1)
۶۵	۶۵	۴۷	۷۰	۸۴	۶۴	۶۵	۶۴	۸۷	۷۷	(14,m1)
۵۹	۵۹	۵۵	۷۷	۷۰	۶۸	۶۷	۶۸	۹۵	۸۰	(16,m1)
۵۴	۵۴	۴۴	۸۴	۸۶	۷۰	۷۵	۷۰	۱۰۶	۸۷	(11,m2)
۵۰	۵۰	۲۸	۸۸	۱۰۰	۶۵	۷۸	۶۵	۱۱۰	۹۶	(12,m2)
۵۸	۵۸	۲۸	۷۸	۷۴	۶۵	۶۶	۶۵	۹۵	۸۸	(13,m2)
۲۹	۲۹	۲۰	۸۱	۸۹	۵۱	۴۳	۵۱	۹۲	۸۵	(14,m2)
۴۶	۴۶	۳۹	۸۹	۱۰۵	۵۴	۵۱	۵۴	۱۰۶	۹۰	(15,m2)
۶۶	۶۶	۳۷	۶۶	۷۵	۶۳	۶۵	۶۳	۹۴	۶۹	(16,m2)
۲۸	۲۸	۲۵	۸۸	۸۳	۵۷	۶۶	۵۷	۱۰۸	۹۰	(11,m3)
۶۱	۶۱	۲۱	۸۷	۹۴	۶۸	۷۵	۶۸	۱۰۶	۱۱۱	(14,m3)
۴۸	۴۸	۳۳	۸۵	۱۰۰	۵۸	۶۶	۵۸	۱۰۵	۸۷	(16,m3)

کیفیت سوم				کیفیت دوم				کیفیت اول				(l,m)/(sen,t)
sen2,t2	sen2,t1	sen1,t2	sen1,t1	sen2,t2	sen2,t1	sen1,t2	sen1,t1	sen2,t2	sen2,t1	sen1,t2	sen1,t1	
۸۱	۹۵	۱۱۴	۱۱۰	۴۲	۴۸	۷۷	۷۰	۲۶	۲۶	۳۹	۲۳	(12,m4)
۹۴	۹۴	۱۱۲	۱۰۰	۷۳	۶۹	۸۴	۸۴	۳۲	۳۳	۳۳	۳۷	(15,m4)
۹۲	۱۰۱	۱۰۲	۱۰۷	۶۷	۶۵	۷۵	۷۵	۳۱	۳۶	۵۶	۶۳	(16,m4)
۱۰۷	۹۵	۱۱۹	۱۱۲	۸۰	۷۶	۸۶	۹۴	۴۰	۴۵	۵۳	۵۰	(11,m5)
۷۸	۸۳	۱۰۲	۹۷	۶۳	۷۶	۹۵	۸۱	۵۰	۵۱	۶۴	۵۷	(13,m5)
۷۷	۸۴	۸۸	۹۵	۵۸	۵۵	۹۴	۸۳	۲۰	۱۹	۲۵	۲۴	(15,m5)

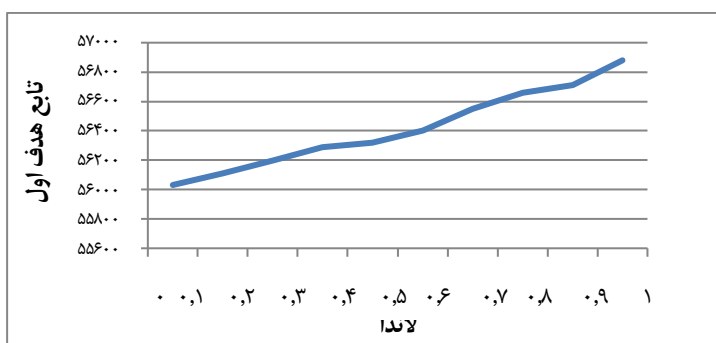
شکل ۹، درصد تغییرات تابع هدف به‌ازای مقادیر مختلف آلفا را نشان می‌دهد. هر چه آلفا بیشتر شود، باید هزینه بیشتری صرف کرد؛ ولی این افزایش در هزینه‌ها به‌صورت خطی نیست و بیشترین افزایش در تابع هدف به تغییرات آلفا از ۰/۸ به ۰/۹ مربوط می‌شود که این تغییر نسبت به بازه قبلی تقریباً دو برابر است و نشان می‌دهد که در سطح معناداری بیش از ۰/۸ هزینه زیادتری به وقوع خواهد پیوست.



شکل ۷. تحلیل حساسیت تابع هدف نسبت به مقادیر آلفا

شکل ۱۰، نسبت تغییرات تابع هدف را به تغییرات در نرخ ریسک‌گریزی (λ) نشان می‌دهد. و این امر به‌معنای این است که تصمیم‌گیرنده تا چه حد می‌خواهد به ریسک اهمیت دهد، اگر λ برابر صفر فرض شود؛ به این معنا است که تصمیم‌گیرنده فقط به دنبال کاهش هزینه است و از طرفی اگر λ برابر ۱ فرض شود؛ به این معنا است که زیان احتمالی از اهمیت خیلی بالایی نسبت به کاهش هزینه‌ها برای تصمیم‌گیرنده برخوردار است. این نمودار همچنین نشان می‌دهد که تابع هدف رابطه‌ای کاملاً خطی با مقدار ریسک‌گریزی تصمیم‌گیرنده دارد؛ به‌طوری‌که هر چه

تصمیم‌گیرنده ریسک‌پذیرتر باشد، مقدار تابع هدف کمتر خواهد بود و برای فاصله‌گرفتن از ریسک تا حدممکن، باید هزینه بیشتری انجام داد.



شکل ۸. تغییرات تابع هدف به ازای مقادیر مختلف لاندا

۵. نتیجه‌گیری و پیشنهادها

کالاهای برگشتی در صورتی که به‌درستی در زنجیره تأمین معکوس مدیریت شوند می‌توانند یک مزیت رقابتی نسبت به سایر رقبا برای شرکت فراهم کنند. این در حالی است که در صورت عدم مدیریت صحیح زنجیره تأمین معکوس، شرکت‌ها با تهدید بزرگی مواجه می‌شوند؛ از این رو مدیران باید همان اهمیت که برای زنجیره تأمین مستقیم قائل هستند را برای زنجیره تأمین معکوس نیز قائل باشند. برای مدیریت یک زنجیره تأمین حلقه‌بسته پایدار موفق، توصیه‌های زیر برای مدیران ارزشمند خواهد بود. توجه به بُعد اجتماعی در یک زنجیره تأمین، به‌خصوص در شرایط عدم ثبات بازار و جهت‌گیری مداوم بازار به سمت رکود و رونق می‌تواند مزایای فراوانی برای سازمان‌ها و مدیران زنجیره تأمین داشته باشد. برای مثال، زمانی که بازار در رونق به سر می‌برد، با مدل‌سازی و پیش‌بینی صحیح از وضعیت بازار در شرایط رکود و آماده‌بودن برای دوران رکود می‌توان نرخ بیکاری و اخراج و حتی آسیب کار را تا حد زیادی کاهش داد و این مسئولیت اجتماعی یک شرکت در قبال جامعه است؛ چراکه چنین پیش‌بینی باعث کاهش نرخ جرم، فساد و بزهکاری و می‌تواند سطح امید و رفاه را در جامعه بالا ببرد.

مطالعه موردی نیز «کارخانه صنعت چوب شمال» است که یک مدل ریاضی سه‌هدفه حلقه بسته پایدار با در نظر گرفتن سطح کیفیت و ریسک در زنجیره تأمین این کارخانه ارائه شده است. کاهش هزینه‌های زیست‌محیطی و سیستم همراه با کمینه‌کردن ریسک زنجیره تأمین از جمله اهداف این پژوهش به‌شمار می‌رود. نتایج حل مدل نشان می‌دهد که میانگین نقاط پارتو حاصل از تابع هدف اول برابر ۵۶۷۸۹/۹، میانگین نقاط پارتو برای تابع هدف دوم برابر ۱۸۲۸/۸ و برای تابع هدف سوم برابر ۷۷۳۶۵/۳۲ و همچنین میانگین زمان حل مدل برابر ۱۵/۹ ثانیه است. نتایج تحلیل حساسیت نمایانگر آن است که با افزایش میزان هزینه‌های حمل‌ونقل تعداد مراکز توزیع

تأسیس شده تا میزان مشخصی افزایش می‌یابد و در نهایت روی عددی ثابت می‌ماند؛ همچنین با افزایش میزان هزینه‌های حمل از تأمین‌کننده به تولیدکننده تعداد مراکز توزیع تأسیس شده افزایش زیادی می‌یابد. علاوه بر این افزایش ظرفیت تسهیلات موجب کاهش هزینه‌های سیستم خواهد شد. بررسی زمان حل در الگوریتم NSGA-II نمایانگر عملکرد مناسب الگوریتم پیشنهادی است.

نوآوری‌های پژوهش به شرح زیر است:

۱. توجه به کیفیت محصولات تولیدی؛ ۲. در نظر گرفتن ریسک در زنجیره تأمین حلقه‌بسته پایدار؛ ۳. در نظر گرفتن عدم قطعیت در زنجیره تأمین با استفاده از سناریوهای تعریف شده؛ ۴. چنددوره‌ای بودن و چندمحصولی بودن مدل؛ ۵. سفارشی کردن مدل پیشنهادی برای یک مطالعه موردی واقعی.

با توجه به توابع هدف و محدودیت‌های بیان شده و همچنین حلقه‌بسته بودن زنجیره تأمین پیشنهادی می‌توان گفت که مدل پیشنهادی پاسخگوی انواع زنجیره‌های تأمین حلقه‌بسته از جمله «زنجیره تأمین خودرو»، «زنجیره تأمین پیل و باتری‌های خورشیدی»، «زنجیره تأمین نفت و گاز»، «زنجیره تأمین مواد پلاستیکی بازیافتی» و غیره است. از نظر مدیریتی به مدیران توصیه می‌شود که همیشه تخمینی از وضع تقاضا در دوره‌های رونق و رکود داشته باشند و در کنار آن با استفاده از مدل ارائه شده می‌توانند با انتخاب سطح ریسک مورد نظر در CVaR از طریق تغییر مقادیر آلفا و پارامتر وزنی آن، یعنی لاند، دید خیلی خوبی نسبت به وضعیت آینده زنجیره تأمین داشته باشند؛ بنابراین مدل ارائه شده انعطاف بسیار مناسبی برای مدیران در راستای بهبود وضعیت زنجیره تأمین دارد.

برای مطالعات آینده نیز موارد زیر پیشنهاد می‌شود:

- در نظر گرفتن بازی رقابتی بین اعضای زنجیره تأمین در مدل پیشنهادی؛
- در نظر گرفتن سایر اهداف در مدل؛ مانند بیشینه کردن تاب‌آوری زنجیره یا کمینه کردن زمان تحویل؛
- در نظر گرفتن عدم قطعیت در قیمت و نرخ‌های بازگشتی و حل مسئله با رویکرد برنامه‌ریزی دوسطحی؛
- در نظر گرفتن مدل حمل به صورت چندگانه؛ مانند در نظر گرفتن خاور، کانتینر یا حمل ریلی و هوایی.

منابع

1. Ahmad, W. N. K. W., Rezaei, J., Tavasszy, L. A., & de Brito, M. P. (2016). Commitment to and preparedness for sustainable supply chain management in the oil and gas industry. *Journal of environmental management*, 180, 202-213.
2. Ahmad, W. N. K. W., Rezaei, J., Tavasszy, L. A., & de Brito, M. P. (2016). Commitment to and preparedness for sustainable supply chain management in the oil and gas industry. *Journal of environmental management*, 180, 202-213.
3. Taghizadeh Yazdi., M., Salmani Zarchi, (2019). Presenting a comprehensive multi-objective model of supply chain of multi-level-multi-product green closed loop with the classic approach of weighted total: Pareto front production (Case study: Shahpar Mumtaz Shoes Company). *Industrial Management Perspective*, 36, 107-137 (In Persian)
4. Aqlan, F., & Lam, S. S. (2016). Supply chain optimization under risk and uncertainty: A case study for high-end server manufacturing. *Computers & Industrial Engineering*, 93, 78-87.
5. Aras, N., Aksen, D., & Tanuğur, A. G. (2008). Locating collection centers for incentive-dependent returns under a pick-up policy with capacitated vehicles. *European Journal of Operational Research*, 191(3), 1223-1240.
6. Soleimani, H., & Govindan, K. (2014). Reverse logistics network design and planning utilizing conditional value at risk. *European Journal of Operational Research*, 237(2), 487-497.
7. Baptista, S., Barbosa-Póvoa, A. P., Escudero, L. F., Gomes, M. I., & Pizarro, C. (2019). On risk management of a two-stage stochastic mixed 0-1 model for the closed-loop supply chain design problem. *European Journal of Operational Research*, 274(1), 91-107.
8. Chan, F. T., Jha, A., & Tiwari, M. K. (2016). Bi-objective optimization of three echelon supply chain involving truck selection and loading using NSGA-II with heuristics algorithm. *Applied Soft Computing*, 38, 978-987.
9. Cheraghalipour, A., Paydar, M. M., & Hajiaghahi-Keshteli, M. (2018). A bi-objective optimization for citrus closed-loop supply chain using Pareto-based algorithms. *Applied Soft Computing*, 69, 33-59.
10. Jia, F., Zhang, T., & Chen, L. (2020). Sustainable supply chain Finance: Towards a research agenda. *Journal of Cleaner Production*, 243, 118680.
11. Das, K., & Chowdhury, A. H. (2012). Designing a reverse logistics network for optimal collection, recovery and quality-based product-mix planning. *International Journal of Production Economics*, 135(1), 209-221.
12. Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., & Meyarivan, T. A. M. T. (2002). A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. *IEEE transactions on evolutionary computation*, 6(2), 182-197.
13. Dehghan, E., Nikabadi, M. S., Amiri, M., & Jabbarzadeh, A. (2018). Hybrid robust, stochastic and possibilistic programming for closed-loop supply chain network design. *Computers & Industrial Engineering*, 123, 220-231.
14. Manupati, V. K., Schoenherr, T., Ramkumar, M., Wagner, S. M., Pabba, S. K., & Inder Raj Singh, R. (2020). A blockchain-based approach for a multi-echelon sustainable supply chain. *International Journal of Production Research*, 58(7), 2222-2241.

15. Modica, P. D., Altinay, L., Farmaki, A., Gursoy, D., & Zenga, M. (2020). Consumer perceptions towards sustainable supply chain practices in the hospitality industry. *Current Issues in Tourism*, 23(3), 358-375.
16. Ene, S., & Öztürk, N. (2014). Open loop reverse supply chain network design. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 109, 1110-1115.
17. Farrokh, M., Azar, A., Jandaghi, G., & Ahmadi, E. (2018). A novel robust fuzzy stochastic programming for closed loop supply chain network design under hybrid uncertainty. *Fuzzy Sets and Systems*, 341, 69-91.
18. Rahimi, M., & Ghezavati, V. (2018). Sustainable multi-period reverse logistics network design and planning under uncertainty utilizing conditional value at risk (CVaR) for recycling construction and demolition waste. *Journal of Cleaner Production*, 172, 1567-1581
19. Flygansvær, B., Dahlstrom, R., & Nygaard, A. (2018). Exploring the pursuit of sustainability in reverse supply chains for electronics. *Journal of Cleaner Production*, 189, 472-484.
20. Yun, Y., Chuluunsukh, A., & Gen, M. (2020). Sustainable Closed-Loop Supply Chain Design Problem: A Hybrid Genetic Algorithm Approach. *Mathematics*, 8(1), 84.
21. Masoudipour, E., Amirian, H., & Sahraeian, R. (2017). A novel closed-loop supply chain based on the quality of returned products. *Journal of cleaner production*, 151, 344-355.
22. Reyhani Yamchi, H., Jabarzadeh, Y., Ghaffarinasab, N., Kumar, V., & Garza-Reyes, J. A. (2020). A multi-objective linear optimization model for designing sustainable closed-loop agricultural supply chain.
23. Jeihoonian, M., Zanjani, M. K., & Gendreau, M. (2017). Closed-loop supply chain network design under uncertain quality status: Case of durable products. *International Journal of Production Economics*, 183, 470-486.
24. Kim, J., Do Chung, B., Kang, Y., & Jeong, B. (2018). Robust optimization model for closed-loop supply chain planning under reverse logistics flow and demand uncertainty. *Journal of cleaner production*, 196, 1314-1328.
25. Goh, M., & Meng, F. (2009). A stochastic model for supply chain risk management using conditional value at risk. In *Managing Supply Chain Risk and Vulnerability* (pp. 141-157). Springer, London.
26. Huang, L., Murong, L., & Wang, W. (2020). Green closed-loop supply chain network design considering cost control and CO2 emission. *Modern Supply Chain Research and Applications*.
27. Mota, B., Gomes, M. I., Carvalho, A., & Barbosa-Povoa, A. P. (2018). Sustainable supply chains: An integrated modeling approach under uncertainty. *Omega*, 77, 32-57.
28. Radfar, A, Mohammaditabar, D, (2019), Two-objective optimization of the inventory management problem by the vendor in a green multilevel supply chain, *Industrial Management Perspective*, 35, 109-134 (In Persian)
29. Paydar, M. M., Babaveisi, V., & Safaei, A. S. (2017). An engine oil closed-loop supply chain design considering collection risk. *Computers & Chemical Engineering*, 104, 38-55.
30. Pedram, A., Yusoff, N. B., Udoney, O. E., Mahat, A. B., Pedram, P., & Babalola, A. (2017). Integrated forward and reverse supply chain: A tire case study. *Waste Management*, 60, 460-470.

31. Phuc, P. N. K., Vincent, F. Y., & Tsao, Y. C. (2017). Optimizing fuzzy reverse supply chain for end-of-life vehicles. *Computers & Industrial Engineering*, 113, 757-765.
32. Rockafellar, R. T., & Uryasev, S. (2000). Optimization of conditional value-at-risk. *Journal of risk*, 2, 21-42.
33. Rockafellar, R. T., & Uryasev, S. (2002). Conditional value-at-risk for general loss distributions. *Journal of banking & finance*, 26(7), 1443-1471.
34. Saedinia, R., Vahdani, B., Etebari, F., & Nadjafi, B. A. (2019). Robust gasoline closed loop supply chain design with redistricting, service sharing and intra-district service transfer. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 123, 121-141.
35. Rabbani, M., Hosseini-Mokhallesun, S. A. A., Ordibazar, A. H., & Farrokhi-Asl, H. (2020). A hybrid robust possibilistic approach for a sustainable supply chain location-allocation network design. *International Journal of Systems Science: Operations & Logistics*, 7(1), 60-75.
36. Salimi, F., & Vahdani, B. (2018). Designing a bio-fuel network considering links reliability and risk-pooling effect in bio-refineries. *Reliability Engineering & System Safety*, 174, 96-107.
37. Asgari, Nasrin, Ehsan Nikbakhsh, Alex Hill, and Reza Zanjirani Farahani. Supply chain management 1982–2015: a review. *IMA Journal of Management Mathematics*, 27(3), 353-379.
38. Sawik, T. (2011). Supplier selection in make-to-order environment with risks. *Mathematical and Computer Modelling*, 53(9-10), 1670-1679.
39. Singh, S. R., & Saxena, N. (2013). A closed loop supply chain system with flexible manufacturing and reverse logistics operation under shortages for deteriorating items. *Procedia Technology*, 10, 330-339.
40. Sobotka, A., Sagan, J., Baranowska, M., & Mazur, E. (2017). Management of reverse logistics supply chains in construction projects. *Procedia engineering*, 208, 151-159.
41. Qian, X., Chan, F. T., Zhang, J., Yin, M., & Zhang, Q. (2020). Channel coordination of a two-echelon sustainable supply chain with a fair-minded retailer under cap-and-trade regulation. *Journal of Cleaner Production*, 244, 118715.
42. Vahdani, B., & Ahmadzadeh, E. (2019). Designing a realistic ICT closed loop supply chain network with integrated decisions under uncertain demand and lead time. *Knowledge-Based Systems*.
43. Vahdani, B., Razmi, J., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2012). Fuzzy possibilistic modeling for closed loop recycling collection networks. *Environmental Modeling & Assessment*, 17(6), 623-637.
44. Zhou, Y. J., Chen, X. H., & Wang, Z. R. (2008). Optimal ordering quantities for multi-products with stochastic demand: Return-CVaR model. *International Journal of Production Economics*, 112(2), 782-795.
45. Zhao, X., Xia, X., Wang, L., & Yu, G. (۲۰۱۸). Risk-Averse Facility Location for Green Closed-Loop Supply Chain Networks Design under Uncertainty. *Sustainability*, 10(11), 4072.
46. Wu, Z., Kwong, C. K., Aydin, R., & Tang, J. (2017). A cooperative negotiation embedded NSGA-II for solving an integrated product family and supply chain design problem with remanufacturing consideration. *Applied Soft Computing*, 57, 19-34.

47. Xu, X., Meng, Z., & Shen, R. (2013). A tri-level programming model based on Conditional Value-at-Risk for three-stage supply chain management. *Computers & Industrial Engineering*, 66(2), 470-475.
48. Xu, Z., Elomri, A., Pokharel, S., Zhang, Q., Ming, X. G., & Liu, W. (2017). Global reverse supply chain design for solid waste recycling under uncertainties and carbon emission constraint. *Waste management*, 64, 358-370.
49. Yi, J. H., Deb, S., Dong, J., Alavi, A. H., & Wang, G. G. (2018). An improved NSGA-III Algorithm with adaptive mutation operator for big data optimization problems. *Future Generation Computer Systems*, 88, 571-585.
50. Yu, H., & Solvang, W. D. (2018). Incorporating flexible capacity in the planning of a multi-product multi-echelon sustainable reverse logistics network under uncertainty. *Journal of cleaner production*, 198, 285-303.
51. Heidari, J., Memarian, A., Bozorgi Amiri, (2019). A, Coordination of environmental quality decisions and product quality of products in a two-tier green supply chain. *The Journal of Industrial Management Perspective*, 33, 87-114. (In Persian)