Journal of Industrial Management Studies
Vol. 20, No.66, Fall 2022; p 251-298
jims.atu.ac.ir
DOI: 10.22054/jims.2019.28431.1966

ATU PRESS

Original Research
Accepted: 13/06/2019
Received: 02/01/2018
eISSN: 2476-602X
ISSN: 2251/8029

Multi-Objective Optimization Model for Risk Assessment in the Closed-Loop sustainable Supply Chain under Uncertainty: Using Constrained Risk Value Approach (CVAR)

Meisam Jafari Eskandari *
Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran.

Hani Emami Saloot
M.S.C Industrial Engineering, Payame Noor University, Tehran, Iran.

Abstract

In this research, a model for a sustainable closed-loop supply chain with economic, social and environmental considerations, along with the risk arising from uncertainty in parameters, is presented. Stochastic programming has been used for modeling this problem and also using the scale of value Exposure to conditional risk is measured by risk. The aim of this model is to maximize network design benefits, reduce unemployment and increase job opportunities resulting from the construction of facilities and minimize the production of carbon produced through intranets, production centers, recycling, repair, re-production. Other goals include minimizing the risk posed by uncertainty in transportation costs and customer demand. In the end, in order to demonstrate the efficiency of the model, an example is solved with certainty and uncertainty with the risk measurement criterion, and the pareto optimal solutions are compared. Results show that, with increasing risk, the profit from the supply chain network has decreased and should be costlier to face the risk.

Keywords: Sustainable Closed-Loop Supply Chain, Conditional Value Risk Value (CVaR), Stochastic Planning, Uncertainty.

* Corresponding Author: meisam_jafari@pnu.ac.ir
How to Cite: Jafari Eskandari, M., Emami Saloot, H. (2022). Multi-Objective Optimization Model for Risk Assessment in the Supply Chain of a Closed Close Loop under Uncertainty Conditions in Parameters: Using a Constrained Risk Value Approach (CVAR), *Journal of Industrial Management Studies*, 20(66), 251-298.

مقاله پژوهشی

تاریخ ارسال: ۱۳۹۶/۰۶/۱۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۳/۲۳

ISSN: 2251/8029

eISSN: 2476-602X

فصلنامه مطالعات مدیریت صنعتی

سال بیستم، شماره ٦٦، پاییز ١٤٠١، ص ٢٥١ تا ٢٩٨

jims.atu.ac.ir

DOI: 10.22054/jims.2019.28431.1966

مدل بهینه‌سازی چند هدفه جهت ارزیابی ریسک در زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار تحت شرایط عدم قطعیت در پارامترها: استفاده از رویکرد ارزش در معرض ریسک شرطی (CVaR)

میثم جعفری اسکندری * گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

هانی امامی سلوط کارشناس ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

چکیده

در این تحقیق مدلی برای یک زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار با در نظرگرفتن ملاحظات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی به همراه ریسک ناشی از عدم قطعیت در پارامترها ارائه می‌گردد که برای مدل‌سازی این مسئله از برنامه‌ریزی تصادفی استفاده‌شده و همچنین با استفاده از مقیاس ارزش در معرض ریسک شرطی به اندازه‌گیری ریسک‌ها پرداخته می‌شود. هدف این مدل ماکسیمم کردن سود طراحی شبکه، کاهش نرخ بیکاری و افزایش فرصت‌های شغلی ناشی از احداث مراکز و مینیمم کردن کربن تولیدشده حاصل از حمل‌ونقل‌های درون شبکه، مراکز تولید، بازیافت، تعمیر، تولید مجدد می‌باشد. از دیگر اهداف این مسئله می‌توان به مینیمم کردن ریسک ناشی از عدم قطعیت در هزینه حمل‌ونقل و تقاضای مشتری نیز اشاره نمود. در پایان جهت نشان دادن کارایی مدل، مثالی تحت شرایط قطعیت و عدم قطعیت با معیار اندازه‌گیری ریسک حل نموده و جواب‌های بهینه پارتو آن‌ها باهم مقایسه می‌گردد. نتایج این تحقیق بیانگر این مطلب می‌باشد که با افزایش ریسک، سود ناشی از شبکه زنجیره تأمین کاهش‌یافته و جهت مواجه‌شدن با ریسک می‌بایست هزینه بیشتری را متحمل گردید.

کلیدواژه‌ها: زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار، ارزش در معرض ریسک شرطی (CVAR)، برنامه‌ریزی تصادفی، عدم قطعیت.

* نویسنده مسئول: meisam_jafari@pnu.ac.ir

مقدمه

امروزه ضرورت و اهمیت مسئولیت‌پذیری و اثرات اجتماعی شرکت‌ها باعث شده که مدیران و برنامه‌ریزان سازمان‌ها تأکید ویژه‌ای بر عناصر این موضوع در مأموریت‌ها، چشم‌اندازها و استراتژی‌های سازمان خود داشته باشند. مسئولیت‌پذیری اجتماعی شرکت‌ها به‌عنوان تأثیر فعالیت‌های شرکت‌ها در گروه‌های مختلف اجتماعی، ازجمله حقوق کارکنان، ایمنی محل کار، شرایط مناسب برای کارکنان و افزایش فرصت‌های شغلی و غیره تعریف‌شده همچنین امروزه به دلیل اهمیت یافتن معیارهای زیست‌محیطی و تلاش سازمان‌ها به‌منظور کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی و استفاده مؤثر و کارا از ضایعات و بازیافت نیز می‌تواند بر موفقیت سازمان‌ها با توجه به قوانین و انتظارات مشتریان تأثیرگذار باشد. درواقع مزیت رقابتی پایدار آن مزیتی است که قابلیت کپی‌برداری و استفاده توسط دیگران را نداشته باشد و بتواند سازمان را به‌طور پایدار در محیط رقابت یاری نماید (کوین و کوین، ۱۹۸۶).

در سال‌های اخیر به دلیل کاهش استفاده از منابع، کاهش آلودگی و فشارهای محیطی و مسئولیت‌پذیری اجتماعی و همچنین بازار رقابتی کنونی مانند تقاضای موردنیاز مشتریان و همچنین هزینه‌های حمل‌ونقل، توجه ضروری به یکپارچه‌سازی مسائل شبکه بازگشتی با شبکه روبه‌جلو و مسئولیت‌پذیری اجتماعی و اهداف زیست‌محیطی تحت عنوان شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار گردیده است و همچنین مدیریت ریسک‌ها در زنجیره تأمین به یک مسئله ضروری برای مدیریت زنجیره تأمین تبدیل شده است.

این مسئله، به‌عنوان یک موضوع تحقیق قابل‌تأمل در ادبیات اخیر مدیریت زنجیره تأمین پدیدار نیز تبدیل‌شده و این علاقه‌مندی با ادامه عدم قطعیت در اقتصاد جهانی و روند کسب‌وکار مانند افزایش برون‌سپاری و پیشرفت در تکنولوژی اطلاعات ترویج و موجب توسعه در زنجیره‌های تأمین پیچیده جهانی شده است. باوجود مزایای عمده زنجیره‌های تأمین توسعه داده‌شده، آن‌ها آسیب‌پذیرتر هستند و درواقع سازمان در معرض ریسک در سطوح بالاتر است ازاین‌رو تلاش برای دستیابی به پایداری به‌طور فزاینده‌ای به‌عنوان یک

استراتژی مؤثر برای مقابله با برخی از چالش‌های موجود در زنجیره تأمین جهانی شناخته شده است. لذا با توجه به این حقیقت که پروژه طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته شامل مقدار زیادی سرمایه مربوط به تسهیلات از قبیل (حمل‌ونقل- تولید- بازیابی- دفع و...) می‌باشد و اینکه اکثر کارهایی که در گذشته در زمینه مدیریت زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار صورت پذیرفته فاقد معیاری جهت اندازه‌گیری ریسک بوده است بنابراین پرداختن به موضوعی که بتواند اهداف مربوط به پایداری یک زنجیره تأمین حلقه بسته به همراه مدیریت کردن ریسک در شرایط عدم قطعیت را در نظر بگیرد اهمیت و ضرورت بسیاری را در این تحقیق نشان می‌دهد.

هوانگ و همکاران در سال ۲۰۰۹، بیان داشتند که مدیریت ریسک یک دغدغه اساسی در زنجیره‌های تأمین می‌باشد که سطوح بالایی از عدم قطعیت در تقاضای محصول، فرآیند تولید یا تأمین قطعات را دارا می‌باشند. عدم قطعیت‌ها معمولاً به‌عنوان اتفاقات پویا ظاهر می‌شوند که تهدیداتی برای عملیات زنجیره را در پی خواهند داشت. بسته به طبیعت و شدت عدم قطعیت اثرات اتفاقات پویا را می‌توان به سه‌طبقه تقسیم کرد: انحراف، اختلال، فاجعه؛ بنابراین مسئله اصلی پژوهش حاضر این است که آیا می‌توان با بررسی ریسک‌های زنجیره در شرایط عدم قطعیت، به مدل‌سازی مسئله کاهش ریسک در زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار با درنظرگرفتن مقیاس ارزش در معرض ریسک مشروط پرداخت؟ و آیا اتخاذ فعالیت‌های مدیریت زنجیره تأمین پایدار بر ایجاد مزیت رقابتی پایدار تأثیر دارد؟

در بخش دوم مقاله، مبانی نظری و پیشینه پژوهش بررسی‌شده و بر اساس آن مطالعات پیشین بررسی و با تحلیل شکاف در این مطالعات، به بررسی ضرورت و نوآوری تحقیق حاضر پرداخته شد. در بخش سوم مدل‌سازی پژوهش و در بخش چهارم مدل ارائه‌شده در قالب یک مسئله تحلیل و در بخش آخر نتایج به‌دست‌آمده بحث گردیده است.

۲- مبانی نظری و پیشینه پژوهش

۲-۱ مدیریت زنجیره تأمین پایدار

توسعه پایدار مفهوم جدیدی است که پس از انقلاب صنعتی و معضلات ایجادشده در

رابطه با صنعتی شدن و توسعه تکنولوژیک و از طریق پیوند بین ابعاد مختلف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی شکل گرفته است که در موفقیت بلندمدت یک کسب‌وکار حیاتی است. محققان مختلف در سال‌های گذشته بحث مدیریت زنجیره تأمین پایدار را در قالب چارچوب شکل زیر و به‌صورت یک چرخه شش‌بخشی تعریف کرده‌اند که شامل؛ تأمین منابع، تبدیل، حمل‌ونقل، تولید ارزش، مشتریان و بازتولید می‌باشد. میلت معیارهای دستیابی به زنجیره تأمین پایدار که به‌طور هم‌زمان ملاحظات اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی را در برگیرد، موردبررسی قرار داده است (دهقانیان و منصور، ۲۰۰۹). حسین زارعیان جهرمی و همکاران به طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار با در نظر گرفتن اهداف اقتصادی و اجتماعی و زیست‌محیطی پرداخته‌اند. در زنجیره تأمین ارائه‌شده تقاضا و هزینه‌های حمل‌ونقل و هزینه‌های عملیاتی دارای عدم قطعیت می‌باشند که به‌منظور حل مدل از رویکرد بهینه‌سازی استوار استفاده شده است. مصطفی‌زاده و همکاران به ارائه مدلی جهت طراحی شبکه زنجیره تأمین پایدار پرداخته‌اند که در این مدل به بررسی هم‌زمان شبکه از سه بعد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی پرداخته شده است. زنجیره تأمین ارائه‌شده از سه لایه شامل کارخانه، مراکز توزیع و مشتریان تشکیل شده است. شی و همکاران در سال ۲۰۱۷ در مقاله‌ای به طراحی شبکه حلقه بسته را با یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مخلوط چند هدفه پرداخته‌اند. مدل ارائه‌شده آن‌ها علاوه بر هزینه‌های کلی، انتشار کربن و میزان پاسخگویی به تقاضای شبکه را بهینه می‌نماید. برای حل مسئله و به دست آوردن مجموعه جواب‌های بهینه پارتو یک الگوریتم ژنتیک بهبود یافته بر اساس چارچوب NSGAII توسعه داده شده است. جهت نشان دادن کارایی مدل یک مثال با ۹۵ شهر در چین حل و ارائه گردیده؛ و نتایج محاسباتی نشان می‌دهد که الگوریتم پیشنهادی می‌تواند راه حل برتر بهینه پارتو را به دست آورد.

۲-۲ مدیریت زنجیره تأمین تحت ریسک

تونسل و آلپان در سال ۲۰۱۰ به ارزیابی و مدیریت ریسک در شبکه‌های زنجیره تأمین پرداختند. آن‌ها در مقاله خود ریسک را بر اساس انجمن مدیران پروژه به‌صورت زیر

تعریف کرده‌اند: «اتفاقات نامعین یا مجموعه‌ای از شرایط که اگر اتفاق بیافتد روی دستاوردهای یک یا چند هدف تأثیر می‌گذارد.» آن‌ها برای چگونگی مدیریت ریسک‌ها یک ساختار سه مرحله‌ای را معرفی کردند.

الساید و همکاران (۲۰۱۰) در مقاله‌ای شبکه لجستیک مستقیم و معکوس چند رده‌ای و چندمرحله‌ای تحت ریسک را توسعه دادند. در این شبکه سه سطح در شبکه مستقیم (تأمین‌کننده، کارخانه‌ها و مراکز توزیع) و دو سطح در جهت معکوس (جداسازی و مراکز توزیع مجدد) در نظر گرفته شده است مسئله به‌صورت برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط تصادفی فرموله شده و هدف ماکزیمم کردن سود مورد انتظاراست. سوکون پارک و همکاران (۲۰۱۰) یک مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین تک منبعی را برای یک زنجیره سه سطحی که شامل تأمین‌کننده، توزیع‌کننده و خرده‌فروش است را در نظر گرفته‌اند و از استراتژی شناوری ریسک استفاده کردند. هدف آن‌ها تعیین مکان هر یک از تأمین‌کنندگان مراکز توزیع و خرده‌فروشی‌ها می‌باشد.

سونیا و همکاران (۲۰۱۶) یک مدلی از زنجیره تأمین حلقه بسته با یکپارچه‌سازی اندازه‌گیری ریسک‌های مالی را ارائه داده‌اند. در این مدل جهت اندازه‌گیری ریسک روش‌های ارزش در معرض ریسک VAR و ارزش در معرض ریسک شرطی CVAR و ریسک نزولی و شاخص تنوع ارائه و نتایج آن با هم مقایسه گردیده است. در این مدل تقاضا دارای عدم قطعیت می‌باشد که جهت نشان دادن آن رویکرد درخت سناریو ارائه گردیده است. هدف مدل در نظر گرفتن هم‌زمان ماکسیمم کردن ارزش خالص فعلی مورد انتظار به همراه مینیمم کردن ریسک مالی می‌باشد و جهت حل آن و نشان دادن منحنی بهینه پارتو از روش محدودیت اپسیلون استفاده شده است. زبالوس‌و همکاران (۲۰۱۷) یک روشی را جهت مدیریت و اندازه‌گیری ریسک در یک زنجیره تأمین حلقه بسته ارائه داده‌اند. هدف پژوهش آن‌ها ماکسیمم کردن ارزش خالص دارایی[1] با در نظرگرفتن موازنه‌ای میان هزینه‌های ساختار شبکه زنجیره تأمین (باز کردن مراکز تولید و توزیع و بازیافت و تعمیر و...) و ریسک ناشی از عدم قطعیت در داده‌ها می‌باشد که جهت

1. Net Asset Value

اندازه‌گیری این ریسک از معیار ارزش در معرض ریسک شرطی استفاده گردیده است. در این تحقیق پارامترهای تقاضا و تأمین دارای عدم قطعیت می‌باشند که به‌وسیله تعداد محدودی از سناریوها با احتمال مشخصی نشان داده شده‌اند و برای مدل کردن عدم قطعیت‌ها مدل درخت سناریو دو لایه ارائه گردیده است. جهت مدل‌سازی شبکه از برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط استفاده گردیده است که جهت حل آن یک رویکرد دو مرحله ارائه گردیده که در مرحله یک متغیرهای مکانی قبل از مشخص شدن پارامترهای عدم قطعیت که به خروجی سناریوها بستگی ندارند مدل‌سازی گردیده و در مرحله دوم نیز متغیرهای جابه‌جایی، تولید، توزیع، حمل‌ونقل، انبارش که در معرض پارامترهای عدم قطعیت قرار دارند مشخص می‌گردند.

گویندان و فتاحی (۲۰۱۷) یک مدلی جهت بررسی ریسک طراحی شبکه زنجیره تأمین تحت عدم قطعیت را ارائه داده‌اند. در این پژوهش، یک مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین چند محصولی و چند زمانی سه سطحی شامل تأمین‌کننده، تولیدکننده، انبار، در نظر گرفته شده است. در این پژوهش یک برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای ارائه گردیده که در مرحله یک مکان‌یابی کارخانه‌ها، انبارها و سطوح ظرفیت فرایندهای تولیدی در کارخانه‌ها مشخص می‌گردد و در مرحله دوم تصمیم‌گیری‌های تاکتیکی اصلی ارائه می‌گردد. مسئله بهینه‌سازی برنامه‌ریزی تصادفی ارائه‌شده تحت عدم قطعیت در تقاضاهای مشتری قرار دارد که جهت مواجه‌شدن با تقاضای تصادفی روش نمونه‌گیری جهت تولید سناریوهای مختلف استفاده گردیده است.

۲-۳ مروری بر تحقیقات پیشین

در این بخش ما به بررسی تحقیقات صورت گرفته در حوزه زنجیره تأمین پایدار با رویکرد ریسک خواهیم پرداخت.

کیاناکیس و پاپاپلوس (۲۰۱۶) در پژوهش خود یک رویکرد مدیریت ریسک را در زنجیره تأمین پایدار ارائه داده‌اند در این پژوهش ابتدا به عوامل تعیین‌کننده ریسک مرتبط در زنجیره تأمین پایدار شناسایی گردیده و سپس نرخ احتمال وقوع و شدت و کشف برای

هر ریسک محاسبه می‌گردد. ریسک‌های شناسایی‌شده اولویت‌بندی گردیده سپس تجزیه‌وتحلیل علت و ریسک‌های بالقوه و اثرات آن بر روی زنجیره تأمین صورت گرفته و یافتن راهبردها و اقدامات برای کاهش تمام ریسک‌های احتمالی ارائه می‌گردد. در این مدل رویکرد روش مخلوط برای جمع‌آوری داده‌ها و تجزیه‌وتحلیل حالت‌های بالقوه خطا[1] (FMEA) جهت ارزیابی اهمیت نسبی ریسک‌ها ارائه گردیده است. سانگ و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهش خود به شناسایی عوامل خطر مهم در مدیریت زنجیره تأمین پایدار پرداخته‌اند که پس از شناسایی این عوامل یک رابطه جهت در نظر گرفتن هم‌زمان قدرت و تأثیر عوامل ریسک داخلی (ایجاد ماتریس مستقیم رابطه) ارائه داده‌اند و آن‌ها پس از تعیین ماتریس کل قدرت - رابطه به شناسایی عوامل ریسک مهم در زنجیره تأمین پایدار پرداخته‌اند. در این پژوهش جهت شناسایی عوامل ریسک مهم در زنجیره از روش دیماتل[2] استفاده گردیده است. فروزش و همکاران (۱۳۹۵) مدلی جهت ارزیابی ریسک‌های زنجیره تأمین پایدار برای مسئله انتخاب تأمین‌کننده ارائه داده‌اند. نوآوری ارائه‌شده در این پژوهش، در نظر گرفتن ابعاد سه‌گانه مفهوم پایداری (زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی) در مسئله انتخاب تأمین‌کننده پایدار و نیز ارزیابی ریسک‌های زنجیره، می‌باشد که به‌کارگیری این دو در کنار یکدیگر می‌تواند ریسک‌های زنجیره تأمین را مدیریت کند.

پایدار و همکاران (۲۰۱۷) در تحقیقی، فرایند جمع‌آوری و توزیع روغن‌موتور که از یکی از با ارزش‌ترین منابع طبیعی حاصل می‌شود، موردتوجه قرار داده‌اند. آن‌ها به ارائه یک مدل برنامه‌ریزی خطی مختلط برای یک زنجیره بسته حلقه‌ای از روغن‌موتور با توجه به ریسک جمع‌آوری روغن در تدارکات معکوس روغن‌موتور پرداخته‌اند. آن‌ها در این تحقیق دو هدف به حداکثر رساندن سود و به حداقل رساندن خطر جمع‌آوری را در نظر گرفته‌اند.

جبارزاده و همکاران (۲۰۱۸) به ارائه یک مدل بهینه‌سازی تصادفی ساده برای طراحی یک شبکه زنجیره تأمین بسته حلقه‌ای در شرایط عدم قطعیت که با ریسک مواجه با

1. Failure Modes and Effects Analysis
2. DEMATEL

خطرات عملیاتی و خرابکاری، ازجمله انتقال بار جانبی مواجه می‌باشد، پرداختند. آن‌ها در این مقاله به تعیین تصمیمات محل تسهیلات و مقادیر جانبی حمل‌ونقل که کل هزینه‌های زنجیره تأمین را در سراسر سناریوهای خرابی مختلف به حداقل برساند پرداخته و مدل را به کمک الگوریتم آرام سازی لاگرانژی اجرا و پیاده‌سازی نمودند.

بابتیستا و همکاران (۲۰۱۹) به طراحی و برنامه‌ریزی عملیات یک زنجیره تأمین حلقه بسته چند محصولی با در نظر گرفتن محصولات خاتمه یافته بازیافت شده از مشتریان در مراکز جداگانه و به همین ترتیب به کارخانه‌ها برای بازسازی ارسال می‌گردند و یا از طریق فروش به اشخاص ثالث و یا ارسال به دفع، شبکه را ترک می‌کنند، پرداخته‌اند. در این مدل محدودیت‌های احتمال و محدودیت‌های ریسک‌پذیری در مدیریت ریسک در دوره‌های میان‌دوره افق زمانی موردتوجه قرار گرفته است.

حال با توجه به تحقیقات صورت گرفته، در جدول (۱) به بررسی خلاصه‌ای از تحقیقات صورت گرفته پرداخته و بر اساس آن نوآوری تحقیق حاضر را موردنظر قرار خواهیم داد.

جدول ۱. خلاصه مطالعات تطبیقی پیشین

	تکنیک حل مسئله							ریسک					عدم قطعیت						تابع هدف			زنجیره تأمین			
	آزمون فرض	آزادسازی سناریو	FMEA	تکنیک دیماتل	برنامه‌ریزی چند هدفه	برنامه‌ریزی فازی	برنامه‌ریزی استوار	برنامه‌ریزی تصادفی	مقیاس var	مقیاس cvar	مقیاس ریسک نزولی	مقیاس شاخص تنوع	مدیریت ریسک	نقاضا	نرخ برگشت	هزینه‌های حمل‌ونقل	هزینه‌های عملیاتی	قیمت	اختلال	زیست‌محیطی	اجتماعی	اقتصادی	حلقه بسته پایدار	حلقه بسته پایدار	معمولی
فخر زاد و صمدی دارافشانی، (۱۳۹۲)							□							□	□					□	□	□	□		
سلطانی تهرانی، حسن‌پور و رمضانی، (۱۳۹۴)					□															□		□	□		

	تکنیک حل مسئله								ریسک					عدم قطعیت						تابع هدف			زنجیره تأمین			
	آزمون فرض	آزادسازی سناریو	FMEA	تکنیک دیماتل	برنامه‌ریزی چند هدفه	برنامه‌ریزی فازی	برنامه‌ریزی استوار	برنامه‌ریزی تصادفی	مقیاس				مدیریت ریسک	نقاضا	نرخ برگشت	هزینه‌های حمل‌ونقل	هزینه‌های عملیاتی	قیمت	اختلال	زیست‌محیطی	اجتماعی	اقتصادی	حلقه بسته پایدار	پایدار	حلقه بسته	معمولی
									var	cvar	ریسک زوالی	شاخص تنوع														
صفار ، شکوری رزمی (۱۳۹۴)						□							□				□			□		□	□			
محمدی و ذکردی (۱۳۹۵)					□															□	□	□	□			
عزیزی و جعفری (۱۳۹۵)						□														□		□	□			
ژالچیان و توکلی (۲۰۱۶)					□			□						□					□	□	□	□	□			
ونیان سانگ و ژینگو مینگ (۲۰۱۶)				□									□									□				
حسن زاده و باکی (۲۰۱۷)						□								□							□	□	□			
ون نگوین و لی ژو و یانگ لینگ (۲۰۱۷)					□															□	□	□	□			
پایدار و همکاران (۲۰۱۷)							□						□						□			□		□		
جبارزاده و همکاران (۲۰۱۸)					□							□							□			□			□	
بابتیستا و همکاران (۲۰۱۹)								□					□	□	□	□				□	□	□			□	
تحقیق ارائه‌شده					□			□		□			□	□					□	□	□	□	□			

نکته مهم در تحقیقات انجام‌شده در زمینه طراحی شبکه زنجیره تأمین پایدار تحت ریسک این است که نوع ریسک و مقیاس به کار گرفته‌شده به همراه عدم قطعیت در اکثر کارها بیشتر در زنجیره تأمین معمولی و حلقه بسته با یک تابع هدف اقتصادی می‌باشد. در تحقیق حاضر با ارائه نگرشی جدید در مورد وضع حاکم بر جهان واقعی و تغییرات مداوم در قیمت حمل‌ونقل و تقاضا مشتریان (مشتریان دست‌اول و دست‌دوم) و اثرات غیرقابل‌انکار آن بر تمام مؤلفه‌های اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی با معرفی نوع تازه‌ای از عدم قطعیت به توسعه ادبیات مربوطه پرداخته‌ایم. با توجه به توضیحات داده‌شده نوآوری مقاله حاضر عبارت‌اند از:

۱) به‌کارگیری چند تابع هدف در مدیریت ریسک
۲) به‌کارگیری مقیاس ریسک مناسب در ادبیات طراحی زنجیره تأمین پایدار
۳) ارائه مدلی یکپارچه در طراحی و مدیریت ریسک زنجیره تأمین پایدار

۳- ارائه الگوریتم و مدل‌سازی مسئله

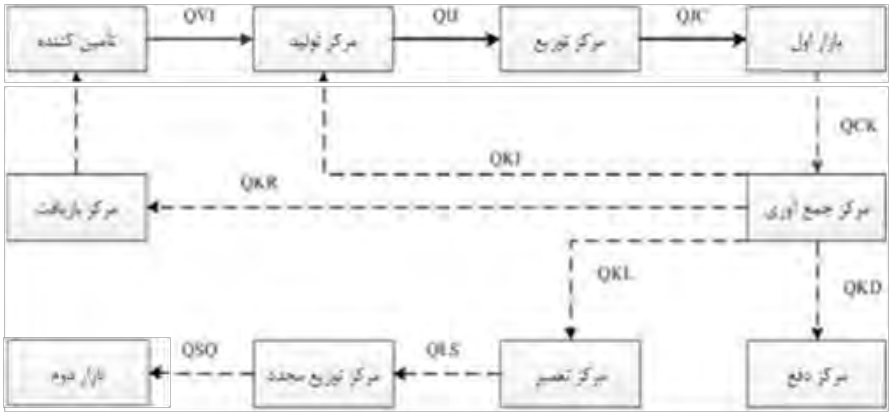
با توجه به مطالب ارائه‌شده در بخش قبل و خلأهای موجود در ادبیات مربوط به موضوع موردبررسی و همچنین با توجه به دارا بودن خاصیت عدم قطعیت در داده‌های موجود در فضای واقعی مسئله بر آن شدیم تا مدلی ارائه دهیم تا با در نظرگرفتن ریسک‌های معرفی‌شده و به همراه داشتن یک مقیاس منسجم و کارا برای اندازه‌گیری ریسک‌ها تا حد ایده آلی بتواند برای کاهش ریسک به تصمیم‌گیرنده کمک کند. در ادامه به مدل‌سازی مسئله موردبررسی پرداخته شده است.

در مدل طراحی‌شده و در شبکه روبه‌جلو، تأمین‌کنندگان مسئولیت تهیه مواد اولیه را بر عهده دارند. محصولات در مراکز تولید ساخته‌شده و سپس از طریق شبکه‌های توزیع‌کنندگان به دست مشتریان بازار دسته اول می‌رسند. در جریان بازگشت محصولات، محصولات برگشتی بعد از جمع‌آوری و بازرسی، به دو گروه محصولات قابل جداسازی و غیرقابل جداسازی تقسیم می‌شوند. محصولاتی که قابل‌تفکیک به قطعات هستند، به مراکز جداسازی فرستاده می‌شوند و در آنجا به قطعات تبدیل می‌گردند. قطعات به دو دسته قابل

بازیابی و غیرقابل‌بازیابی تقسیم می‌شوند. قطعات غیرقابل‌بازیابی به مراکز دفع منتقل‌شده و به‌صورت ایمن دفع و قطعات قابل بازیابی به مراکز بازرسی، تمیزکاری و مرتب‌سازی فرستاده می‌شوند. در این مراکز پس از بازرسی و تمیزکاری محصولات در گروه‌های قابل تعمیر، قابل‌تولید مجدد و قابل بازیافت مرتب و طبقه‌بندی می‌شوند. در فرآیند تولید مجدد، بر اساس میزان ظرفیت مراکز تولید، قطعاتی که قابل‌استفاده مجدد هستند بعد از بازرسی، تمیزکاری و مرتب‌سازی به کارخانه‌ها فرستاده می‌شوند و پس از ترکیب با قطعات دیگر به محصولات جدید تبدیل می‌شوند و به چرخه توزیع بازمی‌گردند. در فرآیند بازیافت، قطعات جداسازی شده قابل بازیافت بر اساس ظرفیت مراکز بازیافت به‌منظور تولید مواد خام به‌صورت مستقیم از مراکز، جمع‌آوری و بعد از بازرسی به مراکز بازیافت منتقل می‌شوند (شکل (۱)).

در فرآیند تعمیر، محصولات قابل تعمیر از مراکز جمع‌آوری و بعد از بازرسی و بر اساس ظرفیت مراکز تعمیر به این مراکز منتقل می‌شوند. در این مراکز قطعات معیوب و دارای نقص محصول مرجوعی دارای قابلیت بازیابی، رفع نقص می‌گردند و یا با قطعات سالم جایگزین می‌شوند تا کارکرد دوباره آن‌ها ادامه یابد. محصولات تعمیر شده و سپس به مراکز توزیع مجدد که مستقل از مراکز توزیع هستند منتقل می‌شود. از طریق شبکه توزیع مجدد محصولات تعمیر شده به بازار محصولات دسته دوم فرستاده می‌شوند. با توجه به مطالب فوق‌الذکر ابتدا مسئله را بدون اعمال مقیاس ریسک و تغییرات لازمه به‌صورت زیر مدل می‌کنیم.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



زنجیره تأمین رو به جلو

زنجیره تأمین رو به عقب

شکل ۱. مدل پیشنهادی زنجیره تأمین حلقه بسته

۳-۱ فرضیات مسئله

فرضیات در نظر گرفته‌شده برای مدل پیشنهادی به شرح زیر است

- مدل به‌صورت چند سطحی و چند محصولی می‌باشد.
- مکان و تعداد منطقه مشتریان دسته اول و دوم، تأمین‌کنندگان و مراکز دفع ثابت و مشخص است.
- مکان‌های مراکز بالقوه تولید، توزیع، جمع‌آوری، تعمیر، توزیع مجدد و بازیافت مشخص است.
- مراکز بازرسی، جداسازی و مرتب‌سازی در مرکز جمع‌آوری در نظر گرفته شده است.
- مقادیر هزینه‌های عملیاتی در هر یک از تسهیلات، به‌عنوان‌مثال هزینه ثابت احداث، تهیه مواد، تولید، توزیع، تست و بازرسی، تعمیر، تولید و توزیع مجدد و بازیافت مشخص است.
- هزینه‌های توزیع و توزیع مجدد شامل هزینه نگهداری در این مراکز نیز می‌گردد.

- جریان محصولات فقط بین تسهیلات متوالی متفاوت وجود دارد و جریان محصول بین تسهیلات مشابه امکان‌پذیر نیست.
- معیار سنجش ریسک (ارزش در معرض خطر شرطی) فقط برای هدف اقتصادی در نظر گرفته می‌شود.

۳-۲ شاخص‌ها

$v \in V$ مجموعه مکان‌های ثابت برای تأمین کنندگان

$c \in C$ مجموعه مکان‌های ثابت برای بازار اول

$q \in Q$ مجموعه مکان‌های ثابت برای بازار دوم

$d \in D$ مجموعه مکان‌های ثابت برای مراکز دفع

$i \in I$ مجموعه مکان‌های بالقوه مراکز تولید جهت احداث

$j \in J$ مجموعه مکان‌های بالقوه مراکز توزیع جهت احداث

$k \in K$ مجموعه مکان‌های بالقوه مراکز جمع‌آوری جهت احداث

$l \in L$ مجموعه مکان‌های بالقوه مراکز تعمیر جهت احداث

$t \in T$ مجموعه مکان‌های بالقوه مراکز توزیع مجدد جهت احداث

$r \in R$ مجموعه مکان‌های بالقوه مراکز بازیافت جهت احداث

$p \in P$ مجموعه محصولات، $e \in E$ مجموعه مواد اولیه

۳-۳ پارامترها

$DE_{c,p}$ میزان تقاضا برای محصول p در بازار اول c

$DDE_{q,p}$ میزان تقاضا برای محصول p در بازار دوم q

FX_i هزینه ثابت احداث مرکز تولید i

FY_j هزینه ثابت احداث مرکز توزیع j

FH_K هزینه ثابت احداث مرکز جمع‌آوری k

FW_l هزینه ثابت احداث مرکز تعمیر l

FO_t هزینه ثابت احداث مرکز توزیع مجدد t

FU_r هزینه ثابت احداث مرکز بازیافت r

$SC_{v,e}$ هزینه تهیه هر واحد مواد اولیه e از تأمین کننده v

$MC_{i,p}$ هزینه تولید هر واحد محصول p در مرکزتولید i

$RMC_{i,p}$ هزینه تولید مجدد هر واحد محصول p در مرکز تولید i

$DC_{j,p}$ هزینه توزیع و نگهداری هر واحد محصول p در مرکز توزیع j

$CC_{k,p}$هزینه بازرسی هر واحد محصول p در مرکز جمع‌آوری j

$DPC_{d,p}$ هزینه دفع هر واحد محصول p در مرکز دفع d

$RPC_{l,p}$ هزینه تعمیر هر واحد محصول p در مرکز تعمیر l

$RDC_{t,p}$ هزینه توزیع مجدد هر واحد محصول p در مرکز توزیع مجدد t

$RC_{r,p}$ هزینه بازیافت هر واحد محصول p در مرکز بازیافت r

$TVI_{v,i,e}$ هزینه حمل و خرید هر واحد مواد اولیه e از تأمین‌کننده v به مرکز تولید i

$TIJ_{i,j,p}$ هزینه حمل هر واحد محصول P از مرکز تولید i به مرکز توزیع j

$TJC_{j,c,p}$ هزینه حمل هر واحد محصول p از مرکز توزیع j به بازار اول c

$TCK_{c,k,p}$ هزینه حمل هر واحد محصول استفاده‌شده p از بازار اول c به مرکز جمع‌آوری k

$TKI_{k,i,p}$ هزینه حمل هر واحد محصول استفاده‌شده p از مرکز جمع‌آوری k به مرکز تولید i جهت تولید مجدد

$TKD_{k,d,p}$ هزینه حمل هر واحد محصول استفاده‌شده p از مرکز جمع‌آوری k به مرکز دفع d جهت دفع

$TKL_{k,l,p}$ هزینه حمل هر واحد محصول استفاده‌شده p از مرکز جمع‌آوری k به مرکزتعمیر l جهت تعمیر

$TKR_{k,r,p}$ هزینه حمل هر واحد محصول استفاده‌شده p از مرکز جمع‌آوری k به مرکز بازیافت i جهت بازیافت

$TLS_{l,t,p}$ هزینه حمل هر واحد محصول تعمیرشده p از مرکز تعمیر l به مرکز توزیع مجدد t

$TSQ_{t,q,p}$ هزینه حمل هر واحد محصول تعمیرشده p از مرکز توزیع مجدد t به بازار دوم q

$TRV_{r,v,e}$ هزینه حمل هر واحد ماده اولیه بازیافت شده e از مرکز بازیافت r به تأمین کننده v

$CapV_v$ ماکزیمم ظرفیت تأمین کننده v

$CapI_i$ ماکزیمم ظرفیت مرکز تولید i

$CapJ_j$ ماکزیمم ظرفیت مرکز توزیع j

$CapK_k$ ماکزیمم ظرفیت مرکز جمع‌آوری j

$CapL_l$ ماکزیمم ظرفیت مرکزتعمیر l

$CapS_t$ ماکزیمم ظرفیت مرکزتوزیع مجدد t

$CapR_r$ ماکزیمم ظرفیت مرکز بازیافت r

RT نرخ بازگشت محصولات از بازار اول به مراکز جمع‌آوری

RM نرخ تولید مجدد در مراکز تولید

RS نرخ بازیافت در مراکز بازیافت

RD نرخ دفع در مراکز دفع، RR نرخ تعمیر در مراکز تعمیر

θ_i ضریب تأثیر اجتماعی مربوط به احداث مرکز تولید در مکان i

θ_l ضریب تأثیر اجتماعی مربوط به احداث مراکز تعمیر در مکان l

θ_r ضریب تأثیر اجتماعی مربوط به احداث مراکز بازیافت در مکان r

$ETVI_{v,i,e}$ میزان انتشار کربن به ازای حمل هر واحد مواد اولیه e از تأمین‌کننده v به مرکز تولید i

$ETIJ_{i,j,p}$ میزان انتشار کربن به ازای حمل هر واحد محصول p از مرکز تولید i به مرکز توزیع j

$ETJC_{j,c,p}$ میزان انتشار کربن به ازای حمل هر واحد محصول p از مرکز تولید j به بازار اول c

$ETCK_{c,k,p}$ میزان انتشار کربن به ازای حمل هر واحد محصول استفاده‌شده p از بازار اول c به مرکز جمع‌آوری k

$ETKI_{k,i,p}$ میزان انتشار کربن به ازای حمل هر واحد محصول استفاده‌شده p از مرکز جمع‌آوری k به مرکز تولید i جهت تولید مجدد

$ETKD_{k,d,p}$ میزان انتشار کربن به ازای حمل هر واحد محصول استفاده‌شده p از مرکز جمع‌آوری k به مرکز دفع d جهت دفع

$ETKI_{k,l,p}$ میزان انتشار کربن به ازای حمل هر واحد محصول استفاده‌شده p از مرکز جمع‌آوری k به مرکز تعمیر l جهت تعمیر

$ETKR_{k,r,p}$ میزان انتشار کربن به ازای حمل هر واحد محصول استفاده‌شده p از مرکز جمع‌آوری k به مرکز بازیافت i جهت بازیافت

$ETLS_{l,t,p}$ میزان انتشار کربن به ازای حمل هر واحد محصول تعمیرشده p از مرکز تعمیر l به مرکزتوزیع مجدد t

$ETSQ_{t,q,p}$ میزان انتشار کربن به ازای حمل هر واحد محصول تعمیر شده p از مرکز توزیع مجدد t به بازار دوم q

$ETRV_{r,v,e}$ میزان انتشار کربن به ازای حمل هر واحد ماده اولیه بازیافت شده e از مرکز بازیافت r به تأمین کننده v

$EM_{i,p}$ میزان انتشار کربن به ازای تولید هر واحد محصول P در مرکز تولید i

$ERM_{i,p}$ میزان انتشار کربن به ازای تولید مجدد هر واحد محصول P در مرکز تولید i

$ERP_{l,p}$ میزان انتشار کربن به ازای تعمیر هر واحد محصول p در مرکز تعمیر l

$ERC_{r,p}$ میزان انتشار کربن به ازای بازیافت هر واحد محصول p در مرکز بازیافت r

NX ماکزیمم تعداد مراکز تولید جهت احداث

NY ماکزیمم تعداد مراکز توزیع جهت احداث

NH ماکزیمم تعداد مراکز جمع‌آوری و بازرسی جهت احداث

NW ماکزیمم تعداد مراکز تعمیر جهت احداث

NO ماکزیمم تعداد مراکز توزیع مجدد جهت احداث

NU ماکزیمم تعداد مراکز بازیافت جهت احداث

۳-٤ متغیرهای تصمیم‌گیری

$QVI_{v,i,e,}$ تعداد ماده اولیه حمل شده e از تأمین‌کننده v به مرکز تولید i

$QIJ_{i,j,p}$ تعداد محصول حمل‌شده p از مرکز تولید i به مرکز توزیع j

$QJC_{j,c,p}$ تعداد محصول حمل‌شده p از مرکز توزیع j به بازار اول c

$QCK_{c,k,p}$ تعداد محصول حمل شده p از بازار اول c به مرکز جمع‌آوری k

$QKI_{k,i,p}$ تعداد محصول حمل شده p از مرکز جمع‌آوری k به مرکز تولید i جهت تولید مجدد

$QKD_{k,d,p}$ تعداد محصول حمل شده p از مرکز جمع‌آوری k به مرکز دفع d جهت دفع

$QKL_{k,l,p}$ تعداد محصول حمل شده p از مرکز جمع‌آوری k به مرکز تعمیر l جهت تعمیر

$QKR_{k,r,p}$ تعداد محصول حمل شده p از مرکز جمع‌آوری k به مرکز بازیافت r جهت بازیافت

$QLS_{l,t,p}$ تعداد محصول حمل شده p از مرکز تعمیر l به مرکز توزیع مجدد t

$QSQ_{t,q,p}$ تعداد محصول حمل شده p از مرکز توزیع مجدد t به بازار دوم q

$QRV_{r,v,e}$ تعداد ماده اولیه حمل شده e از مرکز بازیافت r به تأمین‌کننده v

X_i اگر مرکز تولید در مکان i باشد ۱, در غیر این صورت صفر

Y_j اگر مرکز توزیع در مکان j باشد ۱, در غیر این صورت صفر

G_k اگر مرکز جمع‌آوری در مکان k باشد ۱, در غیر این صورت صفر

W_l اگر مرکز تعمیر در مکان l باشد ۱, در غیر این صورت صفر

O_t اگر مرکز توزیع مجدد در مکان t باشد ۱, در غیر این صورت صفر

U_r اگر مرکز بازیافت در مکان r باشد ۱, در غیر این صورت صفر

۳-۵ مدل‌سازی ریاضی

۳-۵-۱ تابع هدف

مدل پیشنهادی شامل سه تابع هدف اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی می‌باشد. تابع

هدف اول (F_{uf}) حداکثر رساندن سود طراحی شبکه زنجیره تأمین حاصل از احداث مراکز و تولید و فروش محصولات در بازار دست‌اول و دست‌دوم به‌صورت درآمد کل، منهای کل هزینه‌های زنجیره را نشان می‌دهد.

(Maximize Utility Function = Total Revenue –Supply Chain Structure Cost)(۱)

$$MAX\ F_{UF} = \left(\begin{array}{l} \sum_c \sum_p Pr_{cp}.DE_{cp} + \\ \sum_q \sum_p Prr_{qp}.DEE_{qp} \end{array} \right) - \left(\begin{array}{l} \sum_i FX_i.X_i + \sum_j FY_j.Y_j + \\ \sum_k FH_k.T_k + \sum_l FW_l.W_l + \\ \sum_t FO_t.O_t + \sum_r FU_r.U_r \end{array} \right) -$$

$$\left(\begin{array}{l} \sum_v \sum_i \sum_e TVI_{vie}.QVI_{vie} + \sum_i \sum_j \sum_p TIJ_{ijp}.QIJ_{ijp} + \\ \sum_j \sum_c \sum_p TJC_{jcp}.QJC_{jcp} + \sum_c \sum_k \sum_p TCK_{ckp}.QCK_{ckp} + \\ \sum_k \sum_i \sum_p TKI_{kip}.QKI_{kip} + \sum_k \sum_d \sum_p TKD_{kdp}.QKD_{kdp} + \\ \sum_k \sum_l \sum_p TKL_{klp}.QKL_{klp} + \sum_k \sum_r \sum_p TKR_{krp}.QKR_{krp} + \\ \sum_l \sum_t \sum_p TLS_{ltp}.QLS_{ltp} + \sum_t \sum_q \sum_p TSQ_{tqp}.QSQ_{tqp} + \\ \sum_r \sum_v \sum_e TRV_{rve}.QRV_{rve} \end{array} \right) -$$

$$\left(\begin{array}{l} \sum_v \sum_i \sum_e SC_{ve}.QVI_{vie} + \sum_i \sum_j \sum_p MC_{ip}.QIJ_{ijp} + \\ \sum_j \sum_c \sum_p DC_{jp}.QJC_{jcp} + \sum_c \sum_k \sum_p CC_{kp}.QCK_{ckp} + \\ \sum_k \sum_i \sum_p RMC_{ip}.QKI_{kip} + \sum_k \sum_d \sum_p DPC_{dp}.QKD_{kdp} + \\ \sum_k \sum_l \sum_p RPC_{lp}.QKL_{klp} + \sum_k \sum_r \sum_p RC_{rp}.QKR_{krp} + \\ \sum_l \sum_t \sum_p RDC_{tp}.QLS_{ltp} \end{array} \right)$$

تابع هدف دوم (F_{So}) بیان‌کننده حداکثرسازی فرصت‌های شغلی ناشی از احداث مراکز تولیدی، تعمیر، بازیافت، در مکان‌های بالقوه به‌عنوان حداکثر سازی تأثیر هدف اجتماعی در شبکه زنجیره تأمین می‌باشد.

$$MAX \quad F_{So} = \left(\sum_i \theta_i X_i + \sum_l \theta_l W_l + \sum_r \theta_r U_r \right) \quad (۲)$$

جهت به دست آوردن ضریب تأثیر اجتماعی هر منطقه، ابتدا مقایسه‌ای بین تفاوت تأثیر اجتماعی ناشی از نرخ تولید ناخالص منطقه‌ای و نرخ بیکاری منتشره از آمار و اطلاعات دولت با نرخ تولید ناخالص و نرخ بیکاری مورد انتظار صورت گرفته و سپس در خصوص تفاوت به‌دست‌آمده توسط روش فرایند تحلیلی سلسله مراتبی AHP امتیازی به هر منطقه جهت احداث مراکز تخصیص می گردد

تابع هدف سوم (F_{em}) حداقل سازی اثرات زیست‌محیطی بر اساس شاخص میزان انتشار کربن حاصل از حمل‌ونقل محصولات در بین هریک از مراکز و همچنین کربن تولیدشده از فرایندهای تولید، تولید مجدد، تعمیر و بازیافت را نشان می‌دهد.

$$MIN \ F_{em} = \quad (۳)$$

$$\left(\begin{array}{l} \sum_v \sum_i \sum_e ETVI_{vie}.QVI_{vie} + \sum_j \sum_c \sum_p ETJC_{jcp}.QJC_{jcp} + \\ \sum_c \sum_k \sum_p ETCK_{ckp}.QCK_{ckp} + \sum_k \sum_d \sum_p ETKD_{kdp}.QKD_{kdp} + \\ \sum_r \sum_v \sum_e ETRV_{rve}.QRV_{rve} + \sum_l \sum_t \sum_p ETLS_{ltp}.QLS_{ltp} + \\ \sum_t \sum_q \sum_p ETSQ_{tqp}.QSQ_{tqp} + \\ \sum_k \sum_l \sum_p (ETKL_{klp} + ERP_{lp}).QKL_{klp} + \\ \sum_i \sum_j \sum_p (ETIJ_{ijp} + EM_{ip}).QIJ_{ijp} + \\ \sum_k \sum_i \sum_p (ETKI_{kip} + ERM_{ip}).QKI_{kip} + \\ \sum_k \sum_r \sum_p (ETKR_{krp} + ERC_{rp}).QKR_{krp} \end{array} \right)$$

۳-۵-۲ محدودیت‌های تعادل جریان‌های ورودی و خروجی به مراکز

$$\sum_j \sum_p QIJ_{ijp} = \sum_v \sum_e QVI_{vie} + \sum_k \sum_p QKI_{kip} \quad \forall i \in I \quad (۴)$$

$$\sum_i QIJ_{ijp} = \sum_c QJC_{jcp} \quad \forall j \in J, p \in P \quad (۵)$$

$$\sum_j QJC_{JCP} \geq DE_{cp} \quad \forall c \in C, p \in P \quad (۶)$$

$$\sum_k QCK_{ckp} = DE_{cp}.RT \quad \forall c \in C, p \in P \quad (۷)$$

$$\sum_d QKD_{kdp} = RD.\sum_c QCK_{ckp} \quad \forall k \in K, p \in P \quad (۸)$$

$$\sum_l QKL_{klp} = RR.\sum_c QCK_{ckp} \quad \forall k \in K, p \in P \quad (۹)$$

$$\sum_r QKR_{krp} = RS.\sum_c QCK_{ckp} \quad \forall k \in K, p \in P \quad (۱۰)$$

$$\sum_i QKI_{kip} = RM.\sum_c QCK_{ckp}. \quad \forall k \in K, p \in P \quad (۱۱)$$

$$\sum_c QCK_{ckp} = \sum_d QKD_{kdp} + \sum_i QKI_{kip} + \sum_l QKL_{klp} + \sum_r QKR_{krp} \quad \forall k \in K, p \in P \quad (۱۲)$$

$$\sum_k QKL_{klp} = \sum_t QLS_{ltp} \quad \forall l \in L, p \in P \quad (۱۳)$$

$$\sum_l QLS_{ltp} = \sum_q QSQ_{tqp} \quad \forall t \in T, p \in P \quad (۱۴)$$

$$\sum_t QSQ_{tqp} \geq DDE_{qp} \quad \forall q \in Q, p \in P \quad (۱۵)$$

$$\sum_k \sum_p QKR_{krp} = \sum_v \sum_e QRV_{rve} \quad \forall r \in R \quad (۱۶)$$

محدودیت (۴) نشان می‌دهد که برای هر محصول، مجموع جریان‌های ورودی به هر مرکز تولید از طرف تمامی تأمین‌کنندگان و مراکز جمع‌آوری برابر با جریان خروجی از آن مرکز می‌باشد. محدودیت (۵) تضمین می‌کند که برای هر محصول، مجموع جریان‌های ورودی به هر مرکز توزیع از طرف تمامی مراکز تولید برابر با مجموع جریان‌های خارج شونده از این مراکز توزیع است. محدودیت (۶) تضمین می‌کند که تقاضای همه مشتریان در مناطق بازار دسته اول ارضا می‌گردد. محدودیت (۷) نشان‌دهنده رابطه تقاضای مشتریان

در مناطق بازار دسته اول با محصولات بازگشتی از سوی مشتریان به مراکز جمع‌آوری است. محدودیت (۸) نشان می‌دهد که برای هر محصول، جریان‌های خروجی از مراکز جمع‌آوری به تمام مراکز دفع برابر با جریان‌های ورودی به هر مرکز جمع‌آوری از طرف تمامی مشتریان مناطق بازار دسته اول، ضرب در نسبت دفع است. محدودیت (۹) نشان می‌دهد که برای هر محصول، جریان‌های خروجی از مراکز جمع‌آوری به تمام مراکز تعمیر برابر با جریان‌های ورودی به هر مرکز جمع‌آوری از طرف تمامی مشتریان مناطق بازار دسته اول، ضرب در نسبت تعمیر است. محدودیت (۱۰) نشان می‌دهد که برای هر محصول، جریان‌های خروجی از مراکز جمع‌آوری به تمام مراکز بازیافت برابر با جریان‌های ورودی به هر مرکز جمع‌آوری از طرف تمامی مشتریان مناطق بازار دسته اول، ضرب در نسبت بازیافت است. محدودیت (۱۱) نشان می‌دهد که برای هر محصول جریان‌های خروجی از مراکز جمع‌آوری به تمام مراکز تولید برابر با جریان‌های ورودی به هر مرکز جمع‌آوری از طرف تمامی مشتریان مناطق بازار دسته اول، ضرب در نسبت تولید مجدد است. محدودیت (۱۲) نشان می‌دهد که برای هر محصول، جریان‌های ورودی به هر یک از مراکز جمع‌آوری از طرف تمام مشتریان بازار دسته اول برابر با مجموع جریان‌های خروجی از این مرکز به مراکز تعمیر جهت تعمیر، تولید جهت تولید مجدد، بازیافت جهت بازیافت و مراکز دفع به‌منظور دفع می‌باشد. محدودیت (۱۳) تضمین می‌کند که برای هر محصول، مجموع جریان‌های ورودی به هر مرکز تعمیر از طرف تمامی مراکز جمع‌آوری برابر با مجموع جریان‌های خارج شونده از این مراکز تعمیر است. محدودیت (۱۴) تضمین می‌کند که برای هر محصول، مجموع جریان‌های ورودی به هر مرکز توزیع مجدد از طرف تمامی مراکز تعمیر برابر با مجموع جریان‌های خارج شونده از این مراکز توزیع مجدد است. محدودیت (۱۵) تضمین می‌کند که تقاضای همه مشتریان در مناطق بازار دسته دوم ارضا می‌گردد. محدودیت (۱۶) تضمین می‌کند که برای هر ماده اولیه، مجموع جریان‌های ورودی به هر مرکز بازیافت از طرف تمامی مراکز جمع‌آوری برابر با مجموع جریان‌های خارج شونده از این مراکز بازیافت است.

۳-۵-۳ محدودیت‌های ظرفیت

$$\sum_{e}\sum_{i} QVI_{vie} \le CapV_{v} \qquad \forall v \in V \quad (۱۷)$$

$$\sum_{j}\sum_{p} QIJ_{ijp} \le CapI_{i}.X_{i} \qquad \forall i \in I \quad (۱۸)$$

$$\sum_{c}\sum_{p} QJC_{jcp} \le \sum CapJ_{j}.Y_{j} \qquad \forall j \in J \quad (۱۹)$$

$$\sum_{c}\sum_{p} QCK_{ckp} \le CapK_{k}.G_{k} \qquad \forall k \in K \quad (۲۰)$$

$$\sum_{k}\sum_{p} QKL_{klp} \le CapL_{l}.W_{l} \qquad \forall l \in L \quad (۲۱)$$

$$\sum_{l}\sum_{p} QLS_{ltp} \le CapS_{t}.O_{t} \qquad \forall t \in T \quad (۲۲)$$

$$\sum_{k}\sum_{p} QKR_{krp} \le CapR_{r}.U_{r} \qquad \forall r \in R \quad (۲۳)$$

محدودیت (۱۷) تضمین می‌کند که برای هر ماده اولیه، مجموع جریان‌های خروجی از هر تأمین‌کننده به‌تمامی مراکز تولید، از ظرفیت تأمین‌کننده تجاوز نمی‌کند. محدودیت (۱۸) تضمین می‌کند که برای هر محصول، مجموع جریان‌های خروجی از هر مرکز تولید به‌تمامی مراکز توزیع، از ظرفیت مراکز تولید تجاوز نمی‌کند. محدودیت (۱۹) تضمین می‌کند که برای هر محصول، مجموع جریان‌های خروجی از هر مرکز توزیع به‌تمامی مناطق مشتریان دسته اول، از ظرفیت مرکز توزیع تجاوز نمی‌کند. محدودیت (۲۰) تضمین می‌کند که مجموع جریان‌های ورودی به مراکز جمع‌آوری از سوی تمامی مشتریان بازار دسته اول، از ظرفیت مراکز جمع‌آوری تجاوز نمی‌کند. محدودیت (۲۱) تضمین می‌کند که مجموع جریان‌های ورودی به مراکز تعمیر از سوی تمامی مراکز جمع‌آوری، از ظرفیت مراکز تعمیر تجاوز نمی‌کند. محدودیت (۲۲) تضمین می‌کند که مجموع جریان‌های ورودی به مراکز توزیع مجدد از سوی تمامی مراکز جمع‌آوری، از ظرفیت مراکز توزیع مجدد تجاوز نمی‌کند. محدودیت (۲۳) تضمین می‌کند که مجموع جریان‌های ورودی به مراکز بازیافت از سوی مراکز جمع‌آوری از ظرفیت مراکز بازیافت تجاوز نمی‌کند.

۳-۵-٤ محدودیت‌های سطح ظرفیت تسهیلات

$$X_i \le 1 \qquad \forall i \in I \quad (۲۴)$$

$$Y_j \le 1 \qquad \forall j \in J \quad (۲۵)$$

$$G_k \le 1 \qquad \forall k \in K \quad (۲۶)$$

$$W_l \le 1 \qquad \forall l \in L \quad (۲۷)$$

$$O_t \le 1 \qquad \forall t \in T \quad (۲۸)$$

$$U_r \le 1 \qquad \forall u \in U \quad (۲۹)$$

محدودیت‌های (۲۴ الی ۲۹)، به ترتیب تضمین می‌کنند که مراکز تولید، توزیع، جمع‌آوری، تعمیر، توزیع مجدد و بازیافت حداکثر با یک سطح ظرفیت احداث می‌شوند.

۳-۵-۵ محدودیت‌های ماکزیمم تعداد تسهیلات

$$\sum_i X_i \le NX \qquad \forall i \in I \quad (۳۰)$$

$$\sum_j Y_j \le NY \qquad \forall j \in J \quad (۳۱)$$

$$\sum_k G_k \le NH \qquad \forall k \in K \quad (۳۲)$$

$$\sum_l W_l \le NW \qquad \forall l \in L \quad (۳۳)$$

$$\sum_t O_t \le NO \qquad \forall t \in T \quad (۳۴)$$

$$\sum_r U_r \le NU \qquad \forall r \in R \quad (۳۵)$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

محدودیت‌های (۳۰ الی ۳۵)، به ترتیب ماکزیمم تعداد مراکز تولید، توزیع، جمع‌آوری، تعمیر، توزیع مجدد و بازیافت که پتانسیل احداث را دارا می‌باشند، محدود می‌کنند

$$X_i, Y_j, G_k, W_l, O_t, U_r \in \{0,1\} \quad (۳۶)$$

$$QVI_{vie}, QIJ_{ijp}, QJC_{jcp}, QCK_{ckp}, QKI_{kip}, QKD_{kdp}, QKL_{klp}, QKR_{krp}, QLS_{ltp}, QSQ_{tqp}, QRV_{rve}, \ge 0, Int \quad (۳۷)$$

محدودیت‌های (۳۶) و (۳۷) به ترتیب مربوط به صفر و یک و نامنفی و صحیح بودن متغیرهای تصمیم‌گیری مدل می‌باشند.

مدل فوق را مدل پایه در نظر می‌گیریم که بدون در نظر گرفتن معیاری جهت سنجش ریسک در زنجیره تأمین پایدار می‌باشد.

۳-٦ ارائه مدل سنجش و ارزیابی ریسک

در این بخش به فرمول‌بندی مسئله با استفاده از روش ارائه‌شده در کار مشترک مارک گو و فن ون منگ که منجر به یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی عدد صحیح غیرخطی می‌شود پرداخته و سپس مطابق پژوهش انجام‌شده در کار روکافلر واوریا سیو مدل خطی آن ارائه می‌گردد.

شرایط اقتصادی تأثیر زیادی روی فاکتورهای مرتبط با مسئله مانند تقاضای مشتری دارد. شرایط اقتصادی آینده می‌تواند یکی از سه حالت: خوب، متوسط، بد را داشته باشد. در اینجا هر یک از شرایط نامعین آینده را یک سناریو نامیده که می‌توان با استفاده ازنظر خبرگان، احتمالاتی را به آن اختصاص داد. در مسئله موردبررسی سه فاکتور تصادفی را در نظر می‌گیریم، هر یک از این فاکتور تصادفی در مسئله یعنی مقدار تقاضای نامعین مشتری در بازار دست اول c و بازار دست‌دوم q و هزینه‌های حمل‌ونقل از مراکز توزیع به بازار دست‌اول بسته به شرایط اقتصادی موجود مقادیر مختلفی را برحسب تابع توزیع خود می‌گیرند. در این مسئله ما متغیرهای تصمیم را با ω

$$\omega=(QVI_{vie},QIJ_{ijp},QJC_{jcp},QCK_{ckp},QKI_{kip},QKD_{kd},QKL_{klp},QKD_{krp},QLS_{l,t,p},QSQ_{t,q,p},QRV_{rve},X_i,Y_j,G_k,W_l,O_t,U_r)$$

و فاکتورهای تصادفی دارای عدم قطعیت را با $\xi = (DE^s_{cp}, DDE^s_{qp}, TIJ^s_{ijp})$ نمایش می‌دهیم که در آن عبارت $f(\omega,((s))$ نشان‌دهنده تابع زیان با w متغیرهای تصمیم و $\xi(s)$ فاکتورهای تصادفی دارای عدم قطعیت می باشد.

DE^s_{cp}: میزان تقاضا نامعین برای محصول p در بازار اول c به ازای سناریو s

DDE^s_{qp}: میزان تقاضا نامعین برای محصول p در بازار دوم q به ازای سناریو s

TJC^{s}_{jcp}: هزینه حمل هر واحد محصول p از مرکز تولید i به مرکز توزیع j

درنتیجه تابع زیان مربوط به ساختار زنجیره تأمین (SCS)در هدف اقتصادی مسئله به‌صورت زیر می‌باشد.

$$MaxUF = ER - (1-\lambda)SCSC - \lambda(CVaR) \quad (۳۸)$$

پارامتر λ در مدل بیان‌کننده مقدار ریسک‌پذیری و یا ریسک‌گریزی تصمیم‌گیرنده در مواجهه با ریسک می‌باشد؛ یعنی اگر λ را برابر ۱ بگیریم، تصمیم‌گیرنده با توجه به ضریب منفی CVaR تنها می‌خواهد که ریسک یا زیانش را مینیمم کند؛ و اگر λ را برابر صفر بگیریم، یعنی تصمیم‌گیرنده انتظار دارد که سود مهم‌تر از زیان احتمالی باشد

$$\begin{aligned} f_{SCS}\left(\omega,\xi(s)\right) = & \Big(\sum_i FX_i.X_i + \sum_j FY_j.Y_j + \\ & \sum_k FH_k.T_k \sum_l FW_l.W_l + \sum_t FO_t.O_t + \sum_r FU_r.U_r\Big) + \\ & \left(\begin{array}{l} \sum_v \sum_i \sum_e TVI_{vie}.QVI_{vie} + \sum_i \sum_j \sum_p TIJ_{ijp}.QIJ_{ijp} \\ + \sum_j \sum_c \sum_p TJC^{s}_{jcp}.QJC_{jcp} + \sum_c \sum_k \sum_p TCK_{ckp}.QCK_{ckp} + \\ \sum_k \sum_i \sum_p TKI_{kip}.QKI_{kip} + \sum_k \sum_d \sum_p TKD_{kdp}.QKD_{kdp} + \\ \sum_k \sum_l \sum_p TKL_{klp}.QKL_{klp} + \sum_k \sum_r \sum_p TKR_{krp}.QKR_{krp} + \\ \sum_l \sum_t \sum_p TLS_{ltp}.QLS_{ltp} + \sum_t \sum_q \sum_p TSQ_{tqp}.QSQ_{tqp} + \\ \sum_r \sum_v \sum_e TRV_{rve}.QRV_{rve} \end{array}\right) + \end{aligned} \quad (۳۹)$$

مدل خطی از مسئله

$$\left(\begin{array}{l}\sum_{v}\sum_{i}\sum_{e} SC_{ve}.QVI_{vie}+\sum_{i}\sum_{j}\sum_{p} MC_{ip}.QIJ_{ijp}+\\ \sum_{j}\sum_{c}\sum_{p} DC_{jp}.QJC_{jcp}+\sum_{c}\sum_{k}\sum_{p} CC_{kp}.QCK_{ckp}+\\ \sum_{k}\sum_{i}\sum_{p} RMC_{ip}.QKI_{kip}+\sum_{k}\sum_{d}\sum_{p} DPC_{dp}.QKD_{kdp}+\\ \sum_{k}\sum_{l}\sum_{p} RPC_{lp}.QKL_{klp}+\sum_{k}\sum_{r}\sum_{p} RC_{rp}.QKR_{krp}+\\ \sum_{l}\sum_{t}\sum_{p} RDC_{tp}.QLS_{ltp}\end{array}\right)$$

به‌صورت زیر ارائه می‌گردد.

مدلی خطی از مسئله مفروض با استفاده از روش بیان‌شده توسط روکافلر و اوریا سیو (۲۰۰۲) به‌صورت زیر ارائه می‌گردد.

$$MAX\ UF=\sum_{s=1}^{3} p_s.\left(\sum_{c}\sum_{p} Pr_{cp}.DE_{cp}^{s}+\sum_{q}\sum_{q} Prr_{qp}.DEE_{qp}^{s}\right)$$
$$-(1-\lambda)\sum_{s=1}^{3} p_s.f_{scs}\left(\omega,\xi(s)\right)-\lambda\left(\gamma+\frac{1}{(1-\alpha)}\sum_{s=1}^{3} p_s.Z_s\right) \qquad MIN\ F_{em}, MAX\ F_{So} \qquad (۴۰)$$

ST:

$$\sum_{j} QJC_{JCP}\geq\sum_{S} P_S.DE_{cp}^{s} \qquad \forall c\in C, p\in P, s\in S \quad (۴۱)$$

$$\sum_{j} QCK_{ckp}=RT.\sum_{s} P_s.DE_{cp}^{s}. \qquad \forall c\in C, p\in P, s\in S \quad (۴۲)$$

$$\sum_{t} QSQ_{tqp}\geq\sum_{s} P_s.DDE_{qp}^{s} \qquad \forall q\in Q, p\in P, s\in S \quad (۴۳)$$

$$Z_s\geq f\left(\omega,\xi\left(s\right)\right)-\gamma \qquad \forall s\in S \quad (۴۴)$$

$$\left(\gamma+\vartheta\sum_{S=1}^{S} Z\right)\leq\beta \quad (۴۵)$$

$$Z_S\geq 0 \quad , \quad Z_S\in R \quad (۴۶)$$

(۱۴)، (۸)، (۵)، (۱۴)، (۱۳)، (۱۲)، (۱۱)، (۱۰)، (۹)، (۸)، (۵)، (۴) (۳۹) الی (۱۶)

$\forall c,d,e,h,i,j,k,l,p,q,r,s,t$

۳-۷ مالکیت مدل

در مدل ارائه‌شده موارد زیر به‌عنوان مالکیت مدل می‌باشد که تاکنون استفاده نگردیده است:

۱- مدل ارائه‌شده برگرفته از مدل مقاله حسین زارعیان جهرمی ۱۳۹۳ می‌باشد که تابع هدف اجتماعی آن توسعه‌یافته و جهت به دست آوردن ضرایب تأثیر اجتماعی از روش فرایند تحلیلی سلسله مراتبی AHP امتیازی به هر منطقه جهت احداث مراکز داده می‌گردد

۲- عدم به‌کارگیری مقیاس ریسک در ادبیات طراحی زنجیره تأمین پایدار: معادله (۳۸) در تابع هدف برای این منظور در نظر گرفته شده است.

٤- مثال عددی و تجزیه‌وتحلیل نتایج

با توجه به سیاست کلی دولت در سال اقتصاد مقاومتی و تولید و اشتغال و با توجه به حمایت دولت از تولیدات داخلی در این مثال شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته در صنعت لوازم‌خانگی صنایع امرسان موردمطالعه قرار گرفته است به‌طوری‌که این شرکت قسط افزایش سهم بیشتری از بازار و طراحی شبکه زنجیره تأمین پایدار را در کشور ایران و برای دو محصول یخچال ساید بای ساید (P_1) و ماشین لباسشویی تمام اتوماتیک (P_2)را دارد در این زنجیره قطعات موردنیاز توسط تأمین‌کنندگان داخلی تأمین و به این شرکت تولیدی فرستاده می‌شود. محصولات تولیدی از طریق مراکز توزیع به دست مشتریان دست‌اول ارسال می‌گردد. محصولات موردنظر در صورت اسقاط شدن و یا نقض فنی توسط مراکز جمع‌آوری جمع گردیده که در این مراکز بعد از بررسی و بازرسی ازلحاظ فنی درصورتی‌که محصولات قابل تعمیر باشند به مراکز تعمیر فرستاده می‌گردد که در این صورت با تعمیرات جزئی و یا تعویض قطعات محصول موردنظر تعمیر گردیده و به‌عنوان یک محصول دست‌دوم به مشتریان دست‌دوم فروخته می‌گردد. محصولاتی که قابل تعمیر

نیستند در مراکز جمع‌آوری دمونتاژ گردیده و قطعاتی که قابل‌استفاده نیستند به مراکز دفع جهت انهدام ارسال گردیده و قطعاتی که قابل‌استفاده می‌باشند به مراکز تولید جهت استفاده مجدد ارسال می‌شود. سایر قطعات نیز جهت استفاده مجدد به‌عنوان مواد اولیه تأمین‌کنندگان به مراکز بازیافت ارسال می‌گردد. در این مثال ابعاد و اندازه مسئله جهت آزمایش در جدول (۲) و مکان‌های بالقوه جهت احداث مراکز و در شکل (۲) و مقدار پارامترها و داده‌های ثابت در جدول (۳) نشان داده شده است.

جدول ۲. مربوط به ابعاد مسئله موردمطالعه

نام مرکز	شاخص	تعداد	نماد	نام مرکز	شاخص	تعداد	نماد
تأمین	v	۳		توزیع مجدد	t	۲	
تولید	i	۴		بازیافت	r	۲	
توزیع	j	۴		بازار دوم	q	۳	
بازار اول	c	۲		دفع	d	۲	
جمع‌آوری	k	۳		محصولات	p	۲	
تعمیر	l	۲		مواد اولیه	e	۴	

همان‌طور که در جدول فوق نشان داده شده است در بررسی شرکت نمونه؛ شرکت موردمطالعه دارای ۴ شرکت تولیدکننده در کشور، ۴ بخش توزیع‌کننده و ۳ تأمین‌کننده در زنجیره می‌باشد. نحوه توزیع آن‌ها بروی نقشه به شرح شکل (۲) نشان داده شده است.

شکل ۲. مکان‌های ثابت و بالقوه جهت احداث مراکز

جدول ۳. مقدار پارامترها و داده‌های ثابت مسئله

$pr_{c,p}$	۱۵۰۰	۷۰۰	$DDE_{q,p}$	۲۰۰۰۰	۳۰۰۰۰	$Prr_{q,p}$	٤۰۰	۲۲۰
	۱۵۰۰	۷۰۰		۲۰۰۰۰	۳۰۰۰۰		۳۹۰	۲۱۵
$DE_{c,p}$	۹۰۰۰۰	۱٦۰۰۰		۲۰۰۰۰	۳۰۰۰۰		٤۱۰	۲٤۰
	۹۰۰۰۰	۱٦۰۰۰	$RDC_{t,p}$	٤	۱	FU_r	۷۰۰۰۰	۵۰۰۰۰
$RPC_{l,p}$	٤۵	۲۵		٤	۱	FW_l	۲۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰
	٤۰	۲۰	FX_i	۷۰۰۰۰	٤۰۰۰۰۰۰	۵۰۰۰۰۰۰	۵۵۰۰۰	

				۰۰			۰۰	
FH_K	۸۰۰۰۰	۶۰۰۰۰	FY_j	۵۰۰۰۰۰	۲۵۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰	۳۷۵۰۰۰	
$SC_{v,e}$	۲	٤	٦,٥	۱۰	$RC_{r,p}$	۲۰	۱۰	
	۱,۷	٤,۳	٦	۹,۵		۲۰	۱۰	
	۲,۲	۵	۷	۱۱	NX	۳	NY	۳
$CC_{k,p}$	۲	۱	FO_t	۱۰۰۰۰۰	۱۰۲۰۰۰	RT	۰,۷	
	۲,۱	۰,۹	RM	۰,۱	RD	۰,۱	NW	۲
	۲	۱,۱	NO	۲	NU	۲	NH	۲
$RMC_{i,p}$	۵۰۰	۲۵۰	$MC_{i,p}$	۱۰۰۰	۵۵۰	$ERP_{l,p}$	٤	۲
	٤۸۵	۲۲۵		۹۸۵	۵۲۵		٤	۲
	٤۹۰	۲۲۰		۹۹۰	۵۲۰	$ERC_{r,p}$	۳	۱,۵
	٤۸۵	۲۲۵		۹۸۵	۵۲۵		۳	۱,۵
$DC_{j,p}$	۱۳	۹	$DPC_{d,p}$	۸	۵	$EM_{i,p}$	۹	٤
	۱۲	۸		۸	٤		۱۰	۵
	۱۲	۸	$CapK_k$	۲۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰		۱۱	۵
	۱۳	۹	$CapR_r$	۸۰۰۰۰	۸۰۰۰۰		۱۱	۵
$ERM_{i,p}$	۳	۱,۵	$CapI_i$	۲۰۰۰۰۰	۱۸۰۰۰۰	۱٦۰۰۰۰	۱٤۰۰۰۰	
	۳,۵	۲	$CapJ_j$	۳۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰	
	٤	۲	$CapL_l$	۱۰۰۰۰۰	۱۰۰۰۰۰	$CapS_t$	۲۰۰۰۰۰	۲۰۰۰۰۰
	٤	۲	$CapV_v$	۳۰۰۰۰۰	۳۰۰۰۰۰	RS	۰,۲	
$TVI_{1,i,e}$	۳۰۰	۲٦۰	۱٤۰	۱۷۰	$TIJ_{1,j,p}$	٤	۱,۵	
	۳۱۰	۲۷۰	۱٤۵	۱۷۵		٦	۲,۵	
	۳۰۰	۲٦۰	۱٤۰	۱۷۰		٦,۵	۲,۷	

	۳۰۵	۲۶۵	۱۴۲	۱۷۲		۶	۲	
$TVI_{2,i,e}$	۳۰۵	۲۶۵	۱۴۲	۱۷۲	$TIJ_{2,j,p}$	۶	۲,۵	
	۳۰۰	۲۶۰	۱۴۰	۱۷۰		۴	۱,۵	
	۳۰۵	۲۶۵	۱۴۲	۱۷۲		۶	۲,۵	
	۳۱۰	۲۷۰	۱۴۵	۱۷۵		۸	۳,۵	
$TVI_{3,i,e}$	۳۰۰	۲۶۰	۱۴۰	۱۷۰	$TIJ_{3,j,p}$	۶,۵	۲,۷	
	۳۰۵	۲۶۵	۱۴۲	۱۷۲		۶	۲,۵	
	۳۰۰	۲۶۰	۱۴۰	۱۷۰		۴	۱,۵	
	۳۱۰	۲۷۰	۱۴۵	۱۷۵		۶	۲,۵	
$TIJ_{4,j,p}$	۶	۲	$TJC_{1,c,p}$	۴	۱,۵	$TJC_{2,c,p}$	۶	۲,۵
	۸	۳,۵		۷	۳		۵	۲
	۶	۲,۵	$TJC_{3,c,p}$	۶,۵	۲,۷	$TJC_{4,c,p}$	۶	۲
	۴	۱,۵		۵	۲		۷	۳
$TCK_{1,k,p}$	۵	۲	$TCK_{2,k,p}$	۶	۲	RR	۰,۶	
	۶	۲,۵		۴	۱,۵	$TKL_{1,l,p}$	۴	۱,۵
	۵	۲		۶,۵	۲,۵		۶,۵	۲,۵
$TKL_{2,l,p}$	۶	۲	$TKL_{3,l,p}$	۶	۲,۵			
	۶,۵	۲,۵		۴	۱,۵			
$TKI_{1,i,p}$	۵	۲	$TKI_{2,i,p}$	۶	۲,۵	$TKI_{3,i,p}$	۵	۲
	۶,۵	۲,۵		۵	۲		۶	۲,۵
	۵	۲		۵	۲		۷	۳
	۵	۲		۷	۳		۷	۳
$TKD_{1,d,p}$	۳	۰,۷	$TKD_{2,d,p}$	۳	۰,۷	$TKD_{3,d,p}$	۳,۱	۰,۷
	۳	۰,۷		۳,۲	۰,۸		۳	۰,۷
$TKR_{1,r,p}$	۵	۲	$TKR_{2,r,p}$	۵	۲	$TKR_{3,r,p}$	۷	۳
	۶	۲,۵		۶	۲,۵		۶	۲,۵
$TLS_{1,t,p}$	۶	۲,۵	$TLS_{2,t,p}$	۷	۳			
	۷	۳		۶	۲,۵			
$TSQ_{1,q,p}$	۵	۲	$TSQ_{2,q,p}$	۷	۳	$ETCK_{1,k,p}$	۰,۵	۰,۲
	۷	۳		۵	۲		۱	۰,۶
	۶	۲,۵		۷	۳		۰,۵	۰,۲

$TRV_{1,v,e}$	۰,۵	۰,۵	۰,۳	۰,۳	$ETCK_{2,k,p}$	۰,۸	۰,٤	
	۰,٤	۰,٤	۰,۲	۰,۲		۰,٤	۰,۱	
	۰,٤	۰,٤	۰,۲	۰,۲		۱	۰,٤	
$TRV_{2,v,e}$	۰,٦	۰,٦	۰,٤	۰,٤	$ETSQ_{1,q,p}$	۰,٦	۰,۳	
	۰,۲	۰,۲	۰,۱	۰,۱		۰,۸	۰,٤	
	۰,٤	۰,٤	۰,۲	۰,۲		۰,٦	۰,۳	
$ETSQ_{2,q,}$	۱	۰,٤	$ETRV_{1,v,e}$	۰,۲	۰,۲	۰,۱	۰,۱	
	۰,۵	۰,۲		۰,۳	۰,۳	۰,۱	۰,۱	
	۰,٦	۰,۳		۰,۲	۰,۲	۰,۱	۰,۱	
$ETRV_{2,v,}$	۰,٤	۰,٤	۰,۱	۰,۱				
	۰,۱	۰,۱	۰,۱	۰,۱				
	۰,۳	۰,۳	۰,۱	۰,۱				
$ETVI_{1,i,e}$	۰,۱	۰,۱	$ETVI_{2,i,e}$	۰,۱	۰,۱	$ETVI_{3,i,e}$	۰,۱	۰,۱
	۰,۲	۰,۲		۰,۲	۰,۲		۰,۱	۰,۱
	۰,۲	۰,۲		۰,۳	۰,۳		۰,۲	۰,۲
	۰,۱	۰,۱		۰,۳	۰,۳		۰,۱	۰,۱
$ETKI_{1,i,p}$	۰,۵	۰,۲	$ETKI_{2,i,p}$	۰,۸	۰,۳	$ETKI_{3,i,p}$	۰,۵	۰,۲
	۰,٦	۰,۳		۰,٦	۰,۲		۰,٦	۰,۲
	۰,۵	۰,۲		۰,۵	۰,۲		۰,۸	۰,۳
	۱	۰,٤		۱	۰,٤		۱	۰,٤
$ETJC_{1,c,p}$	۰,٤	۰,۱	$ETJC_{2,c,p}$	۱	۰,۵	$ETJC_{3,c,p}$	۰,٦	۰,۳
	۰,۸	۰,٤		۰,٦	۰,۳		۰,٦	۰,۳
$ETJC_{4,c,p}$	۰,٦	۰,۱	$ETKD_{1,d,p}$	۰,۵	۰,۲	$ETKD_{2,d,p}$	۰,۵	۰,۲
	۰,۸	۰,٤		۰,٦	۰,۲		۰,٦	۰,۲
$ETKD_{3,d}$	۰,۸	۰,۳	$ETKR_{1,r,p}$	۰,۵	۰,۲	$ETKR_{2,r,p}$	۰,۵	۰,۲
	۰,۵	۰,۲		۰,۸	۰,۳		۰,٦	۰,۳
$ETKR_{3,r}$	۰,۸	۰,۳	$ETLS_{1,t,p}$	۰,٤	۰,۱	$ETLS_{2,t,p}$	۰,٦	۰,۳
	۰,۵	۰,۲		۰,٦	۰,۳		۰,٤	۰,۱
$ETIJ_{1,j,p}$	۰,٤	۰,۱	$ETIJ_{2,j,p}$	۱	۰,٦	$ETIJ_{3,j,p}$	۰,۸	۰,٤
	۱	۰,٦		۰,٤	۰,۱		۰,٦	۰,۳
	۰,۸	۰,٤		۰,٦	۰,۳		۰,٤	۰,۱

	۱	۰,۵		۱	۰,۵		۱	۰,۵
$ETIJ_{4,j,p}$	۱	۰,۵	$ETKl_{1,l,p}$	۰,٤	۰,۲	$ETKl_{2,l,p}$	۰,٦	۰,۲
	۱	۰,۵		۰,٦	۰,۳		۰,۸	۰,٤
	۱	۰,۵	$ETKl_{3,l,p}$	۰,٦	۰,۲	θL_l	۰,۲۷	۰,۳۳
	۰,٤	۰,۲		۰,٤	۰,۱	θR_r	۰,۲۲	۰,۱۷
θI_i	۸۸,۰	۰,۷۲	۰,٦۱	۰,٦٦				

ضریب تأثیر اجتماعی طبق تعریف ارائه‌شده از مقایسه آمار و اطلاعات به‌دست‌آمده از مرکز آمار ایران در خصوص نرخ بیکاری و نرخ تولید ناخالص منطقه‌ای با نرخ بیکاری و تولید ناخالص داخلی مورد انتظار (جدول (۴)) در اثر احداث مراکز در مناطق بالقوه به‌دست‌آمده و در جدول (۵) نشان داده شده است.

جدول ٤: نرخ بیکاری و تولید ناخالص واقعی و موردنظر سال ۹٦ به تفکیک استان‌ها

استان	نرخ بیکاری (مرکز آمار)	نرخ بیکاری موردنظر	تولید ناخالص داخلی (درصد سهم استان‌ها)	تولید ناخالص داخلی موردنظر (درصد سهم استان‌ها)
تهران	۱۱,۲	۱۰,۳	۲۷,۹	۳۰,۹
خوزستان	۱۵,۳	۱۴,۶	۵,۸	۸,۵
کرمان	۱۴	۱۳,۵	۳,۲	۵,۶
خراسان رضوی	۱۴,۳	۱۳,۶	۶,۶	۸,۷
سمنان	۸,۸	۸,۶	۱,۱	۱,۵
زنجان	۱۱,۱	۱۰,۸۵	۱	۱,۶
اصفهان	۱۶,۱	۱۶,۳	۷,۱	۷,۵
کرمانشاه	۲۰,۲	۲۰,۰۵	۲	۱,۹

جدول ۵. ضریب تأثیر اجتماعی نرمال شده هر منطقه

استان	نرخ بیکاری		تولید ناخالص داخلی		ضریب تأثیر اجتماعی نرمالیزه شده	
	درصد تفاوت	امتیاز	درصد تفاوت	امتیاز		
تهران	۰,۹	۸	۳	۸	۰,۸۸	θI_i
خوزستان	۰,۷	۶	۲,۷	۷	۰,۷۲	
کرمان	۰,۵	۵	۲,۴	۶	۰,۶۱	

استان	نرخ بیکاری		تولید ناخالص داخلی		ضریب تأثیر اجتماعی نرمالیزه شده	
	درصد تفاوت	امتیاز	درصد تفاوت	امتیاز		
خراسان رضوی	۰,۷	۶	۲,۱	۶	۰,۶۶	
سمنان	۰,۲	۲	۰,۸	۳	۰,۲۷	θL_l
زنجان	۰,۲۵	۳	۰,۶	۳	۰,۳۳	
اصفهان	۰,۲	۲	۰,۴	۲	۰,۲۲	θR_r
کرمانشاه	۰,۱۵	۱	۰,۴	۲	۰,۱۷	

در مثال موردنظر مقدار تقاضای نامعین مشتری در بازار دست‌اول c و بازار دست‌دوم q و قیمت حمل‌ونقل از مراکز توزیع j به بازار دست‌اول c که بسته به شرایط اقتصادی موجود دارد و مقادیر مختلفی را برحسب تابع توزیع خود می‌گیرند به‌عنوان فاکتور تصادفی در نظر گرفته شده است که سناریوهای ممکن با توجه به شرایط آینده برای این فاکتورها مطابق جداول (۶) و (۷) و (۸) می‌باشد.

جدول ٦. سناریوهای ممکن به همراه احتمال وقوع بر اساس تقاضای مشتری در بازار دست‌دوم

شرایط آینده (سناریو)	احتمال وقوع	تقاضای مشتری محصول P در بازار دست‌دوم q (DDE_{qp}^{s})		
		عدد تصادفی		تابع سناریو
		DDE_{C2}	DDE_{C1}	
خوب	۰,۴	۳۲۸۸۴	۲۴۵۷۵	$U_1 \sim [۲۵۰۰۰ - ۲۰۰۰۰]$ $U_2 \sim [۳۰۰۰۰ - ۳۵۰۰۰]$
		۳۰۳۷۲	۲۷۱۷۹	
		۳۰۷۶۱	۲۳۱۳۹	
متوسط	۰,۴	۲۶۵۵۷	۱۹۷۴۱	$U_1 \sim [۲۰۰۰۰ - ۱۹۰۰۰]$ $U_2 \sim [۲۵۰۰۰ - ۳۰۰۰۰]$
		۲۵۸۷۱	۱۹۱۳۱	
		۲۵۶۸۳	۱۹۴۷۹	
بد	۰,۲	۲۰۲۳۷	۱۸۶۶۹	$U_1 \sim [۱۹۰۰۰ - ۱۸۰۰۰]$ $U_2 \sim [۲۰۰۰۰ - ۲۵۰۰۰]$
		۲۴۱۹۷	۱۸۰۷۵	
		۲۰۰۸۶	۱۸۳۱۰	

جدول ۷. سناریوهای ممکن به همراه احتمال وقوع بر اساس هزینه حمل‌ونقل

شرایط آینده (سناریو)	احتمال وقوع	هزینه حمل‌ونقل از مراکز توزیع j به بازار دست‌اول c (DE^s_{cp})		
		عدد تصادفی		تابع سناریو
		DE_{C2}	DE_{C1}	
خوب	۰,۴	۱۴۸۷۹۴	۹۴۹۷۹	U_1~[۹۵۰۰ ،۱۰۵۰۰]
		۱۴۵۶۱۵	۹۲۷۹۱	U_2~[۱۶۰۰۰۰ ،۱۷۰۰۰۰]
متوسط	۰,۴	۱۳۲۸۷۳	۸۸۸۱۵	U_1~[۸۵۰۰ ،۹۵۰۰]
		۱۳۴۷۳۵	۸۵۹۷۷	U_2~[۱۵۰۰۰۰ ،۱۶۰۰۰۰]
بد	۰,۲	۱۲۸۳۵۳	۷۸۶۱۵	U_1~[۷۵۰۰ ،۸۵۰۰]
		۱۲۴۰۲۴	۷۷۰۸۱	U_2~[۱۴۰۰۰۰ ،۱۵۰۰۰۰]

جدول ۸. سناریوهای ممکن به همراه احتمال وقوع بر اساس تقاضای مشتری در بازار دست‌اول

شرایط آینده (سناریو)	احتمال وقوع	تقاضای مشتری محصول p در بازار دست‌اولq TJC^s_{jcp}								عدد	تابع درصد افزایش / کاهش قیمت
		عدد پارامتر								تصادفی	
		TJC_{4cp}		TJC_{3cp}		TJC_{2cp}		TJC_{1cp}			
خوب	۰,۴	۱,۸	۵,۴	۲,۴	۵,۸	۲,۲	۵,۴	۱,۳	۳,۶	-۱۰	U~[-۱۵،-۵]
		۲,۷	۶,۳	۱,۸	۴,۵	۱,۸	۴,۵	۲,۷	۶,۳		
متوسط	۰,۴	۲	۶	۲,۷	۶,۵	۲,۵	۶	۱,۵	۴	۰	U~[-۵،۵]
		۳	۷	۲	۵	۲	۵	۳	۷		
بد	۰,۲	۲,۲	۶,۶	۲,۹	۷,۱	۲,۷	۶,۶	۱,۶	۴,۴	۱۰	U~[۱۵،۵]
		۳,۳	۷,۷	۲,۲	۵,۵	۲,۲	۵,۵	۳,۳	۷,۷		

همان‌طور که در جداول (۶) تا (۸) مشخص است شرایط اقتصادی به سه سناریوی ممکن تقسیم شده است و احتمالات مربوط به هر یک از این سناریوها توسط نظر خبرگان در ستون مربوطه آورده شده است. تقاضای مشتریان بسته به شرایط آینده از تابع یکنواخت با پارامترهای مختلفی پیروی می‌کند مثلاً برای شرایط آینده خوب تقاضا در بیشترین حد خود قرار می‌گیرد و به همین ترتیب برای شرایط مختلف تغییر می‌کند. جهت به دست

آوردن عدد مربوط به پارامتر دارای عدد غیرقطعی از تابع یکنواخت، از تابع رندم[1] در اکسل استفاده شده است. جهت دسترسی به نقاط بهینه پارتو از روش بهینه‌سازی محدودیت اپسیلون (ε-constraint) با استفاده از نرم‌افزار GAMS 24 و با یک رایانه Ghz ۲,۴ Core i3 و حافظه ۳ گیگابایت استفاده شده است.

مثال ارائه‌شده در سطح معناداری (α) ۸۰٪ و ضریب ریسک‌پذیری (λ) ۰,۳ حل شده است و مقدار)که توسط تصمیم‌گیرنده تعیین می‌شود و نشان‌دهنده حداکثر مقدار زیان می‌باشد برابر با 10^9 واحد در نظر گرفته شده است. سایر پارامترهای ثابت نیز مطابق جدول (۳) می‌باشد. با در دست داشتن مقادیر مربوط به هر پارامتر، مسئله را با استفاده از مدل دوم با در نظر گرفتن ریسک در ابعاد ذکرشده حل نموده و نتایج به‌دست‌آمده در جدول (۹) نشان داده می‌شود.

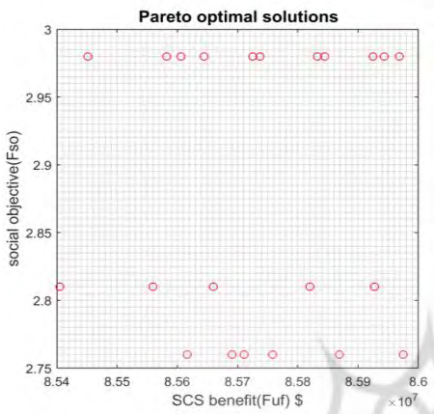
جدول ۹. جواب‌های بهینه پارتو مثال عددی مدل ۲ با در نظر گرفتن عدم قطعیت در داده‌ها

جواب	Fuf	Fem	Fso	جواب	Fuf	Fem	Fso
۱	۸۵۴۰۴۸۲۰	۱۳۳۷۲۸۱۰	۲,۸۱	۱۲	۸۵۷۳۷۱۸۰	۱۳۳۹۷۵۸۰	۲,۹۸
۲	۸۵۴۵۱۲۴۰	۱۳۳۷۲۸۱۰	۲,۹۸	۱۳	۸۵۷۵۸۳۷۰	۱۳۳۹۷۵۸۰	۲,۷۶
۳	۸۵۵۵۹۶۲۰	۱۳۳۸۵۲۰۰	۲,۸۱	۱۴	۸۵۸۱۹۹۶۰	۱۳۴۰۹۹۷۰	۲,۸۱
۴	۸۵۵۸۲۲۴۰	۱۳۳۴۸۰۵۰	۲,۹۸	۱۵	۸۵۸۳۲۷۲۰	۱۳۴۴۷۱۲۰	۲,۹۸
۵	۸۵۶۰۶۰۴۰	۱۳۳۸۵۲۰۰	۲,۹۸	۱۶	۸۵۸۴۴۶۷۰	۱۳۴۰۹۹۷۰	۲,۹۸
۶	۸۵۶۱۶۱۶۰	۱۳۳۶۷۸۶۰	۲,۷۶	۱۷	۸۵۸۶۸۸۵۰	۱۳۴۰۹۹۷۰	۲,۷۶
۷	۸۵۶۴۴۲۴۰	۱۳۳۶۰۴۳۰	۲,۹۸	۱۸	۸۵۹۲۵۱۵۰	۱۳۴۵۹۵۰۰	۲,۹۸
۸	۸۵۶۵۹۷۰۰	۱۳۳۶۰۴۳۰	۲,۸۱	۱۹	۸۵۹۲۷۴۶۰	۱۳۴۲۲۳۵۰	۲,۸۱
۹	۸۵۶۹۰۵۶۰	۱۳۳۶۰۴۳۰	۲,۷۶	۲۰	۸۵۹۴۳۳۰۰	۱۳۴۲۲۳۵۰	۲,۹۸
۱۰	۸۵۷۱۰۵۴۰	۱۳۳۷۲۸۱۰	۲,۷۶	۲۱	۸۵۹۶۸۵۱۰	۱۳۴۷۱۸۹۰	۲,۹۸
۱۱	۸۵۷۲۵۲۳۰	۱۳۴۳۴۷۳۰	۲,۹۸	۲۲	۸۵۹۷۵۳۱۰	۱۳۴۲۲۳۵۰	۲,۷۶

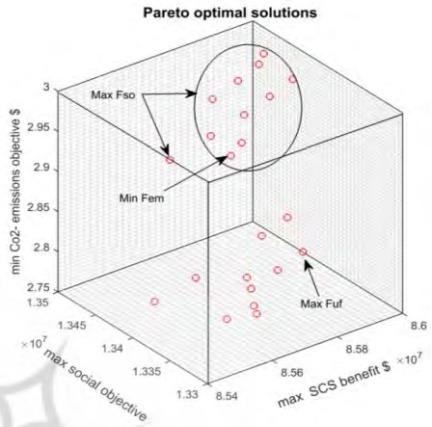
جواب‌های بهینه پارتو در اشکال (۳ تا ۶) با در نظر گرفتن هم‌زمان سه تابع هدف (سه‌بعدی) و دو تابع هدف (دوبعدی) نشان داده شده است. همان‌گونه که در نمودار شکل

1. Randbetween

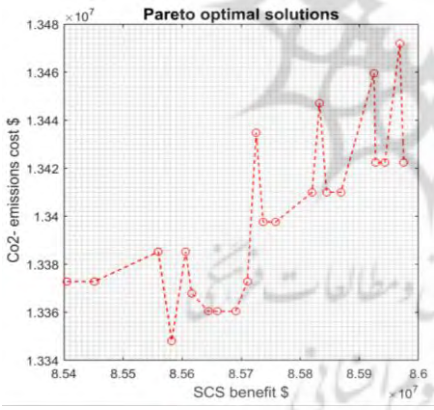
(۳) مشاهده می‌گردد مقدار بهینه جواب‌های پارتو با توجه به اهداف پایداری مسئله به‌طور هم‌زمان نشان داده شده است که نقاط حداکثری و حداقلی هر یک از توابع با توجه به min/ max بودن تابع هدف در این نمودار مشخص گردیده است.



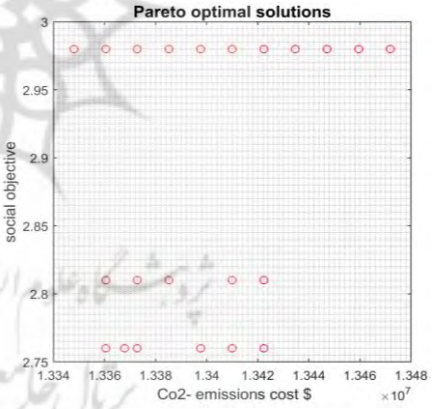
شکل ٤: جواب بهینه پارتو توابع **Fso – Fuf** مدل ۲



شکل ۳: نمودار سه‌بعدی راه‌حل‌های بهینه پارتو مدل ۲



شکل ٦: جواب بهینه پارتو توابع **Fuf– Fem** مدل ۲



شکل ۵: جواب بهینه پارتو توابع **Fso – Fem** مدل ۲

در نمودار شکل (۴) مشاهده می‌گردد تعداد احداث مراکز در مکان‌های بالقوه جهت حداکثری تأثیر اجتماعی بستگی به مقدار سود به‌دست‌آمده در زنجیره تأمین دارد؛ و همچنین در نمودار شکل (۵) مشاهده می‌گردد که میزان افزایش آلاینده‌ها ناشی از احداث

کارخانه‌ها در مراکز تولید بستگی به تعداد مراکز احداث‌شده دارد. نمودار شکل (۶) نشان‌دهنده این است که با افزایش سود در شبکه زنجیره تأمین موردمطالعه روند هزینه‌های ناشی از انتشار میزان گازهای گلخانه‌ای ناشی از احداث کارخانه و حمل‌ونقل بین مراکز نیز افزایش می‌یابد البته میزان این افزایش بستگی به احداث تعداد مراکز بالقوه نیز دارد.

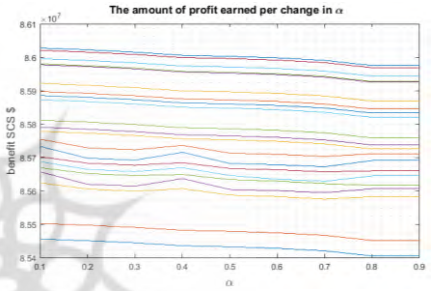
٤-١ تحلیل نتایج و آنالیز حساسیت

مدل (۱) مدل اولیه می‌باشد که در آن از سناریوسازی برای شرایط آینده استفاده نشده است و برای پارامترهای نامعین مسئله میانگین آن‌ها قرار داده شده است. مدل (۲) مدلی است که در آن سناریوهای مختلف از شرایط آینده لحاظ شده است این مدل مدلی خطی از مسئله می‌باشد که شرایط ممکن آینده را نیز دارا می‌باشد. مدل ۱ کمترین هزینه را در بین این دو مدل دارا می‌باشد که این واقعیت قابل پیش‌بینی نیز بود چراکه در این مدل عملاً ریسک مربوط به شرایط آینده بازار نادیده گرفته شده است ولی در مدل ۲ به‌واسطه در نظر گرفتن شرایط سه‌گانه معرفی‌شده برای نتایج ممکن آینده باید هزینه بیشتری را متحمل شد اما این هزینه بیشتر موجب این می‌شود که تا به جهان واقعی نزدیک‌تر و مدیریت زنجیره تأمین در شرایط مواجه‌شدن با ریسک تصمیم‌گیری‌های بهتری را نیز اتخاذ نماید.

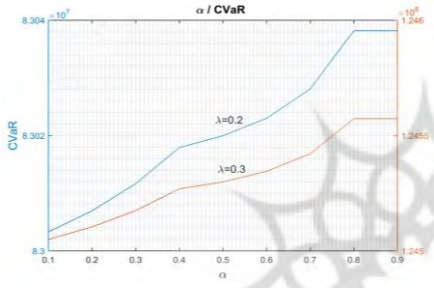
٤-١-١ تحلیل حساسیت سود زنجیره تأمین تحت عدم قطعیت به ازای تغییر در α

جهت نشان دادن تحلیل حساسیت میزان سود زنجیره تأمین جواب‌های بهینه به ازای هر α، مسئله موردنظر را با ثابت نگه‌داشتن سایر پارامترها به ازای هر α بین (۰,۹- ۰,۱) حل نموده و نتایج راه‌حل بهینه پارتو به‌دست‌آمده برای ۲۲ راه‌حل بهینه پارتو در نمودار شکل (۷) نشان داده شده است. همان‌گونه که پیش‌بینی می‌شود با افزایش α میزان زیان افزایش‌یافته و درنتیجه مقدار سود زنجیره تأمین کاهش می‌یابد که این امر نشان‌دهنده درستی مدل می‌باشد.

جهت نشان دادن تحلیل حساسیت میزان تغییرات CVaR به ازای هر α، با ثابت نگه‌داشتن پارامتر (۰,۲=) و (۰,۳=) مدل دوم را به ازای هر α حل نموده و نتایج به‌دست‌آمده برای بهترین جواب هدف اقتصادی در نمودار شکل (۸) نشان داده شده است. همان‌گونه که در نمودار شکل (۸) مشخص می‌باشد با افزایش سطح معناداری α، میزان ارزش در معرض ریسک شرطی CVaR نیز افزایش می‌یابد. البته لازم به ذکر است این افزایش در تابع هدف در مقادیر بالای α بیشتر است به‌طوری‌که به ازای افزایش α از ۰,۸ به ۰,۹ مقدار این افزایش بیشتر از بقیه تغییرات در α می‌باشد.



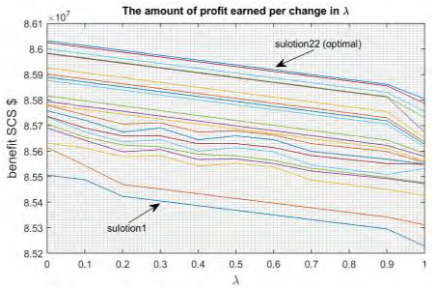
شکل ۷: تغییرات سود شبکه زنجیره تأمین جواب‌های بهینه پارتو به ازای تغییر هر α



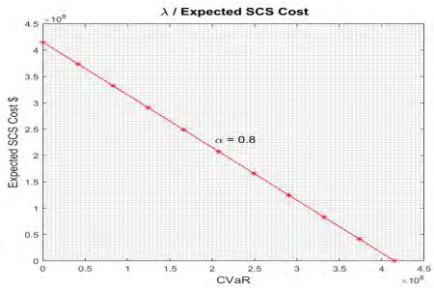
شکل ۸: تغییرات ارزش در معرض ریسک شرطی CVaR به ازای تغییر در α

٤-۱-۲ تحلیل حساسیت سود زنجیره تأمین تحت عدم قطعیت به ازای تغییر در λ

جهت نشان دادن تحلیل حساسیت میزان سود و هزینه ساختار شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار و همچنین ارزش در معرض ریسک ((CVaRبه ازای تغییر در)، مسئله موردنظر را با ثابت نگه‌داشتن سایر پارامترها به ازای) در بازه (۱-۰) حل نموده و نتایج به‌دست‌آمده به ترتیب در نمودار (۹) برای راه‌حل‌های بهینه پارتو هدف اقتصادی و نمودار (۱۰) برای راه‌حل بهینه هدف اقتصادی نشان داده شده است.



شکل ۹: تغییرات سود شبکه زنجیره تأمین جواب‌های بهینه پارتو به ازای تغییر در)



شکل ۱۰: تغییرات هزینه ساختار شبکه زنجیره تأمین / CVaR به ازای تغییر درλ

طبق مدل ارائه‌شده برای هر جواب با افزایش)به سمت ۱ تصمیم‌گیرنده توجه بیشتری را به زیان تابع هدف می‌نماید و درصورتی‌که ۱=)باشد، تصمیم‌گیرنده تنها قصد دارد که ریسک یا زیانش را مینیمم کند؛ بنابراین با توجه به نمودار (۱۰) می‌توان به این نکته پی برد و مشاهده نمود که رابطه بین CVaR و هزینه شبکه زنجیره تأمین به‌صورت خطی با شیب منفی بوده و هرچه توجه بیشتری به ریسک زنجیره تأمین گردد، تغییرات مقدار CVaR نسبت به هزینه ساختار زنجیره تأمین مورد انتظار بیشتر بوده و منجر به کاهش سود شبکه زنجیره تأمین موردنظر می‌گردد.

نتیجه‌گیری

در این مقاله پس از مرور ادبیات موضوع در زمینه ارائه مدل‌های ریسک در زنجیره‌های تأمین و شناسایی خلأهای موجود، به این موضوع پی برده شد که اکثر کارهای صورت گرفته در چند بخش دارای ضعف می‌باشند که عبارت‌اند از:

– عدم در نظر گرفتن ریسک‌های جدید و عدم قطعیت‌ها که ممکن است در زنجیره تأمین پایدار با آن مواجه شویم. درحالی‌که اکثر کارها تمرکز خود را روی ریسک در زنجیره تأمین معمولی و تک هدفه معطوف کرده‌اند. ما بر آن شدیم تا مدلی را جهت مدیریت ریسک در زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار ارائه نماییم.

– در ادامه کار نکته قابل‌توجهی نمایان شد که اکثر کارهای مربوط به کاهش ریسک، به‌هیچ‌عنوان از مقیاسی مناسب و کارا برای اندازه‌گیری ریسک استفاده نکرده‌اند، مخصوصاً در زمینه طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار. با مطالعات صورت گرفته در ادبیات مربوط به مباحث مالی به این نتیجه رسیدیم که مقیاس CVaR که در زمینه مالی بسیار شناخته شده است را وارد ادبیات طراحی زنجیره تأمین پایدار نماییم.

– درنهایت مدلی توسعه‌یافته بر اساس شکاف‌های تحقیقاتی طراحی و برای یک مثال نمونه در صنعت لوازم‌خانگی موردبررسی و تحلیل قرار دادیم.

همچنین بررسی نتایج حاصل از اجرای مدل با مسائل مشابه بررسی‌شده نشان داد که خروجی مسئله هم‌راستا با نتایج واقعی و تحقیقات پیشین بوده که خود دلیلی دیگر بر اعتبار مدل ارائه‌شده می‌باشد.

یافته‌های مدیریتی

پژوهش حاضر با بررسی یک زنجیره تأمین پایدار حلقه بسته با در نظر گرفتن ارزش در معرض ریسک شرطی برای یک تولیدکننده لوازم‌خانگی کمک می‌کند تا سازمان در شرایط محیطی واقعی فرآیند برنامه‌ریزی خود را مدیریت نموده و عملکرد خود را بر اساس موارد زیر موردنظر قرار دهد:

- **ماکسیمم کردن سود طراحی شبکه**
- **کاهش نرخ بیکاری و افزایش بهره‌وری عملکرد کارکنان**
- **مینیمم کردن کربن تولیدشده حاصل از حمل‌ونقل نقل‌های درون شبکه و مراکز تولید، بازیافت، تعمیر، تولید مجدد**
- **مینیمم کردن ریسک ناشی از عدم قطعیت در هزینه حمل‌ونقل و تقاضای مشتری**
- طراحی شبکه مسئله موردنظر جزء مهم‌ترین تصمیمات سطح استراتژیک در مدیریت زنجیره تأمین ذکرشده می‌باشد که اثرات بلندمدتی نیز خواهد داشت لذا پرداختن به

عدم قطعیت و مدیریت ریسک در این زنجیره کمک شایانی به تصمیم‌گیری‌هایی در مدیریت این زنجیره تأمین خواهد نمود.

- مدیرت ارشد زنجیره تأمین در زمینه مدیریت کاهش ریسک می‌بایست تا جای ممکن خود را در معرض ریسک قرار ندهد و یا استراتژی‌هایی برای هنگامی‌که ریسک مورد انتظار و یا غیرمنتظره به وقوع پیوست داشته باشد تا کمترین ضرر را تحمل کند.
- مقیاس اندازه‌گیری ریسک لحاظ شده در مدل‌سازی مسئله یعنی ارزش در معرض ریسکی مشروط یکی از کاراترین مقیاس‌های موجود با نقاط قوت فراوانی می‌باشد که حداکثر ریسک مرتبط با مسئله را در بدترین شرایط تحت سطح معناداری مشخصی نمایش داده است
- مدل و مسئله موردنظر به مدیران ارشد در تصمیم‌گیری در خصوص ایجاد فرصت‌های شغلی و کاهش نرخ بیکاری در زنجیره تأمین با توجه به اهداف بازیافت و برگرداندن محصولات از رده خارج‌شده به چرخه تولید و کاهش گازهای گلخانه‌ای ناشی از احداث کارخانه‌ها و حمل‌ونقل‌های درون شبکه کمک شایانی می‌نماید.

پیشنهاد کارهای آتی

پژوهش صورت گرفته در مقوله استفاده از مقیاس CVaR در مسئله طراحی زنجیره تأمین پایدار را می‌توان جزء کارهای جدیدی در ایران دانست چراکه با در نظر گرفتن ادبیات موجود، کاری در این زمینه صورت نگرفته است. با توجه به مطالب گفته‌شده می‌توان پیشنهادهای زیر را جهت کارهای آتی ارائه نمود.

- به‌کارگیری الگوریتم‌های فراابتکاری برای حل مدل‌های ارائه‌شده.
- مدل‌سازی و حل مسئله با استفاده از مفهوم برنامه‌ریزی تصادفی دو سطح
- ارائه مدلی جهت ارزیابی ریسک در طراحی زنجیره تأمین پایدار مواد فاسدشدنی با استفاده از رویکرد معیار سنجش ریسک CVaR

تعارض منافع

نویسندگان هیچ‌گونه تعارض منافع ندارند.

ORCID

Meisam Jafari Eskandari **https://orcid.org/0000-0002-5508-0971**

Hani Emami Saloot **https://orcid.org/0000-0001-5500-8243**

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

منابع

زارعیان جهرمی، حسین، فلاح نژاد، محمدصابر، صادقیه، احمد، احمدی یزدی، احمد، (۱۳۹۳) مدل بهینه‌سازی چند هدفه استوار در طراحی زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار. *نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع*، دوره ۲، شماره۳، صفحه ۹۳-۱۱۱.

سلطانی تهرانی، مهدی؛ حسن پور، حسینعلی و رمضانی، سعید، (۱۳۹۴) *مدل بهینه‌سازی دو هدفه هزینه و کربن دی‌اکسید در زنجیره تأمین یکپارچه (مستقیم و معکوس) در حالت چند محصولی و چند دوره‌ای*. دومین کنفرانس بین‌المللی و آنلاین اقتصاد سبز، بابلسر، شرکت پژوهشی طرود شمال.

صفار، محمدمهدی، شکوری گنجوی، حامد ورزمی، جعفر، (۱۳۹۴) طراحی یک زنجیره تأمین حلقه بسته سبز با در نظر گرفتن ریسک‌های عملیاتی در شرایط عدم قطعیت و حل آن با الگوریتمNSGA II . *نشریه تخصصی مهندسی صنایع*، دوره ۴۹، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۴، از صفحه ۵۵ تا ۶.

عزیزی، محمدرضا و جعفری، حمیدرضا، (۱۳۹۵) *ارائه یک مدل ریاضی برای طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار با در نظر گرفتن معیارهای انتخاب تأمین‌کننده در شرایط عدم قطعیت*، کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت پایدار، اصفهان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لنجان.

فخر زاد، محمدباقر و صمدی دارافشانی، مریم، (۱۳۹۲) یک *رویکرد بهینه‌سازی پایدار برای طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته چندمحصولی تحت عدم قطعیت تقاضا و بازگشت*. سومین همایش ملی سوخت، انرژی و محیط‌زیست، تهران، پژوهشگاه مواد و انرژی.

فروزش، نازنین؛ توکلی مقدم، رضا و موسوی، سید میثم، (۱۳۹۵) *ارزیابی ریسک‌های زنجیره تأمین پایدار برای مسئله انتخاب تأمین‌کننده با به‌کارگیری روش جدید تحلیل حالات خرابی در محیط فازی با ارزش بازه‌ای*، دومین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع و سیستم‌ها، به‌صورت الکترونیکی، گروه مهندسی صنایع دانشگاه فردوسی.

محمدی، سمانه و ذگردی، سید حسام‌الدین، (۱۳۹۵) *طراحی شبکه زنجیره تأمین پایدار در صنایع پایین‌دستی نفت*. دومین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع و سیستم‌ها، گروه مهندسی صنایع دانشگاه فردوسی.

مصطفی زاده، مهسا و جعفری، عزیزالله، (۱۳۹۴) *ارائه مدل ریاضی چند هدفه برای طراحی شبکه زنجیره تأمین پایدار با در نظر گرفتن مدیریت موجودی*. چهاردهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک، تهران، ایران.

References

Azizi, Mohammadreza and Jafari, Hamidreza, (2016) *Presenting a mathematical model for the design of a sustainable closed loop supply chain network considering supplier selection criteria under conditions of uncertainty, International Conference on Industrial Engineering and Sustainable Management*, Isfahan, Islamic Azad University Lanjan unit. [In Persian]

Baptista, S., Barbosa-Póvoa, P., Escudero, L., IsabelGomes, M., Pizarro, C., (2019) On risk management of a two-stage stochastic mixed 0–1 model for the closed-loop supply chain design problem. *uropean Journal of Operational Research*, Vol.274, pp.91-107.

Dehghanian, F., Mansour, S. (2009). Designing sustainable recovery network of end-of-life products using genetic algorithm. Resources, *conservation and recycling*, Vol.53, pp.559-570.

El-Sayed, M.,Afia,N., and EI-Kharbotly, A., (2010) A stochastic model for forward reverse Logistics network design under risk. *Computers & industrial Engineering*, Vol.58, pp.423-431.

Fakhrzad, Mohammad Baqer and Samadi Darafshani, Maryam, (2012) *A sustainable optimization approach for the design of multi-product closed loop supply chain network under demand and return uncertainty*. Third National Conference on Fuel, Energy and Environment, Tehran, Materials and Energy Research Institute. [In Persian]

Furozesh, Nazanin; Tavakoli Moghadam, Reza and Mousavi, Seyed Maitham, (2016) *Evaluation of sustainable supply chain risks for the problem of supplier selection by applying a new method of analysis of failure states in a fuzzy environment with interval value, the second international conference on industrial and systems engineering, in electronic form*, Department of Industrial Engineering, Ferdowsi University. [In Persian]

Giannakis, M., Papadopoulos, T., (2016) Supply chain sustainability: A risk management approach, I*nternational Journal of Production Economics*Vol.171, pp.455-470.

Goh, M. Meng F., (2009) managing supply chain risk and vulnerability. *Springer-Verlag London Edition*.1, chapter 8.

Govindan, K., Fattahi, M., (2017) Investigating risk and robustness measures for supply chain network design under demand uncertainty: A case

study of glass supply chain, *International Journal of Production Economics*, Vol.183, pp.680-699.

Hassanzadeh Amin, S., Baki, F., (2017) A facility location model for global closed-loop supply chain network design. *Applied Mathematical Modelling*, Vol.41, pp.316-330.

Huang, H. Y., Chou, Y.C., and Chang, S. (2009). A dynamic system model for proactive control of dynamic events in full-load states of manufacturing chains. *International Journal of Production Research*, Vol.47, pp.2485-2506.

Jabbarzadeh, A., Haughton, M., Khosrojerdi, A., (2018) Closed-loop supply chain network design under disruption risks: A robust approach with real world application. *Computers & Industrial Engineering*, Vol.116, pp.178-191.

Mohammadi, Samaneh and Zagerdi, Seyyed Hosamuddin, (2016) *Designing a sustainable supply chain network in downstream oil industries. Second International Conference on Industrial and Systems Engineering*, Department of Industrial Engineering, Ferdowsi University. [In Persian]

Mustafazadeh, Mehsa and Jafari, Azizullah, (2014) *Presenting a multi-objective mathematical model for designing a sustainable supply chain network considering inventory management.* 14th International Conference on Transportation and Traffic Engineering, Tehran, Iran. [In Persian]

Nguyen, T,V.,Zhou, L., Lin, Y., (2017) *A multi-objective, multi-product and multi-transportation mode sustainable closed-loop supply chain network design.* IEEE Conference Publications, pp.1-6.

Park, S., Lee, T.E.,Sung, C.S., (2010) A three-level supply chain network design model with risk pooling and lead times. *Transportation Research Part E*, Vol.46, pp.563-581.

Paydar, M.M., Babaveisi, V., Safaei, A.A., (2017) An engine oil closed-loop supply chain design considering collection risk. *Computers & Chemical Engineering*, Vol.104, pp.38-55.

Safar, Mohammad Mahdi, Shokuri Ganjovi, Hamed Varzmi, Jafar, (2014) Designing a green closed loop supply chain considering operational risks in conditions of uncertainty and solving it with NSGA II algorithm. I*ndustrial Engineering Specialized Journal*, Volume 49, Number 1, pp.6-55 [In Persian].

Shi, Jianmai, Liu, Zhong, Tang, Luohao, Xiong, Jian, (2017) Multi objective optimization for a.closed loop.network design problem using an improved genetic algorithm. *Applied Mathematical Modelling*, Vol.45, pp.14-30.

Soltani Tehrani, Mehdi; Hasanpour, Hossein Ali and Ramezani, Saeed,

(2014) *Two-objective optimization model of cost and carbon dioxide in integrated supply chain (direct and reverse) in multi-product and multi-period mode*. The second international and online conference on green economy, Babolsar, Trud Shamal Research Company. [In Persian]

Song, W.,Ming, X., Liu,H., (2017) Identifying critical risk factors of sustainable supply chain management: A rough strength-relation analysis method. *Journal of Cleaner Production*, Vol.143, pp.100-115.

Sónia R. Cardoso, Ana Paula Barbosa-Póvoa, Susana Relvas, (2016) Integrating financial risk measures into the design and planning of closed-loop supply chains. *Computers & Chemical Engineering*, Vol.85, pp.105-123.

Tuncel, G., Alpan, G., (2010) Risk assessment and management for supply chain networks: A case study. *Computers in Industry*, Vol.61, pp.250-259.

Tyrrell Rockafellar, R., Uryasev, S., (2000) Optimization of conditional value -at- risk. *journal of risk*, Vol.2(3), pp.21-24.

Zareian Jahormi, Hossein, Fallah Nejad, Mohammad Saber, Sadeghieh, Ahmad, Ahmadi Yazdi, Ahmad, (2013) Robust multi-objective optimization model in sustainable closed loop supply chain design. *Journal of industrial engineering research*, volume 2, number 3, page 111-93. [In Persian]

Zeballos, L.J., Méndez, C.A., (2017) Managing Risk in the Design of Product and Closed-Loop Supply Chain Structure. *Computer Aided Chemical Engineering*, Vol.39, pp.443-474.

Zhalechian, M.,Tavakkoli-Moghaddam,R., Zahiri, B., Mohammadi,M., (2016) Sustainable design of a closed-loop location-routing-inventory supply chain network under mixed uncertainty. Transportation Research Part E: *Logistics and Transportation Review*, Vol.89, pp.182-214.

استناد به این مقاله: جعفری اسکندری، میثم.، امامی سلوط، هانی. (۱۴۰۱). مدل بهینه‌سازی چند هدفه جهت ارزیابی ریسک در زنجیره تأمین حلقه بسته پایدار تحت شرایط عدم قطعیت در پارامترها: استفاده از رویکرد ارزش در معرض ریسک شرطی (CVaR)، *فصلنامه مطالعات مدیریت صنعتی*، ۲۰(۶۶)، ۲۵۱-۲۹۸.

DOI: 10.22054/jims.2019.28431.1966

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