



A Green-resilient Supply Chain Network Optimization Model in Cement Industries

Mahsa Mousavi 

MSc., Department of Industrial Management, Faculty of Business and Economics, Persian Gulf University, Bushehr, Iran. E-mail: mahsamousavi1994@yahoo.com

Gholamreza Jamali 

*Corresponding Author, Associate Prof., Department of Industrial Management, Faculty of Business and Economics, Persian Gulf University, Bushehr, Iran. E-mail: gjamali@pgu.ac.ir

Ahmad Ghorbanpour 

Assistant Prof., Department of Industrial Management, Faculty of Business and Economics, Persian Gulf University, Bushehr, Iran. E-mail: ghorbanpour@pgu.ac.ir

Abstract

Objective: Over the past decade, there have always been new paradigms in supply chain design. The green supply chain is a new concept that helps organizations deal with unexpected disruptions and minimize environmental impacts. The main purpose of this study is to present a multi-objective optimization model for a green-resilient supply chain network in cement industries. Dashtestan cement industries have been selected for validation and implementation of the model.

Methods: After reviewing the theoretical foundations and experimental background, the network was designed. Then, an appropriate mathematical model was developed and validated by a case study. In this study, scenarios were defined in two modes of production surplus and non-production surplus. Data analysis in each scenario was performed with MATLAB software. The CPLEX solver was also used to solve the model.

Results: The results showed that Dashtestan Cement Company's production surplus has no effect on supply chain resilience. Also, it can be concluded that if there is a production surplus, the cost of carbon dioxide emissions is less than the one in the absence of surplus production.

Conclusion: The company's production level has little effect on the cost of carbon dioxide emissions and the amount of that in the designed network is mostly due to the carbon emission rate in the production nodes and arcs. Therefore, the reduction of carbon footprint in these parts of the network should be considered.

Keywords: Multi-objective optimization, Supply chain network design, Green-resilient supply chain

Citation: Mousavi, Mahsa; Jamali, Gholamreza and Ghorbanpour, Ahmad (2021). A Green-resilient Supply Chain Network Optimization Model in Cement Industries. *Industrial Management Journal*, 13(2), 222-245. (in Persian)





ارائه مدل بهینه‌سازی شبکه زنجیره تأمین سبز - تاب‌آور در صنایع سیمان

مهسا موسوی

کارشناسی ارشد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده کسب‌وکار و اقتصاد، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران. رایانامه: mahsamousavi1994@yahoo.com

غلامرضا جمالی

* نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده کسب‌وکار و اقتصاد، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران. رایانامه: gjamali@pgu.ac.ir

احمد قربانپور

استادیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده کسب‌وکار و اقتصاد، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران. رایانامه: ghorbanpur@pgu.ac.ir

چکیده

هدف: در دهه گذشته، پارادایم‌های نوینی در طراحی زنجیره تأمین مطرح بوده است. زنجیره تأمین سبز - تاب‌آور، مفهومی جدید است که سازمان‌ها را در مقابله با اختلال‌های ناگهانی و به حداقل رساندن اثرهای زیست‌محیطی یاری می‌رساند. هدف اصلی این پژوهش، ارائه مدل بهینه‌سازی چندهدفه جهت طراحی شبکه زنجیره تأمین سبز - تاب‌آور در صنایع سیمان است. در این پژوهش، شرکت صنایع سیمان دشتستان برای اعتبارسنجی و پیاده‌سازی مدل، انتخاب شده است.

روش: پس از بررسی و مذاقه مبانی نظری و پیشینه تجربی، طراحی شبکه انجام شد، سپس، مدل ریاضی مناسب با مطالعه موردی تدوین و اعتبارسنجی آن صورت پذیرفت. در ادامه، سناریوها در دو حالت تولید مازاد مجاز و تولید مازاد غیرمجاز تعریف شدند. در نهایت، تجزیه و تحلیل داده‌ها در هر سناریو با نرم‌افزار متلب انجام گرفت. برای حل مدل، از حل‌کننده سیپلکس استفاده شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که مازاد تولید صنایع سیمان، هیچ تأثیری بر تاب‌آوری شبکه زنجیره تأمین ندارد. همچنین، میزان هزینه انتشار دی‌اکسید کربن در حالت مازاد تولید، از حالت عدم مازاد تولید کمتر است.

نتیجه‌گیری: سطح تولید صنایع سیمان روی هزینه انتشار شبکه تأثیر کمی می‌گذارد و هزینه انتشار دی‌اکسید کربن در شبکه طراحی شده، بیشتر از مقدار انتشار کربن در گره‌های تولیدی و کمان‌ها نشئت می‌گیرد. بنابراین، باید کاهش ردپای کربن در این نقاط از شبکه، در کانون توجه قرار گیرد.

کلیدواژه‌ها: بهینه‌سازی چندهدفه، طراحی شبکه زنجیره تأمین، زنجیره تأمین سبز - تاب‌آور

استناد: موسوی، مهسا؛ جمالی، غلامرضا و قربانپور، احمد (۱۴۰۰). ارائه مدل بهینه‌سازی شبکه زنجیره تأمین سبز - تاب‌آور در صنایع سیمان. مدیریت صنعتی، ۱۳(۲)، ۲۲۲-۲۴۵.

مقدمه

زنجیره تأمین شامل شبکه‌ای از تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، انبارها، مراکز توزیع و روابط بین آنها است که در تولید، عرضه، فروش و تحویل کالا به مصرف‌کننده شرکت می‌کنند (پاپاستولو، کندیلی و کالدلیس^۱، ۲۰۱۱). بنابراین، مدیریت زنجیره تأمین^۲ مدیریت مؤثر و کارآمد اطلاعات، پول و مواد در بین همه اجزای شبکه جهت حداکثر نمودن سود کل و رضایت مشتری است (الزمان، ژانگ و دیابات^۳، ۲۰۱۸). تصمیمات حوزه مدیریت زنجیره تأمین را می‌توان در سه سطح تقسیم‌بندی کرد: ۱. سطح استراتژیک که در ارتباط با موضوعات بلندمدت مانند تعداد و محل کارخانه‌ها و انبارهاست؛ ۲. سطح تاکتیکی، در ارتباط با تصمیم‌گیری‌های کوتاه‌مدت‌تر مانند تصمیمات خرید و تولید است؛ ۳. سطح عملیاتی که مرتبط با تصمیمات روزانه مانند زمان‌بندی و بارگیری کامیون‌هاست (رمضانیان و خالصی^۴، ۲۰۱۹).

یکی از مهم‌ترین تصمیمات استراتژیکی در مراحل اولیه شکل‌گیری زنجیره، طراحی شبکه زنجیره تأمین^۵ است (یو، سولوانگ و چن^۶، ۲۰۱۴). طراحی شبکه زنجیره تأمین به عمل تعیین ظرفیت این تسهیلات، تعیین چگونگی تأمین تقاضای مشتری از طریق شبکه و برآورده کردن سطح خدمات مورد نیاز مشتریان با کمترین هزینه گفته می‌شود (نادری، جاویدان و سلیمانی^۷، ۲۰۱۹). طراحی شبکه زنجیره تأمین دقیق و کارآمد امتیازی رقابتی پایدار برای شرکت‌ها محسوب می‌شود و به آنها در مدیریت کردن آشفتگی‌های محیطی رو به رشد و نیروهای رقابتی شدیدتر کمک می‌کند (یادگاری، عالم تبریزی و زندیه^۸، ۲۰۱۹) و از طریق کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، آلاینده‌ها و خطرهای، تأثیر شایان توجهی بر محیط زیست دارد (تسنگ، اسلام، کاریا، فوزی و عفرین^۹، ۲۰۱۹). در گذشته، طراحی شبکه زنجیره تأمین بیشتر بر معیارهای عملکرد مبتنی بر هزینه متمرکز بود (دهقانیان و منصور^{۱۰}، ۲۰۰۹)، در حالی که دستورالعمل‌های تنظیمی اخیر، مقررات زیست‌محیطی بین‌المللی، فشارهای فزاینده جامعه و مصرف‌کنندگان آگاه از محیط‌زیست سازمان‌ها را مجبور ساخته تا اهدافی فراتر از معیارهای اقتصادی را در زمان طراحی یا ادغام زنجیره‌های تأمین خود در نظر بگیرند (فهم‌نیا، سرکیس و داورزنی^{۱۱}، ۲۰۱۵). بنابراین، طراحی شبکه زنجیره تأمین سبز^{۱۲} که زنجیره تأمین سنتی را با معیارهای عملکرد زیست‌محیطی در مرحله طراحی اولیه ترکیب می‌کند، برای سازمان‌ها به‌منظور طراحی شبکه زنجیره تأمین، اقدامی کارا محسوب می‌شود (آکرمن، پانتل و لاسر^{۱۳}، ۲۰۱۷) و به‌دلیل تأثیری که بر عملکرد اقتصادی و زیست‌محیطی زنجیره تأمین می‌گذارد، تصمیم استراتژیک بسیار مهمی محسوب می‌شود (گولپیرا، زندیه، نجفی و سادی‌نژاد^{۱۴}، ۲۰۱۷).

1. Papapostolou, Kondili & Kaldellis
2. Supply Chain Management
3. Alzaman, Zhang & Diabat
4. Ramezani and Khalesi
5. Supply Chain Network Design: SCND
6. Yu, Solvang & Chen
7. Naderi, Govindan & Soleimani
8. Yadegari, Alem-Tabriz & Zandieh
9. Tseng, Islam, Karia, Fauzi & Afrin
10. Dehghanian and Mansour
11. Fahimnia, Sarkis & Davarzani
12. Green Supply Chain Network Design :GSCND
13. Ackerman, Pantel, & Lasserre
14. Golpıra, Zandieh, Najafi & Sadi-Nezhad

از منظر دیگر، طراحی شبکه زنجیره تأمین به نیرویی برای مقابله با خطاها در طول اجرا نیاز دارد. تاب‌آوری^۱ مفهومی برای کمک به سازمان‌هاست و به‌عنوان توانایی یک سیستم برای بازگشت به حالت اولیه خود یا حرکت به حالت جدید و مطلوب بعد از اختلال تعریف می‌گردد (کریستوفر و پک^۲، ۲۰۰۴). مذاقه مبانی پژوهش مشخص می‌نماید که دو خطر اصلی در زمینه طراحی زنجیره تأمین وجود دارد (گوه، لیام و منگ^۳، ۲۰۰۷؛ کلندورفر و سعد^۴، ۲۰۰۵؛ زالیچیان، ترابی و محمدی^۵، ۲۰۱۸):

- ریسک‌های عملیاتی: به عدم قطعیت در تقاضای مشتری، عرضه و هزینه اشاره دارد و اغلب در طبیعت رخ می‌دهد و رخ‌دادن آنها آثار منفی و کوتاه‌مدتی دارد.
- ریسک‌های ناشی از اختلال: اختلال‌های درخور توجهی هستند که بر کل زنجیره تأثیر می‌گذارند و به‌طور چشمگیری از بلایای طبیعی، تهدیدهای انسانی (مانند حمله تروریستی و اعتصاب کارکنان) و تهدیدهای تکنولوژیکی (مانند خرابی تجهیزات) تأثیر می‌گیرند.

نادیده گرفتن این دو نوع از اختلال‌ها ممکن است خطرهایی را بر کل شبکه زنجیره تأمین تحمیل کند. یک زنجیره تأمین تاب‌آور، قادر به جذب آشفتگی و حفظ عملکرد آن در هنگام ایجاد اختلال است (پتیت، فیکسل و کراکتون^۶، ۲۰۱۰). بر این اساس، هدف اصلی این پژوهش، مدل‌سازی و طراحی شبکه زنجیره تأمین سبز - تاب‌آور برای شرکت سیمان دشتستان است تا به‌طور مؤثر تعادل بین دو تابع هدف یعنی کاهش انتشار گاز دی‌اکسیدکربن و حداکثر رساندن تاب‌آوری در کل شبکه زنجیره تأمین را تأمین نماید.

پیشینه پژوهش

اصطلاح زنجیره تأمین سبز برای اولین بار توسط کنسرسیوم تحقیقات تولیدی دانشگاه میشیگان در سال ۱۹۹۶ برای مطالعه اثرات محیطی و بهینه‌سازی منابع تولید زنجیره تأمین پیشنهاد شد (هندفیلد، والتن، سوروف و ملنیک^۷، ۲۰۰۲). وقتی پژوهشگران شروع به ادغام نگرانی‌های زیست محیطی در زنجیره تأمین کردند، مفهوم زنجیره تأمین سبز پدیدار شد. سربواستاوا^۸ (۲۰۰۷) مدیریت زنجیره تأمین سبز را ادغام تفکر محیطی در مدیریت زنجیره تأمین، از جمله طراحی محصول، منبع یابی، انتخاب مواد، تحویل محصول نهایی به مصرف‌کنندگان و نیز مدیریت عمر محصول بعد از عمر مفید آن تعریف می‌کند. برخی محققان معتقدند مدیریت زنجیره تأمین سبز یک مدل مدیریتی مدرن است که بر بهبود هماهنگی مزایای اقتصادی و تأثیر محیطی تمرکز دارد (زانگ، وانگ و رن^۹، ۲۰۱۴). با جهانی شدن زنجیره‌های تأمین

1. Resilience
2. Christopher & Peck
3. Goh, Lim & Meng
4. Kleindorfer and Saad
5. Zhalechian, Torabi & Mohammadi
6. Pettit, Fiksel & Croxton
7. Handfield, Walton, Sroufe & Melnyk
8. Srivastava
9. Zhang, Wang & Ren

نسبت به اختلال‌ها آسیب‌پذیرتر شدند (تلمین و سیندر^۱، ۲۰۰۸). با توجه به اینکه ریسک‌ها و اختلال‌های همراه آن یک عامل اجتناب‌ناپذیر در زنجیره تأمین محسوب می‌شوند، بنابراین در هنگام طراحی شبکه زنجیره تأمین، تاب‌آور بودن زنجیره تأمین باید مد نظر قرار گیرد. واژه تاب‌آوری در زنجیره تأمین برای اولین بار توسط شفلی^۲ (۲۰۰۵) عنوان شد. پونیز و کورونیز^۳ (۲۰۱۲) تاب‌آوری زنجیره تأمین را اینگونه تعریف می‌کنند: توانایی زنجیره تأمین در برنامه‌ریزی و طراحی شبکه زنجیره تأمین برای پیش‌بینی رخدادهای غیرمنتظره اختلال که به‌طور تطبیقی به اختلال‌ها واکنش نشان می‌دهد، درحالی که کنترل بر ساختار و عملکرد را حفظ کرده و از حالت قوی عملیات‌ها فراتر می‌رود. طراحی شبکه زنجیره تأمین تاب‌آور، قبل از وقوع چنین اختلال‌هایی، به زنجیره تأمین اجازه می‌دهد خطرات بالقوه را شناسایی کند و سیستم را برای واکنش به اختلال‌ها، در حالت بهینه برنامه‌ریزی نماید (سودھی، سان و تنگ^۴، ۲۰۱۱).

با بررسی و مذاقه پیشینه تجربی در حوزه طراحی شبکه زنجیره تأمین می‌توان پی‌برد بحث توانان زنجیره تأمین سبز و تاب‌آور در طراحی شبکه زنجیره تأمین به ندرت مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. در این بخش به بررسی مبانی تجربی در حوزه‌های مدنظر پرداخته شده است.

گنجی و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه‌ای به توسعه مدل دوهدفه یکپارچه زمان‌بندی زنجیره تأمین سبز: تولید، توزیع و مسیریابی با وسیله نقلیه ناهمگن و پنجره‌های زمانی مشتریان پرداختند. مدل برنامه‌ریزی مسئله بیان‌شده یک مدل ریاضی عدد صحیح غیرخطی مختلط بوده و برای حل آن از الگوریتم‌های فرابتنکاری چندهدفه بهره گرفته شده است. نتایج نشان داد مدل به‌کار رفته در این پژوهش به کاهش هزینه‌های تولید، توزیع، نگهداری موجودی و مصرف سوخت منجر می‌شود. همچنین به کمک این مسئله، موجودی محصولات و هزینه‌های نگهداری کاهش داده می‌شود.

والی‌سیر و روغنیان (۱۳۹۸) در مقاله خود به مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین سبز و تاب‌آور می‌پردازند. در این مقاله، اختلال‌های محتمل در تأمین‌کنندگان و سایت‌های تولیدی در نظر گرفته شده است. همچنین زمان‌بندی حمل کالاها به سمت مشتریان و اثرات زیست‌محیطی آن مدنظر قرار گرفته است. برای فرمول‌بندی مسئله یک مدل جدید تصادفی برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط دو هدفه ارائه شده که توابع هدف آن به ترتیب کمینه‌سازی کل هزینه‌ها و کل کربن انتشار یافته است. در حل مسئله از روش اپسیلون محدودیت تقویت شده استفاده شده است.

صادقی و بویرحسینی (۱۳۹۸) در مطالعه خود به مدل‌سازی مسئله برنامه‌ریزی پایدار و تاب‌آور یک شبکه زنجیره تأمین چهار سطحی پرداخته‌اند. بدین منظور یک مدل ریاضی چندهدفه توسعه داده شده است که در کنار هدف اقتصادی، برای پایداری زنجیره تأمین به بیشینه‌سازی نمرات اجتماعی و زیست‌محیطی تأمین‌کنندگان و همچنین کمینه‌سازی تأخیر در تحویل محصولات پرداخته می‌شود و از دو روش اپسیلون محدودیت تکامل‌یافته و ال پی متریک برای موازنه اهداف استفاده شده است.

حاجیان و همکاران (۱۳۹۸) در مقاله‌ای به ارائه مدل چندهدفه برای مسئله مکان‌یابی - مسیریابی - موجودی در

1. Tomlin & Synder
2. Sheffi
3. Ponies & Koronis
4. Sodhi, Son & Tang

شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته سبز چنددوره‌ای و چندمحصولی برای کالاهای فاسدشدنی پرداختند. نتایج نشان داد که تصمیم‌های مکان‌یابی، مسیریابی و موجودی به هم وابسته بوده و تعیین مقادیر بهینه این متغیرها در تعامل با هم است که می‌تواند به یافتن یک سیستم بهینه با حداقل هزینه‌های ممکن منجر شود.

فتحی و همکاران (۱۳۹۸) در یک مطالعه برای به حداقل رساندن آثار زیست‌محیطی و حداکثرسازی آثار اجتماعی و سود اقتصادی، مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط چندهدفه فازی، به‌منظور طراحی زنجیره تأمین پایدار حلقه بسته در وضعیت عدم قطعیت ارائه دادند. بر اساس نتایج، ملاحظات هم‌زمان ابعاد اقتصادی، زیست‌محیطی و اجتماعی و عدم قطعیت در برخی پارامترها همچون تقاضا و میزان برگشتی، به بهبود عملکرد زنجیره تأمین از نظر سودآوری و پاسخ‌گویی به نیازهای مشتریان منجر می‌شود.

محمدی و همکاران (۱۳۹۷) در مطالعه خود به طراحی شبکه زنجیره تأمین سبز حلقه بسته همراه با تصمیم‌های مالی در شرایط عدم قطعیت پرداختند. مسئله مورد بررسی چندمحصوله، چنددوره‌ای، چندهدفه، غیرقطعی و حلقه‌بسته است که به وسیله یک مدل ریاضی برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح ترکیبی، مدل‌سازی شده است. برای مواجهه با عدم قطعیت پارامترهای تقاضا و بازگشت سرمایه، از روش مسیر سناریو استفاده شده است. نتایج پژوهش اثربخشی ملاحظه تصمیم‌های مالی در طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه‌بسته سبز را نشان می‌دهد؛ زیرا با افزایش تعداد وام‌های در دسترس، سطح خدمت ارائه‌شده به توزیع‌کنندگان افزایش می‌یابد. نتایج به‌دست‌آمده بر اساس یک مورد مطالعه در صنعت بازیافت پلاستیک است.

اجلی و همکاران (۱۳۹۵) در مقاله‌ای با عنوان طراحی شبکه زنجیره تأمین پایدار و تاب‌آور تحت ریسک‌های اختلال روی پایداری محیط زیستی تأکید می‌کنند. این مطالعه تلاش می‌کند تا برای پایداری و شبکه زنجیره تأمین تاب‌آور توسط ترکیب پایداری از طریق انتشار کربن و آثار کربن مجسم شده و تاب‌آوری از طریق ترکیب ریسک‌های ویژه محلی، مدل بهینه شبکه‌ای را معرفی کند. الگوی برنامه‌ریزی اهداف پیشنهاد شده با در نظر گرفتن تاب‌آوری و پایداری شبکه زنجیره تأمین، هزینه کلی را بهینه‌سازی می‌کند.

ظهوری، ژوانگ و محمدی (۲۰۱۷) یک مدل تخصیص مکانیابی چندهدفه را با هدف طراحی یک شبکه زنجیره تأمین پایدار تاب‌آور در شرایط عدم قطعیت توسعه داده‌اند. کمینه‌سازی هزینه کل، بیشینه‌سازی رضایت اجتماعی، کمینه‌سازی معیارهای تاب‌آوری (حساسیت گره، فناوری جدید، پیچیدگی جریان، پیچیدگی گره، سطح خدمت‌دهی به مشتری) و اقدامات زیست‌محیطی، توابع هدف تعریف شده در مسئله مورد بررسی در این مطالعه می‌باشند.

جابرزاده، فهیمینیا و رستگار (۲۰۱۷) در پژوهشی به طراحی شبکه زنجیره تأمین برق با استفاده از شبکه هوشمند پرداختند. آنها در پژوهش خود از یک مدل ریاضی چندهدفه استفاده می‌کنند که اهداف رشد اقتصادی، هزینه‌های زیست‌محیطی و تاب‌آوری را دنبال می‌کند. برای حل مدل حاصل، یک تکنیک بهینه‌سازی چند هدفه هیبریدی با استفاده از الگوریتم برش و AUGMECON2 پیشنهاد شده است. نتایج نشان می‌دهد در حالی که گاهی اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی به شدت متناقض‌اند، اجرای شبکه‌های هوشمند می‌تواند به افزایش هم‌زمان عملکرد زیست‌محیطی و تاب‌آوری شبکه منجر شود.

جدول ۱ خلاصه‌ای از مطالعات انجام شده در این حوزه را نشان می‌دهد.

جدول ۱. مروری بر ادبیات پژوهش

تکنیک	مفهوم شبکه (گره و کمان)	معیار		نوع تابع هدف			منبع (سال انتشار)
		تاب‌آوری	سبز	تاب‌آور	هزینه‌گر	سبز	
برنامه‌ریزی تصادفی عدده‌صحیح مختلط	—	اختلال‌های شبکه		—	*	*	والی سیر و روغنیان (۱۳۹۸)
برنامه‌ریزی چندهدفه	—	ترکیب ریسک‌های محلی		—	*	-	صادقی و بویرحسینی (۱۳۹۸)
بهینه‌سازی چندهدفه	—	اختلال در تأمین مواد اولیه		—	*	*	اجلی، محمدی بالائی، سلحشوری و علی دوستی شهرکی (۱۳۹۵)
برنامه‌ریزی خطی عدده‌صحیح مختلط	—	اختلال‌های شبکه		—	*	-	آرنجانی، قادری، آزاده و بابازاده ^۱ (۲۰۲۰)
برنامه‌ریزی خطی عدده‌صحیح مختلط	—	استراتژی‌های تاب‌آوری	انتشار کربن	—	*	*	یاوری و ذاکر ^۲ (۲۰۲۰)
برنامه‌ریزی چندهدفه	—	افزونگی، چابکی، ناب بودن و انعطاف‌پذیری		*	*	*	محمد، هریس، سوروکا و نوجوم ^۳ (۲۰۱۹)
برنامه‌ریزی تصادفی احتمالی فازی	*	حساسیت گره، فناوری جدید، پیچیدگی جریان، پیچیدگی گره، سطح خدمت‌دهی به مشتری		*	*	*	ظہیری، ژوانگ و محمدی ^۴ (۲۰۱۷)
بهینه‌سازی استوار چندهدفه	*	احتمال ایجاد اختلال در زیرسیستم تولید، انتقال و توزیع		*	*	*	جبارزاده، فهیمینیا و رسگار ^۵ (۲۰۱۷)
برنامه‌ریزی آرمانی تصادفی فازی	—	سناریو ایجاد اختلال در شبکه		—	*	*	فهیمینیا و جبارزاده ^۶ (۲۰۱۶)
بهینه‌سازی چندهدفه	—	هزینه اختلال در شبکه		*	*	*	ماری، لی و ممون ^۷ (۲۰۱۴)

با توجه به بررسی مبانی نظری و تجربی صورت گرفته در جدول بالا می‌توان بیان نمود که مطالعات زیادی در زمینه طراحی شبکه زنجیره تأمین، طراحی شبکه زنجیره تأمین سبز و طراحی شبکه زنجیره تأمین تاب‌آور صورت گرفته است؛

1. Ahranjani, Ghaderi, Azadeh & Babazadeh
2. Yavari & Zaker
3. Mohammed, Harris, Soroka & Nujoom
4. Zahiri, Zhuang & Mohammadi
5. Jabbarzadeh, Fahimnia & Rastegar
6. Fahimnia & Jabbarzadeh
7. Mari, Lee & Memon

اما مطالعات اندکی به تحلیل هم‌زمان این مفاهیم در طراحی شبکه زنجیره تأمین پرداخته است که در این بین سهم مطالعات داخلی خیلی ناچیز بوده است. بدین منظور، مطالعه حاضر به جهت توسعه مدل بهینه‌سازی طراحی شبکه زنجیره تأمین سبز - تاب‌آور دارای نوآوری است. کاربست شبکه سبز - تاب‌آور طراحی شده و مدل ریاضی در صنعت سیمان که بعد از صنایع پتروشیمی از بیشترین آلودگی برخوردارند و بازیگر اصلی در زنجیره تأمین صنعت ساخت هستند، دیگر مزیت این مطالعه به شمار می‌آید. همچنین، در این مطالعه از معیار اتصال شبکه برای بعد تاب‌آوری زنجیره تأمین استفاده گردید. به عبارتی بهتر، در این مطالعه شاخص تاب‌آوری، وجود مسیر متصل نشده در بین گره تولید با گره تقاضا در نظر گرفته شد که در مطالعات قبلی در نظر گرفته نشده بود. از ویژگی دیگر مدل پیشنهادی، مدل‌سازی دقیق میزان هزینه دی‌اکسیدکربن انتشار یافته در فرایند تولید، متناسب با میزان تولید واحد تولیدی و حالت عملکردی آن است؛ زیرا ممکن است در حالت مازاد تولید، تعداد و هزینه انتشار دی‌اکسیدکربن تجهیزات موجود در واحد تولیدی، از قبیل کوره‌های صنعتی، با حالت عملکرد عادی (بدون وجود مازاد تولید) متفاوت باشد. مدل پیشنهادی این قابلیت را دارد مقدار انتشار دی‌اکسیدکربن در حالت مازاد تولید و در حالت عملکردی عادی را به صورت جداگانه مدل‌سازی نماید. همچنین، هزینه انتشار دی‌اکسیدکربن در کمان‌های زنجیره تأمین با توجه به تعداد وسایل نقلیه حامل محصول مدل‌سازی شده است.

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، در زمره پژوهش‌های کاربردی و به لحاظ گردآوری داده‌ها، یک پژوهش توصیفی می‌باشد. همچنین، از نظر نوع داده‌ها، پژوهش کمی است که به بررسی داده‌های مرتبط به مقطعی از زمان می‌پردازد. واحد تحلیل در این مطالعه، شرکت سیمان دشتستان در استان بوشهر است. این پژوهش از روش مدل‌سازی ریاضی که در آن یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه با چندین محدودیت برای طراحی شبکه زنجیره تأمین سبز - تاب‌آور توسعه داده شده است، بهره می‌برد. در این مطالعه از روش کتابخانه‌ای و براساس مطالعه و مذاقه مبانی نظری و تجربی در طراحی مدل پژوهش استفاده گردید. همچنین، ابزار جمع‌آوری داده‌های مربوط به مقادیر پارمترهای مدل، پرسش‌نامه است. پس از طراحی و توسعه مدل، اعتبارسنجی و حل آن تحت سناریوهای چندگانه انجام پذیرفت. همچنین، پس از حل مدل، جواب بهینه مدل در اختیار کارشناسان و مدیران شرکت صنایع سیمان دشتستان قرار داده شد. سپس، از آنان خواسته شد تا نتایج را با داده‌های واقعی مقایسه نمایند. پس از مذاقه و بررسی، اعتبار مدل پژوهش و قابلیت تعمیم آن برای مسائل بزرگ‌تر تأیید گردید.

به‌منظور تجزیه و تحلیل داده‌ها در هر سناریوها از نرم‌افزار متلب و از حل‌کننده سیپلکس^۱ استفاده گردید. در سناریوهایی که هر دو هدف در نظر گرفته می‌شوند، با استفاده از روش ضرایب وزنی آن دو هدف در قالب یک تابع تک هدفه به صورت رابطه ۱ بیان می‌شود.

$$Max OF = \frac{V}{Vmax} - \frac{Z}{Zmax} \quad \text{رابطه ۱}$$

قیود مسئله نیز همان محدودیت‌های مدل دو هدفه خواهد بود. Z_{max} و V_{max} به ترتیب مقدار بهینه دو هدف Z (کمینه‌سازی) و V (بیشینه‌سازی) و نیز معکوس آنها نیز ضرایب توابع هدف در روش وزنی هستند. مدل تک‌هدفه ایجاد شده با استفاده از جعبه ابزار YALMIP در نرم‌افزار متلب حل می‌شود.

در این مطالعه، مدل پیشنهادی برای یک شبکه زنجیره تأمین تک محصولی طراحی شده است که بهینه‌سازی دو هدف؛ بیشینه‌سازی تاب‌آوری شبکه براساس معیار اتصال موزون تقاضا و کمینه‌سازی هزینه انتشار گاز دی‌اکسیدکربن را دنبال می‌کند. برای احصای این اهداف، مدل تحقیق به دنبال تعیین ظرفیت تولید برای هر کدام از گره‌های تأمین کالا، ظرفیت جریان برای هر کمان در شبکه و تعداد وسایل حمل‌ونقل در هر کمان، میزان تولید عادی، میزان مازاد تولید و همچنین مسیریابی جریان برای محصول است. همچنین، شبکه زنجیره تأمین مورد مطالعه از سه سطح کارخانجات تولیدی، مراکز توزیع و نقاط تقاضا تشکیل شده است.

مدل ریاضی پیشنهادی

به‌منظور ایجاد مدل ریاضی، ابتدا یک شبکه جهت‌دار $G=(N,E)$ با مجموعه کالاهای P در نظر گرفته می‌شود. مجموعه گره N زیرمجموعه‌های $S_p \subseteq N$ و D_p را شامل می‌شود که به ترتیب گره‌های تقاضا و گره‌های عرضه محصول p می‌باشند. در این شبکه $RS(i)$ نشانگر مجموعه‌ای از تمام گره‌ها با کمان‌های خروجی است که به گره i وارد می‌شوند. لذا داریم: $RS(i) = \{j \in N | (j,i) \in E\}$ و نیز، $FS(i)$ به مجموعه‌ای از تمام گره‌ها با کمان‌های ورودی گفته می‌شود که از گره i خارج می‌شوند. لذا داریم: $FS(i) = \{j \in N | (i,j) \in E\}$. تصمیم طراحی شبکه برای تولید و توزیع از طریق وارد کردن متغیر تصمیم باینری Z_{ip} گنجانیده شده است، اگر ظرفیت تولید برای محصول $p \in P$ در گره $i \in S_p$ در سطح بالا از پیش تعیین شده قرار داده شود، $r_{ip}^+ > 0$ است که در این صورت Z_{ip} برابر است با ۱. زمانی که $Z_{ip} = 1$ است به این معناست که مازاد تولید مجاز بوده و گره‌های تولید می‌توانند تا حد بالای ظرفیت خود تولید داشته باشند. در غیر این صورت Z_{ip} برابر با صفر است و نشان می‌دهد که ظرفیت تولید در سطح پایین قرارداد که با r_{ip}^- نشان داده می‌شود و به این معناست که مازاد تولید مجاز نیست و گره‌های تولیدی می‌توانند تا حد پایین ظرفیت خود تولید داشته باشند. رابطه بین r_{ip}^+ و r_{ip}^- به صورت $r_{ip}^- < r_{ip}^+$ بیان می‌شود. بنابراین، ظرفیت تولید در گره i مجزاست و می‌تواند r_{ip}^- یا r_{ip}^+ باشد. اگر $Z_{ip} = 1$ باشد، هزینه g_{ip} متحمل می‌شود. این هزینه را می‌توان به‌عنوان هزینه ناشی از انتشار دی‌اکسیدکربن برای افزایش ظرفیت تولید از سطح فعلی (تولید عادی) به بالاترین سطح ظرفیت آن تفسیر کرد. به همین صورت، برای تصمیمات طراحی سطح گره، متغیرهای تصمیم دودویی y_{ij} در مدل گنجانده می‌شود. نشان می‌دهد آیا ظرفیت جریان کمان $(i,j) \in E$ در سطح بالا قرارداد یا خیر. اگر در سطح بالا تنظیم گردد؛ با u_{ij}^+ و گرنه با u_{ij}^- نمایش داده می‌شود. همچنین داریم: $0 \leq u_{ij}^- < u_{ij}^+$. از این رو، ظرفیت جریان کمان (i,j) گسسته بوده و می‌تواند یا u_{ij}^- یا u_{ij}^+ باشد.

توپولوژی شبکه با تخصیص مقادیر باینری به متغیرهای Z و y مرتبط است:

فرض کنید $Sp(Z) \equiv \{i \in Sp: r_{ip}^- + (r_{ip}^+ - r_{ip}^-)Z_{ip} > 0\}$ گره‌هایی با ظرفیت تولید مثبت برای محصول

و $p \in P$ $E(y) \equiv \{(i,j) \in E: u_{ij}^- + (u_{ij}^+ - u_{ij}^-)y_{ij} > 0\}$ مجموعه کمان‌ها با ظرفیت جریان مثبت را نشان دهد.

مسیر مرتبط با کالا $p \in P$ و گره تقاضا $k \in D_p$ به‌عنوان توالی گره $\{i_t\}_{t=0}^T$ تعریف می‌شود، به‌طوری که $i_0 \in S_p(Z)$; $(i_{t-1}, i_t) \in E(y)$, $\forall t=1, \dots, T$; $i_T = k$ می‌شود. مجموعه‌ای از مسیرهای مرتبط با گره تقاضا $k \in D_p$ محصول $p \in P$ ، گره متصل نشده^۲ گفته می‌شود.

شایان ذکر است که هر گره در $N \setminus \{k\}$ حداکثر در یک مسیر در مجموعه گنجانده شده باشد (شامل این محدودیت است که مسیر گره متصل نشده متناظر با یک گره تقاضا $k \in D_p$ مرتبط با یک محصول $p \in P$ همگی باید از گره‌های توزیع مختلفی در $S_p(Z)$ شروع شوند). همچنین، در مدل ریاضی اتصال در سطح گره و محصول ارزیابی می‌شود، بنابراین، v_{ip} نشان‌دهنده تعداد مسیرها به گره $i \in D_p$ است که از برخی از گره‌های توزیع محصول $p \in P$ نشئت می‌گیرد. در مجموع $\sum_{p \in P} |D_p|$ متغیر v وجود دارد که کران بالا $|N||P|$ می‌باشد؛ زیرا $|D_p| \leq |N|$ برای همه محصولات $p \in P$ صادق است. با این حال، هر مقدار v_{kp} برای مقادیر y و z نیاز به متغیرهای جریان جدید برای ارزیابی تعداد مسیرهای گره متصل نشده مرتبط با هر محصول $p \in P$ و گره $k \in D_p$ دارد. در ادامه، این متغیرهای جریان $(\sum_{p \in P} |D_p|)$ با X' در نظر گرفته می‌شوند. این مدل با به حداقل رساندن هزینه انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در کل زنجیره تأمین و به حداکثر رساندن DWC ، شبکه زنجیره تأمین را بهینه می‌کند. c_{ip} نشان‌دهنده هزینه انتشار دی‌اکسیدکربن ناشی از تولید یک واحد از محصول p در گره عرضه i است. مقدار محصول p مورد تقاضا در گره i با پارامتر d_{ip} نشان داده شده است. w_{ip} مقدار p تولید شده در گره i را مشخص می‌کند. متغیر x_{ijp} بیانگر جریان محصول p در کمان (i, j) می‌باشد. متغیر x'_{ijkp} نشان می‌دهد که آیا کمان $(i, j) \in E$ در یکی از مسیرهای گره متصل نشده قرار دارد ($x'_{ijkp} = 1$) یا خیر ($x'_{ijkp} = 0$). این مفهوم برای ارزیابی اتصال مرتبط با جفت گره و محصول $p \in P$ ، $i \in S_p$ مورد استفاده قرار می‌گیرد. بدین ترتیب مدل ریاضی این تحقیق به‌صورت زیر تعریف می‌گردد. در زیر نمادهای مدل ریاضی از قبیل مجموعه‌ها، متغیرهای طراحی، متغیرهای عملیات شبکه، متغیرهای اتصال شبکه و پارامترهای مدل و مفروضات مدل ارائه شده است.

• مجموعه‌ها

N	مجموعه از گره‌ها در G
E	مجموعه تمام کمان‌ها در G
P	مجموعه تمام کالاها
DP, SP	مجموعه گره‌های تقاضا و توزیع محصول $p \in P$
$FS(i)$	مجموعه گره‌های خارج شده از گره i
$RS(i)$	مجموعه گره‌های وارده به گره i

• متغیرهای طراحی شبکه

Z_{ip} نشان می‌دهد که آیا ظرفیت تولید کالا $p \in P$ در گره $i \in N$ بالا است ($Z_{ip} = 1$) یا کم ($Z_{ip} = 0$)

Y_{ij} مشخص می‌کند که آیا ظرفیت جریان کمان (i,j) بالا است $(y_{ij}=1)$ یا کم $(y_{ij}=0)$.

• متغیرهای عملیات شبکه

w_{ip}	مقدار محصول $p \in P$ تولیدشده در گره $i \in N$
X_{ijp}	جریان محصول $p \in P$ در کمان $(i,j) \in E$
T_{ijp}	تعداد وسایل حمل و نقل جهت ارسال محصول $p \in P$ در کمان $(i,j) \in E$
Q_{ip}	مقدار اضافه تولید محصول $p \in P$ در گره $i \in N$

• متغیرهای اتصال شبکه

x'_{ijkp} نشان می‌دهد که آیا کمان $(i,j) \in E$ روی مسیر گره متصل نشده از برخی از گره‌های توزیع کالا $p \in P$ به

گره تقاضا $k \in Dp$ قرار دارد یا نه.

V_{KP} تعداد مسیرهای گره متصل نشده به گره تقاضای $k \in Dp$ مربوط به کالا $p \in P$.

• پارامترها

d_{ip}	تقاضا برای کالای $p \in P$ در گره $i \in Dp$
c_{ip}	هزینه انتشار CO_2 ناشی از تولید هر واحد کالا $p \in P$ در گره $i \in N$
u_{ij}^+, u_{ij}^-	ظرفیت جریان کمان $(i,j) \in E$ در بالاترین و پایین‌ترین سطح
r_{ip}^+, r_{ip}^-	ظرفیت تولید کالای $p \in P$ در گره $i \in N$ در بالاترین و پایین‌ترین سطح
g_{ip}	هزینه انتشار CO_2 در صورت بالا بودن ظرفیت تولید کالا $p \in P$ در گره $i \in N$
h_{ijp}	هزینه انتشار CO_2 وسایل حمل و نقل جهت ارسال محصول $p \in P$ در کمان $(i,j) \in E$
α	ظرفیت کامیون‌ها

مفروضات مدل

- سطح شبکه زنجیره تأمین از تولید کننده شروع می‌شود، محصول تمام شده انتقال می‌یابد.
- نوع وسایل حمل و نقل یکسان می‌باشد.
- کارایی تمام وسایل حمل و نقل یکسان می‌باشد.
- ظرفیت وسایل حمل و نقل ۱۰ تن فرض شده است.
- روابط در مدل خطی هستند
- کالای مدنظر در این شبکه زنجیره تأمین، سیمان تپ دو فرض شده است.

تابع‌های هدف مدل

$$\text{Max } V = \sum_{p \in P} \sum_{k \in Dp} d_{kp} v_{kp} \quad \text{رابطه ۲}$$

$$\text{Min } Z = \sum_{p \in P} \sum_{i \in N} (C_{ip} w_{ip} + g_{ip} Q_{ip} z_{ip}) + \sum_{p \in P} \sum_{(i,j) \in E} h_{ijp} T_{ijp} \quad \text{رابطه ۳}$$

محدودیت‌های مدل

$$\sum_{j \in RS(i)} x_{jip} + w_{ip} = \sum_{j \in FS(i)} x_{ijp} + d_{ip} \quad \forall p \in P, i \in N \quad \text{رابطه ۴}$$

$$w_{ip} \leq r_{ip}^- + (r_{ip}^+ - r_{ip}^-) z_{ip} \quad \forall p \in P, i \in N \quad \text{رابطه ۵}$$

$$\sum_{p \in P} x_{ijp} \leq u_{ij}^- + (u_{ij}^+ - u_{ij}^-) y_{ij} \quad \forall (i,j) \in E \quad \text{رابطه ۶}$$

$$x'_{ijkp} \leq 1 - 1_{\{u_{ij}^- = 0\}} (1 - y_{ij}) \quad \forall p \in P, K \in D_p, (i,j) \in E \quad \text{رابطه ۷}$$

$$\sum_{j \in FS(i)} x'_{ijkp} \leq 1 - 1_{\{r_{ij}^- = 0\}} (1 - z_{ij}) \quad \forall p \in P, K \in D_p, i \in S_p \quad \text{رابطه ۸}$$

$$\sum_{j \in FS(i)} x'_{ijkp} \leq 1, \quad \forall p \in P, K \in D_p, i \in N \setminus (S_p \cup \{k\}) \quad \text{رابطه ۹}$$

$$\sum_{j \in FS(i)} x'_{ijkp} - \sum_{j \in RS(i)} x'_{jikp} = 0 \quad \forall p \in P, K \in D_p, i \in N \setminus (S_p \cup \{k\}) \quad \text{رابطه ۱۰}$$

$$\sum_{j \in RS(K)} x'_{ijkp} = v_{kp}, \quad \forall p \in P, K \in D_p \quad \text{رابطه ۱۱}$$

$$T_{ijp} \leq \frac{x_{ijp}}{\alpha} \quad \forall p \in P, (i,j) \in E \quad \text{رابطه ۱۲}$$

$$x_{ijp} \geq 0 \quad \forall p \in P, (i,j) \in E \quad \text{رابطه ۱۳}$$

$$w_{ip} \geq 0 \quad \forall p \in P, i \in N \quad \text{رابطه ۱۴}$$

$$y_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall (i,j) \in E \quad \text{رابطه ۱۵}$$

$$z_{ip} \in \{0,1\} \quad \forall i \in N, p \in P \quad \text{رابطه ۱۶}$$

$$x'_{ijkp} \geq 0 \quad \forall p \in P, K \in D_p, (i,j) \in E \quad \text{رابطه ۱۷}$$

$$v_{kp} \geq 0 \quad \forall p \in P, K \in D_p \quad \text{رابطه ۱۸}$$

$$Q_{ip} \geq 0 \quad \forall p \in P, i \in N \quad \text{رابطه ۱۹}$$

مدل ریاضی دارای دو تابع هدف است. تابع هدف ۱ (رابطه ۲) اتصالات موزون تقاضا زنجیره تأمین را حداکثر و تابع

هدف ۲ (رابطه ۳) هزینه ناشی از انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در کل زنجیره تأمین را به حداقل می‌رساند. هدف اول بیانگر

حداکثرسازی تعداد مسیری‌های متصل‌نشده (مسیری که گره تولید را به گره تقاضا می‌رساند و توی این مسیر هیچ گره یا کمان مشترک ندارد) به گره‌های تقاضا است. مسیرهای متصل‌نشده گره تولید را به گره تقاضا می‌رساند و هیچ گره یا کمان مشترک در بین آنها ندارد. بنابراین، اگر در یک گره یا کمان از این مسیرها اختلالی بوجود بیاید، مسیر دیگر وجود دارد که تقاضای آن گره را برآورده نماید و زنجیره تأمین تاب‌آور گردد. در هدف دوم، هزینه انتشار گاز دی‌اکسیدکربن شامل سه فعالیت در شبکه زنجیره تأمین از قبیل هزینه انتشار دی‌اکسید کربن ناشی از تولید هر واحد کالا، هزینه انتشار دی‌اکسیدکربن ناشی از مازاد تولید کالا و هزینه انتشار دی‌اکسیدکربن ناشی از وسایل حمل و نقل محصول در کمان‌هاست. رابطه ۴ تعادل جریان را تضمین و به‌طور مؤثر الزام می‌کند که تمامی تقاضا از هر محصول برآورده شد. در حالی که رابطه‌های ۵ و ۶ به ترتیب محدودیت ظرفیت تولید و ظرفیت جریان را اعمال می‌کنند. مجموعه رابطه‌های ۷ تا ۹ استفاده صحیح از شبکه اتصال روی همه گره‌ها را با تعریف مسیرهای گره متصل‌نشده تضمین می‌کند. به‌طور خاص، رابطه ۷، تعداد دفعاتی که یک کمان می‌تواند بخشی از یک مسیر گره متصل‌نشده برای حمل محصول $p \in P$ به نقطه تقاضای $k \in Dp$ باشد را محدود می‌کند. در صورتی که که کمان، ظرفیت مثبت داشته باشد مقدارش برابر ۱ و در غیر این صورت؛ صفر است. برای یک محصول معین $p \in P$ و یک گره تقاضا $k \in Dp$ ، رابطه ۸ تعداد کل مسیرهای گره متصل‌نشده که از یک تولیدکننده خاص شروع می‌شوند را محدود می‌کند. در صورتی که ظرفیت تولید، تولیدکننده مثبت باشد مقدارش برابر ۱ و در غیر این صورت صفر است. رابطه ۹ تأکید می‌کند حداکثر یک مسیر گره متصل‌نشده مربوط به نقطه تقاضا $k \in Dp$ برای محصول $p \in P$ وجود دارد که از طریق هر گره انتقالی $(Sp \cup \{k\})$ عبور می‌کند. رابطه ۱۰ حفاظت از جریان برای شبکه اتصال را تضمین می‌کند. در حالی که رابطه ۱۱ تعداد کل مسیرهای گره متصل‌نشده را بین تأمین‌کنندگان و نقطه تقاضا $k \in Dp$ برای محصول $p \in P$ را با اضافه کردن تعداد کمان‌های ورودی به گره k که بخشی از مسیر گره متصل‌نشده است را برای هر دو نقطه تقاضا و محصول تنظیم می‌کند. رابطه ۱۲ محدودیت تعداد کامیون را اعمال می‌کند. ویژگی‌های غیرمنفی و باینری بودن برای همه متغیرها با روابط ۱۳ تا ۱۹ پوشش داده می‌شوند.

یافته‌های پژوهش

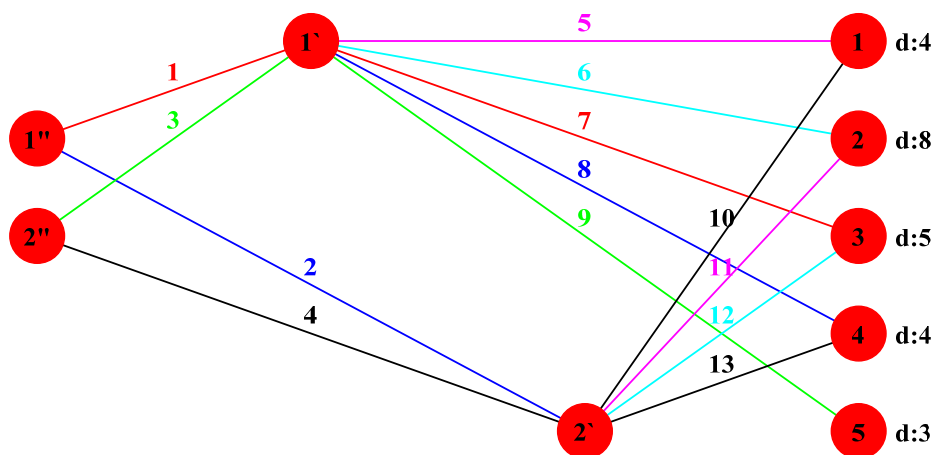
در این بخش، مدل ریاضی چندهدفه روی شبکه زنجیره تأمین شرکت صنایع سیمان دشتستان پیاده‌سازی و شبیه‌سازی شده است. در این بخش سناریوها در دو حالت مختلف مورد بررسی قرار گرفته‌اند:

۱. سه سناریو اول برای حالتی است که مازاد تولید مجاز می‌باشد

۲. سه سناریو دیگر نیز برای حالتی است که مازاد تولید مجاز نیست.

در این سناریوها، دو هدف بیشینه نمودن اتصالات موزون تقاضا زنجیره تأمین و کمینه کردن مجموع هزینه انتشار دی‌اکسید کربن زنجیره تأمین به‌منظور بررسی همه جانبه مسئله به صورت تک هدفه و دو هدفه در نظر گرفته شده است. در سناریوهای تک هدفه، تنها یک هدف جهت بهینه‌سازی در نظر گرفته شده است. ولی در سناریوهای دو هدفه، هر دو هدف ذکر شده با استفاده از روش ضرایب وزنی در قالب یک مسئله خطی محدب مدل شده و با استفاده از جعبه ابزار YALMIP حل شده‌اند. همچنین، میزان مازاد تولید در سناریوهای مختلف بررسی و با هم مقایسه شده است. در

ادامه مختصری درباره شرکت صنایع سیمان دشتستان آورده شده است. این شرکت در کیلومتر ۷ جاده برازجان به شیراز واقع شده است که با هدف اجرای طرح‌های عمرانی و زیربنایی، با توجه به موقعیت ویژه استانی به لحاظ نزدیکی به معادن مارل رسی و آهکی و سنگ گچ، براساس ابلاغ دولت به سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران، طراحی و تأسیس گردیده است. این شرکت اولین کارخانه سیمان استان بوشهر است که به خاطر وجود طرح‌های صنعتی عسلویه و نهایتاً دستیابی آسان به صادرات و ایجاد اشتغال مستقیم و غیرمستقیم، با ظرفیت تولید ۳ هزار تن در روز طراحی شده است. با توجه به طولانی شدن طرح و براساس مصوبه شورای اقتصاد، بعد از ۵ سال اجرای آن به شرکت احداث صنعت واگذار شد و طرح صنایع سیمان دشتستان پس از انجام تغییرات فراوان در طراحی، با ظرفیت یک میلیون تن در سال (روزانه ۳۰۰۰ تن کلینکر) بعد از ۳۵ ماه تلاش مستمر در دی ماه سال ۱۳۸۲ به بهره‌برداری رسید. محصول تولیدی کارخانه سیمان پورتلند تیپ دو، ۱-۴۲۵ و سیمان تیپ پنج می‌باشد^۱. در شکل ۱ شبکه زنجیره تأمین صنایع سیمان دشتستان نشان داده شده است. همان گونه که در این شکل مشخص است، گره‌های ۱" و ۲" از طریق کمان‌های شماره ۱ الی ۴ به گره‌های ۱' و ۲' متصل شده‌اند. گره‌های ۱" و ۲"، گره‌های تولیدی هستند که سیمان در آنجا تولید می‌شود. شایان ذکر است که میزان تقاضای سیمان در این دو گره صفر است و این دو گره تنها تولیدکننده سیمان هستند. گره‌های ۱' و ۲' نیز گره‌های انتقال‌دهنده^۲ هستند که ارتباط میان گره‌های تولیدکننده و تقاضا را برقرار می‌کنند. میزان تولید و مصرف سیمان در این دو گره انتقال‌دهنده، یعنی گره‌های ۱' و ۲'، برابر صفر است. گره‌های تقاضا در این شکل، گره‌های شماره ۱ تا ۵ هستند که از طریق کمان‌های ۵ الی ۱۳ به گره‌های انتقال‌دهنده متصل شده‌اند. میزان تولید سیمان در گره‌های تقاضا برابر صفر است. کالای مورد نظر در این شبکه زنجیره‌ی تأمین، سیمان تیپ دو است. سایر اطلاعات مربوط به ظرفیت تولید، ظرفیت انتقال، هزینه تولید و غیره در این شبکه زنجیره تأمین در بخش بعدی بیان شده است.



شکل ۱. گراف تک خطی شبکه زنجیره تأمین صنایع سیمان دشتستان

در ادامه، مقادیر پارامترهای مدل (داده‌های مربوط به گره‌های تولیدی و تقاضا) جمع‌آوری و در قالب جدول ۲ آورده شده است. در این جدول، میزان تقاضا و پارامترهای متناظر با ظرفیت تولید بر حسب تن نشان داده شده است. هزینه انتشار دی‌اکسیدکربن نیز به ترتیب بر حسب هزار تومان بر تن بیان شده‌اند. هر کدام از گره‌های تولیدی موجود در این زنجیره تأمین، می‌توانند در دو سطح به تولید پردازند که عبارت‌اند از: ۱) در سطح «بالاترین میزان تولید» که مازاد تولید را شامل می‌شود و ۲) در سطح «پایین‌ترین میزان تولید».

جدول ۲. پارامترهای مربوط به گره‌های تولید و تقاضا

مقدار	شرح	نام
۴۰۰ تن	میزان تقاضا برای سیمان تیپ دو در گره تقاضای ۱	$d_{1,1}$
۸۰۰ تن	میزان تقاضا برای سیمان تیپ دو در گره تقاضای ۲	$d_{2,1}$
۵۰۰ تن	میزان تقاضا برای سیمان تیپ دو در گره تقاضای ۳	$d_{3,1}$
۴۰۰ تن	میزان تقاضا برای سیمان تیپ دو در گره تقاضای ۴	$d_{4,1}$
۲۰۰ تن	میزان تقاضا برای سیمان تیپ دو در گره تقاضای ۵	$d_{5,1}$
۵ هزار تومان	هزینه انتشار دی‌اکسیدکربن ناشی از تولید هر تن سیمان تیپ دو در گره تولیدی ۱"	$C_{1,1}$
۲ هزار تومان	هزینه انتشار دی‌اکسیدکربن ناشی از تولید هر تن سیمان تیپ دو در گره تولیدی ۲"	$C_{2,1}$
۱۰۰۰ تن	ظرفیت تولید سیمان تیپ دو در گره تولیدی ۱" در بالاترین سطح	$r_{1,1}^+$
۸۵۰ تن	ظرفیت تولید سیمان تیپ دو در گره تولیدی ۱" در پایین‌ترین سطح	$r_{1,1}^-$
۲۰۰۰ تن	ظرفیت تولید سیمان تیپ دو در گره تولیدی ۳" در بالاترین سطح	$r_{2,1}^+$
۱۵۶۰ تن	ظرفیت تولید سیمان تیپ دو در گره تولیدی ۳" در پایین‌ترین سطح	$r_{2,1}^-$
۱ هزار تومان	هزینه انتشار دی‌اکسیدکربن ناشی از مازاد تولید هر واحد سیمان تیپ دو در گره تولیدی ۱" وقتی که ظرفیت تولید در بالاترین سطح باشد.	$g_{1,1}$
۲ هزار تومان	هزینه انتشار دی‌اکسیدکربن ناشی از مازاد تولید هر واحد سیمان تیپ دو در گره تولیدی ۲" وقتی که ظرفیت تولید در بالاترین سطح باشد.	$g_{2,1}$

اطلاعات مربوط به هر یک از کمان‌های موجود در شبکه زنجیره تأمین مورد مطالعه در جدول ۹ آورده شده است. در این جدول، اطلاعات مربوط به تمامی ۱۳ کمان ارتباطی موجود در شبکه زنجیره تأمین سیمان دشتستان ارائه شده است. شایان ذکر است که تمامی این کمان‌ها با شماره‌های ۱ تا ۱۳ در شکل (۲) نام‌گذاری شده‌اند. در این جدول، ستون اول نام کمان یا مسیر ارتباطی را نشان می‌دهد. ستون دوم، یعنی «از (i)» گره ابتدایی کمان را نشان می‌دهد. همچنین، ستون سوم، یعنی «به (j)» بیانگر گره انتهایی کمان است. شایان ذکر است که جهت انتقال کالا در کمان ij یک طرفه و از سمت گره i به سمت گره j است. ستون چهارم و پنجم به ترتیب پارامترهای u_{ij}^+ و u_{ij}^- را برای هر کمان ij نشان می‌دهند. یادآوری می‌شود که u_{ij}^+ و u_{ij}^- به ترتیب ظرفیت کمان ij در پایین‌ترین و بالاترین سطح در نظر گرفته شده برای آن کمان می‌باشد. هزینه انتشار آلاینده دی‌اکسیدکربن در هر کمان ij نیز در جدول ۳ تحت عنوان h_{ijp} بیان شده است.

جدول ۳. پارامترهای مربوط به کمان‌های زنجیره تأمین

نام کمان	از (i)	به (j)	u_{ij}^- (تن)	u_{ij}^+ (تن)	h_{ijp} (هزار تومان بر تن)
۱	۱''	۱'	۲۰۰	۵۰۰	۲/۲
۲	۱''	۲'	۵۰۰	۸۰۰	۱/۵
۳	۲''	۱'	۸۰۰	۱۵۰۰	۱/۱
۴	۲''	۲'	۱۰۰۰	۲۰۰۰	۲/۱
۵	۱'	۱	۱۰۰	۲۰۰	۲/۱
۶	۱'	۲	۳۰۰	۴۵۰	۲/۲
۷	۱'	۳	۴۰۰	۵۰۰	۲/۹
۸	۱'	۴	۳۰۰	۸۰۰	۳/۲
۹	۱'	۵	۲۵۰	۳۵۰	۲/۸
۱۰	۲'	۱	۳۰۰	۴۰۰	۱/۲
۱۱	۲'	۲	۶۰۰	۸۰۰	۰/۵
۱۲	۲'	۳	۱۰۰	۲۰۰	۰/۹
۱۳	۲'	۴	۱۰۰	۳۰۰	۱/۵

ظرفیت انتقال کالا در هر کمان، یعنی u_{ij}^+ و u_{ij}^- در جدول فوق، بر حسب تن بیان شده است. همچنین هزینه انتشار دی‌اکسیدکربن ناشی از وسایل حمل‌ونقل در هر کمان (یعنی h_{ijp}) بر حسب هزار تومان بر تن بیان شده است. به عبارتی، h_{ijp} نشان می‌دهد که در هر کمان به ازای انتقال هر تن سیمان باید چند هزار تومان جریمه بابت انتشار گاز دی‌اکسیدکربن پرداخت شود. میزان این جریمه به طول کمان و میزان انتشار دی‌اکسیدکربن وسایل نقلیه موجود در آن کمان وابسته است. هر چه مسافت بیشتر باشد، میزان جریمه پرداختی جهت انتشار دی‌اکسیدکربن به دلیل نیاز به سوخت بیشتر جهت حمل سیمان، افزایش می‌یابد. همچنین هر چه وسایل نقلیه مورد استفاده در کمان پر مصرف‌تر باشند، میزان جریمه انتشار دی‌اکسیدکربن در آن کمان نیز بیشتر خواهد شد. میزان ظرفیت انتقال هر کامیون، در هر کدام از کمان‌های زنجیره تأمین سیمان دشتستان، برابر ۱۰ تن فرض شده است.

سناریوهای شبیه‌سازی

مدل ارائه شده در این تحقیق، اهداف زیر را محقق می‌کند:

(الف) بیشینه نمودن اتصالات موزون تقاضا زنجیره تأمین (Max: V)

(ب) کمینه نمودن مجموع هزینه‌های انتشار دی‌اکسیدکربن زنجیره تأمین (Min: Z)

در این بخش، با توجه به میزان تولید واحدهای تولیدی موجود در سیمان دشتستان، و با توجه به هدف کاهش هزینه انتشار دی‌اکسیدکربن (Min: Z) یا افزایش DWC زنجیره تأمین (Max: V)، شش سناریو مختلف در نظر گرفته شده است.

سناریو اول: کاهش Z با در نظر گرفتن مازاد تولید

سناریو دوم: افزایش V با در نظر گرفتن مازاد تولید

سناریو سوم: دو هدفه با در نظر گرفتن مازاد تولید
 سناریو چهارم: کاهش Z بدون در نظر گرفتن مازاد تولید
 سناریو پنجم: افزایش V بدون در نظر گرفتن مازاد تولید
 سناریو ششم: دو هدفه بدون در نظر گرفتن مازاد تولید

در ادامه، نتایج مربوط به شبیه‌سازی هر کدام از این شش سناریو ارائه خواهد شد. شایان ذکر است که تمامی اطلاعات شبکه زنجیره تأمین سیمان دشتستان به جز میزان سطح تولید (با یا بدون در نظر گرفتن مازاد تولید)، در تمامی این سناریوها، یکسان فرض شده است. در سه سناریو اول، دو واحد تولیدی شماره ۱ و ۲ مجاز هستند تا از ظرفیت اضافه تولید خود استفاده کنند و ظرفیت تولید خود را تا ۱۰۰۰ و ۲۰۰۰ تن در روز افزایش دهند. اما در سه سناریو دیگر، یعنی سناریوهای چهارم تا ششم، ظرفیت تولید واحدهای ۱ و ۲ حداکثر برابر ۸۵۰ و ۱۵۶۰ تن در روز خواهد بود و مجاز به مازاد تولید نمی‌باشند.

سناریو اول

در این سناریو، فرض شده است که واحدهای تولیدی می‌توانند تا سقف تعیین شده در جدول ۲ مازاد تولید داشته باشند. در این سناریو، مدل ارائه شده با هدف کاهش هزینه انتشار دی‌اکسیدکربن زنجیره تأمین سیمان دشتستان حل خواهد شد. بنابراین، در این سناریو، مسئله تک هدفه به شکل زیر با توجه به قیود ۳ تا ۱۸ بیان می‌شود.

$$\text{Min } Z = \sum_{p \in P} \sum_{i \in N} (C_{ip} w_{ip} + g_{ip} Q_{ip} z_{ip}) + \sum_{p \in P} \sum_{(i,j) \in E} h_{ijp} T_{ijp} \quad (\text{رابطه } ۲۰)$$

ظرفیت و میزان تولید هر کدام از واحدهای تولیدی در سناریو دوم در جدول ۴ نشان داده شده است.

جدول ۴. نتایج مربوط به اجرای سناریو اول در برنامه ریزی تولید

نام گره تولیدی	مازاد تولید (Z_{ip})	ظرفیت تولید (Q_{ip})	میزان تولید (w_{ip})
۱"	۰	۸۵۰	۳۰۰
۲"	۱	۲۰۰۰	۲۰۰۰

ظرفیت و میزان تولید هر کدام از واحدهای تولیدی در سناریو اول در جدول ۴ نشان داده شده است. از آنجایی که در این سناریو، مازاد تولید در نظر گرفته شده است، واحد ۲" با بیشینه ظرفیت خود، یعنی ۲۰۰۰ تن در روز وارد مدار شده است. زیرا واحد ۲" مقدار انتشار دی‌اکسیدکربن کمتری نسبت به واحد ۱" دارد. نتایج به دست آمده در سناریو اول در جدول ۵ آمده است.

جدول ۵. مجموعه هزینه‌های انتشار دی‌اکسیدکربن و DWC مربوط به اجرای سناریو اول

نام سناریو	مازاد تولید	هدف	V (تن)	Z (هزار تومان)	زمان حل (ثانیه)
اول	مجاز	کاهش Z	۰	۱۱۰۷۹	۰/۰۳۱۴

مجموع هزینه انتشار دی‌اکسیدکربن (تابع هدف Z) در این سناریو برابر ۱۱۰۷۹ هزار تومان است. این در حالی است که هدف V (اتصالات موزون تقاضا یا DWC) در این سناریو برابر ۰ محاسبه شده است. در این سناریو، هدف کاهش هزینه انتشار دی‌اکسیدکربن بوده است، بنابراین V برابر ۰ است.

سناریو دوم

در سناریو دوم، مدل پیشنهادی با هدف افزایش DWC حل شده است. بنابراین، در این سناریو، مسئله تک هدفه به شکل زیر بیان می‌شود.

$$\text{Max } V = \sum_{p \in P} \sum_{K \in D_p} d_{Kp} v_{Kp} \quad \text{رابطه (۲۱)}$$

ظرفیت و میزان تولید هر کدام از واحدهای تولیدی در سناریو دوم در جدول ۶ نشان داده شده است.

جدول ۶. نتایج مربوط به اجرای سناریو دوم در برنامه ریزی تولید

نام گره تولیدی	اضافه تولید (Z_{ip})	ظرفیت تولید (Q_{ip})	میزان تولید (w_{ip})
۱"	۰	۸۵۰	۳۰۰
۲"	۱	۲۰۰۰	۲۰۰۰

مجموع هزینه انتشار دی‌اکسیدکربن در سناریو دوم ۱۱۲۰۲/۵ هزار تومان است که نسبت به سناریو اول افزایش یافته است. این در حالی است که V در این سناریو به ۴۴۰۰ تن رسیده است که نسبت به سناریو اول ۴۴۰۰ تن افزایش را نشان می‌دهد.

جدول ۷. مجموعه هزینه‌های انتشار دی‌اکسیدکربن و DWC مربوط به اجرای سناریو دوم

نام سناریو	مازاد تولید	هدف	V (تن)	Z (هزار تومان)	زمان حل (ثانیه)
دوم	مجاز	افزایش V	۴۴۰۰	۱۱۲۰۲/۵	۰/۰۲۰۸

سناریو سوم

در سناریو سوم، تحقق دو هدف کاهش جریمه انتشار دی‌اکسیدکربن (یعنی کاهش Z) و افزایش DWC (یعنی افزایش V) با هم در نظر گرفته شده است. همانند دو سناریو اول و دوم، استفاده از مازاد تولید مجاز است. اما، مدل پیشنهادی با هدف افزایش حل شده است. بنابراین، در این سناریو، مسئله تک هدفه به شکل زیر بیان می‌شود.

$$\text{Max } OF = \frac{V}{V_{max}} - \frac{Z}{Z_{max}} \quad \text{رابطه (۲۲)}$$

قیود مسئله نیز همان روابط (۳) تا (۱۸) می‌باشند که در سناریو اول ذکر شده است. Z_{max} و V_{max} به ترتیب برابر ضرایب وزنی دو هدف Z و V هستند که به ترتیب برابر مقادیر بهینه به دست آمده در سناریوهای اول و دوم، یعنی ۱۱۰۷۹ و ۴۴۰۰ در نظر گرفته شده‌اند. از آنجا که هر دو هدف با هم در نظر گرفته شده‌اند، انتظار می‌رود که میزان

DWC به دست آمده در این سناریو، از مقدار DWC سناریو اول، که به صورت تک هدفه و تنها با هدف کاهش جریمه انتشار دی اکسید کربن بهینه‌یابی شده، بیشتر باشد. ظرفیت و میزان تولید هر کدام از واحدهای تولیدی در سناریو سوم در جدول ۸ نشان داده شده است.

جدول ۸. نتایج مربوط به اجرای سناریو سوم در برنامه ریزی تولید

نام گره تولیدی	اضافه تولید (Z_{ip})	ظرفیت تولید (Q_{ip})	میزان تولید (w_{ip})
۱"	۰	۸۵۰	۳۰۰
۲"	۱	۲۰۰۰	۲۰۰۰

مجموع هزینه انتشار دی اکسید کربن در این سناریو به ۱۱۰۹۰ هزار تومان و V نیز به ۴۴۰۰ تن رسیده است (جدول ۹).

جدول ۹. مجموعه هزینه‌های انتشار دی اکسید کربن و DWC مربوط به اجرای سناریو سوم

سناریو	استفاده از مازاد تولید	هدف	V (تن)	Z (هزار تومان)	زمان حل (ثانیه)
سوم	مجاز	کاهش Z ، افزایش V	۴۴۰۰	۱۱۰۹۰	۰/۰۴۰۶

در این سناریو، هر دو هدف با هم در نظر گرفته شده‌اند. میزان Z در این سناریو نسبت به سناریو اول بیشتر شده ولی در عوض میزان V به مقدار ماکزیمم خود، یعنی ۴۴۰۰ رسیده که قابلیت اطمینان بیشتری را نسبت به سناریو اول ارائه می‌دهد.

سناریو چهارم

در این سناریو، همانند سناریو اول مدل ارائه شده با هدف کاهش هزینه انتشار دی اکسید کربن زنجیره تأمین سیمان دشتستان حل خواهد شد. با این تفاوت که مازاد تولید در آن لحاظ نشده است. قیود مسئله نیز دقیقاً همان روابط (۳) تا (۱۸) ذکر شده می‌باشد.

$$\text{Min } Z = \sum_{p \in P} \sum_{i \in N} (C_{ip} w_{ip} + g_{ip} Q_{ip} z_{ip}) + \sum_{p \in P} \sum_{(i,j) \in E} h_{ijp} T_{ijp} \quad \text{رابطه ۲۳}$$

ظرفیت و میزان تولید واحدهای تولیدی در سناریو چهارم در جدول ۱۰ آمده است.

جدول ۱۰. نتایج مربوط به اجرای سناریو چهارم

نام گره تولیدی	اضافه تولید (Z_{ip})	ظرفیت تولید (Q_{ip})	میزان تولید (w_{ip})
۱"	۰	۸۵۰	۷۴۰
۲"	۰	۱۵۶۰	۱۵۶۰

از آنجایی که واحدها نمی‌توانند مازاد تولید داشته باشند، لذا حداکثر تولید واحد تولیدی ۲" برابر ۱۵۶۰ تن در روز خواهد بود. در این سناریو، میزان تولید واحد ۱" برابر ۷۴۰ تن است. مجموع هزینه انتشار دی‌اکسید کربن در سناریو چهارم برابر ۱۱۴۹۲/۶ هزار تومان و میزان V برابر ۰ است. نتایج مربوط به این سناریو در جدول ۱۱ آمده است.

جدول ۱۱. مجموعه هزینه‌های انتشار دی‌اکسید کربن و DWC مربوط به اجرای سناریو چهارم

نام سناریو	استفاده از مازاد تولید	هدف	V (تن)	Z (هزار تومان)	زمان حل (ثانیه)
چهارم	غیر مجاز	کاهش Z	۰	۱۱۴۹۲/۶	۰/۰۷۵۷

سناریو پنجم

در سناریو پنجم، مازاد تولید در نظر گرفته نشده و مدل ارائه شده به صورت تک هدفه و با هدف افزایش DWC حل شده است.

$$Max V = \sum_{p \in P} \sum_{K \in D_p} d_{Kp} v_{Kp} \quad \text{رابطه ۲۴}$$

ظرفیت و میزان تولید واحدهای تولیدی در سناریو پنجم در جدول ۱۲ آمده است.

جدول ۱۲. نتایج مربوط به اجرای سناریو پنجم در برنامه ریزی تولید

نام گره تولیدی	اضافه تولید (Z _{ip})	ظرفیت تولید (Q _{ip})	میزان تولید (W _{ip})
۱"	۰	۸۵۰	۷۴۰
۲"	۰	۱۵۶۰	۱۵۶۰

میزان هزینه انتشار دی‌اکسید کربن در این سناریو برابر ۱۱۶۰۷/۶ هزار تومان و V نیز برابر ۴۴۰۰ تن است. در جدول ۱۳ نتایج به دست آمده در سناریو پنجم را نشان می‌دهد.

جدول ۱۳. مجموعه هزینه‌های انتشار دی‌اکسید کربن و DWC مربوط به اجرای سناریو پنجم

نام سناریو	استفاده از مازاد تولید	هدف	V (تن)	Z (هزار تومان)	زمان حل (ثانیه)
پنجم	غیر مجاز	افزایش V	۴۴۰۰	۱۱۶۰۷/۶	۰/۰۲۷۴

سناریو ششم

در این سناریو زنجیره تأمین به صورت دوهدفه و با فرض نبود مازاد تولید برنامه‌ریزی شده است. تابع هدف همانند تابع هدف ارائه شده در سناریو سوم می‌باشد.

$$Max OF = \frac{V}{Vmax} - \frac{Z}{Zmax} \quad \text{رابطه ۲۵}$$

قیود مسئله نیز دقیقاً همان روابط ۳ تا ۱۸ ذکر شده می‌باشد. اما Zmax و Vmax به ترتیب برابر ضرایب وزنی دو

هدف Z و V هستند که به ترتیب برابر مقادیر بهینه به دست آمده در سناریوهای چهارم و پنجم، یعنی $11492/6$ و 4400 در نظر گرفته شده‌اند. ظرفیت و میزان تولید هر کدام از واحدهای تولیدی در سناریو ششم در جدول ۱۴ نشان داده شده است.

جدول ۱۴. نتایج مربوط به اجرای سناریو ششم در برنامه ریزی تولید

نام گره تولیدی	اضافه تولید (Z_{ip})	ظرفیت تولید (Q_{ip})	میزان تولید (w_{ip})
۱"	۰	۸۵۰	۷۴۰
۲"	۰	۱۵۶۰	۱۵۶۰

باتوجه به مجاز نبودن مازاد تولید، گره‌های تولیدی می‌توانند تا حد پایین‌ترین سطح ظرفیت یعنی r_{ip} تولید داشته باشند. اما گره‌ای می‌تواند تا حد پایین‌ترین سطح ظرفیت تولید داشته باشد که مقدار انتشار گاز دی‌اکسیدکربن کمتری داشته باشد. بر این اساس، گره تولیدی ۲" تا حد پایین‌ترین سطح ظرفیتش وارد مدار شده و به میزان ۱۵۶۰ تن سیمان تولید می‌کند و گره ۱" به دلیل مقدار انتشار بیشتر نسبت به گره ۲" دارای میزان تولید ۷۴۰ تن در روز است. میزان هزینه انتشار دی‌اکسیدکربن در این سناریو برابر $11503/6$ هزار تومان و V نیز برابر 4400 تن است (جدول ۱۵).

جدول ۱۵. مجموعه هزینه‌های انتشار دی‌اکسیدکربن و DWC مربوط به اجرای سناریو ششم

سناریو	مازاد تولید	هدف	V (تن)	Z (هزار تومان)	زمان حل (ثانیه)
ششم	غیر مجاز	کاهش Z ، افزایش V	۴۴۰۰	۱۱۵۰۳/۶	۰/۰۳۱۴

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

امروزه رویکردهای سبز و تاب‌آور به‌عنوان پارادایم‌های زنجیره تأمین به سازمان‌ها این امکان را می‌دهند که به‌صورت رقابتی در بازارها فعالیت کنند. از این رو به‌منظور باقی‌ماندن در بازار رقابتی موجود، زنجیره تأمین باید به‌گونه‌ای طراحی شود که به‌طور هم‌زمان تاب‌آوری را برای مقابله مؤثر با اختلال‌های غیرمنتظره و بعد سبز را برای کاهش اثرات زیست‌محیطی در نظر بگیرد. بر این اساس، در این پژوهش یک روش طراحی شبکه بر پایه بهینه‌سازی ارائه می‌شود تا به معماران زنجیره تأمین کمک کند، که علاوه بر افزایش کارایی شبکه زنجیره تأمین، جنبه زیست‌محیطی زنجیره تأمین خود، برای دستیابی به اهداف مشترک سود و سهم بازار با کاهش خطرات محیطی را در نظر بگیرند. هدف اصلی این پژوهش توسعه مدل ریاضی چندهدفه جهت طراحی شبکه زنجیره تأمین سبز و تاب‌آور است. پژوهش حاضر از نظر هدف از این جهت که به بررسی و دانش کاربردی در یک زمینه خاص توجه و کمک می‌کند، می‌توان آن را در زمره پژوهش‌های کاربردی دانست و به لحاظ گردآوری داده‌ها، یک پژوهش توصیفی است. از نظر نوع داده‌ها کمی بوده، و از آن جهت که به بررسی داده‌های مرتبط به برهه‌ای از زمان می‌پردازد، از نوع پژوهش‌های مقطعی می‌باشد. جامعه هدف شرکت‌های فعال در صنعت سیمان در استان بوشهر می‌باشد و نمونه‌ای که برای به دست آوردن متغیرها از آن بهره گرفته شده است شرکت صنایع سیمان دشتستان می‌باشد. در این پژوهش از روش مدل‌سازی ریاضی استفاده شده است.

ساختار این مدل به‌گونه‌ای است که در آن یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه با چندین محدودیت برای طراحی شبکه زنجیره تأمین سبز و تاب‌آور توسعه داده خواهد شد. به‌منظور گردآوری مقادیر پارامترهای مدل از پرسش‌نامه استفاده شده است. در این پژوهش شش سناریو در دو حالت، مجاز بودن مازاد تولید و عدم مازاد تولید تعریف شده است. یافته‌های پژوهش حاکی از آن است که در هر دو حالت (مازاد تولید و عدم مازاد تولید)، جواب بهینه متعلق به سناریوهایی است که هر دو تابع هدف را هم‌زمان با هم در نظر گرفته‌اند. نیز، یافته‌ها نشان دادند مقدار بهینه هزینه انتشار گاز دی‌اکسیدکربن در حالت مازاد تولید برابر با ۱۱۰۹۰ تومان و در حالت عدم مازاد تولید برابر با ۱۱۵۰۳/۶ تومان است. در سناریوهایی که هدف تاب‌آوری شبکه مدنظر است میزان تاب‌آوری شبکه به بالاترین حد خود یعنی ۴۴۰۰ می‌رسد و در سناریوهایی که این هدف مدنظر نیست، میزان تاب‌آوری شبکه برابر صفر است. از بین شش سناریو تعریف‌شده، جواب بهینه مربوط به سناریویی است که مازاد تولید مجاز بوده و دو تابع هدف، هم‌زمان باهم در نظر گرفته شدند. یافته دیگر نشان داد سطح تولید شرکت هیچ تأثیری بر تاب‌آوری شبکه زنجیره تأمین آن ندارد، و شرکت برای سنجش میزان تاب‌آوری شبکه زنجیره خود می‌بایست از شاخص‌های دیگری استفاده کند. این یافته در مطالعه جبارزاده و همکاران (۲۰۱۷) نیز تأیید شد. برای سنجش تاب‌آوری شبکه از معیار احتمال ایجاد اختلال در زیرسیستم تولید، انتقال و توزیع استفاده نموده است. همچنین می‌توان به این نتیجه رسید که میزان هزینه انتشار دی‌اکسیدکربن در حالت مازاد تولید کمتر از حالت عدم مازاد تولید است. این یافته در مطالعه ظهیری و همکاران (۲۰۱۷) مورد تأیید قرار گرفت. بنابراین، می‌توان گفت که سطح تولید شرکت، بر هزینه انتشار شبکه تأثیر کمی دارد و بیشتر متأثر از مقدار انتشار کربن در گره‌های تولیدی و کمان‌ها است. با توجه به نتایج پژوهش، مدیریت شرکت سیمان دشتستان می‌تواند بجای پرداخت جریمه‌های سنگین ناشی از انتشار بیش از حد گاز دی‌اکسیدکربن از بخش‌های مختلف، منشأ این آلودگی‌ها را پیدا کرده و درصد رفع آن برآید. شرکت سیمان دشتستان یکی از صنایع کهن استان است که این امر حاکی از فرسودگی تجهیزات و روش تولید سنتی دارد. لذا استفاده از تجهیزات و فناوری‌های نوین و به‌روزرسانی روش‌های تولید می‌تواند تا حد زیادی از انتشار این گاز جلوگیری نماید. با توجه به نظرات کارشناسان شرکت سیمان دشتستان، این شرکت هنوز از فرایندهای سنتی در سیستم خرید و فروش خود استفاده می‌نماید. لذا برای افزایش سطح تاب‌آوری پیشنهاد می‌گردد تمرکز خود را بر رویکردهای نوین ارتباط با خریداران و تأمین‌کنندگان و نیز بهبود مدیریت ارتباط با مشتری بگذارند. به محققان پیشنهاد می‌شود که با الگوریتم‌های فراابتکاری مدل پژوهش را حل کرده و نتایج آن را مقایسه کنند. برای پیشنهاد‌های پژوهشی آتی، با توجه به اینکه نمونه مورد مطالعه در این پژوهش، شرکت صنایع سیمان دشتستان بود، محققان می‌توانند این مدل را روی زنجیره تأمین صنایع با آلاینده‌گی بالا نیز پیاده‌سازی کنند. در این پژوهش فقط ابعاد سبز و تاب‌آوری زنجیره تأمین مدنظر قرار گرفته است، پیشنهاد می‌شود ابعاد ناب و چابک نیز به مدل اضافه شود. افق زمانی این پژوهش، به‌دلیل محدودیت‌های هزینه و زمان، مقطعی بوده و داده‌های آن فقط در یک مرتبه جمع‌آوری شده است و احتمال دارد که نتایج پژوهش را تحت تأثیر قرارداد داده باشد.

منابع

- اجلی، مهدی؛ محمدی بالانی، عبدالکریم؛ سلحشوری، روح اله و علی دوستی شهرکی، مهدی (۱۳۹۵). طراحی شبکه زنجیره تأمین پایدار و تاب‌آور تحت ریسک‌های اختلال. دومین کنفرانس جهانی مدیران زنجیره تأمین و لجستیک، تهران، مرکز توسعه اطلاعات کاربردی.
- حاجیان، سیما؛ افشار کاظمی، محمدعلی؛ سیدحسینی، سید محمد؛ طلوعی اشلقی، عباس (۱۳۹۸). ارائه مدل چندهدفه برای مسئله مکان‌یابی - مسیریابی - موجودی در شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته سبز چنددوره‌ای و چندمحصولی برای کالاهای فاسدشدنی. مدیریت صنعتی، ۱۱(۱)، ۸۳-۱۱۰.
- صادقی، زهرا؛ بویر حسنی، امید (۱۳۹۸). ارائه یک مدل بهینه‌سازی چندهدفه به‌منظور طراحی و برنامه‌ریزی پایدار و تاب‌آور زنجیره تأمین تحت ریسک اختلال تأمین. نشریه علمی پژوهشی مهندسی و مدیریت کیفیت، ۳(۹)، ۲۱۲ - ۲۲۵.
- فتحی، محمد رضا؛ نصراللهی، مهدی؛ زمانیان، علی (۱۳۹۸). مدل‌سازی ریاضی شبکه زنجیره تأمین پایدار در وضعیت عدم قطعیت و حل آن با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری. مدیریت صنعتی، ۱۱(۴)، ۶۲۱-۶۵۲.
- گنجی، ملیحه؛ کاظمی پور، حامد؛ حاجی مولانا، سید محمد؛ سجادی، سید مجتبی (۱۳۹۹). توسعه مدل دوهدفه یکپارچه زمان‌بندی زنجیره تأمین سبز: تولید، توزیع و مسیریابی با وسیله نقلیه ناهمگن و پنجره‌های زمانی مشتریان. مدیریت صنعتی، ۱۲(۱)، ۴۷-۸۱.
- محمدی، امیرسالار؛ عالم تبریز، اکبر؛ پیشوایی، میرسامان (۱۳۹۷). طراحی شبکه زنجیره تأمین سبز حلقه بسته همراه با تصمیم‌های مالی در شرایط عدم قطعیت. مدیریت صنعتی، ۱۰(۱)، ۶۱-۸۴.
- والی سیر، محمدمهدی؛ روغنیان، عماد (۱۳۹۸). طراحی شبکه زنجیره تأمین سبز و تاب‌آور با در نظر گرفتن زمان‌بندی حمل و نقل. دوازدهمین کنفرانس بین‌المللی انجمن ایرانی تحقیق در عملیات، بابلسر، دانشگاه علوم و فنون مازندران.

References

- Ahranjani, P. M., Ghaderi, S. F., Azadeh, A., & Babazadeh, R. (2020). Robust design of a sustainable and resilient bioethanol supply chain under operational and disruption risks. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 22(1), 119-151.
- Ajli, M., Mohammadi Balani, A. K., Salahshouri, R., & Ali Dosti Shahraki, M. (2016). Stable and resilient supply chain network design under disruption risks. *2nd World Conference on Supply Chain and Logistics Managers*, Tehran, Center for Applied Information Development. (in Persian)
- Alzaman, C., Zhang, Z. H., & Diabat, A. (2018). Supply chain network design with direct and indirect production costs: Hybrid gradient and local search-based heuristics. *International Journal of Production Economics*, 203, 203-215.
- Christopher, M., & Peck, H. (2004). Building the resilient supply chain. *The international journal of logistics management*, 15(2), 1-14.
- Dehghanian, F., & Mansour, S. (2009). Designing sustainable recovery network of end-of-life products using genetic algorithm. *Resources, Conservation and Recycling*, 53, 559-570.

- Fahimnia, B., & Jabbarzadeh, A. (2016). Marrying supply chain sustainability and resilience: A match made in heaven. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 91, 306-324.
- Fahimnia, B., Sarkis, J., & Davarzani, H. (2015). Green supply chain management: A review and bibliometric analysis. *International Journal of Production Economics*, 162, 101-114.
- Goh, M., Lim, J. Y. & Meng, F. 2007. A stochastic model for risk management in global supply chain networks. *European Journal of Operational Research*, 182, 164-173.
- Golpîra, H., Zandieh, M., Najafi, E., & Sadi-Nezhad, S. (2017). A multi-objective multi-echelon green supply chain network design problem with risk-averse retailers in an uncertain environment. *Scientia Iranica*, 24(1), 413-423.
- Handfield, R., Walton, S. V., Sroufe, R., & Melnyk, S. A. (2002). Applying environmental criteria to supplier assessment: a study in the application of the analytical hierarchy process. *European journal of operational research*, 141(1), 70-87.
- Jabbarzadeh, A., Fahimnia, B., & Rastegar, S. (2017). Green and resilient design of electricity supply chain networks: a multiobjective robust optimization approach. *IEEE Transactions on Engineering Management*, (99), 1-21.
- Kleindorfer, P. R. & Saad, G. H. 2005. Managing disruption risks in supply chains. *Production and operations management*, 14, 53-68.
- Mari, S., Lee, Y., & Memon, M. (2014). Sustainable and resilient supply chain network design under disruption risks. *Sustainability*, 6(10), 6666-6686.
- Miranda-Ackerman, M. A., Azzaro-Pantel, C., & Aguilar-Lasserre, A. A. (2017). A green supply chain network design framework for the processed food industry: Application to the orange juice agrofood cluster. *Computers & Industrial Engineering*, 109, 369-389.
- Mohammed, A., Harris, I., Soroka, A., & Nujoom, R. (2019). A hybrid MCDM-fuzzy multi-objective programming approach for a G-Resilient supply chain network design. *Computers & Industrial Engineering*, 127, 297-312.
- Naderi, B., Govindan, K., & Soleimani, H. (2019). A Benders decomposition approach for a real case supply chain network design with capacity acquisition and transporter planning: wheat distribution network. *Annals of Operations Research*, 1-21.
- Papapostolou, C., Kondili, E., & Kaldellis, J. K. (2011). Development and implementation of an optimisation model for biofuels supply chain. *Energy*, 36(10), 6019-6026.
- Pettit, T. J., Fiksel, J., & Croxton, K. L. (2010). Ensuring supply chain resilience: development of a conceptual framework. *Journal of business logistics*, 31(1), 1-21.
- Ponies, S. T., & Koronis, E. (2012). Supply Chain Resilience? Definition of concept and its formative elements. *The Journal of Applied Business Research*, 28(5), 921-935.
- Ramezani, R., & Khalesi, S. (2019). Integration of multi-product supply chain network design and assembly line balancing. *Operational Research*, 21, 453-483.
- Sadeghi, Z., & Boyer Hassani, O. (2019). Provide a multi-objective optimization model for the design and planning of sustainable and resilient supply chain at risk of supply disruption. *Journal of Engineering and Quality Management*, 3 (9) 212-225. (in Persian)

- Sheffi, Y. (2005). *The resilient enterprise: Overcoming vulnerability for competitive advantage*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Sodhi, M., Son, B., & Tang, C. (2011). Researchers' perspectives on supply chain risk management. *Production and Operations Management*, 21(1), 1-13.
- Srivastava, S. K. (2007). Green supply chain management: a state-of-the-art literature review. *International journal of management reviews*, 9(1), 53-80.
- Tomlin, B., & Synder, L. (2008). On the value of a threat advisory system for managing, s.l.: s.n.
- Tseng, M. L., Islam, M. S., Karia, N., Fauzi, F. A., & Afrin, S. (2019). A literature review on green supply chain management: Trends and future challenges. *Resources, Conservation and Recycling*, 141, 145-162.
- Wali Sir, M. M., & Roghian, E. (2019). Green and resilient supply chain network design taking into account shipping schedule. *Twelfth International Conference of the Iranian Association for Operations Research*, Babolsar, Mazandaran University of Science and Technology. (in Persian)
- Wieland, A., & Wallenburg, C. M. (2013). The influence of relational competencies on supply chain resilience: A relational view. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 43(4), 300–320
- Yadegari, E., Alem-Tabriz, A., & Zandieh, M. (2019). A memetic algorithm with a novel neighborhood search and modified solution representation for closed-loop supply chain network design. *Computers & Industrial Engineering*, 128, 418-436.
- Yavari, M., & Zaker, H. (2020). Designing a resilient-green closed loop supply chain network for perishable products by considering disruption in both supply chain and power networks. *Computers & Chemical Engineering*, 134, 106680.
- Yu, H., Solvang, W. D., & Chen, C. (2014). A green supply chain network design model for enhancing competitiveness and sustainability of companies in high north arctic regions. *International Journal of Energy and Environment*, 5, 403-418.
- Zahiri, B., Zhuang, J. and Mohammadi, M. (2017). Toward an integrated sustainable-resilient supply chain: A pharmaceutical case study. *Transportation Research Part E*, 103, 109–142.
- Zhalechian, M., Torabi, S. A. & Mohammadi, M. 2018. Hub-and-spoke network design under operational and disruption risks. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 109, 20- 43.
- Zhang, C. T., Wang, H. X., & Ren, M. L. (2014). Research on pricing and coordination strategy of green supply chain under hybrid production mode. *Computers & Industrial Engineering*, 72, 24-31.