Industrial Management Journal
Print ISSN: 2008-5885
Online ISSN: 2423-5369

Designing a Resilient Three-level Intertwined Supply Network under Disruption and Uncertainty

Farahnaz Rahmani Meybodi
Ph.D. Candidate, Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Management and Information Technology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: f_rahmanimeybodi@sbu.ac.ir

Akbar Alem Tabriz *
*Corresponding Author, Prof., Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Management and Information Technology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: a-tabriz@sbu.ac.ir

Mostafa Zandiyeh
Prof., Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Management and Information Technology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: m_zandieh@sbu.ac.ir

Davood Talebi
Assistant Prof., Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Management and Information Technology, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran. E-mail: d-talebi@sbu.ac.ir

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

Abstract

Objective

The intertwined supply chain refers to a network of interconnected supply chains that, through long-term collaboration, can deliver products and services to multiple customers, even in the face of various disruptions. In the case of the tiles and ceramics industry, it is essential to enhance resilience and integration across all chains to address issues such as capacity limitations at centers, which are often due to the unavailability of raw materials and production machinery caused by sanctions. These challenges have led to inadequate production management and increased costs. The aim of this research is to design a resilient three-level intertwined supply network capable of withstanding disruptions and uncertainty while simultaneously increasing profit and enhancing resilience.

Methods

This research employs a capacity development strategy and supplier separation to address disruptions at centers and uses fuzzy chance-constrained programming to tackle demand

uncertainty. The model of this research is a multi-product, multi-period, mixed-integer linear programming model. To solve the bi-objective optimization (profit and risk), the augmented epsilon constraint method was used, resulting in a Pareto solution set. To validate the model, real data related to the intertwined supply network of tiles and ceramics (interconnected supply chains of tiles and ceramics, glaze, and alumina balls) were used, and the model was solved using GAMS software.

Results

Based on the model output and the results of the decision variables, profit increased by three percent in the deterministic case compared to the uncertain case, while risk decreased by seven percent. The numerical results of the sensitivity analysis show that changing the epsilon parameter from zero to five-hundredths and from five-hundredths to one-tenth leads to a two to seven percent increase in profit. Additionally, the optimal capacity increase in the alumina ball production center is twenty percent, in the tile production center is ten percent, and in the glaze production center is thirty percent.

Conclusion

In the current global context, where the evolution of supply chains is moving towards intertwined supply networks, there are very few studies conducted on these networks. Given the nature of the intertwined supply network, the presented general model facilitates the transfer of raw materials or products through both intra-chain relationships (such as between suppliers and producers, and between producers and customers) and inter-chain relationships (such as between suppliers of one chain and those of another, between producers of one chain and those of another, between customers (production centers) of one chain and customers (final) of another, and the reverse relationship from producers of one chain to suppliers of another). The model simultaneously considers strategic decisions, including the selection of centers that require capacity increases, while optimizing operational decisions (such as production levels, inventory levels, and transportation levels) accordingly.

Keywords: Fuzzy programming, Intertwined supply network, Mathematical modeling, Resilience, Uncertainty.

Citation: Rahmani Meybodi, Farahnaz; Alem Tabriz, Akbar; Zandiyeh, Mostafa & Talebi, Davood (2024). Designing a Resilient Three-level Intertwined Supply Network under Disruption and Uncertainty. *Industrial Management Journal*, 16(4), 502-534. (*in Persian*)

Industrial Management Journal, 2024, Vol. 16, No 4, pp. 502-534
Published by University of Tehran, Faculty of Management
https://doi.org/10.22059/IMJ.2024.381366.1008177
Article Type: Research Paper
© Authors
Received: May 23, 2024
Received in revised form: September 14, 2024
Accepted: October 16, 2024
Published online: December 02, 2024

مدیریت صنعتی
شاپا چاپی: ۲۰۰۸-۵۸۸۵
شاپا الکترونیکی: ۲۴۲۳-۵۳۶۹

طراحی شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته سه سطحی تاب‌آورتحت اختلال و عدم قطعیت

فرحناز رحمانی میبدی

دانشجوی دکتری، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت صنعتی و فناوری اطلاعات، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: f_rahmanimeybodi@sbu.ac.ir

اکبر عالم تبریز *

* نویسنده مسئول، استاد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت صنعتی و فناوری اطلاعات، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: a-tabriz@sbu.ac.ir

مصطفی زندیه

استاد، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت صنعتی و فناوری اطلاعات، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: m_zandieh@sbu.ac.ir

داوود طالبی

استادیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت صنعتی و فناوری اطلاعات، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران. رایانامه: d-talebi@sbu.ac.ir

چکیده

هدف: شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته، مجموعه‌ای از زنجیره‌های تأمین به‌هم‌پیوسته است که با همکاری بلندمدت میان این زنجیره‌تأمین‌ها تحت اختلال‌های متعدد، می‌تواند محصولات و خدمات را به مشتریان متعدد ارائه کند. در صنعت کاشی و سرامیک اختلال‌هایی وجود دارد، مانند اختلال در ظرفیت مراکز که از در دسترس نبودن مواد اولیه و ماشین‌آلات تولیدی، به‌دلیل اِعمال تحریم‌ها نشئت گرفته و به‌عدم مدیریت تولید مناسب و افزایش هزینه‌ها منجر شده است. شبکهٔ تأمین درهم‌آمیختهٔ کاشی و سرامیک برای مواجهه با این اختلال‌ها، می‌بایست تاب‌آوری و یکپارچگی را در تمامی زنجیره‌ها افزایش دهد. هدف پژوهش، طراحی شبکهٔ تأمین درهم‌آمیختهٔ سه سطحی تاب‌آور، تحت اختلال و عدم‌قطعیت با افزایش سود و تاب‌آوری است.

روش: این پژوهش برای مواجهه با اختلال در مراکز، از استراتژی توسعهٔ ظرفیت و جداسازی تأمین‌کننده و در مواجهه باعدم قطعیت پارامتر تقاضا، از روش برنامه‌ریزی مقید به شانس فازی استفاده کرده است. مدل این پژوهش از نوع برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط چند دوره‌ای چند محصولی است. برای حل بهینه‌سازی دو هدفه (سود و ریسک) از روش اپسیلون محدودیت تقویت شده استفاده شده و مجموعه جواب پارتو به‌دست آمده است. برای اعتبارسنجی مدل، از داده‌های واقعی مربوط به شبکهٔ تأمین درهم‌آمیختهٔ کاشی و سرامیک (زنجیره‌تأمین‌های به‌هم‌پیوسته کاشی و سرامیک، لعاب و گلوله آلومینا) استفاده شده و در آخر، به‌کمک نرم‌افزار گمز حل شده است.

یافته‌ها: بر اساس خروجی مدل و نتایج متغیرهای تصمیم در حالت قطعی نسبت به حالت غیرقطعی، میزان سود ۳درصد افزایش و میزان ریسک ۷درصد کاهش داشته است. نتایج عددی تحلیل حساسیت نشان می‌دهد که تغییر مقدار پارامتر اپسیلون، سطح خطا در

عدم ارضای قیود فازی، از صفر به ۰/۰۵ و از ۰/۰۵ به ۰/۱ به‌ترتیب باعث افزایش ۲ تا ۷ درصدی سود می‌شود. همچنین در حالت مطلوب، میزان افزایش ظرفیت در مرکز تولید گلولهٔ آلومینا، ۲۰درصد، در مرکز تولید کاشی ۱۰ درصد و در مرکز تولید لعاب ۳۰ درصد است.

نتیجه‌گیری: در شرایط کنونی جهان که زنجیره‌تأمین‌ها به‌سمت شبکه‌های تأمین درهم‌آمیخته تکامل می‌یابد، تعداد مطالعات صورت گرفته روی این شبکه‌ها بسیار اندک است. با توجه به ماهیت شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته، مدل عمومی ارائه شده، امکان ارسال مواد خام یا محصولات از روابط درون زنجیره‌ای (شامل رابطهٔ میان تأمین‌کنندگان و تولیدکنندگان و رابطهٔ میان تولیدکنندگان و مشتریان) و همچنین از روابط بین زنجیره‌ای (شامل رابطهٔ بین تأمین‌کنندگان یک زنجیره با تأمین‌کنندگان زنجیرهٔ دیگر، رابطهٔ بین تولیدکنندگان یک زنجیره با تولیدکنندگان زنجیرهٔ دیگر، رابطهٔ میان مشتریان (مراکز تولید) یک زنجیره با مشتریان (نهایی) زنجیرهٔ دیگر، رابطهٔ برگشتی تولیدکنندگان یک زنجیره به تأمین‌کنندگان زنجیرهٔ دیگر) وجود دارد و مدل به‌طور هم‌زمان تصمیم‌های استراتژیکی همچون انتخاب مجموعه‌ای از مراکز نیازمند به افزایش ظرفیت را در نظر می‌گیرد و تصمیم‌های عملیاتی (میزان تولید، میزان انبارش و میزان حمل‌ونقل) بر این اساس بهینه می‌شوند.

کلیدواژه‌ها: شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته، تاب‌آوری، مدل‌سازی ریاضی، عدم قطعیت، برنامه‌ریزی فازی.

استناد: رحمانی میبدی، فرحناز؛ عالم تبریز، اکبر؛ زندیه، مصطفی و طالبی، داوود (۱۴۰۳). طراحی شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته سه سطحی تاب‌آورتحت اختلال و عدم قطعیت. *مدیریت صنعتی*، ۱۶(۴)، ۵۰۲- ۵۳۴.

مدیریت صنعتی، ۱۴۰۳، دوره ۱۶، شماره ۴، صص. ۵۰۲- ۵۳۴
ناشر: دانشکدهٔ مدیریت دانشگاه تهران
نوع مقاله: علمی پژوهشی
© نویسندگان
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۳/۰۳
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۳/۰۶/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۷/۲۵
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۹/۱۲
doi: https://doi.org/10.22059/IMJ.2024.381366.1008177

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

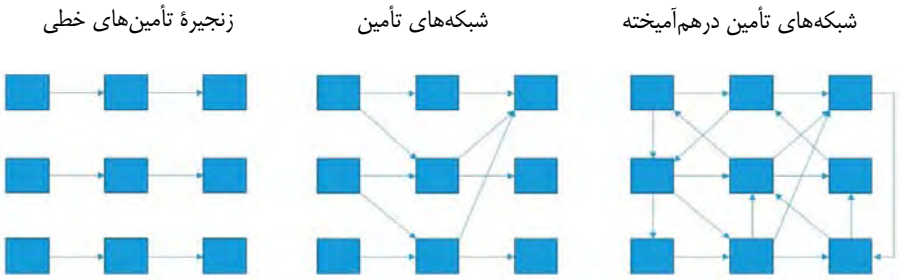
مقدمه

امروزه تغییرات سریع، کسب‌وکارها را به‌سمت جهانی شدن سوق داده و نقش عدم قطعیت و ریسک را در طراحی شبکهٔ تأمین برجسته کرده است (کوردو، کلیبی و نیکل[1]، ۲۰۲۱). جهانی‌شدن در کنار فرصت‌ها، چالش‌های جدیدی را ایجاد می‌کند؛ زیرا تعداد پیوندها و ارتباطات میان شرکت‌ها در یک شبکه از طریق جهانی‌شدن افزایش می‌یابد و زنجیره‌های تأمین را مستعد اختلال در جریان مواد و محصولات می‌کند (چن، سوهال و پراجوگو[2]، ۲۰۱۳). اختلال‌ها[3] گروهی از ریسک‌ها هستند که به‌صورت پیش‌بینی‌ناپذیر، جریان مواد را در شبکه‌های تأمین دچار مشکل می‌کنند (صدیق‌پور، ۱۳۹۸) و روی شبکه تأثیرهای مهمی می‌گذارند؛ مانند در دسترس نبودن مواد خام، تأخیر در زمان‌های تحویل و افزایش هزینه‌ها (قانعی، کونترراس و کوردآو[4]، ۲۰۲۳). بنابراین ضرورت تاب‌آوری در سیستم‌های پیچیده[5] که شبکه‌های تأمین درهم‌آمیخته[6] نمونه‌ای از آن‌هاست، اهمیت پیدا می‌کند (ایوانف و دولگوی[7]،۲۰۲۰).

شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته مجموعه‌ای از زنجیره‌های تأمین به‌هم‌پیوسته با ساختارهای پویاست که با همکاری یکدیگر، به‌طور مؤثر محصولات و خدمات را به مشتریان متعدد ارائه می‌کند. شرکت‌ها در این نوع شبکه‌ها رفتارهای مختلفی را با تغییر نقششان (خریدار ـ تأمین‌کننده[8]) در زنجیره‌تأمین‌های به‌هم‌پیوسته یا زنجیره‌تأمین‌های رقابتی از خود نشان می‌دهند و رفتارهای شرکت‌ها به‌طور پویا تغییر می‌کنند. شکل ۱، به‌خوبی تفاوت شبکه‌های تأمین درهم‌آمیخته را با شبکهٔ تأمین و زنجیرهٔ تأمین نشان می‌دهد.

تاب‌آوری شبکه‌های تأمین را قادر می‌سازد تا برای اختلال‌ها به‌خوبی آماده شوند، تأثیر آن‌ها را به‌سرعت کاهش دهند، بازیابی شوند و حتی عملکرد عملیاتی خود را افزایش دهند. در حال حاضر تمرکز روزافزونی بر توسعهٔ مفاهیم و روش‌شناسی برای شبکه‌های تأمین تاب‌آور وجود دارد؛ اما بیشتر کارها بر جنبه‌های کیفی آن متمرکز شده‌اند (حسینی، ایوانف و دولگوی[9]، ۲۰۱۹) و فقط مطالعات محدودی مدل‌های کمّی را برای تجزیه‌وتحلیل تاب‌آوری شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته تحت رویدادهای اختلال ارائه داده‌اند. به‌منظور طراحی شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته، محققان مطالعاتی از منظر تاب‌آوری[10] (قانعی و همکاران، ۲۰۲۳؛ فیض‌آبادی، گلیگور و چوی[11]، ۲۰۲۱)، مانایی[12] (ایوانف و دولگوی، ۲۰۲۰؛ وانگ و یائو[13]، ۲۰۲۱؛ بهت و الجنیدی[14]، ۲۰۲۳) و پایداری[15] (گوربانوا و اوگولنیتسکی[16]، ۲۰۲۲) انجام داده‌اند.

1. Cordeau, Klibi & Nickel
2. Chen, Sohal & Prajogo
3. Disruptions
4. Ghanei, Contreras & Cordeau
5. Complex Systems
6. Intertwined Supply Networks
7. Ivanov & Dolgui
8. Buyyer
9. Hosseini, Ivanov & Dolgui
10. Resilience
11. Feizabadi, Gligor & Choi
12. viability
13. Wang & Yao
14. Bhat & Aljuneidi
15. Sustainability
16. Gorbaneva & Ougolnitsky



شکل ۱. زنجیرهٔ تأمین‌های خطی، شبکه‌های تأمین، شبکه‌های تأمین درهم‌آمیخته

منبع: ایوانف و دولگوی (۲۰۲۰)

در شبکه‌های تأمین درهم‌آمیخته، همهٔ عناصر باید برای مقابله با اختلال‌ها تاب‌آور باشند. بنابراین، همکاری[1] بین آن‌ها در مدیریت اختلال‌ها نقش مهمی ایفا می‌کند (شکریان و ملت پرست[2]، ۲۰۲۰). همکاری در شبکه‌ها به‌صورت افقی و عمودی در نظر گرفته می‌شود. هدف همکاری عمودی ترکیب تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان برای ارائه کارآمدترین خدمات به مشتری از نظر زمان، کیفیت و هزینه است. همکاری افقی همکاری بین شرکت‌هایی است که عملیات مشابهی را در همان سطح از زنجیرهٔ تأمین انجام می‌دهند. ترکیب همکاری عمودی و افقی، به‌عنوان همکاری جانبی[3] شناخته می‌شود که به‌ندرت در ادبیات بررسی شده است (قانعی و همکاران، ۲۰۲۳). اختلال‌ها و فروپاشی شبکه‌های تأمین و زنجیرهٔ تأمین، شبکه‌های تأمین درهم‌آمیخته و مسائل مربوط به بقای بازار را به خط مقدم بحث‌های مدیریت ریسک تبدیل کرده است. برای افزایش تاب‌آوری قانعی و همکاران (۲۰۲۳) از سه استراتژی افزایش تاب‌آوری شامل توسعهٔ ظرفیت، افزایش ظرفیت و بازیابی راه‌ها بهره برده‌اند. وانگ و یائو (۲۰۲۱) در مقابله با اختلال‌های حمل‌ونقل و مسیر با در نظر گرفتن جفت مسیر تأمین، تاب‌آوری را افزایش داده‌اند. ایوانف (۲۰۲۳) با استفاده از ظرفیت‌ها و موجودی‌های مشترک در شبکه، باعث ارتقای تاب‌آوری در شبکه شده است. در مواجهه با عدم قطعیت‌های مختلف، دهشیری، امیری، الفت و پیشوایی[4] (۲۰۲۲) از رویکرد ترکیبی استوار و فازی و تصادفی و دهشیری و امیری[5] (۲۰۲۴) از رویکرد برنامه‌ریزی استوار و تصادفی ـ احتمالی مبتنی بر سناریو استفاده کرده‌اند.

صنعت کاشی و سرامیک یکی از صنایعی است که به‌دلیل وفور مواد اولیهٔ آن در ایران، طی دههٔ اخیر رشد چشمگیری داشته و در کانون توجه صنعتگران ایرانی قرار گرفته است (تقی‌زاده یزدی، بیوکی و محمدی بالانی، ۱۳۹۵). با رشد این صنعت، چالش‌های گوناگونی افزایش یافته است که مدیران باید آن‌ها را مدیریت کنند. اهمیت و حساس بودن شبکهٔ تأمین کاشی در ایران و افزایش سریع هزینه‌های تولید و تأمین در آن، زنجیره‌های این شبکه را بر آن داشته است تا به‌دنبال کاهش هزینه‌ها باشند، از این رو همواره زنجیره‌ها سعی در بهبود عملکرد شبکهٔ تأمین دارند. صنعت کاشی و سرامیک تعداد زیادی تأمین‌کننده و صنایع وابسته به آن را شامل می‌شود که همهٔ اینها مدیریت تولید این

1. Collaboration
2. Shekarian & Mellat Parast
3. Lateral collaboration
4. Dehshiri, Amiri, Olfat & Pishvaee
5. Dehshiri & Amiri

واحدها را پیچیده کرده است. طبق تعریف شبکه‌های تأمین درهم‌آمیخته در تحقیق ایوانف و دولگوی (۲۰۲۰)، شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته کاشی و سرامیک، شامل زنجیره‌های تأمین به‌هم‌پیوسته کاشی و سرامیک، لعاب، گلوله‌های آلومینیایی است و نقش مراکز تولید گلوله‌های آلومینیایی و لعاب، به‌عنوان نقش تأمین‌کننده برای مرکز تولید کاشی و سرامیک تغییر می‌کند. بنابراین تصمیم‌هایی که در جهت حداکثر کردن منافع کل شبکه اتخاذ می‌شود، توانایی استفاده از منافع موجود را به اعضای شبکه می‌دهد تا به حداکثر کارایی دست یابند و بقای آن‌ها در بازار را تضمین کند.

در این پژوهش مسئلهٔ شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته سه سطحی تاب‌آور چند دوره‌ای (RISNMP)[1] تحت عدم قطعیت و اختلال معرفی می‌شود که دو هدف سود و تاب‌آوری را دنبال می‌کند و هر زنجیرهٔ تأمین در این شبکه شامل مجموعه‌ای از تأمین‌کنندگان، مراکز تولیدی و مشتریان (نهایی یا تولیدکننده) است. مسئله به‌صورت چنددوره‌ای و چندمحصولی طراحی شده است تا بتواند تصمیمات مربوط به مدیریت شبکه را به‌درستی اتخاذ کند. این مدل از استراتژی‌های افزایش تاب‌آوری برای کاهش تأثیر منفی اختلال‌ها استفاده کرده و مدل پیشنهادی به‌طور هم‌زمان تصمیم‌های استراتژیک را که شامل انتخاب مجموعه‌ای از امکاناتی است که به افزایش ظرفیت نیاز دارند، در نظر می‌گیرد و تصمیم‌های عملیاتی بر این اساس بهینه می‌شوند. همچنین مدل در برخورد با عدم قطعیت پارامتر فازی تقاضا از روش برنامه‌ریزی مقید به شانس فازی استفاده می‌کند.

در ادامه، مبانی نظری و پیشینهٔ پژوهش بررسی قرار می‌شود. در بخش سوم به تعریف پارامترها، متغیرهای پژوهش و پس از آن، به تشریح ساختار مدل ریاضی شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته تاب‌آوردر حالت قطعی و غیرقطعی پرداخته شده است. در بخش چهارم، مثال کاربردی در شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته کاشی و سرامیک حل و اعتبارسنجی شده و تحلیل حساسیت روی پارامتر مؤثر بر تابع هدف انجام شده است. در پایان بحث و نتیجه‌گیری ارائه شده است.

پیشینهٔ پژوهش

در این بخش با توجه به حیطه مسئله در نظر گرفته شده پژوهش، در زیربخش پیشینهٔ نظری، مفهوم شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته و تاب‌آوری به همراه بررسی آن در طراحی شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته مدنظر قرار گرفته است. در زیربخش پیشینهٔ تجربی، حیطه بررسی مقاله‌های گسترش یافته و مسائل طراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین و شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته با مفهوم تاب‌آوری بررسی می‌شوند. در انتها نیز ضمن مقایسه و بیان تفاوت پژوهش حاضر با پژوهش‌های مشابه، سهم این پژوهش در ادبیات موضوع تبیین می‌شود.

پیشینهٔ نظری

شبکه‌های تأمین درهم‌آمیخته

در اوایل قرن ۲۰۰۰، ایده‌های تشکیل زنجیرهٔ تأمین پویا، اولین تحولات را در زمینهٔ شرکت‌های مجازی و شبکه‌های مشترک شکل داد (چیبانی، دلورمه، دولگوی و پیروال[2]، ۲۰۱۸). اخیراً، تحقیقات زیادی به تشکیل زنجیره‌تأمین‌های

1. Resilience Intertwined Supply Network Multi-Period Problem
2. Chaibani, Delorme, Dolgui & Pierreval

درهم‌آمیخته اشاره دارد. مانند تحقیق فراکاسیا، گیانوکارو، آلبینو[1] (۲۰۱۷) که به چندین زنجیرهٔ تأمین متقاطع[2] در صنعت اشاره می‌کند که از هدررفت برخی فرایندهای زنجیرهٔ تأمین به‌عنوان ورودی سایر زنجیرهٔ تأمین‌ها استفاده می‌شود. همچنین تحقیق وانگ، دو، مدادا و ژانگ[3] (۲۰۱۸) مفهوم شبکه‌های زنجیرهٔ تأمین جامع‌نگر[4] را گسترش داده‌اند که شامل گروهی از زنجیرهٔ تأمین‌های متقاطع که به‌هم‌آمیخته شده‌اند. مثال دیگر، تعاون لجستیک‌های تجاری و بشردوستانه[5] است که چندین زنجیرهٔ تأمین از امکانات انبار به‌صورت مشترک استفاده می‌کنند (دوبی، گوناسکاران و پاپادوپولوس[6]، ۲۰۱۹ب). همچنین، استفاده از اقتصادهای دایره‌ای در طراحی زنجیرهٔ تأمین‌های حلقه بسته (دهشیری و امیری، ۲۰۲۴) و صنعت ۴.۰ و تولید سایبری ـ فیزیکی به‌طور شایان توجهی زنجیرهٔ تأمین را تغییر داده و درهم‌آمیختگی آن را افزایش داده است (ایوانف، دولگوی و سوکولو[7]، ۲۰۱۹). به همین ترتیب، می‌توان نتیجه گرفت که بسیاری از زنجیره‌تأمین‌ها بر اساس اصول توسعهٔ تکاملی به شبکه‌های تأمین درهم‌آمیخته تبدیل می‌شوند. شبکه‌های تأمین درهم‌آمیخته به‌عنوان شبکه‌های پیچیده تأمین است که در آن ساختارها، نقش‌ها و رفتارهای شرکت‌های درگیر در آن که به‌طور پویا تغییر می‌کنند. همچنین در عمل، زنجیره‌تأمین‌ها معمولاً به‌طور مستقل عمل نکرده، بلکه در داخل یا در سراسر بخش‌های تجاری گسترده و به هم متصل می‌شوند و اکوسیستم‌های تأمین یا شبکه‌های تأمین درهم‌آمیخته را تشکیل می‌دهند. برای اولین بار اصلاح شبکه‌های تأمین درهم‌آمیخته را ایوانف و دلولگی (۲۰۲۰) مطرح کردند. سه ویژگی اصلی که شبکه‌های تأمین درهم‌آمیخته را از شبکه‌های زنجیرهٔ تأمین جهت دار خطی با ساختارهای ایستا متمایز می‌کند:

- سیستم باز: اتصال بین صنایع در شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته رایج است.
- پویایی ساختاری: شبکه‌های تأمین درهم‌آمیخته از ساختارهای مختلفی تشکیل شده‌اند که به هم مرتبط هستند و در پویایی خود تغییر می‌کنند، مانند ساختارهای فناوری و فرایندهای تجاری، سازمانی، فنی، توپولوژیکی، اطلاعاتی و مالی. همچنین همهٔ شرکت‌کنندگان درگیر در شبکه‌های تأمین درهم‌آمیخته، ممکن است رفتارهای متعددی از خود نشان دهند، مانند تغییر نقش خریدار- تأمین‌کننده در زنجیرهٔ تأمین‌های به‌هم‌پیوسته یا حتی رقیب که ساختار شبکه را پویاتر و انعطاف‌پذیرتر می‌کند.
- یکپارچگی: شبکه‌های تأمین درهم‌آمیخته مجموعه‌ای از زنجیره‌تأمین‌های به‌هم‌پیوسته است که در یکپارچگی خود، ارائه خدمات یا محصولات جامعه و بازار را تضمین می‌کند (مانند خدمات غذایی یا خدمات ارتباطی).

تاب‌آوری و شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته

تجزیه‌وتحلیل واکنش زنجیرهٔ تأمین به اختلال‌ها را می‌توان طبق تعاریف زیر و جدول ۱ ارائه کرد (ایوانف و دولگوی، ۲۰۲۰):

1. Fraccascia, Giannoccaro & Albino
2. Intersecting
3. Wang, Dou, Muddada & Zhang
4. Holistic
5. Symbiosis of Commercial and Humanitarian Logistics
6. Dubey, Gunasekaran, and Papadopoulos
7. Ivanov, Dolgui & Sokolov

- ثبات: توانایی بازگشت به حالت قبل از آشفتگی و اطمینان از دوام و استمرار؛
- استواری: توانایی مقاومت در برابر اختلال یا مجموعه‌ای از اختلال‌ها، برای حفظ عملکرد برنامه‌ریزی شده؛
- تاب‌آوری: توانایی مقاومت در برابر اختلال یا مجموعه‌ای از اختلال‌ها و بازیابی عملکرد.

جدول ۱. مفاهیم اصلی در واکنش زنجیرهٔ تأمین در برابر اختلال‌ها

مفاهیم	آشفتگی عملیاتی	اختلال در ساختار زنجیرهٔ تأمین	عملکرد خروجی	بازیابی
ثبات	✓			
استواری	✓	✓	✓	
تاب‌آوری		✓	✓	✓

منبع: (ایوانف و دولگوی، ۲۰۲۰)

ثبات به‌عنوان «ویژگی اصلی یک شبکهٔ تأمین بدون در نظر گرفتن عملکرد» بیان می‌شود، در حالی که استواری و تاب‌آوری، شامل عملکرد در تجزیه‌وتحلیل تأثیرهای اختلال است. همچنین استواری را می‌توان توانایی سیستم برای مقاومت در برابر اختلال یا مجموعه‌ای از اختلال‌ها، بدون هیچ گونه تغییرات/تطبیق‌های ساختاری و پارامتری تجزیه‌وتحلیل کرد، در حالی که تجزیه‌وتحلیل تاب‌آوری اجازه می‌دهد تا سیستم از برخی بازیابی/تطبیق به‌منظور بازگرداندن عملیات و عملکرد مختل شده استفاده کند (ایوانف و دولگوی، ۲۰۲۰).

مطالعات موجود، رابطهٔ بین تاب‌آوری و ساختارهای شبکه زنجیرهٔ تأمین را بررسی کرده است. ویژگی‌های ساختاری شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین، در حفظ قابلیت اطمینان و دستیابی به انعطاف‌پذیری نقش مهمی ایفا می‌کند. ایوانف و دولگوی (۲۰۱۹) تأکید کرده‌اند که شبکه‌های پیچیده در برابر اختلال‌های شدید آسیب‌پذیرتر می‌شوند که ساختار زنجیرهٔ تأمین را تغییر دهند. بنابراین، تحت اختلال‌های جهانی درازمدت و پیش‌بینی‌ناپذیر کنونی، چشم‌اندازی در مقیاس‌های بزرگ‌تر با در نظر گرفتن شبکه‌های تأمین پیچیده و سیستم‌های تولید به‌هم پیوسته ضروری است. همچنین همکاری بین زنجیره‌تأمین‌ها، معمولاً به تشکیل شبکه‌های همکاری چند ساختاری پیچیده منجر می‌شود که می‌توان از آن‌ها به‌عنوان سیستم های پیچیده یاد کرد. علاوه‌براین، ساختار سازمانی و ویژگی‌های عملیاتی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین، بخش عمده‌ای از تحقیقات مربوط به مقابله با خطر اختلال‌های موجود در زنجیرهٔ تأمین را تشکیل می‌دهد؛ از این رو می‌بایست ظرفیت شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین را برای مقابله با خطرهای اختلال بهبود بخشید (وانگ و یائو، ۲۰۲۱).

تجارت بین‌المللی به زنجیره‌تأمین‌های جهانی منجر می‌شود؛ همچنین ریسک‌ها در مدیریت زنجیرهٔ تأمین ذاتی هستند. بنابراین جهانی‌شدن و باز بودن تجارت، آسیب‌پذیری در مدیریت زنجیرهٔ تأمین را تشدید می‌کند و خطرها را افزایش می‌دهد (بیر، لانگ و گلوک[1]، ۲۰۱۹). به‌طور سنتی، آسیب‌پذیری زنجیرهٔ تأمین زمانی که هم تأثیر و هم احتمال اختلال زیاد باشد، به بالاترین میزان خود می‌رسد، به‌خصوص در شبکه‌ای پیچیده‌تر از زنجیره‌های تأمین با تغییر تقاضای جهانی و افزایش احتمال اختلال، چگونه زنجیره‌ای از اختلال‌ها بر شبکه تأثیر می‌گذارد؟ چگونه یک زنجیرهٔ تأمین می‌تواند در مواجهه با شکست آبشاری سایر زنجیره‌های تأمین تاب‌آور باقی بماند؛ به‌خصوص که هدف بسیاری از زنجیره‌های تأمین برای کارایی طراحی شده است و نه تاب‌آوری؟ (گلان، جرنگان و لینکو[2]، ۲۰۲۰).

1. Bier, Lange & Glock
2. Golan, Jernegan & Linkov

هنگام برخورد با شبکه‌های تأمین درهم‌آمیخته، همه شرکت‌کنندگان باید برای مقابله با اختلال‌ها تاب‌آور باشند. بنابراین، همکاری بین شرکت‌ها نقش مهمی در مدیریت اختلال‌ها برای عملکرد مؤثرتر دارد. دو نوع اصلی همکاری در شبکه‌های لجستیک مورد مطالعه قرار می‌گیرد: عمودی و افقی. هدف همکاری عمودی ترکیب تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان و توزیع‌کنندگان برای ارائه کارآمدترین خدمات به مشتری از نظر زمان، کیفیت و هزینه است. همکاری افقی همکاری بین شرکت‌هایی است که عملیات مشابهی را در همان سطح از زنجیرهٔ تأمین انجام می‌دهند. ترکیب همکاری عمودی و افقی به‌عنوان همکاری جانبی شناخته می‌شودکه به ندرت در ادبیات مطالعه شده است. عمدتاً تنظیم موجودی و بهنگام‌سازی عملیات از ارائه دهندگان خدمات لجستیکی مختلف را در نظر می‌گیرد (قانعی و همکاران، ۲۰۲۳). همچنین تصمیمات استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی در زنجیره‌تأمین مشترک[1] (همکار یا به‌هم‌پیوسته) وجود دارد. در سطح استراتژیک، شرکت‌کنندگان باید یک ائتلاف تشکیل دهند. یک ائتلاف شامل چندین شرکت کننده است که توافق می‌کنند به‌طور موقت با یکدیگر برای رسیدن به یک هدف مشترک همکاری کنند. در سطح تاکتیکی، آن‌ها باید مکانیزمی برای به اشتراک گذاشتن منافع یا هزینه‌ها ایجاد کنند، در حالی که در سطح عملیاتی، آن‌ها باید تصمیم اتخاذ که کدام منابع و به چه ترتیبی به اشتراک گذاشته شوند. آن‌ها ممکن است منابعی مانند مواد خام، وسایل نقلیه حمل‌ونقل، ظرفیت تاسیسات تولیدی، مراکز توزیع و انبارها را به اشتراک گذاشته یا درخواست های مشتریان را مبادله کنند. بسیاری از مطالعات در زنجیرهٔ تأمین مشارکتی، ائتلافی را در نظر می‌گیرند که دارای خاصیت افزودنی فوق‌العاده است، یعنی هرچه شرکت‌کنندگان بیشتری به همکاری بپیوندند، سود بیشتری به‌دست می‌آورند (قانعی و همکاران، ۲۰۲۳).

پیشینهٔ تجربی

با بررسی و مداقه پیشینه تجربی در حوزهٔ طراحی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین، می‌توان پی‌برد که بحث شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته در طراحی شبکه، به‌ندرت در کانون توجه پژوهشگران قرار گرفته است. تحقیقات اخیر صورت گرفته شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته از پژوهش ایوانف و دولگوی (۲۰۲۰) شروع شده است که این پژوهش با تمرکز بر شیوع ویروس کرونا، شکل‌گیری مانایی را از طریق مدل‌سازی نظریه بازی‌ها در یک سیستم بیولوژیکی شبیه به شبکه‌های تأمین درهم‌آمیخته نشان داده و با تعیین میزان تولید و موجودی به افزایش بقا شبکه، کمک کرده است. وانگ و یائو (۲۰۲۱) شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته تحت اختلال‌های حمل‌ونقلی با دیدگاه مانایی را طراحی کرده‌اند. آن‌ها با درنظر گرفتن راه‌های تأمین جدید برای بازارهای تقاضا، مدلی تاب‌آور برای شبکه با اهداف مینیمم‌کردن هزینه و افزایش مانایی طراحی کرده‌اند. پژوهش قانعی و همکاران (۲۰۲۳)، مسئلهٔ طراحی شبکهٔ تصادفی دو مرحله‌ای را بررسی کرده که شامل سه استراتژی مختلف تاب‌آوری برای طراحی شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته تحت یک همکاری منصفانه است. توسعهٔ ظرفیت، اشتراک ظرفیت و تغییر مسیر را به‌عنوان استراتژی‌های تاب‌آوری و اختلال‌ها را به‌صورت تصادفی و عدم قطعیت‌های هزینه‌های حمل‌ونقل و ظرفیت موجود در تأسیسات را در نظر گرفته است. به‌طور خاص، تأثیر سطوح و مقیاس‌های مختلف اختلال‌های تصادفی و تاب‌آوری بر عملکرد شبکه ارزیابی شد که بینش‌هایی را در خصوص تعادل بین هزینه و تاب‌آوری ارائه کرده

1. Cooperative

است. اچفاج، چارکاوی، چرافی و ایوانف[1] (۲۰۲۴) به طراحی استراتژی‌های تاب‌آوری در شبکه‌های تـأمین درهـم‌آمیختـه دایره‌ای پرداخته‌اند. نتایج نشان داد که تأثیر اختلال و فرایندهای بازیابی در شبکه‌های تأمین درهـم‌آمیختـهٔ دایـره‌ای، از الگوهای مرسوم شناخته شدهٔ تاب‌آوری زنجیره‌تأمین‌های مسـتقل، بـه‌دلیـل تـأثیرات درهـم‌تنیـدگی و دایـره‌ای پیـروی نمی‌کنند. ایوانف (۲۰۲۳) به بررسی تأثیرهای شلاقی اختلال‌ها و کاهش آن‌ها با انطباق و همکاری در شبکه‌های تـأمین درهم‌آمیخته از طریق شبیه‌سازی پرداخته است. نتایج نشان داد که از طریق همکاری با ظرفیت‌ها و اشتراک موجودی‌ها، می‌توان اثرها را کاهش داد و بازیابی عملکرد را بهبود داد. همچنین رن و همکاران[2] (۲۰۲۴) نیز مدلی مبتنی بر عامـل را برای شبیه‌سازی اثرهای موجی اختلال برای شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته ارائه کرده‌اند. نتایج نشان داد که شـرکت‌هـا بایـد ویژگی‌های ساختاری خود و شرکت‌های مجاورشان را برای بررسی مؤثر آسیب‌پذیری‌ها اولویت‌بندی کنند و بـا شـرکایی برای سرمایه‌گذاری در استراتژی‌های تاب‌آوری همکاری کنند.

در پژوهش‌های فارسی می‌توان به پژوهش خلیلی، پویا، کاظمی و فکور ثقیه (۱۴۰۱) اشـاره کـرد کـه بـه طراحـی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین پایدار و تاب‌آور تحت شرایط عدم قطعیت اختلال پرداخته شده اسـت. در ایـن پـژوهش، یـک مـدل چندهدفه احتمالی دومرحلـه‌ای، مبتنـی بر سناریو ارائه شده که ریسک‌های اخـتلال در زنجیـره را در قالـب سـناریوهای احتمالی در نظر گرفته است. اخـتلال‌هـا عبارت‌اند از: اختلال در تأمین به‌دلیل تخریب ظرفیت تولید پالایشگاه‌ها، کاهش واردات بنزین تحت تأثیر فشـارهای سیاسـی، تخریـب تسهیلات ذخیره‌سازی و افزایش ناگهانی تقاضای برخی از مراکز. مدل پیشنهادی این پژوهش ضمن بهینه‌سازی کمی هر سه بُعد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین بنزین، تاب‌آوری شبکه را نیز در مقابل اختلال افـزایش داده اسـت. همچنـین در پـژوهش موسـوی، جمـالی و قربـانپور (۱۴۰۱)، مدل بهینه‌سازی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین سبز ـ تاب‌آور که در صنایع سیمان به‌کار گرفته شده و به‌منظور مقابلـه بـا اختلال‌های ناگهانی و به‌حداقل رساندن آثار زیست محیطی طراحی شده است. نتایج نشان داد که مازاد تولید سیمان، بـر تاب‌آوری شبکه زنجیرهٔ تأمین سیمان هیچ تأثیری ندارد. در پژوهش شیشه‌بری، عبدالعظیمی و عندلیب اردکـانی (۱۴۰۱) مدلی برای شبکهٔ توزیع دارو منطبق با شرایط وجود یک اپیدمی (بیماری‌های همه‌گیر مانند کرونا) بـرای زنجیـرهٔ تـأمین دارو ارائه شده است. با استراتژی اضافه‌کردن مرکز تأمین‌کننده پشتیبان سعی شـده اسـت تـا عـلاوه‌بـر مـدیریت کـردن تأثیرهای منفی بیماری کرونا، آثار آن نیز به‌صورت جامع بررسی شود. اما در پژوهش بهاداران، فدایی اشکیکی، طالقانی و همایون‌فر (۱۴۰۱) شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین حلقهٔ بستهٔ تاب‌آور، تحـت شـرایط ریسـک‌هـای عملیـاتی و اخـتلال در یکـی از شرکت‌های فعال در حوزه صنایع غذایی استان تهران با ملاحظات چند محصولی بودن، طراحی شده اسـت. توابـع هـدف مدل، شامل بیشینه‌کردن تعداد گره‌ها در برآورد میزان تقاضا و کمینه‌سازی هزینه‌ها بر اساس یـک‌سـری از سـناریوها بـا رویکرد مالوی بررسی شده است. نتایج نشان داده است که چنانچه اختلال در زنجیرهٔ تأمین محصولات رخ دهد، شـرکت از یک‌سو می‌تواند تقاضاها را برآورده کند و از سوی دیگر، هزینه‌ها را کاهش دهد. در پژوهش رحمانی، عالم تبریز، زندیه و طالبی (۱۴۰۱) شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته را با اهداف هزینه و تاب‌آوری در نظر گرفتـه‌انـد. در ایـن پـژوهش سـاختار و پیچیدگی شبکه مورد توجه بوده و با کاستن گره‌های بحرانی به‌دنبال افزایش تاب‌آوری بوده‌اند.

1. Echefaj, Charkaoui, Cherrafi & Ivanov
2. Ren et al.

جدول ۲. خلاصه پژوهش‌های اخیر مرتبط با موضوع

نویسندگان و سال	اجزای زنجیره			شبکه		هدف	تاب‌آوری	تصمیمات		عدم قطعیت			زمان		روش حل	کاربرد
	تأمین‌کنندگان	تولیدکنندگان	توزیع‌کنندگان	تأمین	تأمین درهم آمیخته			تاکتیکی و عملیاتی	استراتژیک	استوار	تصادفی	فازی	تک دوره	چند دوره		
تسائو، تان، لو و وی[1] (۲۰۲۱)	✓	✓	✓	✓		افزایش تاب‌آوری، کاهش هزینه	برآورد تقاضا، سناریو بر اساس اختلال	✓		✓	✓			✓	شبیه‌سازی	نیروگاه برق
ابوالف و دولگوی (۲۰۲۰)	✓	✓			✓	افزایش بقا و مانایی		✓						✓	نظریه بازی‌ها	بیولوژیک
ونگ و یائو (۲۰۲۱)	✓	✓			✓	کاهش هزینه و افزایش مانایی	سناریو پشتیبان راه‌های تأمین	✓	✓					✓	الگوریتم ژنتیک	تجهیزات پزشکی
فیض‌آبادی و همکاران (۲۰۲۱)		✓	✓		✓	افزایش تاب‌آوری	تطبیق‌پذیری	✓					✓		شبیه‌سازی	عمومی
قائمی و همکاران (۲۰۲۳)	✓	✓	✓		✓	کاهش هزینه، افزایش تاب‌آوری	پیچیدگی شبکه، برآورد تقاضا	✓	✓	✓	✓			✓	شبیه‌سازی مونت کارلو	عمومی
احفاج و همکاران (۲۰۲۴)	✓	✓	✓		✓	افزایش مانایی و تاب‌آوری	پاسخ به تقاضا	✓	✓		✓			✓	شبیه‌سازی	
بهت و الجنیدی (۲۰۲۳)	✓	✓			✓	افزایش مانایی	پاسخ به تقاضا	✓	✓		✓			✓	شبکه عصبی مصنوعی	
رن و همکاران (۲۰۲۴)		✓			✓	بررسی اثرات موجی اختلال	همکاری با شرکا	✓	✓					✓	شبیه‌سازی مبتنی بر عامل	
تحقیق حاضر	✓	✓			✓	افزایش سود، افزایش تاب‌آوری	استراتژی توسعه ظرفیت، استراتژی جداسازی تأمین‌کننده		✓			✓		✓	دقیق	

مطالعهٔ متون و بررسی شکاف تحقیقاتی در جدول ۲ نشان می‌دهد که در طراحی شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته مطالعات کمی به مدل‌سازی ریاضی و بهینه‌سازی چند هدفه و کاربرد عمومی پرداخته‌اند و از استراتژی‌های افزایش تاب‌آوری بهره برده‌اند. همچنین مطالعه‌ی مشابهی در پژوهش‌ها و تحقیقات صورت‌گرفته با مسئله مدل‌سازی شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته تاب‌آور دو هدفه تحت شرایط عدم قطعیت و اختلال، چند دوره‌ای و چندمحصولی وجود ندارد.

روش‌شناسی پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، در زمره پژوهش‌های توسعه‌ای کاربردی و از نظر نوع داده‌ها، پژوهش کمّی است که به بررسی داده‌های مرتبط به مقطعی از زمان می‌پردازد. واحد تحلیل در این مطالعه، شرکت کاشی و سرامیک کیمیا میبد، شرکت لعاب‌سازی و شرکت گلوله‌سازی آلومینا شهر میبد است. این پژوهش از نوعی روش مدل‌سازی ریاضی بهره برده است که در آن یک مدل بهینه‌سازی اعدد صحیح مختلط با چندین محدودیت برای طراحی شبکهٔ تأمین درهم‌آمیختهٔ سه مرحله‌ای توسعه داده شده است. در این مطالعه از روش کتابخانه‌ای و براساس مطالعه و مداقه مبانی نظری و تجربی در طراحی مدل پژوهش استفاده شده است. پس از طراحی و توسعه مدل، اعتبارسنجی انجام پذیرفت و جواب بهینه مدل در اختیار کارشناسان و مدیران قرار گرفت و از آنان درخواست شد تا نتایج را با داده‌های واقعی مقایسه کنند.

الف. مدل شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته

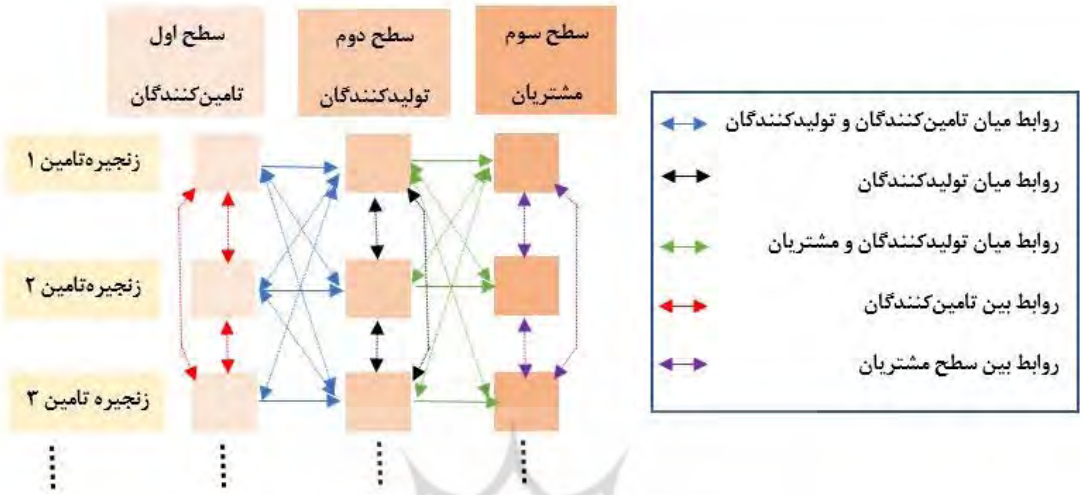
در این تحقیق شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته سه سطحی مورد بررسی قرار خواهد گرفت که این سطوح عبارت‌اند از: تأمین‌کنندگان مواد اولیه (تأمین‌کننده مرکز یا مادهٔ خام)، تولیدکنندگان و مشتریان (مرکز و نهایی). با به‌کارگیری مدلی که ارائه خواهد شد می‌توان تصمیمات مربوط به مدیریت شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته مانند تعیین میزان جریان مواد، تولید و ذخیره‌سازی و تعیین توسعه ظرفیت در مراکز را به‌صورت هماهنگ با یکدیگر در کل شبکه با هدف افزایش سود و کاهش ریسک اتخاذ کنند. شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته سه مرحله‌ای درنظر گرفته شده در این مقاله به‌صورت شماتیک در شکل ۲ نمایش داده شده است. مدل به‌صورت عمومی طراحی شده است و شبکه روابط درون[1] زنجیره‌ای و روابط بین[2] زنجیره‌ای را شامل می‌شود. مفروضات مسئله به شرح زیر است:

۱. مراکز تأمین و مراکز تولید و مراکز تولید در سطح مشتریان در شبکه یک یا چند محصول تولید می‌کنند.
۲. مکان فعالیت کارخانه‌های تولیدی، تأمین‌کنندگان، مراکز درسطح مشتریان از پیش مشخص است.
۳. ظرفیت تأمین‌کنندگان و تولیدکنندگان و مراکز در سطح مشتریان شبکه محدود است.
۴. برای همه مراکز تولید شبکهٔ تأمین امکان توسعه ظرفیت وجود دارد.
۵. تقاضای بازار(مشتریان) برای هر محصول در هر دورهٔ زمانی غیر قطعی و به‌صورت اعداد تقریبی فازی است.
۶. مدل چند محصولی و هر محصول به چند ماده اولیه برای تولید نیاز دارد.

1. Within
2. Between

۷. امکان ارسال مواد و محصولات نهایی بین اجزای یک زنجیره به اجزای زنجیرهٔ دیگر وجود دارد.

۸. مسئله به‌صورت چند دوره‌ای است و هزینه‌های نگهداری سطوح موجودی در دوره‌های مختلف برای تمامی مراکز چه برای محصولات اولیه و چه محصولات نهایی لحاظ شده است.



شکل ۲. شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته سه سطحی

ب. مدل ریاضی در حالت قطعی/اسمی

در این بخش یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته فرموله می‌شود. مجموعه‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیمی که در مدل‌سازی استفاده می‌شوند، به‌صورت زیر تعریف می‌شوند.

مجموعه و اندیس

$I = \{1,2,\dots|I|\}$ مجموعه تأمین‌کنندگان؛ اندیس‌گذاری با i

$R = \{1,2,\dots|R|\}$ مجموعه موادخام تأمین‌کنندگان؛ اندیس‌گذاری با r

$R' = \{1,2,\dots|R'|\}$ مجموعه مواد خام تأمین‌کنندگان؛ اندیس‌گذاری با r' (مجموعه R مساوی با مجموعه R' است).

$I'_r \subseteq I$ زیرمجموعه تأمین‌کنندگان که می‌توانند متقاضی ماده اولیه r باشد (نقش خریدار)

$J = \{1,2,\dots|J|\}$ مجموعه تولیدکنندگان؛ اندیس‌گذاری با j

$J' = \{1,2,\dots|J'|\}$ مجموعه تولیدکنندگان؛ اندیس‌گذاری با j' (مجموعه J مساوی با مجموعه J' است)

$P = \{1,2,\dots|P|\}$ مجموعه محصولات تولیدکنندگان؛ اندیس‌گذاری با p

$P' = \{1,2,\dots|P'|\}$ مجموعه محصولات تولیدکنندگان؛ اندیس‌گذاری با p' (مجموعه P با مجموعه P' مساوی است)

$K = \{1,2,\dots|K|\}$ مجموعه مشتریان؛ اندیس‌گذاری با k

$C = \{1,2, \dots |C|\}$ مجموعهٔ محصولات مشتریان؛ اندیس‌گذاری با c

$C' = \{1,2, \dots |C'|\}$ مجموعهٔ محصولات مشتریان؛ اندیس‌گذاری با c' (مجموعه c با مجموعه c' مساوی است)

$K_c'' \subseteq K$ زیرمجموعهٔ مشتریان که می‌توانند متقاضی محصول p از تولیدکنندگان و c از مشتریان (نقش خریدار) باشند. (مشتری نهایی)

$K_c' = K \backslash K_c''$ زیرمجموعهٔ مشتریان که می‌توانند محصول c را تأمین کنند.

$T = \{1,2, \dots |T|\}$ مجموعهٔ دوره‌های زمانی؛ اندیس گذاری با t

$\mathrm{L}=\{1,2,\dots|\mathrm{L}|\}$ مجموعه سطوح توسعه ظرفیت مراکز تأمین/تولید/مشتریان، اندیس‌گذاری ($l \in \mathcal{L}$)

پارامترها / ورودی‌ها

cq_{jp} هزینهٔ تولید هر واحد از محصول p در مرکز تولید j

cqs_{ir} هزینهٔ تولید هر واحد از مادهٔ خام r در مرکز تولید i

$cqc_{k'c}$ هزینهٔ تولید هر واحد از محصول c در مرکز تولید k'

ch_{jp} هزینهٔ موجودی هر واحد از محصول p در مرکز تولید j

$chs_{i'r}$ هزینهٔ موجودی هر واحد از مادهٔ خام r در مرکز تولید i'

$chc_{k'c}$ هزینهٔ موجودی هر واحد از محصول c در مرکز تولید k'

cts_{ijr} هزینهٔ حمل هر واحد مادهٔ خام r که از تأمین‌کنندهٔ i به مرکز تولید j در دورهٔ زمانی t

$cts_{ii'r}$ هزینهٔ حمل هر واحد مادهٔ خام r که از تأمین‌کنندهٔ i به تأمین‌کنندهٔ i' در دورهٔ زمانی t

ctm_{jkp} هزینهٔ حمل هر واحد محصول p که از مرکز تولید j به مشتری k در دورهٔ زمانی t

$ctm_{ji'p}$ هزینهٔ حمل هر واحد محصول p که از مرکز تولید j به تأمین‌کنندهٔ i' در دورهٔ زمانی t

$ctm_{jj'p}$ هزینهٔ حمل هر واحد محصول p که از مرکز تولید j به مرکز تولید j' در دورهٔ زمانی t

$ctc_{k'jc}$ هزینهٔ حمل هر واحد محصول c که از مشتری k' به مرکز تولید j در دورهٔ زمانی t

$ctc_{k'kc}$ هزینهٔ حمل هر واحد محصول c که از مشتری k' به k در دورهٔ زمانی t

$caps_{ir}^t$ ماکزیمم سطح ظرفیت مرکز تولید i برای مادهٔ خام r در دورهٔ زمانی t

$capsh_{ir}^t$ ماکزیمم سطح ظرفیت انبار مرکز تولید i برای مادهٔ خام r در دورهٔ زمانی t

cap_{jp}^t ماکزیمم سطح ظرفیت مرکز تولید j برای محصول p در دورهٔ زمانی t

$caph_{jp}^t$ ماکزیمم سطح ظرفیت انبار مرکز تولید j برای محصول p در دورهٔ زمانی t

$capc_{k'c}^t$ ماکزیمم سطح ظرفیت مرکز تولید k' برای محصول c در دورهٔ زمانی t

$capch^{t}_{k'c}$ ماکزیمم سطح ظرفیت انبار مرکز تولید k' برای محصول c در دورهٔ زمانی t

$D^{t}_{k''p}$ مقدار تقاضای مشتری k'' برای محصول p در دورهٔ زمانی t. ($\widetilde{D^{t}_{k''p}}$) بیان تقاضای غیرقطعی فازی ($D^{t\,(1)}_{k''p}, D^{t\,(2)}_{k''p}, D^{t\,(3)}_{k''p}, D^{t\,(4)}_{k''p}$)

$D^{t}_{k''c}$ مقدار تقاضای مشتری k'' برای محصول c در دورهٔ زمانی t. ($\widetilde{D^{t}_{k''c}}$) بیان تقاضای غیرقطعی فازی ($D^{t\,(1)}_{k''c}, D^{t\,(2)}_{k''c}, D^{t\,(3)}_{k''c}, D^{t\,(4)}_{k''c}$)

$b_{i'pr}$ ضریب مصرف مواد خام r برای محصول p در گره i'

$b_{i'r'r}$ ضریب مصرف مواد خام r' برای محصول r در گره i'

a_{jrp} ضریب مصرف مواد خام r برای محصول p در گره j

$a_{jp'p}$ ضریب مصرف ماده p' برای محصول p در گره j

a_{jcp} ضریب مصرف ماده c برای محصول p در گره j

$d_{k'pc}$ ضریب مصرف ماده pبرای محصول c در گره k'

$d_{k'c'c}$ ضریب مصرف محصول c' برای محصول c در گره k'

$c_{jk''p}$ قیمت فروش هر واحد محصول p برای مشتری k'' توسط مرکز تولید j

$c_{k'k''c}$ قیمت فروش هر واحد محصول c برای مشتری k'' توسط مرکز تولید k'

FC_{li} هزینهٔ ثابت توسعهٔ ظرفیت در سطح $l \in \mathcal{L}$ برای تأمین‌کننده i

FC_{lj} هزینهٔ ثابت توسعهٔ ظرفیت در سطح $l \in \mathcal{L}$ برای کارخانه تولیدی j

$FC_{lk'}$ هزینهٔ ثابت توسعهٔ ظرفیت در سطح $l \in \mathcal{L}$ برای مرکز سطح مشتریان k'

δ_l درصد توسعهٔ ظرفیت در سطح $l \in \mathcal{L}$

متغیرهای تصمیم‌گیری/خروجی

x^{t}_{ijr} مقدار مادهٔ خام r که از تأمین‌کنندهٔ i به مرکز تولید j در دورهٔ زمانی t منتقل می‌شود.

$x^{t}_{ii'r}$ مقدار مادهٔ خام r که از تأمین‌کنندهٔ i به تأمین‌کنندهٔ i' در دورهٔ زمانی t منتقل می‌شود.

$x^{t}_{i'i'r}$ مقدار مادهٔ خام r که از تأمین‌کنندهٔ i' به تأمین‌کنندهٔ i' در دورهٔ زمانی t منتقل می‌شود.

y^{t}_{jkp} مقدار محصول p که از مرکز تولید j به مشتری k در دورهٔ زمانی t منتقل می‌شود.

$y^{t}_{ji'p}$ مقدار محصول p که از مرکز تولید j به تأمین‌کنندهٔ i' در دورهٔ زمانی t منتقل می‌شود.

$y^{t}_{jj'p}$ مقدار محصول p که از مرکز تولید j به مرکز تولید j' در دورهٔ زمانی t منتقل می‌شود.

$y^{t}_{jk''p}$ مقدار محصول p که از مرکز تولید j به مشتری نهایی k'' در دورهٔ زمانی t منتقل می‌شود.

$z^t_{k'jc}$ مقدار محصول c که از مشتری k' به مرکز تولید j در دورهٔ زمانی t منتقل می‌شود.

$z^t_{k'kc}$ مقدار محصول c که از مشتری k' به مشتری k در دورهٔ زمانی t منتقل می‌شود.

$z^t_{k'k''c}$ مقدار محصول c که از مشتری k' به مشتری نهایی k'' در دورهٔ زمانی t منتقل می‌شود.

q^t_{jp} مقدار تولید محصول p در مرکز تولید j در دورهٔ زمانی t

I^t_{jp} مقدار موجودی محصول p در مرکز تولید j در دورهٔ زمانی t

qs^t_{ir} مقدار تولید موادخام r در مرکز تولید تأمین‌کنندهٔ i در دورهٔ زمانی tt

$qs^t_{i'r}$ مقدار تولید موادخام r در مرکز تولید تأمین‌کنندهٔ i' در دورهٔ زمانی tt

Is^t_{ir} مقدار موجودی موادخام r در مرکز تولید تأمین‌کنندهٔ i در دورهٔ زمانی tt

$qc^t_{k'c}$ مقدار تولید محصول c در مرکز تولید تأمین‌کنندهٔ k' در دورهٔ زمانی t

$Ic^t_{k'c}$ مقدار موجودی محصول c در مرکز تولید تأمین‌کنندهٔ k' در دورهٔ زمانی t

y_{li} متغیر باینری؛ برابر با 1 اگر در سطح $l \in \mathcal{L}$ برای تأمین‌کنندهٔ i از توسعهٔ ظرفیت صورت پذیرد؛ ۰ در غیر این صورت.

y_{lj} متغیر باینری؛ برابر با 1 اگر در سطح $l \in \mathcal{L}$ برای کارخانهٔ تولیدی j توسعهٔ ظرفیت صورت پذیرد؛ ۰ در غیر این صورت.

$y_{lk'}$ متغیر باینری؛ برابر با 1 اگر در سطح $l \in \mathcal{L}$ برای مرکز سطح مشتریان k' توسعهٔ ظرفیت صورت پذیرد؛ ۰ در غیر این صورت.

با توجه به تعریف نمادها، مدل مسئله بدین صورت ارائه می‌شود که شامل هدف افزایش سود (رابطهٔ ۱) و محدودیت‌های مرتبط با هدف (رابطه‌های ۲ تا۲۰) است.

در این بخش یک مدل شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته سه سطحی به‌صورت یک مدل برنامه‌ریزی مختلط عددصحیح ارائه شده است. هدف در این مدل بیشینه‌کردن سود کل شبکه است که شامل تفاضل فروش با هزینه‌های توسعه ظرفیت، تولید و حمل‌ونقل و انبارداری است که در رابطهٔ ۱ آورده شده است. رابطه‌های ۲ و ۳ و ۴ به‌ترتیب مربوط به محدودیت ظرفیت تولید هر مرکز تأمین، مرکز تولید و مرکز در سطح مشتریان است که به‌طور مثال، می‌بایست میزان تولید در هر مرکز تولید، از ظرفیت تولید و میزان توسعهٔ ظرفیت هر مرکز کمتر باشد. رابطه‌های ۵ و ۶ و۷ به‌ترتیب مربوط به محدودیت ظرفیت انبار هر مراکز تأمین، مراکز تولید و مراکز در سطح مشتریان است که به‌طور مثال می‌بایست میزان انبارش در هر مرکز از ظرفیت انبار هر مرکز کمتر باشد. رابطه‌های ۸ و ۹ و ۱۰ محدودیت تعیین میزان انبارش در هر دورهٔ زمانی است. رابطه‌های ۱۱ و ۱۲ محدودیت تقاضاست که باید تقاضای مشتری برآورده شود. رابطه‌های ۱۳ تا ۱۹ مربوط به مصرف ماده اولیه برای محصول در هر مرکز است. همچنین رابطهٔ ۲۰ متغیرهای مدل را نشان می‌دهد.

رابطهٔ ۱)

$$
\begin{aligned}
Max\ Z_1 = & \sum_j \sum_{k''} \sum_p \sum_t c_{jk''p}\, y^t_{jk''p} \\
& + \sum_{k'} \sum_{k''} \sum_c \sum_t c_{k'k''c}\, z^t_{k'k''c} - \Big(\sum_i \sum_l FC_{li} y_{li} \\
& + \sum_j \sum_l FC_{lj} y_{lj} + \sum_{k'} \sum_l FC_{lk'} y_{lk'} \\
& + \sum_j \sum_p \sum_t cq_{jp}\, q^t_{jp} + \sum_i \sum_r \sum_t cqs_{ir}\, qs^t_{ir} \\
& + \sum_{k'} \sum_c \sum_t cqc_{k'c} qc^t_{k'c} + \sum_j \sum_p \sum_t ch_{jp}\, I^t_{jp} \\
& + \sum_i \sum_r \sum_t chs_{ir}\, Is^t_{ir} + \sum_{k'} \sum_c \sum_t chc_{k'c}\, Ic^t_{k'c} \\
& + \sum_i \sum_j \sum_r \sum_t cts_{ijr}\, x^t_{ijr} + \sum_i \sum_{i'} \sum_r \sum_t cts_{ii'r}\, x^t_{ii'r} \\
& + \sum_j \sum_k \sum_p \sum_t ctm_{jkp}\, y^t_{jkp} \\
& + \sum_j \sum_{i'} \sum_p \sum_t ctm_{ji'p}\, y^t_{ji'p} \\
& + \sum_j \sum_{j'} \sum_p \sum_t ctm_{jj'p}\, y^t_{jj'p} \\
& + \sum_{k'} \sum_j \sum_c \sum_t ctc_{k'jc}\, z^t_{k'jc} \\
& + \sum_{k'} \sum_k \sum_c \sum_t ctc_{k'kc}\, z^t_{k'kc} \Big)
\end{aligned}
$$

رابطهٔ ۲)
$$qs^t_{ir} \le caps^t_{ir} \left(1 + \frac{1}{100} \sum_l \delta_l\, y_{li}\right), \qquad \forall\, i, r, t,$$

رابطهٔ ۳)
$$q^t_{jp} \le cap^t_{jp} \left(1 + \frac{1}{100} \sum_l \delta_l\, y_{lj}\right), \qquad \forall\, j, p, t,$$

رابطهٔ ۴)
$$qc^t_{k'c} \le capc^t_{k'c} \left(1 + \frac{1}{100} \sum_l \delta_l\, y_{lk'}\right) \qquad \forall\, k', c, t,$$

رابطهٔ ۵)
$$Is^t_{ir} \le capsh^t_{ir}\,, \qquad \forall\, i, r, t,$$

رابطهٔ ۶)
$$I^t_{jp} \le caph^t_{jp}\,, \qquad \forall\, j, p, t,$$

رابطهٔ ۷)
$$Ic^t_{k'c} \le capch^t_{k'c} \qquad \forall\, k', c, t,$$

رابطهٔ ۸)
$$Is^t_{ir} = Is^{t-1}_{ir} + qs^t_{ir} - \sum_j x^t_{ijr} - \sum_{i'} x^t_{ii'r}\,, \qquad \forall\, i, r, t,$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

$$I_{jp}^{t} = I_{jp}^{t-1} + q_{jp}^{t} - \sum_{k} y_{jkp}^{t} - \sum_{i'} y_{ji'p}^{t} - \sum_{j'} y_{jj'p}^{t}, \quad \forall j, p, t,$$ رابطهٔ ۹)

$$Ic_{k'c}^{t} = Ic_{k'c}^{t-1} + qc_{k'c}^{t} - \sum_{j} z_{k'jc}^{t} - \sum_{k} z_{k'kc}^{t}, \quad \forall k', c, t,$$ رابطهٔ ۱۰)

$$\sum_{j} y_{jk''p}^{t} \le D_{k''p}^{t}, \quad \forall k'', p, t,$$ رابطهٔ ۱۱)

$$\sum_{k'} z_{k'k''c}^{t} \le D_{k''c}^{t}, \quad \forall k'', c, t,$$ رابطهٔ ۱۲)

$$\sum_{j} y_{ji'p}^{t} \ge qs_{i'r}^{t} b_{i'pr}, \quad \forall i', p, r, t,$$ رابطهٔ ۱۳)

$$\sum_{i'} x_{i'i'r}^{t} \ge qs_{i'r}^{t} b_{i'r'r}, \quad \forall i', r', r, t,$$ رابطهٔ ۱۴)

$$\sum_{i} x_{ijr}^{t} \ge q_{jp}^{t} a_{jrp}, \quad \forall j, r, p, t,$$ رابطهٔ ۱۵)

$$\sum_{j'} y_{jj'p}^{t} \ge q_{jp}^{t} a_{jp'p}, \quad \forall j, p', p, t,$$ رابطهٔ ۱۶)

$$\sum_{k'} z_{k'jc}^{t} \ge q_{jp}^{t} a_{jcp}, \quad \forall j, c, p, t,$$ رابطهٔ ۱۷)

$$\sum_{j} y_{jk'p}^{t} \ge qc_{k'c}^{t} d_{k'pc}, \quad \forall k', p, c, t,$$ رابطهٔ ۱۸)

$$\sum_{k'} z_{k'k'c}^{t} \ge qc_{k'c}^{t} d_{k'c'c}, \quad \forall k', c', c, t,$$ رابطهٔ ۱۹)

$$x_{ijr}^{t}, x_{ii'r}^{t}, y_{jkp}^{t}, y_{ji'p}^{t}, y_{jj'p}^{t}, y_{jk''p}^{t}, z_{k'jc}^{t}, z_{k'kc}^{t}, z_{k'k''c}^{t}, q_{jp}^{t}, I_{jp}^{t}, qs_{ir}^{t}, qs_{i'r}^{t}, Is_{ir}^{t}, qc_{k'_c c}^{t}, Ic_{k'_c c}^{t} \ge 0, \quad y_{li}, y_{lj}, y_{lk'} \le 1 \quad \forall i, i', j, j', k, k', k'', p, p', r, r', c, c', t, l$$ رابطهٔ ۲۰)

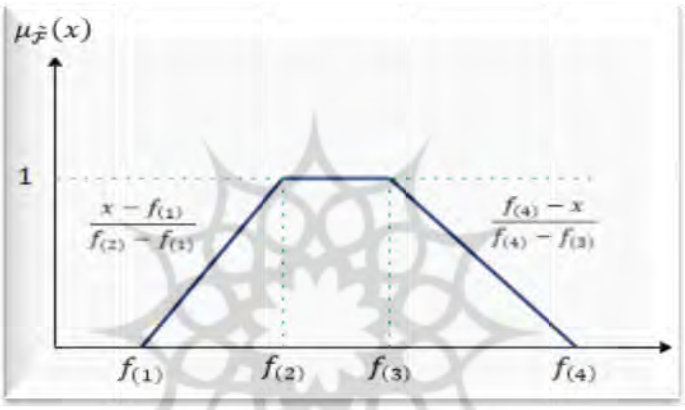
ج. مدل ریاضی در حالت عدم قطعیت

در صورتی که برخی از داده‌های یک مسئله بهینه‌سازی، به‌دلیل کمبود اطلاعات یا هر دلیل دیگری به‌صورت قطعی قابل بیان نباشند و به‌صورت کلامی طرح شده باشد؛ اما بیان تقریبی آن‌ها به‌صورت اعداد فازی امکان‌پذیر باشد، رویکردهـای

برنامه‌ریاضی فازی مورد استفاده قرار می‌گیرد (جبارزاده، فهیم‌نیا، شو و مقدم[1]، ۲۰۱۶). اگر داده‌های فازی مسئله بهینه‌سازی به‌صورت اعداد فازی مثلثی یا در حالت کلی‌تر اعداد ذوزنقه‌ای (TFN)[2] بیان شوند (شکل ۳) و درجه تحقق قیود مسئله مبتنی بر اندازه‌های فازی امکان (Pos)[3] یا ضرورت (Nec)[4] سنجیده شود، آنگاه برنامه‌ریزی مقید به شانس فازی (FCCP)[5] مطرح می‌شود که فرم کلی آن به‌صورت زیر است:

رابطهٔ ۲۱) $$\mathbb{Ch}\left(\mathrm{Ax} \le \tilde{\mathcal{F}}\right) \ge (1-\epsilon)$$

که در آن $\mathbb{Ch}(.)$ یک اندازه فازی برای محاسبه شانس برقرار قیود فازی است؛ $\tilde{\mathcal{F}} = (f_{(1)}, f_{(2)}, f_{(3)}, f_{(4)})$ داده‌های فازی مسئله (به‌صورت TFN) هستند. در اینجا $(1-\epsilon)$ سطح اطمینان در ارضای قیود فازی را نشان می‌دهد (ϵ حداکثر ریسک در عدم ارضای قیود فازی است).



شکل ۳. تابع عضویت عدد فازی ذوزنقه‌ای (TFN)

برای کنترل قیود فازی یکی از اندازه‌های فازی پرکاربرد، اندازه اعتبار (Cr)[6] است که به‌صورت میانگین دو اندازه خوش‌بینانه Pos و بدبینانه Nec تعریف می‌شود $\left(\mathrm{Cr}(.) = \frac{1}{2}(\mathrm{Pos}(.) + \mathrm{Nec}(.))\right)$ و در آن رابطهٔ زیر برقرار است (خو و ژائو[7]، ۲۰۱۳):

رابطهٔ ۲۲) $$\mathrm{Cr}\left(\mathrm{Ax} \ge \tilde{\mathcal{F}}\right) \ge (1-\epsilon) \iff \mathrm{Ax} \ge f_{(3)} + (2(1-\epsilon)-1)\left(f_{(4)} - f_{(3)}\right) \;:\; \epsilon < 0.5$$
$$\mathrm{Cr}\left(\mathrm{Ax} \le \tilde{\mathcal{F}}\right) \ge (1-\epsilon) \iff \mathrm{Ax} \le f_{(2)} - (2(1-\epsilon)-1)\left(f_{(2)} - f_{(1)}\right) \;:\; \epsilon < 0.5$$

محدودیت تقاضای مدل را می‌توان در قالب رابطه‌های ۲۳ و ۲۴ نشان داد:

رابطهٔ ۲۳) $$\sum_j y^t_{jk''p} \le D^{t\,(2)}_{k''p} + (2(1-\epsilon)-1)\left(D^{t\,(2)}_{k''p} - D^{t\,(1)}_{k''p}\right), \qquad \forall\, k'', p, t,$$

1. Jabbarzadeh, Fahimnia, Sheu & Moghadam
2. Trapezoidal Fuzzy Number
3. Possibility
4. Necessity
5. Fuzzy Chance Constrained Programming
6. Credibility
7. Xu and Zhou

$$\sum_{k'} z^{t}_{k'k''c} \le D^{t\,(2)}_{k''c} + (2(1-\epsilon)-1)\left(D^{t\,(2)}_{k''c} - D^{t\,(1)}_{k''c}\right), \qquad \forall\, k'', c, t, \qquad \text{رابطهٔ ۲۴)}$$

د. روش حل مسئله بهینه‌سازی دوهدفه و موازنه بین توابع هدف

حل مسئله RISNMP با تضمین تاب آوری یک مدل برنامه‌ریزی دوهدفه است. در حالت کلی، برای حل مسائل مدل‌سازی دو/چندهدفه (MODM)[1] رویکردهای مختلفی ارائه شده‌اند که از جمله آن‌ها می‌توان به روش محدودیت اپسیلون (EC)[2]، محدودیت اپسیلون تقویت شده (AEC)[3]، لکسیکوگرافیک (Lex)[4] اشاره کرد. در این تحقیق، برای به‌دست آوردن یک جبهه پارتو سراسری، روشAEC برای موازنه توابع هدف مورد استفاده قرار می‌گیرد که توضیحات آن به شرح زیر است. در حالت کلی، یک مسئله MODM با دو هدف کمینه‌سازی به‌صورت رابطهٔ ۲۵ قابل بیان است.

$$\begin{cases}\min\ (\mathrm{O}_1(\mathrm{x}), \mathrm{O}_2(\mathrm{x})) \\ \mathrm{x} \in \mathrm{X}\end{cases} \qquad \text{رابطهٔ ۲۵)}$$

که در آن $\mathrm{x} \in \mathrm{X}$ بیان‌کننده قیود است. فرض کنید هدف اول به‌عنوان هدف اصلی در نظر گرفته می‌شود و هدف دوم به کران بالای اپسیلون محدود می‌شوند و در قیود مسئله اعمال می‌شوند. در این صورت، روش EC مطرح می‌شود که بر اساس آن مدل بهینه‌سازی دو هدفه رابطهٔ ۲۶ حاصل می‌شود که در آن، هدف اول به‌عنوان هدف اصلی در نظر گرفته شده است و هدف دوم به حداکثر مقدار e محدود می‌شود.

$$\begin{cases}\min \mathrm{O}_1(\mathrm{x}) \\ \mathrm{O}_2(\mathrm{x}) \le e \\ \mathrm{x} \in \mathrm{X}\end{cases} \qquad \text{رابطهٔ ۲۶)}$$

در روش EC، با تغییر مقادیر e جواب‌های مختلفی به‌دست می‌آید که ممکن است کارا[5] نباشند (کارای ضعیف[6] هستند). با اصلاح/تکمیل جزئی مدل EC می‌توان مشکل مذکور را رفع کرد که به روش AEC معروف است. در روش AEC ابتدا باید بازه مناسب تغیرات e مشخص شود و سپس به ازای مقادیر مختلف e در بازه به‌دست آمده، جبههٔ پارتو را به‌دست آورده می‌شود. به‌منظور یافتن بازه مناسب برای e، ابتدا برای هر یک از اهداف به‌صورت جداگانه حل می‌شود و قطر اصلی ماتریس پیامد اهداف، مقدار بهینه آن‌ها می‌شود. حال، مقدار یک هدف در حالت بهینه قرار می‌گیرد و هدف دیگر مشروط به بهینگی آن تا حد امکان کمینه می‌شود. نهایتا، مدل روش AEC به‌صورت رابطهٔ ۲۷ بیان می‌شود:

$$\begin{cases} min\ \dfrac{O_1(x)}{R_1^*} - \phi\dfrac{s}{R_2^*} \\ O_2(x) + s = e \\ x \in X \end{cases} \qquad \text{رابطهٔ ۲۷)}$$

که در آن $s \ge 0$ یک متغیر کمکی است و $\phi > 0$ یک ضریب کنترلی است که معمولاً $\phi = 10^{-6}$ در نظر

1 .Multi Objective Decision Making
2. Epsilon Constraint
3. Augmented Epsilon Constraint
4. Lexicographic
5. Efficient
6. Weakly Efficient

گرفته می‌شود. همچنین R_1^* و R_2^* تفاضل بهترین مقدار و بدترین مقدار برای تابع هدف یک و دو است (ماورتس[1]، ۲۰۰۹).

متناظر با استراتژی تاب‌آوری جداسازی تأمین‌کننده (SS)[2]، نسبت مواد و محصولات ورودی/تأمین‌شده برای یک گره مقصد مشخص که یک گره مبدأ دیگر دریافت کرده است، به کل ورودی آن گروه مقصد، هرچه کمتر باشد، بهتر است. در واقع در این استراتژی هدف آن است که تأمین مواد مصرفی موردنیاز هر گره شبکه به چند گره واگذار شود تا در صورت بروز اختلال در ظرفیت گره تأمین‌کننده، گره متقاضی کمترین اختلال را داشته باشد و اختلال در شبکه پخش نشود. بر این اساس، هدف دوم که کاهش ریسک است، به‌صورت رابطه‌های ۳۰ تا ۳۴ زیر بیان می‌شود و بر اساس روش AEC رویکرد مدل بهینه‌سازی دوهدفه پژوهش را می‌توان به‌صورت زیر خلاصه کرد:

رابطهٔ ۲۸) $$MIN\ \frac{\mathcal{O}_1}{R_1^*} - \phi\frac{\mathcal{s}}{R_2^*}$$

رابطهٔ ۲۹) $$\mathcal{O}_1 = -Z_1$$

رابطهٔ ۳۰) $$y_{ji'p}^t + \mathcal{s} \le e.\sum_j y_{ji'p}^t$$

رابطهٔ ۳۱) $$x_{ii'r}^t + \mathcal{s} \le e.\sum_i x_{ii'r}^t$$

رابطهٔ ۳۲) $$y_{jkp}^t + \mathcal{s} \le e.\sum_j y_{jkp}^t$$

رابطهٔ ۳۳) $$y_{jj'p}^t + \mathcal{s} \le e.\sum_j y_{jj'p}^t$$

رابطهٔ ۳۴) $$z_{k'kc}^t + \mathcal{s} \le e.\sum_{k'} z_{k'kc}^t$$

رابطهٔ ۳۵) $$\text{Contraints}\ (2-10)(13-20)(27-28)$$

رابطهٔ ۳۶) $$\mathcal{s} \ge 0$$

یافته‌های پژوهش

جهت ارزیابی و آزمودن صحت و درستی مدل، یک مسئله شبکهٔ تأمین کاشی و سرامیک با استفاده از نرم‌افزار گمز حل شده که شامل سه زنجیرهٔ تأمین گلوله آلومینایی، لعاب‌سازی و کاشی و سرامیک است که مجموع تأمین‌کنندگان ۱۹ و مجموع مراکز تولید ۳ و مجموع تعداد مشتریان نهایی ۳ است و دورهٔ زمانی شش ماه در نظر گرفته شده است. هر کدام

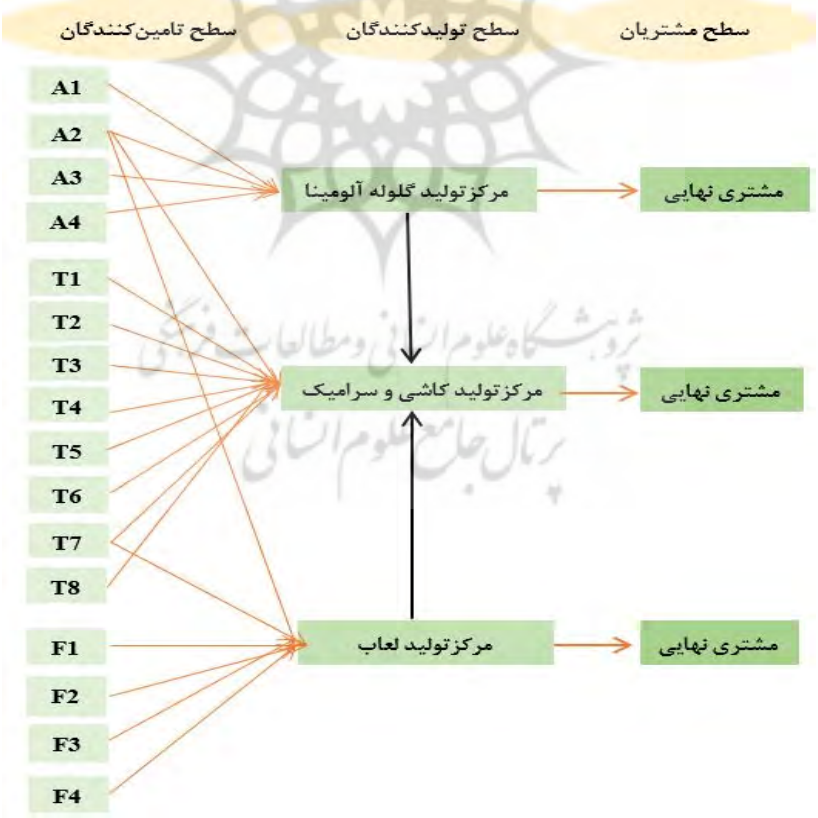
1. Mavrotas
2. Supplier Segregation

از این زنجیره‌تأمین‌ها گلوله آلومینایی، لعاب‌سازی و کاشی و سرامیک، مشتریان و تقاضای مربوط به خودشان را دارد. بنابراین شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته صنعت کاشی و سرامیک به‌صورت شماتیک در شکل ۴ نمایش داده شده است.

با توجه به فرمولاسیون خطی روابط ریاضی فوق و همچنین، دامنهٔ مختلط متغیرهای تصمیم‌گیری، مدل پیشنهادی این تحقیق برای مسئله برنامه‌ریزی چنددوره‌ای شبکهٔ تأمین، یک مدل برنامه‌ریزی خطی آمیخته (MILP)[1] است که قابل حل توسط سالور کارایی از جمله CPLEX است. ابعاد و داده‌های مربوط به مسئله در جدول‌های ۳ و ۴ و نتایج برنامه‌ریزی شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته در حالت قطعی (مقدار میانگین تقاضا در نظر گرفته شده است) در جدول ۵ و در حالت غیرقطعی در جدول ۶ برای شبکهٔ تأمین کاشی و سرامیک ارائه شده است (نتایج به‌دلیل زیاد بودن فقط در دورهٔ زمانی یک گزارش شده است). شکل ۵ نیز تفاوت اهداف در دو حالت قطعی و غیرقطعی را نشان می‌دهد.

جدول ۳. ابعاد مطالعه موردی مدل

اجزا	I	R	J	P	K	C	T	$\mathcal{L}$
شرح	تأمین‌کنندگان	مواد اولیه	تولیدکنندگان	محصول	مشتریان	محصول	دورهٔ زمانی	سطح توسعه ظرفیت
تعداد	۱۶	۱۶	۳	۳	۳	۰	۶	۳



شکل ٤. گراف شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته کاشی و سرامیک

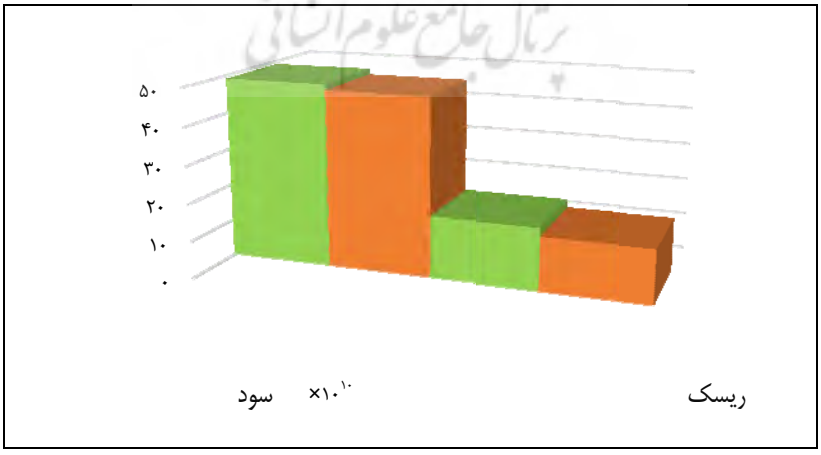
1. Mixed Integer Linear Programming

جدول ٤. داده‌های مسئله

پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار	پارامتر	مقدار
cq_{jp}	(۵۶۰۰ تا ۳۵۰۰۰) تومان	cap^t_{jp}	۴۰۰۰۰۰گرم ۱۸۰۰۰۰متر ۵۰۰۰۰۰گرم	$cqc_{k'c}$	۰
$capc^t_{k'c}$	۰	$caph^t_{jp}$	۱۵۰۰۰۰ گرم و متر	$chs_{i'r}$	۰
$capch^t_{k'c}$	۰	$D^t_{k''p}$	(۶۰۰۰۰۰ و ۶۲۰۰۰۰۰ و ۶۵۰۰۰۰۰ و ۷۰۰۰۰۰)گرم (۱۵۰۰۰۰۰ و ۱۷۰۰۰۰۰ و ۱۸۰۰۰۰۰ و ۲۰۰۰۰۰۰)متر (۴۰۰۰۰۰ و ۴۸۰۰۰۰۰ و ۵۴۰۰۰۰۰ و ۶۳۰۰۰۰۰)گرم	$chc_{k'c}$	۰
ch_{jp}	(۳۰ تا ۳۵۰) تومان	$D^t_{k''c}$	۰	$cts_{ii'r}$	۰
$b_{i'pr}$	۰	$c_{jk''p}$	(۸۰۰۰۰ و ۲۰۰۰۰۰ و ۷۰۰۰۰) تومان	$ctm_{ji'p}$	۰
$b_{i'r'r}$	۰	$c_{k'k''c}$	۰	$ctc_{k'jc}$	۰
cts_{ijr}	(۲۵۰ تا ۳۰۰۰) تومان	a_{jrp}	(۰/۰۲ تا ۰/۹) درصد	$ctc_{k'kc}$	۰
ctm_{jkp}	۲۰۰۰ تومان	$a_{jp'p}$	(۰/۰۰۵۰۴ و ۰/۰۸۴)درصد	$caps^t_{ir}$	۰
$ctm_{jj'p}$	۱۰۰ تومان	a_{jcp}	۰	$capsh^t_{ir}$	۰
$\delta_{s,m,l}$	۰/۲۵ و ۰/۵ و ۰/۷۵ درصد	$d_{k'pc}$	۰	cqs_{ir}	۰
FC_{li}	۰	FC_{sj}	(۳۰۰۰۰۰۰۰۰۰-۲۰۰۰۰۰۰۰۰۰) تومان	$FC_{lk'}$	۰

جدول ۵. نتایج اهداف در حالت قطعی

	هدف اول (سود) (تومان)	هدف دوم (ریسک) (درصد)
نتایج در حالت قطعی	۴/۷۴۰۶۴ ×۱۰^{۱۱}	۱۶/۴۲
نتایج در حالت غیر قطعی	۴/۸۹۷۰۹ ×۱۰^{۱۱}	۱۵/۲۹
درصد تغییرات	+ ۳ درصد	– ۷ درصد



شکل ۵. مقایسهٔ اهداف در دوحالت قطعی و غیرقطعی

همان طور که در جدول نتایج ۶ گزارش شده است، مقدار سود برای سه زنجیرهٔ تأمین به‌هم‌پیوسته در حالت غیرقطعی $۴/۸۹۷۰۹ \times ۱۰^{۱۱}$ تومان و میزان ریسک ۱۵/۲۹ به‌دست آمده است. همچنین میزان بهینه توسعه ظرفیت برای مراکز و حمل‌ونقل و تولید و انبار نیز مشاهده می‌شود. مدل برای مرکزتولید یک (گلوله آلومینا) در سطح کوچک (۲۵درصد) و برای مرکز تولید سه (لعاب) در سطح متوسط (۵۰ درصد) افزایش ظرفیت داده است. می‌توان ظرفیت را از طریق تجهیزات پشتیبان یا پیمانکاری با دیگر شرکت‌ها افزایش داد.

جدول ٦. نتایج برنامه‌ریزی شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته کاشی و سرامیک در حالت غیر قطعی

متغیرها	مقادیر	متغیرها	مقادیر	متغیرها	مقادیر
y_{s1}(تولید کننده)	۱	y_{m3} (تولید کننده)	۱	Z_1	$۴/۱۰^{۱۱} \times ۸۹۷۰۹$ تومان
$x^1_{11a_1}$	۴۳۸۹۴۰/۰۸ گرم	$x^1_{21a_2}$	۹۷۵۴/۲۲۴ گرم	$x^1_{22a_2}$	۱۴۲۸۰ گرم
$x^1_{23a_2}$	۲۶۷۴۲۰/۸ گرم	$x^1_{31a_3}$	۲۴۳۸۵/۵۶ گرم	$x^1_{41a_4}$	۱۴۶۳۱/۳۳۶ گرم
$x^1_{52t_1}$	۷۱۴۰۰۰ گرم	$x^1_{62t_2}$	۳۵۷۰۰۰ گرم	$x^1_{72t_3}$	۱۶۲۶۴۹۲ گرم
$x^1_{82t_4}$	۷۴۳۹۸۸ گرم	$x^1_{92t_5}$	۱۴۲۸۰ گرم	$x^1_{102t_6}$	۱۴۲۸۰ گرم
$x^1_{112t_7}$	۲۸۵۶۰ گرم	$x^1_{113t_7}$	۱۱۳۶۵۳/۸۴ گرم	$x^1_{122t_8}$	۸۵۶/۸ گرم
$x^1_{143f_2}$	۱۰۰۲۸۲/۸ گرم	$x^1_{153f_3}$	۲۰۰۵۶/۵۶ گرم	$x^1_{163f_4}$	۱۱۳۶۵۳/۸۴ گرم
$x^1_{123f_1}$	۵۳۴۸۴/۱۶ گرم	$x^t_{ii'r}$	۰	$x^t_{i'i'r}$	۰
$y^1_{11p_1}$ (تولیدکننده۱ و مشتری۱)	۴۸۰۰۰۰ گرم	$y^1_{22p_2}$ (تولیدکننده۲ و مشتری۲)	۱۷۰۰۰۰ متر	$y^1_{33p_3}$ (تولیدکننده۳ و مشتری۳)	۶۲۰۰۰۰ گرم
$y^t_{ji'p}$	۰	$y^1_{12p_1}$ (تولیدکننده۱ و تولیدکننده۲)	۷۷۱۱/۲ گرم	$y^1_{32p_3}$ (تولیدکننده ۳و تولیدکننده۲)	۴۸۵۵۲ گرم
$z^t_{k'jc}$	۰	$z^t_{k'kc}$	۰	$z^t_{k'k''c}$	۰
$q^1_{1p_1}$	۴۸۷۷۱۱/۲ گرم	$q^1_{2p_2}$	۱۷۰۰۰۰ متر	$q^1_{3p_3}$	۶۶۸۵۵۲ گرم
I^t_{jp}	۰	qs^t_{ir}	۰	Is^t_{ir}	۰

ماتریس پیامد اهداف و جواب‌های پارتو

در مسئلهRISNMP مورد بررسی در این تحقیق دو هدف بیشینه‌سازی سود و کمینه‌سازی ریسک در شبکه در نظر گرفته شد و جدول ۷ نشان‌دهندهٔ ماتریس پیامد اهداف است. افزایش ریسک، به‌معنای درنظر نگرفتن تاب‌آوری است که باعث می‌شود، هزینه‌هایی که استراتژی جداسازی تأمین‌کننده ایجاد می‌کند، حذف شود و سود افزایش یابد؛ بنابراین اهداف با یکدیگر در تضاد[1] است. همان طور که در مجموعه جواب‌های پارتو در شکل ۶ و جدول ۸ نمایش داده شده،

1. Conflit

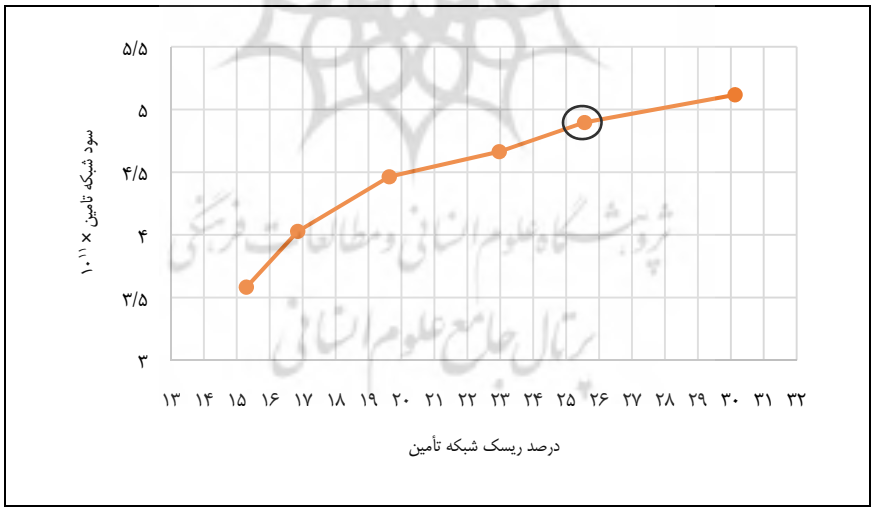
جواب شماره پنجم انتخاب می‌شود؛ زیرا این جواب نسبت به سایر دیگر جواب‌ها از نظر شاخص کشش[1] بهتر است و کاهش ریسک، مقدار کاهش سود کمتر را باعث می‌شود.

جدول ۷. ماتریس پیامد اهداف

	Z_1	Z_2
Z_1	۵/۱۰^{۱۱}×۱۱۷۱۹	۳/۱۰^{۱۱}×۵۸۲۶۵
Z_2	۳۰/۱۳	۱۵/۲۹

جدول ۸. مجموعه جواب پارتو

جواب پارتو	مقدار تابع هدف اول (سود)	مقدار هدف دوم (ریسک)
۱	۳/۱۰^{۱۱}×۵۸۲۶۵	۱۵/۲۹
۲	۴/۱۰^{۱۱}×۰۲۸۴۷	۱۶/۸۵
۳	۴/۱۰^{۱۱}×۴۶۴۱۳	۱۹/۶۳
۴	۴/۱۰^{۱۱}×۶۶۴۱۹	۲۲/۹۷
۵	۴/۱۰^{۱۱}×۸۹۷۰۹	۲۵/۵۶
۶	۵/۱۰^{۱۱}×۱۱۷۱۹	۳۰/۱۳



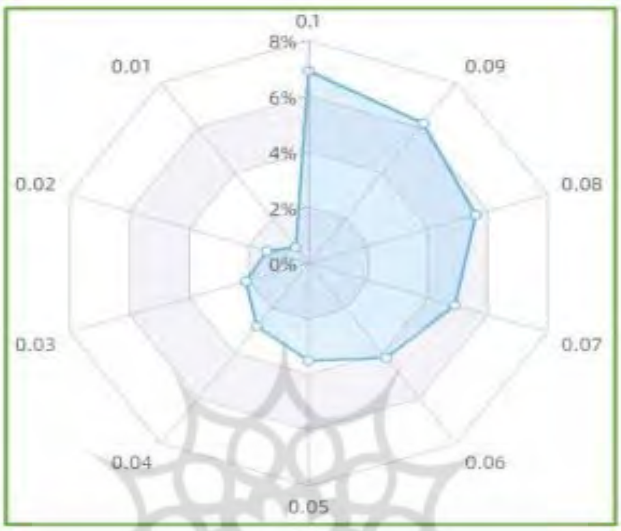
شکل ٦. نمودار پارتو

تحلیل حساسیت اپسیلون (سطح اطمینان) در برنامه‌ریزی فازی

در این قسمت به تحلیل پارامتر سطح اطمینان (الزام در برقراری قیود فازی) پرداخته می‌شود و مقدار مناسب آن تنظیم می‌شود. همان طور که اشاره شد، ϵ سطح خطا در عدم ارضای قیود فازی با روش برنامه‌ریزی مقید به شانس فازی است.

1. Elasticity

مقدار (۱−ϵ) سطح اطمینان ارضای قیود با پارامتر فازی $\tilde{F}$ است. تنظیم یک مقدار مناسب برای حداکثر خطا (ϵ) در عدم ارضای قیود فازی مدل پیشنهادی ضرورت دارد. برای این منظور، تأثیر تغییرات مقدار ϵ بر روی افزایش سود سنجیده می‌شود. همان طور که در شکل ۷ ملاحظه می‌شود، می‌توان با ϵ = ۰/۰۵ تا بیش از ۲ درصد و با ϵ = ۰/۱ حدود ۷درصد سود را افزایش داد.



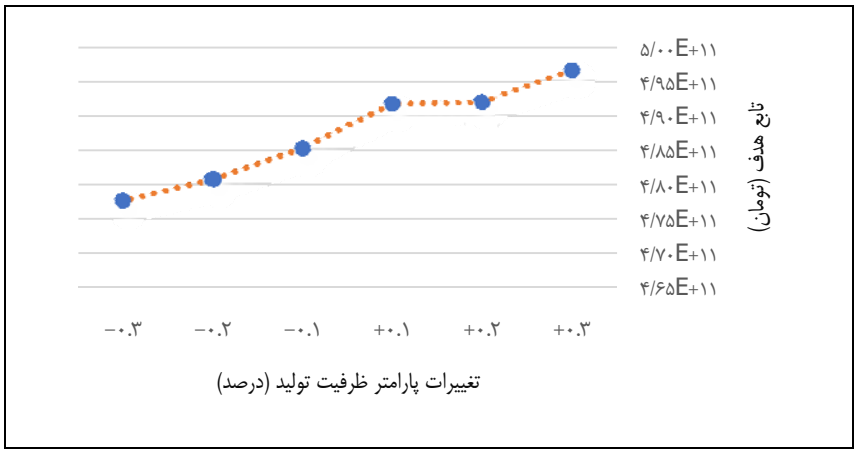
شکل ۷. تغییرات اپسیلون روی تغییرات تابع هدف

تحلیل حساسیت پارامتر ظرفیت تولید

همان طور که از رابطهٔ تقاضا و میزان ظرفیت مراکز در مدل مشخص است، به تحلیل پارامتر ظرفیت تولید پرداخته شده است. با توجه به جدول ۹ و شکل ۸ با کاهش ظرفیت، مدل به‌دنبال ارتقای توسعه ظرفیت در سطوح بالا (بزرگ و متوسط) است و مقدار سود مقدار قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد؛ اما با افزایش ظرفیت، مدل تعداد متغیر توسعه ظرفیت کمتری خواهد داشت؛ به‌طوری که در افزایش ۳۰ درصدی ظرفیت‌ها دیگر توسعه ظرفیت صورت نگرفت و سود افزایش یافت. بنابراین میزان ظرفیت بهینه برای مدیران مراکز این شبکه بسیار شایان توجه خواهد بود. میزان بهینهٔ پارامتر ظرفیت برای مرکز تولید ۱ (آلومینا)، افزایش ۲۰ درصدی و برای مرکز تولید ۲ (کاشی)، افزایش ۱۰ درصدی و برای مرکز تولید ۳ (لعاب)، افزایش ۳۰ درصدی است.

جدول ۹. تغییرات پارامتر ظرفیت تولید روی هدف افزایش سود

درصد تغییرات پارامتر ظرفیت تولید	+۰/۳	+۰/۲	+۰/۱	−۰/۱	−۰/۲	−۰/۳
مقدار تابع هدف اقتصادی	۹۶۴۷۱×۴/۱۰^{۱۱}	۹۲۰۱۸×۴/۱۰^{۱۱}	۹۱۷۴۹×۴/۱۰^{۱۱}	۸۵۱۲۸×۴/۱۰^{۱۱}	۸۰۶۷۵×۴/۱۰^{۱۱}	۷۷۶۲۱×۴/۱۰^{۱۱}
درصد تغییرات تابع هدف	+۱/۳۸	+۰/۴۷۲	+۰/۴۷	−۰/۹۳۵	−۱/۸۴	−۲/۴۷



شکل ۸. تغییرات پارامتر ظرفیت تولید بر روی هدف افزایش سود

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

این پژوهش به طراحی شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته تاب‌آور، تحت شرایط اختلال و عدم قطعیت پرداخته است و از روش اپسیلون محدودیت تقویت شده برای حل مدل دوهدفه (افزایش سود، کاهش ریسک) استفاده کرده است. مدل پژوهش با استفاده از داده‌های واقعی شبکهٔ تأمین کاشی و سرامیک میبد حل و اعتبارسنجی شده است. در تحقیقات ایوانف (۲۰۲۳)، فیض‌آبادی و همکاران (۲۰۲۱)، رن و همکاران (۲۰۲۴) و اچفاج و همکاران (۲۰۲۴)، از مدل‌سازی ریاضی برای شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته استفاده نشده است. برای هر سه سطح در زنجیره‌های تأمین مختلف مراکز تولید، رابطهٔ بین زنجیره‌ای (شامل رابطهٔ برگشتی: تولیدکننده یک زنجیره به تأمین‌کنندهٔ زنجیره‌های دیگر و رابطهٔ میان مراکز یک سطح: تأمین‌کننده یک زنجیره با تأمین‌کننده‌های زنجیره‌های دیگر، رابطهٔ تولیدکننده با تولیدکننده‌های زنجیره‌های دیگر) در نظر گرفته شده است که در تحقیقات قبلی دیده نشده است. مدل در مواجهه با اختلال‌ها در مراکز شبکه و افزایش تاب‌آوری، از استراتژی جداسازی تأمین‌کننده و استراتژی توسعه ظرفیت بهره گرفته است که در سه سطح کوچک (۲۵درصد)، متوسط (۵۰ درصد)، بزرگ (۷۵درصد) مراکز توانایی افزایش ظرفیت داشتند.

در مواجهه با عدم قطعیت پارامتر تقاضا که در شبکهٔ تأمین کاشی و سرامیک مشهود است، از روش برنامه‌ریزی مقید به شانس فازی و بر اساس شاخص اعتبار که ترکیبی از خوش‌بینانه و بدبینانه است، استفاده شد تا مدل بتواند در مقابله با شرایط عدم قطعیت توانمند به پاسخ‌گویی باشد که در تحلیل حساسیت تغییر مقدار اپسیلون (میزان خطا) از صفر به ۰/۰۵ و از ۰/۰۵ به ۰/۱ به‌ترتیب باعث افزایش دو تا هفت درصدی سود می‌شود. همچنین پارامتر مؤثر در تابع هدف، مانند ظرفیت تولید نیز مورد تحلیل حساسیت قرار گرفت. افزایش پارامتر ظرفیت به‌دلیل کاهش هزینه‌های توسعه‌های ظرفیت باعث افزایش سود می‌شود. همچنین میزان بهینه ظرفیت به مدیران شبکهٔ تأمین کاشی پیشنهاد شده است. در حالت مطلوب میزان افزایش ظرفیت در مرکز تولید گلوله آلومینا، ۲۰ درصد و در مرکز تولید کاشی ۱۰ درصد و در مرکز تولید لعاب ۳۰ درصد است که مدیران این مراکز می‌توانند از طریق همکاری با دیگر مراکز و پیمانکاری با دیگر شرکت‌ها و تجهیزات پشتیبان ظرفیت‌های خود را افزایش دهند.

به‌منظور افزایش سود حاصل از فروش محصولات سه زنجیرهٔ تأمین به‌هم‌پیوسته شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته کاشی و سرامیک تحت شرایط عدم قطعیت، مدیران می‌توانند با پیروی از مدل پیشنهادی، میزان تولید و انبار را به بهینه‌ترین شکل ممکن انتخاب کنند و مدل با استفاده از استراتژی‌های توسعهٔ ظرفیت و جداسازی تأمین‌کننده توانسته به تقاضاهای متغیر پاسخ دهد و مقدار ریسک خود را کاهش دهد. همان طور که در جدول ۵ و شکل ۶ نشان داده شد، مدل در حالت غیرقطعی نسبت به حالت قطعی، مقدار سود را سه درصد افزایش داد و میزان ریسک هفت درصد کاهش یافت.

مدیران مراکز در شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته می‌توانند با استفاده از روش‌های منبع‌یابی مشترک، برنامه‌ریزی تولید و مدیریت موجودی هماهنگ به یکپارچگی در سراسر شبکه دست پیدا کنند و مدل پیشنهادی را با سیستم‌های برنامه‌ریزی منابع سازمان برای کمک به مدیریت اختلال‌ها ادغام کنند تا با استفاده از داده‌ها و قابلیت‌های محاسباتی، امکان تصمیم‌گیری آگاهانه در مورد مدیریت ریسک فراهم شود. در شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته کاشی و سرامیک به‌دلیل تأمین‌کننده‌های مشترک میان سه زنجیرهٔ تأمین به‌هم‌پیوسته لعاب، کاشی و گلوله آلومینا می‌توان از سیستم‌های اطلاعاتی مشترک برای مدیریت تأمین‌کننده‌ها استفاده کرد و همچنین استراتژی‌های یکپارچه‌سازی تأمین برای تمامی مراکز ایجاد کرد؛ مانند اشتراک‌گذاری موجودی‌ها. همچنین مدیران زنجیره‌تأمین‌ها در شبکه می‌توانند با استفاده از برنامه‌ریزی تولید هماهنگ، موادخام را بدون اینکه موجودی آن را افزایش دهند، به‌صورت بهینه استفاده کنند و موجودی اطمینان برای مراکز بحرانی درشبکه به زنجیره‌ها کمک می‌کند تا در زمان افزایش تقاضا به تأمین‌کننده‌های پشتیبان کمتری نیاز باشد.

محدودیت‌های این تحقیق عدم وجود سامانهٔ مناسب برای رصد مقدار دقیق پارامترهای مدل بهینه‌سازی پیشنهادی است. در صورتی که شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته کاشی و سرامیک به‌صورت متمرکز و یکپارچه مدیریت شوند و داده‌های دقیق مربوط به زنجیرهٔ عرضهٔ محصولات آن‌ها در دسترس باشد، اجرای مدل استراتژیک و عملیاتی پیشنهادی بسیار مفید خواهد بود. همچنین عدم برآورد میزان تقاضا در بازارهای خارجی نیز دیگر محدودیتی است که ممکن است در اجرای کارای مدل پیشنهادی خلل ایجاد کند؛ زیرا در این مدل فرض می‌شود که یک برآورد از تقاضای بازار داخلی در دسترس است و مشروط به آن برای طراحی بهینه شبکه زنجیرهٔ تأمین، مقدار تولید، موجودی و... برنامه‌ریزی می‌شود. می‌توان با استفاده از نظرسنجی از مشتریان خارجی، بررسی روندهای بازارهای جهانی، مدل‌سازی شبیه‌سازی و هوش مصنوعی به آن دست پیدا کرد.

مدل ارائه شده در این پژوهش به‌صورت عمومی ارائه شده است و صنایع دیگر می‌توانند با توجه به ساختار شبکه خود نیز از آن استفاده کنند. در تحقیقات آتی، پیشنهاد می‌شود در مطالعات شبکهٔ تأمین‌های مشابه به برنامه‌ریزی دیگر با اهداف دیگر مانند پایداری، مانایی و... و تصمیمات دیگر مانند جریان‌های مالی و اطلاعاتی و... پرداخته شود. این تحقیق مبحث ضایعات و بازیافت توجه نداشته است، پیشنهاد می‌شود که پژهشگران علاقمند، متغیرهای مربوط به این بحث را در مدل گنجانده و نتایج حاصل را تحلیل کنند. همچنین در این تحقیق بین اجزای شبکهٔ تأمین مباحث رقابتی درنظر نگرفته شده است. پیشنهاد می‌شوند پژوهشگران علاقمند این مبحث را درمدل گنجانده و با استفاده از مدل‌های نظریه بازی و یا لیدر/فالوور به آن بپردازند.

منابع

بهادران، مریم؛ فدایی اشکیکی، مهدی؛ طالقانی، محمد و همایون‌فر، مهدی (۱۴۰۱). طراحی شبکه زنجیره تأمین حلقه بسته تاب‌آور تحت شرایط ریسک‌های عملیاتی و اختلال با رویکرد مالوی. *مدیریت صنعتی*، ۱۴(۴)، ۵۹۵- ۶۱۷.

تقی‌زاده یزدی، محمدرضا؛ امراللهی بیوکی، ناهید و محمدی بالانی، عبدالکریم (۱۳۹۵). سنجش روابط میان عوامل تأثیرگذار بر پیاده‌سازی مدیریت زنجیرهٔ تأمین سبز و رتبه‌بندی شرکت‌های حاضر در زنجیرهٔ تأمین (مطالعهٔ موردی: صنعت کاشی و سرامیک استان یزد). *نشریه مدیریت صنعتی*، ۸(۴)، ۵۵۵- ۵۷۴.

خلیلی، سید محمد؛ پویا، علیرضا؛ کاظمی، مصطفی و فکور ثقیه، امیرمحمد (۱۴۰۱). طراحی یک شبکه زنجیره تأمین بنزین پایدار و تاب‌آور تحت شرایط عدم قطعیت اختلال (مطالعه موردی: شبکه زنجیره تأمین بنزین استان خراسان رضوی). *مدیریت صنعتی*، ۱۴(۱)، ۲۷- ۷۹.

رحمانی میبدی، فرحناز؛ عالم تبریز، اکبر؛ زندیه، مصطفی و طالبی، داوود (۱۴۰۱). طراحی مدل شبکهٔ تأمین درهم‌آمیخته با محوریت تاب‌آوری. *نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید*، ۱۰(۲۰)، ۷۷- ۸۹.

شیشه‌بری، داوود؛ عبدالعظیمی، امید و عندلیب اردکانی، داوود (۱۴۰۰). زنجیرهٔ تأمین حلقهٔ بسته پایدار و تاب‌آور دارو با تأمین‌کنندهٔ پشتیبان تحت شرایط بیماری کرونا (کووید ۱۹). *نشریه پژوهش‌های مهندسی صنایع در سیستم‌های تولید*، ۹(۱۹)، ۳۳- ۵۳.

صدیق‌پور، عبدالرضا (۱۳۹۸). *مدل زنجیرهٔ تأمین ارتجاعی در صنایع دارویی ایران*. پایان‌نامه دکتری مدیریت صنعتی، تهران: دانشگاه شهید بهشتی.

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

References

Bahadoran, M., Fadaei Ashkiki, M., Taleghani, M. & Homayounfar, M. (2022). Designing a Resilient Closed-Loop Supply Chain Network under Operational Risk and Disruption Conditions by the Mulvey Approach, *Industrial Management Journal*, 14(4), 595-617. (*in Persian*)

Bhat, S. & Aljuneidi, T. (2023). Viable Intertwined Supply Network: Modelling and Dynamic Analysis Using Artificial Neural Networks. *Available at SSRN* 4381244.

Bier, T., Lange, A. & Glock, C. H. (2020). Methods for mitigating disruptions in complex supply chain structures: a systematic literature review. *International Journal of Production Research*, *58*(6), 1835-1856.

Chen, J., Sohal, A. S. & Prajogo, D. I. (2013). Supply chain operational risk mitigation: A collaborative approach. *International Journal of Production Research*, 51(7), 2186-2199.

Chibani, A., Delorme, X., Dolgui, A. & Pierreval, H. (2018). Dynamic optimisation for highly agile supply chains in e-procurement context. *International journal of production research*, *56*(17), 5904-5929.

Cordeau, J. F., Klibi, W. & Nickel, S. (2021). Logistics network design. *Network design with applications to transportation and logistics*, 599-625.

Dehshiri, S. J. H. & Amiri, M. (2024). Considering the circular economy for designing closed-loop supply chain under hybrid uncertainty: A robust scenario-based possibilistic-stochastic programming. *Expert Systems with Applications*, 238, 121745.

Dehshiri, S. J. H., Amiri, M., Olfat, L. & Pishvaee, M. S. (2023). A robust fuzzy stochastic multi-objective model for stone paper closed-loop supply chain design considering the flexibility of soft constraints based on Me measure. *Applied Soft Computing*, 134, 109944.

Dubey, R., Gunasekaran, A. & Papadopoulos, T. (2019b). Disaster Relief Operations: Past, Present and Future. *Annals of Operations Research*, 283 (1-2), 1–8.

Echefaj, K., Charkaoui, A., Cherrafi, A. & Ivanov, D. (2024). Design of resilient and viable sourcing strategies in intertwined circular supply networks. *Annals of Operations Research*, 1-40.

Feizabadi, J., Gligor, D. M. & Choi, T. Y. (2023). Examining the resiliency of intertwined supply networks: A jury-rigging perspective. *International Journal of Production Research*, *61*(8), 2432-2451.

Fraccascia, L., Giannoccaro, I. & Albino, V. (2017). Rethinking resilience in industrial symbiosis: conceptualization and measurements. *Ecological Economics*, 137, 148-162.

Ghanei, S., Contreras, I. & Cordeau, J. F. (2023). A two-stage stochastic collaborative intertwined supply network design problem under multiple disruptions. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, *170*, 102944.

Golan, M. S., Jernegan, L. H. & Linkov, I. (2020). Trends and applications of resilience analytics in supply chain modeling: systematic literature review in the context of the COVID-19 pandemic. *Environment Systems and Decisions*, *40*(2), 222-243.

Gorbaneva, O. & Ougolnitsky, G. (2022). Sustainability of Intertwined Supply Networks: A Game-Theoretic Approach. *Games*, 13(3), 35.

Hosseini, S., Ivanov, D. & Dolgui, A. (2019). Review of quantitative methods for supply chain resilience analysis. *Transportation research part E: logistics and transportation review*, 125, 285-307.

Ivanov, D. (2023). Collaborative emergency adaptation for ripple effect mitigation in intertwined supply networks. Annals of *Operations Research*, 1-17.

Ivanov, D. & Dolgui, A. (2019). Low-Certainty-Need (LCN) supply chains: a new perspective in managing disruption risks and resilience. *International Journal of Production Research*, *57*(15-16), 5119-5136.

Ivanov, D. & Dolgui, A. (2020). Viability of intertwined supply networks: extending the supply chain resilience angles towards survivability. A position paper motivated by COVID-19 outbreak. *International Journal of Production Research*, *58*(10), 2904-2915.

Ivanov, D., Dolgui, A. & Sokolov, B. (2019). The impact of digital technology and Industry 4.0 on the ripple effect and supply chain risk analytics. *International Journal of Production Research*, *57*(3), 829-846.

Jabbarzadeh, A., Fahimnia, B., Sheu, J. B., & Moghadam, H. S. (2016). Designing a supply chain resilient to major disruptions and supply/demand interruptions. *Transportation Research Part B: Methodological*, *94*, 121-149.

Khalili, S., M., Pooya, A., Kazemi, M., Fakoor Saghih, A., M., (2022). Designing a Sustainable and Resilient Gasoline Supply Chain Network under Uncertainty (Case study: Gasoline Supply Chain Network of Khorasan Razavi Province). *Industrial Management Journal*, 14(1), 27-79. (*in Persian*)

Mavrotas, G. (2009). Effective implementation of the ε-constraint method in multi-objective mathematical programming problems. *Applied mathematics and computation*, 213(2), 455-465.

Mousavi, M., Jamali, G. & Ghorbanpour, A. (2022). A Green-resilient Supply Chain Network Optimization Model in Cement Industries. *Industrial Management Journal*, 13(2), 222-245. (*in Persian*)

Rahmani Meybodi, F., Alem Tabriz, A., Zandiyeh, M. & Talabi, D. (2022). Designing a Model for Intertwined Supply Network Based on Resilience. *Journal of Industrial Engineering Research in Production Systems*, *10*(20), 77-89. doi: 10.22084/ier.2023.27187.2108 (*in Persian*)

Ren, H., Wang, C., Mu, D., Lim, M. K., Yue, X., Hu, X., ... & Tsao, Y. C. (2024). Resilience strategies in an intertwined supply network: Mitigating the vulnerability under disruption ripple effects. *International Journal of Production Economics*, 109419.

Sedighpour, A. (2019). *Resilient Supply Chain Model in Iran Pharmaceutical Industries*. PHD Thesis Industrial Management, Shahid Beheshti University. (*in Persian*)

Shekarian, M. & Mellat Parast, M. (2021). An Integrative approach to supply chain disruption risk and resilience management: a literature review. *International Journal of Logistics Research and Applications*, 24(5), 427-455.

Shishebori, D., Abdolazimi, O., Andalib Ardakani, D., (2022). Sustainable and Resilient Closed-Loop Drug Supply Chain with Backup Suppliers under Coronavirus Disease Pandemic (COVID-19). *Journal of Industrial Engineering Research in production systems*, 9(19), 33-53. (*in Persian*)

Taghzadeh Yazdi, M. R., Amrollah Biuky, N. & Mohammadi Balani, A. (2017). Analyzing the Relationships between Green Supply Chain Management Implementation Factors and Ranking the Organizations in the Supply Chain (Case Study: Ceramic Tile Industry in Yazd Province). *Industrial Management Journal*, 8(4), 555-574. (*in Persian*)

Tsao, Y. C., Thanh, V. V., Lu, J. C. & Wei, H. H. (2021). A risk-sharing-based resilient renewable energy supply network model under the COVID-19 pandemic. *Sustainable Production and Consumption*, *25*, 484-498.

Wang, J., Dou, R., Muddada, R.R. & Zhang, W. (2018). Management of a Holistic Supply Chain Network for Proactive Resilience: Theory and Case Study. *Computers and Industrial Engineering* 125: 668–677.

Wang, M. & Yao, J. (2023). Intertwined supply network design under facility and transportation disruption from the viability perspective. *International Journal of Production Research*, *61*(8), 2513-2543.

Xu, J. & Zhou, X. (2013). Approximation based fuzzy multi-objective models with expected objectives and chance constraints: Application to earth-rock work allocation. *Information Sciences*, 238, 75-95.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی