Industrial Management Journal

Print ISSN: 2008-5885
Online ISSN: 2423-5369

Designing a Mathematical Optimizing Model of the Integrated Supply Chain Network at Strategic and Tactical Levels

Hamidreza Fallah Lajimi*

*Corresponding Author, Assistance Professor, Department of Industrial Management, Faculty of Economics and Administrative Sciences, University of Mazandaran, Babolsar, Iran. E-mail: h.fallah@umz.ac.ir

Zahra Jafari Soruni

MSc. Student, Department of Industrial Management- Operation Research, Faculty of Management, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: z.jafari.s@umz.ac.ir

Asana Hoseini Dolatabad

MSc. Student, Department of Industrial Management- Supply chain, Faculty of Management, University of Tehran, Tehran, Iran. E-mail: asanahoseini@ut.ac.ir

Abstract

Objective: In today's competitive economy, the supply of a product in an optimal quantity, quality and minimum cost at the right time are the pillars of success in a business. A continually efficient supply chain also plays an important role in solidifying this success. This research aims to model an integrated supply chain network to achieve maximum profit while minimizing the overall response time.

Methods: In view of the importance of supply chain management and logistics in recent times, the design and optimization of the supply chain network are extremely critical. This is mostly because, at each decision level, a well-optimized decision will result in a competitive advantage in the market. In this research, the said design and optimization is explained in two levels; a strategic level where a supply chain is designed, and a tactical level dedicated to operational planning of the supply chain. In this paper, a mathematical model has been formulated for these levels. To verify and validate the proposed model, the acquired data from a computer case manufacturing company are examined and the outcomes were highlighted.

Results: This paper provides a tool in order to optimize the supply chain network. This tool can be useful for any manager or for those who are planning a supply chain from production or designing a product distribution network. Managers can also use this model to ensure the performance parameters of a particular supply chain.

Conclusion: The results show that the proposed model can provide an effective and easy-to-follow method to achieve a well-established plan in an integrated supply chain.

Keywords: Optimization, Strategic supply chain, Tactical supply chain.

Citation: Fallah Lajimi, Hamidreza; Jafari Soruni, Zahra & Hoseini Dolatabad, Asana (2020). Designing a Mathematical Optimizing Model of the Integrated Supply Chain Network at Strategic and Tactical Levels. *Industrial Management Journal*, 12(4), 545-577. (*in Persian*)

Industrial Management Journal, 2020, Vol. 12, No.4, pp. 545-577
DOI: 10.22059/IMJ.2021.312894.1007797
Received: October 31, 2020; Acceped: June 08, 2021
Article Type: Research-based
© Faculty of Management, University of Tehran

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

طراحی مدل ریاضی بهینه‌سازی شبکه زنجیره‌تامین یکپارچه سطوح استراتژیک و تاکتیکی

حمیدرضا فلاح لاجیمی*
* نویسنده مسئول، استادیار، گروه مدیریت صنعتی، دانشکده علوم اقتصادی و اداری دانشگاه مازندران، بابلسر، ایران. رایانامه: h.fallah@umz.ac.ir

زهرا جعفری سرونی
دانشجوی کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، ایران. رایانامه: z.jafari.s@umz.ac.ir

آسانا حسینی دولت‌آباد
دانشجوی کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت، دانشگاه تهران، تهران، ایران. رایانامه: asanahoseini@ut.ac.ir

چکیده

هدف: در اقتصاد رقابتی، عرضه محصولات در کمیت و کیفیت مناسب با حداقل هزینه در زمان تعیین شده، رمز بقا و موفقیت کسب و کارها محسوب می‌شود. زنجیره‌تامین کارآمد نقش مهمی در تضمین این موفقیت دارد. هدف تحقیق حاضر مدل‌سازی شبکه زنجیره‌تامین یکپارچه برای دستیابی به حداکثر سود و حداقل کردن زمان پاسخگویی می‌باشد.

روش: باتوجه به اهمیت مدیریت زنجیره‌تامین و لجستیک در شرایط حاضر، طراحی و بهینه‌سازی شبکه زنجیره‌تامین یکی از مهمترین تصمیمات جهت ایجاد مزیت رقابتی می‌باشد و بهینه‌سازی تصمیمات در هر یک از سطوح تصمیم‌گیری را به دنبال دارد. این تحقیق شامل دو مرحله در سطح استراتژیک برای طراحی زیرساخت‌های زنجیره‌تامین و سطح تاکتیکی برای برنامه‌ریزی عملیاتی زنجیره‌تامین انجام شده است که مدل‌سازی ریاضی در این دو سطح فرموله شد. جهت تایید و اعتبار مدل پیشنهادی، از داده‌های یک شرکت تولید کیس‌های کامپیوتری استفاده شد و بعد از مدل‌سازی، حل شده است.

یافته‌ها: تحقیق حاضر ابزاری برای بهینه‌سازی شبکه یکپارچه زنجیره‌تامین جهت استفاده مدیران و تصمیم گیرندگان در طراحی و بهره برداری شبکه‌های تولید و توزیع را فراهم می‌آورد. اعتبار مدل پیشنهادی به‌دلیل بهبود در مقادیر توابع هدف نسبت به وضع موجود مورد بررسی و تایید قرار گرفت.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی می‌تواند رویکردی مناسب، برای تحقق یک برنامه‌ریزی موثر در یک زنجیره‌تامین در دو سطح استراتژیک و تاکتیکی فراهم کند و نیز مدیران می‌توانند با بکارگیری این مدل، نسبت به پارامترهای عملکردی زنجیره تامین اطمینان حاصل نمایند.

کلیدواژه‌ها: بهینه‌سازی؛زنجیره‌تامین استراتژیک؛ زنجیره‌تامین تاکتیکی

استناد: فلاح لاجیمی، حمیدرضا؛ جعفری سرونی، زهرا و حسینی دولت‌آباد، آسانا (۱۳۹۹). طراحی مدل ریاضی بهینه‌سازی شبکه زنجیره‌تامین یکپارچه سطوح استراتژیک و تاکتیکی. *مدیریت صنعتی*، ۱۲(۴)، ۵۴۵- ۵۷۷.

مدیریت صنعتی، ۱۳۹۹، دوره ۱۲، شماره ۴، صص. ۵۴۵ – ۵۷۷
DOI: 10.22059/IMJ.2021.312894.1007797
دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۱۰، پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۱۸
نوع مقاله: علمی پژوهشی
© دانشکده مدیریت دانشگاه تهران

مقدمه

امروزه مدیریت زنجیره‌تامین و لجستیک به عنوان یکی از قسمت‌های مهم هر فعالیت اقتصادی محسوب می‌شود. طراحی و بهینه‌سازی شبکه زنجیره‌تامین یکی از مهمترین تصمیماتی است که می‌تواند منجر به مزیت رقابتی نسبت به سایر رقبا بوده و بقا سازمان را به دنبال داشته باشد (محمدی، عالم تبریز و پیشوایی؛ ۱۳۹۷). مسئله طراحی شبکه شامل تعیین تعداد، مکان و ظرفیت مراکز مهم هر زنجیره‌تامین می‌باشد (رحمانی و ماهودیان[1]، ۲۰۱۷). هر شبکه زنجیره‌تامین شامل تعداد زیادی تامین‌کننده، مراکز تولید، انبار و مراکز توزیع است و جهت تامین مواد اولیه، تبدیل، تولید و تحویل محصول نهایی به مشتری، هماهنگی بین این مراکز امری حیاتی و بدون برنامه‌ریزی امکان پذیر نیست. با توجه به پیچیدگی‌های فراوان در زنجیره‌تامین، یک سیستم تصمیم‌گیری متمرکز سنتی نمی‌تواند به راحتی تمام جریان اطلاعات و اقدامات را مدیریت کند. تاخیر در تصمیم‌گیری در زنجیره‌تامین، زمان فرآیند را افزایش می‌دهد و سبب عقب ماندن از رقابت می‌شود. به منظور کاهش این تاخیر، اعضای زنجیره‌تامین باید به نیازها پاسخ سریع دهند. بنابراین، زنجیره‌تامین را می‌توان به عنوان یک شبکه لجستیک از تصمیم‌گیری‌های مستقل خودمختار توصیف کرد (فض الله تبار، مهدوی، مهاجری[2]، ۲۰۱۳). عملکرد کلی هر زنجیره‌تامین منوط به عملکرد هر یک از اجزا زنجیره و توانایی یکپارچگی با سایر اجزا زنجیره‌تامین بستگی دارد. مدیریت زنجیره‌تامین باید به هماهنگی تصمیم‌گیری‌ها در شبکه بپردازد.

طراحی شبکه زنجیره‌تامین موفق نیازمند بهینه‌سازی در تصمیمات جریان اطلاعات، مواد، محصول و مالی بین هر یک از اجزا زنجیره‌تامین در هر یک از سطوح استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی زنجیره‌تامین می‌باشد (فاریاس، لی، گالوز، بورنستین[3] ، ۲۰۱۷) که متاثر از افق‌های زمانی این تصمیمات است. تحقیقات بسیاری در حوزه بهینه سازی شبکه زنجیره تامین صورت گرفته است (وانگ و لیان[4] ، ۲۰۰۵؛ لودری و اوزوچگو[5] ، ۲۰۰۸، آگوو، لیو، ونگ[6] ، ۲۰۱۱؛ ژانگ و لی[7] ، ۲۰۱۶؛ فاریاس، لی، گالوز، بورنستین ، ۲۰۱۷ و اراس و بیلگ[8] ، ۲۰۱۸). زنجیره تامین قطعات کامپیوتری (سخت‌افزار) به دلیل تنوع و تعدد در کالا و محصولات دارای پیچیدگی‌های زیادی می باشد. هماهنگی و یکپارچگی فرآیندهای مختلف زنجیره تامین سخت‌افزار با مشکلاتی همراه است که بدون برنامه ریزی و نیز عدم توجه به هماهنگی همه اجزا امکان پذیر نیست. هیچ کشوری نمی‌تواند تولید تمام اقلام تجهیزات سخت‌افرازی را انجام دهد و برخی از تکنولوژی‌ها و منابع در اختیار تعداد محدودی از کشورها است. در ایران نیز عمدتاً مونتاژ محصول نهایی است.

لذا با توجه به دغدغه‌های بیان شده، هدف تحقیق حاضر طراحی شبکه زنجیره تامین استراتژیک و تاکتیکی می‌باشد که برای ارزیابی و اعتبار مدل پیشنهادی از داده‌های یک شرکت سخت‌افزاری تولید کیس‌های کامپیوتری

---

1. Rahmani and Mahoodian.
2. Fazlollahtabar, Mahdavi, Mohajeri.
3. Farias, Li, Galvez, Borenstein
4. Wang and Liang.
5. Lodree and Uzochukwu.
6. Ugwu, Liu, Wang.
7. Zhang , Lee
8. Aras and Bilge.

استفاده شده است. با این حال، این تحقیقات و مطالعات اغلب به یک زیر مجموعه از اجزا زنجیره تامین، تعداد کمی اهداف و تصمیم‌گیری در یکی از سطوح تصمیم‌گیری زنجیره‌تامین متمرکز شده اند. نوآوری تحقیق حاضر به بررسی زنجیره‌تامین چند کاناله چند هدفه (توجه توامان هزینه و زمان پاسخگویی) در سطوح تصمیم‌گیری استراتژیک و تاکتیکی می‌باشد. به عبارت دیگر، مدل و راه حلی که در این تحقیق ارائه می‌گردد به مدیران زنجیره تامین کمک می‌کند تا با استفاده از یک ابزار منعطف در طراحی و بهره برداری زنجیره تامین به اهداف مدنظر دست یابند. همچنین نتایج حاصل حل زیر مدل استراتژیک به عنوان آرمان و ورودی در زیر مدل تاکتیکی در نظر گرفته می‌شود. یعنی عملکرد سطح تاکتیکی با استفاده از مقادیر هدف بهینه سطح استراتژیک تعیین می شود.

در ادامه تحقیق، ادبیات و پیشنه تحقیق در بخش دوم مورد بررسی قرار می‌گیرد. سپس در بخش سوم به تعریف پارامترها، متغیرهای تحقیق و در ادامه به تشریح ساختار مدل‌های ریاضی زیر مدل استراتژیک و تاکتیکی پرداخته شد. در بخش چهارم، مثال کاربردی در صنعت سخت‌افزار مدل‌سازی، فرموله، حل و اعتبار سنجی می‌شود و در پایان بحث و نتیجه گیری انجام شد.

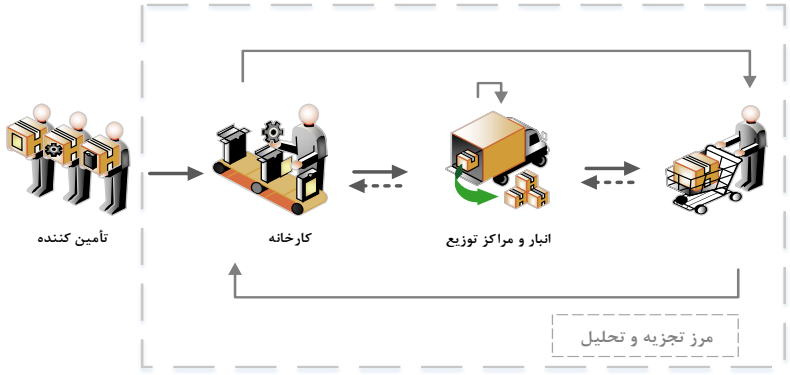
پیشینه پژوهش

امروزه در دنیای کسب و کار، شرکت‌ها بدون توجه به یکپارچگی استراتژی‌های شرکت و سیستم‌های زنجیره‌تامین نمی‌توانند، محصول، خدمت یا فرآیند سود آوری داشته باشند (روس[1] ، ۲۰۰۳). زنجیره‌تامین شامل فعالیت‌های جریان سازی و تبدیل کالا از مواد خام اولیه تا رسیدن به مصرف کننده نهایی به همراه جریان اطلاعات می‌باشد (نیکول و هندفیلد[2] ۱۹۹۹). با درک مفهوم مدیریت زنجیره تامین، نیاز است که برای برنامه‌ریزی و کنترل فعالیت‌های زنجیره‌تامین، سطوح تصمیمات مشخص شود که این سطوح تصمیم‌گیری عبارتند از برنامه‌ریزی استراتژیک، برنامه‌ریزی تاکتیکی و برنامه‌ریزی عملیاتی(آنتونی[3]،۱۹۶۵) در سطح استراتژیک، عملکرد زنجیره‌تامین با اهداف شرکت که انعکاس دهنده سیاست‌ها، برنامه‌های مالی و برنامه‌های رقابتی است ارزیابی می‌شود. سطح تاکتیکی زنجیره تأمین، به برنامه‌ریزی چگونگی استفاده از تجهیزات، برآورده کردن نیازها و تقاضای بازار می پردازد. در نهایت سطح عملیاتی زنجیره‌تامین بر عملیات کالا زنجیره‌تامین تاکید دارد. بعد عملیاتی بر جزییات سیستم‌ها، رویه‌ها و ابزارهای کنترلی و معیارهای عملکردی تمرکز می‌کند.

یک سیستم قابل پیکره بندی را می‌توان برای موقعیت‌های جدید، طراحی مجدد کرد، سپس مدل‌سازی نمود و ارتقا داد. زنجیره‌تامین به عنوان یک سیستم باید پیکره بندی شود و با حمایت سیستم‌های اطلاعاتی، اعضا آن قادر باشند تغییرات را درک و فرآیندهایشان را مجدد تنظیم کنند. پیکره بندی زنجیره‌تامین یا پیکره بندی مجدد آن، یکی از تصمیمات اساسی زنجیره‌تامین می‌باشد (فلاح لاجیمی، جعفرنژاد، مهرگان، الفت، ۱۳۹۴). یکی از نکات مهم در

[1]. Ross.
[2]. Handfield and Nichols.
[3]. Anthony.

پیکره‌بندی زنجیره‌تأمین در نظر گرفتن تمام اجزا زنجیره بصورت کل می‌باشد. این یکپارچگی را می‌توان در **Error! Reference source not found.** مشاهده کرد. در این شکل اجزا اصلی زنجیره با تعاملات آن دیده می‌شود. تعاملات مواد و جریان‌های فیزیکی با خط پر و جریان اطلاعات با نقطه چین نشان داده شده است.



شکل ۱ پیکره بندی زنجیره تأمین (پووآ و همکاران، ۲۰۱۸)

امروزه بررسی مسائل مهم طراحی استراتژیک زنجیره تأمین، مورد توجه محققان قرار گرفته است. بازخوانی جامع ادبیات پژوهش نشان می دهد بسیاری از مطالعات با توجه به ویژگی‌هایی همچون بهره برداری چندکاناله، تک محصوله یا چند محصوله، امکانات چند سطحی، چند هدفه و تقاضا قطعی و احتمالی در مدل‌سازی و بهینه‌سازی طراحی استراتژیک انجام شده است. در این مطالعات حل این مسائل از مدل‌سازی برنامه‌ریزی صفر و یک (تانحو، بوستل و پتول[۱]،۲۰۱۲؛ لی و کوان[۲]،۲۰۱۰)، برنامه‌ریزی غیر خطی(ژانگ و لی،۲۰۱۶)، برنامه‌ریزی چند هدفه(گاویندان، جعفریان، نوربخش[۳]، ۲۰۱۵؛ وحدانی و محمدی[۴]، ۲۰۱۵)، برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط(اراس و بیلگ، ۲۰۱۸) و برنامه‌ریزی تصادفی (یانگ ، لی، جیائو، ونگ[۵]، ۲۰۱۸) استفاده شده است. روش‌های مختلفی به منظور حل این مدل‌سازی در ادبیات وجود دارد از جمله این روش‌ها می‌توان به روش تجزیه بندرز[۶](کیوان شکوه، آریان، کبیر[۷]، ۲۰۱۶)، روش لاگرانژ (کومار و تیواری[۸]،۲۰۱۳)، الگوریتم ژنتیک (آلتیپارماک ، جن، لین، پاکسوی[۹]،۲۰۰۶)، (بشیری و رضانژاد، توکلی مقدم، حسن زاده[۱۰] ۲۰۱۸) و تکنیک‌های ابتکاری (سلیمانی و کنان[۱۱]، ۲۰۱۵) اشاره نمود. جدول ۱ خلاصه ای از تحقیقات انجام شده در حوزه پیکره بندی زنجیره‌تامین از مناظر سطح برنامه‌ریزی و روش را نشان می دهد. در ادامه برخی از این تحقیقات تشریح می‌شود. رمضانی، بشیری و توکلی مقدم[۱۲]، (۲۰۱۳) یک مدل چند هدفه تصادفی برای

---

1. Thanh, Bostel & Péton
2. Lee and Kwon.
3. Govindan, Jafarian & Nourbakhsh.
4. Vahdani and Mohammadi.
5. Yang, Li, Jiao & Wang.
6. Benders decomposition.
7. Keyvanshokooh, Ryan & Kabir.
8. Kumar and Tiwari.
9. Altiparmak, Gen, Lin, Paksoy.
10. Bashiri, Rezanezhad, Tavakkoli-Moghaddam & Hasanzadeh
11. Soleimani and Kannan.
12. Ramezani, Bashiri & Tavakkoli-Moghaddam

طراحی شبکه لجستیک در شرایط عدم اطمینان شامل سه کانال در جهت رو به جلو (تامین کنندگان، کارخانجات، و مراکز توزیع) و دو کانال در جهت رو به عقب (انبار و مشتریان) ارائه دادند. گاویندان، جعفریان و نوربخش، (۲۰۱۵) در تحقیق خود پایداری را به عنوان یکی از مسائل قابل توجه در طراحی شبکه زنجیره‌تامین و مسئله تخصیص سفارش مورد توجه قرار داده اند. آنها برای حل این مسئله، به بررسی همزمان طراحی شبکه زنجیره‌تامین پایدار و مسئله تخصیص سفارش پایدار با استفاده از رویکرد یکپارچه چند هدفه که ترکیبی از دو الگوریتم بهینه‌سازی استوار و جستجوی نسبی متغیرهای چند هدفه است، پرداخته اند. نگهبان و دهقانی محمدآبادی[۱]، (۲۰۱۸) یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح غیر خطی برای بهینه‌سازی پیکره بندی زنجیره‌تامین که شامل انتخاب تامین‌کننده، تعیین سیاست‌های تولید و انبارداری و برنامه‌های فروش برای چرخه عمر یک محصول جدید پیشنهاد شده است. سپس مدل خود را در پیکره‌بندی زنجیره‌تامین مانیتور کامپیوتر با روش حل OA/ER/AP[۲] اجرا نمودند. هونگ، دایی، لوح، یانگ[۳]، (۲۰۱۸) یک مدل پیکره بندی زنجیره‌تامین برای بررسی چالش‌های موجود در زنجیره‌تامین سبز ارائه داده‌اند و با استفاده از مدل‌های ترکیبی الگوریتم درخت و روش بهینه‌سازی ازدحام ذرات[۴] به حل آن پرداختند. حسینی مطلق، ثمنی و سعادی[۵] (۲۰۱۸) به ارائه یک مدل ریاضی بهینه‌سازی شبکه زنجیره تامین در دو سطح استراتژیک و تاکتیکی برای زنجیره تامین گندم در شرایط عدم قطعیت تحت سه سناریوی خوش بینانه، محتمل و بدبینانه پرداختند. قلی زاده ، تاج دین و جوادیان[۶] (۲۰۲۰) در تحقیق خود یک مدل غیرخطی چند مرحله‌ای چند محصوله زنجیره‌تامین حلقه بسته برای محصولات یک‌بار مصرف پیشنهاد داد و یک رویکرد بهینه‌سازی استوار در شرایط عدم اطمینان مورد استفاده قرار گرفت که با استفاده از رویکرد الگوریتم ژنتیک حل شد. جبارزاده ، هوقتون، پورمهدی[۷] (۲۰۱۹) در تحقیقی به برنامه‌ریزی تولید و توزیع یکپارچه زنجیره‌تامین با استراتژی تعویق با استفاده از رویکرد بهینه‌سازی استوار پرداخته‌اند. دو هدف اقتصادی (به حداقل رساندن هزینه) و محیط زیست (به حداقل رساندن میزان انتشار گازهای گلخانه ای) همراه با استراتژی تاکتیکی از اهداف این تحقیق بودند. همچنین بیوکی، کاظمی و علی نژاد[۸] (۲۰۲۰) در تحقیق خود شبکه زنجیره تأمین پایدار را برای مکان یابی، مسیریابی و موجودی کالا با توجه به محصول فاسدشدنی طراحی کردند. آنها یک برنامه ریزی عدد صحیح مختلط چند هدفه با روش حل الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی ازدحام ذرات ارائه کردند. نظام الدینی، غلامی و اقلان[۹] (۲۰۲۰) به ارائه مدل بهینه‌سازی مبتنی بر ریسک پرداختند که تصمیمات راهبردی, تاکتیکی و عملیاتی زنجیره تامین را کنترل می‌کند. در این تحقیق یک روش حل ترکیبی الگوریتم و شبکه عصبی مصنوعی در شرایط عدم قطعیت ارائه شد که با به حداقل رساندن هر گونه عدم تعادل بین عرضه و تقاضا، افزایش سود کل زنجیره تامین را به همراه دارد. دورماز و

---

[1]. Negahban and Dehghanimohammadabadi
[2]. Outer Approximation with both Equality Relaxation and Augmented Penalty
[3]. Hong , Dai, Luh, Yang
[4]. Particle swarm optimization
[5] Hosseini-Motlagh, Samani & Saadi
[6]. Gholizadeh, Tajdin, Javadian
[7]. Jabbarzadeh, Haughton & Pourmehdi
[8] Biuki, Kazemi & Alinezhad
[9] Nezamoddini, Gholami & Aqlan
[10] Durmaz & Bilgen

(۲۰۲۰) به بهینه‌سازی زنجیره تامین زیست توده پایدار در دو سطح استراتژیک و تاکتیکی پرداختند. در مدل بهینه‌سازی ارائه شده، دو تابع هدف به حداکثر رساندن سود و به حداقل رساندن فاصله کلی بین مزارع پرورش ماکیان و تسهیلات بیوگاز را بر اساس روش برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط مد نظر قرار گرفت و حل شد. امین پور، ایرج پور، یزدانی و محتمشی (۱۳۹۹) به ارائه یک مدل چند هدفه شبکه زنجیره تامین حلقه بسته در صنعت خودرو با توجه به طرح‌های بازده انرژی و زمان پرداختند. آنها با استفاده از سه روش قطعی، بهینه‌سازی ازدحام ذرات و الگوریتم ژنتیک به حل مدل پیشنهادی پرداختند.

جدول ۱: مطالعات و تحقیقات پیکره بندی زنجیره تامین

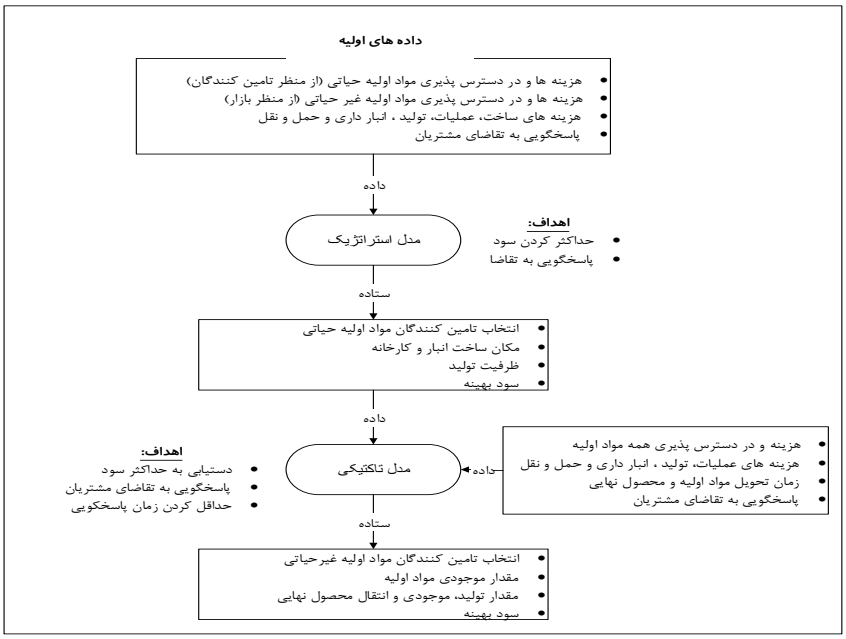
نویسنده-سال	سطح زنجیره تامین			روش حل	صنعت
	عملیاتی	تاکتیکی	استراتژیک		
روگرز و کیم[1] – ۲۰۰۵			●	مدل‌سازی شی گرا	N/A
ویلیم و گروز[2] – ۲۰۰۵		●	●	برنامه‌ریزی پویا	کامپیوتر
آلتیپارماک جن، لین، پاکسوی – ۲۰۰۶			●	برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط و الگوریتم ژنتیک	پلاستیک
کیگولینی، پرو، راسی، سیانسی[3] – ۲۰۱۴			●	شبیه سازی	غذایی
سلیمانی و کنان – ۲۰۱۵			●	مدل‌های ترکیبی بهینه‌سازی	اتومبیل
کو، زنگ، رن، سوگانتان، آمارشتونگا[4] – ۲۰۱۷	●			روش لاگرانژ	N/A
نگهبان و دهقانی – ۲۰۱۸			●	برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط	کامپیوتر
حسینی مطلق، ثمنی و سعادی– ۲۰۱۸		●	●	بهینه‌سازی استوار	غذایی
موتا، گومز،کاروالهو و پووآ[5]– ۲۰۱۸		●	●	برنامه ریزی تصادفی	کامپیوتر و الکترونیک
جبارزاده هوقتون، پورمهدی – ۲۰۱۹			●	بهینه‌سازی استوار	دارو
نظام الدینی، غلامی و اقلان– ۲۰۲۰	●	●	●	الگوریتم ژنتیک و شبکه عصبی مصنوعی	N/A
بیوکی، کاظمی و علی نژاد– ۲۰۲۰	●	●	●	الگوریتم ژنتیک و بهینه‌سازی ازدحام ذرات pso	محصولات فاسد شدنی
قلی زاده ، تاج دین و جوادیان – ۲۰۲۰		●	●	الگوریتم ژنتیک	پلاستیک

[1]. Kim and Rogers.
[2]. Graves and Willems.
[3]. Cigolini, Pero, Rossi & Sianesi,
[4]. Qiu, Zhang, Ren, Suganthan, Amaratunga
[5] Mota, Gomes, Carvalho, Barbosa-Povoa

روش‌شناسی پژوهش

تعریف مسئله

همانطور که بیان شد، هدف تحقیق ارائه مدل ریاضی برای بهینه‌سازی شبکه زنجیره‌تامین در سطح استراتژیک و تاکتیکی است. در شکل ۱ نحوه مدل‌سازی تحقیق برای هر یک از سطوح استراتژیک و تاکتیکی نشان داده شده است. در هریک از مدل‌ها داده‌های اولیه، اهداف و ستاده‌های آن بیان شد. ستاده‌های مدل استراتژیک به عنوان ورودی‌های مدل تاکتیکی مد نظر است. همانطور که در شکل ۱ دیده می‌شود، اهداف هر دو زیر مدل دستیابی به حداکثر سود و پاسخگویی به تقاضای مشتریان است و البته در زیر مدل تاکتیکی حداقل کردن رمان پاسخگویی به تقاضای مشتریان نیز مد نظر است.



شکل ۱: مدل مفهومی تحقیق

نمادها: در این تحقیق برای مدل‌سازی ریاضی از اندیس‌های زیر استفاده می‌شود:

- مواد خام اولیه $(i = 1,2, \dots, I)$
- انبار $(n = 1,2, \dots, N)$
- تامین‌کننده $(k = 1,2, \dots, K)$
- مشتری $(p = 1,2, \dots, P)$
- کارخانه $(m = 1,2, \dots, M)$
- دوره زمانی $(t = 1,2, \dots, T)$

پارامترها: پارامترهایی که در مدل‌سازی تحقیق حاضر بکار می روند عبارتند از:

- a_i: مقدار مواد اولیه i مورد نیاز برای ساخت یک واحد محصول نهایی.
- c_{ikt}^{R}: هزینه هر واحد مواد اولیه حیاتی i که از تامین‌کننده k در زمان t خریداری می‌شود.
- avc_{it}^{R}: متوسط هزینه هر واحد مواد اولیه غیر حیاتی i که در زمان t خریداری می‌شود.
- c_{mt}^{CON}: هزینه ساخت کارخانه با ظرفیت U_{m} در مکان m و در زمان t .

- c_{mt}^{FP}: هزینه تولید هر واحد محصول نهایی در کارخانه m در زمان t .
- c_{mt}^{PQ-}: هزینه کاهش تولید هر واحد محصول نهایی در کارخانه m در زمان t .
- avc_{imt}^{SRP}: متوسط هزینه حمل هر واحد مواد اولیه غیر حیاتی i از تامین‌کننده k به کارخانه m در زمان t .
- c_{npt}^{SFM}: هزینه حمل هر واحد محصول نهایی از انبارn به مشتری p در زمان t.
- c_{mt}^{HFP}: هزینه نگهداری هر واحد محصول نهایی که در کارخانه m در زمان t نگهداری می‌شود.
- f_{mt}^{P}: هزینه ثابت عملیاتی کارخانه m در زمان t.
- C_{ikt}^{RS}: میزان در دسترس هر واحد مواد اولیه (حیاتی) i از تامین‌کننده k در زمان t.
- U_m: حداکثر ظرفیت تولید محصول نهایی کارخانه m.
- q_n: حداقل مقدار نگهداری محصول نهایی در انبارn برای اینکه انبار باز باشد.
- R_n^{INW}: ظرفیت انتقال داخلی در انبار n در هر زمان.
- C_{imt}^{HRP}: ظرفیت نگهداری مواد اولیه کارخانه m در زمان t.
- C_{nt}^{HFW}: ظرفیت نگهداری محصول نهایی انبار n در زمان t.
- g_{m0}: موجودی ابتدای دوره محصول نهایی در کارخانه m.
- h^{FIN}: نسبتی از تقاضای کل نهایی به موجودی پایان دوره.
- d_{pt}: تقاضای محصول نهایی توسط مشتری p در زمان t.
- c_{mt}^{PQ+}: هزینه افزایش تولید هر واحد محصول نهایی در کارخانه m در زمان t .
- c_{ikmt}^{SRP}: هزینه حمل هر واحد مواد اولیه حیاتی i از تامین‌کننده k به کارخانه m در زمان t .
- c_{mnt}^{SFW}: هزینه حمل هر واحد محصول نهایی از کارخانه m به انبار n در زمان t.
- c_{imt}^{HRP}: هزینه نگهداری هر واحد مواد اولیه i که در کارخانه m در زمان t نگهداری می‌شود.
- c_{nt}^{HFW}: هزینه نگهداری هر واحد محصول نهایی که در انبار n در زمان t نگهداری می‌شود.
- f_{nt}^{W}: هزینه ثابت عملیاتی انبار n در زمان t.
- C_{it}^{RS}: میزان در دسترس هر واحد مواد اولیه (غیر حیاتی) i در زمان t.
- v_m: حداقل مقدار تولید محصول نهایی کارخانه m برای اینکه کارخانه باز باشد.
- R_m^{PLANT}: ظرفیت انتقال خارج از کارخانه در کارخانه m در هر زمان.
- R_n^{OUTW}: ظرفیت انتقال خارجی تولید در انبار n در هر زمان.
- C_{mt}^{HFP}: ظرفیت نگهداری محصول نهایی کارخانه m در زمان t.
- r_{im0}: موجودی ابتدای دوره مواد اولیه i در کارخانه m.
- h_{n0}: موجودی ابتدای دوره محصول نهایی در انبار n.
- x_{m0}: موجودی ابتدای دوره محصول نهایی در کارخانه m.
- S^{FP}: قیمت فروش هر واحد محصول نهایی.

متغیرهای تصمیم در زیر مدل‌های تحقیق حاضر، متغیرهای تصمیم زیر در مدل‌سازی استفاده می‌شود.

- w_{ikmt}: مقدار انتقال مواد اولیه (حیاتی) i از تامین‌کننده k به کارخانه m در زمان t.
- x_{mt}: مقدار محصول نهایی تولید شوده در کارخانه m در زمان t.
- e_{mt}^{+}: افزایش مقدار تولید از زمان $t-1$ به زمان t.
- w_{imt}: مقدار انتقال مواد اولیه (غیر حیاتی) i از همه تامین‌کنندگان به کارخانه m در زمان t.
- e_{mt}: مقدار تولید نامحدود تغییر یافته از زمان $t-1$ به زمان t.
- e_{mt}^{-}: کاهش مقدار تولید از زمان $t-1$ به زمان t.

- y_{mnt}: مقدار انتقال محصول نهایی از کارخانه m به انبار n در زمان t.
- z_{npt}: مقدار انتقال محصول نهایی از انبار n به مشتری p به در زمان t.
- r_{imt}: مقدار مواد اولیه i که در کارخانه m در زمان t نگهداری می‌شود.
- g_{mt}: مقدار محصول نهایی که در کارخانه m در زمان t نگهداری می‌شود.
- h_{nt}: مقدار محصول نهایی که در انبار n در زمان t نگهداری می‌شود.
- a_{ikt}: اگر اولیه i توسط تامین‌کننده k در زمان t تهیه شود برابر ۱ و در غیر اینصورت صفر.
- β_{mt}: اگر کارخانه m در زمان t اقدام به تولید نماید برابر ۱ و در غیر اینصورت صفر.
- δ_{nt}: اگر انبار n در زمان t باز باشد برابر ۱ و در غیر اینصورت صفر.
- Φ_{mt}: ۱ اگر کارخانه با ظرفیت U_{m} در مکان m در زمان t ایجاد شود برابر ۱ و در در غیر اینصورت صفر.

مدل‌سازی زیر مدل استراتژیک

زیر مدل استراتژیک شبکه یکپارچه زنجیره‌تامین، ابزاری جهت تصمیم‌گیری‌های کلان در طراحی شبکه‌های تولید و توزیع است. با حل این زیر مدل تصمیماتی همچون انتخاب تامین‌کنندگان مواد اولیه حیاتی، ساخت کارخانه‌ها و انبارها اتخاذ می‌شود. تصمیمات استراتژیک معمولا در دوره‌های یک تا پنج ساله اخذ می‌شوند.

یک ویژگی منحصر بفرد تحقیق حاضر، انتخاب تامین‌کنندگان در دو مرحله می‌باشد. در رویکردهای جدید مشارکت با تامین‌کنندگان، مدیران زنجیره‌تامین تمایل به انتخاب تامین‌کنندگان مواد اولیه حیاتی دارند، زیرا در نهایت منجر به سود آوری بیشتر می‌شود که این مرحله در مدل‌سازی استراتژیک زنجیره‌تامین انجام می‌شود. این در حالی است که انتخاب تامین‌کنندگان مواد اولیه غیر حیاتی در سطح تاکتیکی قرار می گیرد. در مدل‌سازی سطح استراتژیک فرض می‌شود که داده‌های مورد نیاز برای مواد اولیه حیاتی به طور دقیق وجود دارد اما برای مواد اولیه غیر حیاتی چون تعداد تامین‌کننده متعدد می‌باشد به صورت میانگین محاسبه می‌شود. همانطورکه در مدل مفهومی تحقیق آمده است، تابع هدف زیر مدل استراتژیک به دنبال حداکثر سازی سود می‌باشد که به صورت زیر می‌باشد:

$$
\begin{aligned}
\max z = S^{FP} & \sum_{n=1}^{N}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} z_{npt} - \sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} c_{mt}^{CON}\Phi_{mt} - \sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} f_{mt}^{P}\beta_{mt} \\
& - \sum_{n=1}^{N}\sum_{t=1}^{T} f_{nt}^{W}\delta_{nt} - \sum_{i=1}^{\acute{I}}\sum_{k=1}^{\acute{K}}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} c_{ikt}^{R}\, w_{ikmt} \\
& - \sum_{i=\acute{I}+1}^{I}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} avc_{it}^{R}\, w_{imt} - \sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} c_{mt}^{FP} x_{mt} \\
& - \sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} (c_{mt}^{PQ+} e_{mt}^{+} + c_{mt}^{PQ-} e_{mt}^{-}) - \sum_{i=1}^{\acute{I}}\sum_{k=1}^{\acute{K}}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} c_{ikmt}^{SRP}\, w_{ikmt} \\
& - \sum_{i=\acute{I}+1}^{I}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} avc_{imt}^{SRP}\, w_{imt} - \sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N}\sum_{t=1}^{T} c_{mnt}^{SFW}\, y_{mnt} \\
& - \sum_{n=1}^{N}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} c_{npt}^{SFM}\, z_{npt} - \sum_{i=1}^{I}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} c_{imt}^{HRP}\, r_{imt} - \sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} c_{mt}^{HFP}\, g_{mt} \\
& - \sum_{n=1}^{N}\sum_{t=1}^{T} c_{nt}^{HFW}\, h_{nt}
\end{aligned}
\qquad \text{(رابطه ۱)}
$$

به طور کلی در تمام مدل‌های اقتصادی، سود کل برابر است با مابه التفاوت درآمد کل(TR) و هزینه کل(TC). بنابراین در زیر مدل استراتژیک تابع هدف به صورت $\text{Profit}^{\text{STR}} = TR^{\text{STR}} - TC^{\text{STR}}$ می‌باشد. در این تابع STR نماد استراتژیک می‌باشد. TR^{STR} از حاصلضرب تعداد محصول نهایی فروش رفته کل دوره در قیمت فروش هر واحد محصول. به عبارت دیگر دیگر:

رابطه ۲)
$$TR^{\text{STR}} = S^{FP} \sum_{n=1}^{N} \sum_{p=1}^{P} \sum_{t=1}^{T} z_{npt}$$

همچنین هزینه‌های کل شامل هزینه ساخت کارخانه (CN^{STR})، هزینه‌های ثابت عملیاتی کارخانه و انبار (FC^{STR})، هزینه خرید مواد اولیه (RM^{STR})، هزینه متغیر تولید (PC^{STR})، هزینه تغییر در مقدار تولید (PQ^{STR})، هزینه حمل و نقل (SC^{STR}) و هزینه‌های نگهداری (HC^{STR}) می‌باشد. به عبارت دیگر هزینه کل (TC^{STR}) در افق زمانی مشخص برابر است با $TC^{\text{STR}} = CN^{\text{STR}} + FC^{\text{STR}} + RM^{\text{STR}} + PC^{\text{STR}} + PQ^{\text{STR}} + SC^{\text{STR}} + HC^{\text{STR}}$ در ادامه به تشریح هریک از هزینه‌ها پرداخته می‌شود.

هزینه ساخت کارخانه $CN^{\text{STR}} = \sum_{m=1}^{M} \sum_{t=1}^{T} c_{mt}^{CON} \Phi_{mt}$ است. که هزینه c_{mt}^{CON} مربوط به هزینه ساخت کارخانه با ظرفیت U_m در مکان m و متغیر صفر و یک Φ_{mt} نشان می‌دهد که کارخانه با ظرفیت U_m در مکان m در زمان t ساخته می‌شود یا خیر. قسمت بعدی هزینه‌ها مربوط به هزینه ثابت عملیاتی در زیر مدل استراتژیک (FC^{STR}) برای تولیددر کارخانه m و کالاهای نگهداری شده در انبار n به صورت $FC^{\text{STR}} = \sum_{m=1}^{M} \sum_{t=1}^{T} f_{mt}^{P} \beta_{mt} + \sum_{n=1}^{N} \sum_{t=1}^{T} f_{nt}^{W} \delta_{nt}$ مصاحبه می‌شود.

در این مدل فرض می‌شود که تعداد محدودی از تامین‌کنندگان توانایی فراهم آوردن مواد اولیه حیاتی را دارند، این در حالیست که تعداد زیادی از تامین‌کنندگان می‌توانند مواد اولیه غیر حیاتی را تامین کنند. علاوه بر این هر تامین‌کننده بالقوه مواد اولیه حیاتی توانایی فراهم آوردن همه مواد اولیه حیاتی و غیر حیاتی را دارد، در حالی که تامین‌کننده بالقوه مواد اولیه غیر حیاتی می‌تواند همه مواد اولیه غیر حیاتی را تامین نماید. در مقابل تامین‌کنندگان مواد اولیه غیر حیاتی که تعداد آنها زیاد می‌باشد با استفاده از حل زیر مدل تاکتیکی انتخاب می شوند. برای مواد غیر حیاتی فرض می‌شود که هزینه خرید و انتقال آنها برای همه تامین‌کنندگان بالقوه تخمین زده می‌شود. بنابراین در زیر مدل استراتژیک، هزینه خرید مواد (RM^{STR}) حاصل مجموع خرید مواد اولیه حیاتی و خرید مواد اولیه غیر حیاتی در تمام دوره برنامه‌ریزی می‌باشد. پس:

رابطه ۳)
$$RM^{\text{STR}} = \sum_{i=1}^{\acute{I}} \sum_{k=1}^{\acute{K}} \sum_{m=1}^{M} \sum_{t=1}^{T} c_{ikt}^{R} w_{ikmt} + \sum_{i=\acute{I}+1}^{I} \sum_{m=1}^{M} \sum_{t=1}^{T} avc_{it}^{R} w_{imt}$$

در اینجا مواد اولیه حیاتی در دامنه ۱ تا Í مشخص شده اند، در حالیکه مواد اولیه غیر حیاتی در دامنه $\acute{I}+1$ تا I نشان داده می‌شوند. همچنین تامین‌کنندگان بالقوه مواد اولیه حیاتی در دامنه ۱ تا Ḱ و تامین کنندگانی که می‌توانند مواد اولیه غیر حیاتی را تهیه کنند در دامنه $\acute{K}+1$ تا K نشان داده شده اند (تامین‌کنندگان ۱ تا K توانایی خرید مواد اولیه غیر حیاتی را نیز دارند).

هزینه متغیر تولید (PC^{STR}) از مجموع حاصلضرب تعداد محصول نهایی تولید شده در هزینه متغیر تولید هر واحد بدست می‌آید: $PC^{\mathrm{STR}}=\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T}c_{mt}^{FP}x_{mt}$. هزینه تغییر مقدار تولید (PQ) مربوط به تغییرات نیروی کار، راه اندازی و یا از کارانداختن تجهیزات تولید و یا دیگر عوامل تولید در هر زمانی می‌باشد که سبب افزایش و یا کاهش مقدار تولید در هر دوره نسبت به دوره قبل می‌شود. این هزینه (در دوره t) عبارتست از:$PQ=|x_{mt}-x_{mt-1}|$

در اینجا $|x_{mt}-x_{mt-1}|$ بیانگر تغییرات در مقدار تولید در کاخانه m از دوره $\mathrm{t}-1$ تا t می‌باشد. استفاده از عملگر قدر مطلق در اینجا مدل را غیر خطی کرده و از استفاده دوباره هزینه‌ها برای افزایش یا کاهش مقدار تولید جلوگیری می‌کند. به منظور اجتناب از غیر خطی کردن آن، تغییر متغیر را ایجاد می‌کنیم:$x_{mt}-x_{mt-1}=$ $e_{mt}=e_{mt}^{+}-$ e_{mt} ,$m=1,\dots,M$,$t=1,\dots,T$ علاوه بر این متغیر نامقید e_{mt} نیز به صورت e_{mt}^{-} ,$m=1,\dots,M$,$t=1,\dots,T$ تعریف می‌شود. هنگامی که هزینه هر واحد تغییر در مقدار تولید مشخص باشد، هزینه کل تغییر در مقدار تولید در دوره برنامه‌ریزی به صورت $PQ^{STR}=\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T}(c_{mt}^{PQ+}e_{mt}^{+}+c_{mt}^{PQ-}e_{mt}^{-})$ می‌باشد. از آنجاییکه تابع هدف به دنبال حداقل سازی هزینه‌ها می‌باشد، فقط یکی از متغیرهای e_{mt}^{+} و e_{mt}^{-} مقدار مثبت می‌گیرد و دیگری صفر می‌شود. همچنین اگر تولید در کارخانه m در زمان t انجام شود، فرض می‌شودکه تولید از مقدار صفر به x_{m1} در دوره اول افزایش می یابد. بنابراین:$x_{m0}=$ 0 ,$m=1,\dots,M$

هزینه حمل (SC^{STR}) شامل هزینه‌های مربوط به حمل مواد اولیه حیاتی و غیر حیاتی از همه تامین‌کنندگان به همه کارخانه‌ها، انتقال محصول نهایی از همه کارخانه‌ها به همه انبارها و انتقال محصول نهایی از همه انبارها به همه بازارها در طی دوره برنامه‌ریزی می‌باشد. خاطر نشان می‌شود که در زیر مدل استراتژیک هزینه حمل مواد اولیه غیر حیاتی به صورت برآوردی وجود دارد و تامین‌کننده خاصی وجود ندارد. هزینه کلی حمل و نقل به صورت زیر می‌باشد:

رابطه ۴)
$$SC^{STR}=\sum_{i=1}^{\acute{I}}\sum_{k=1}^{\acute{K}}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T}c_{ikmt}^{SRP}w_{ikmt}+\sum_{i=\acute{I}+1}^{I}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T}avc_{imt}^{SRP}w_{imt}+\sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N}\sum_{t=1}^{T}c_{mnt}^{SFW}y_{mnt}+\sum_{n=1}^{N}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T}c_{npt}^{SFM}z_{npt}$$

هزینه نگهداری (HC^{STR}) مربوط به نگهداری مواد اولیه حیاتی و غیر حیاتی و محصول نهایی در کارخانه‌ها و نگهداری محصول نهایی در انبارها می‌باشد که:

$$HC^{STR} = \sum_{i=1}^{I}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} c_{imt}^{HRP} r_{imt} + \sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} c_{mt}^{HFP} g_{mt} + \sum_{n=1}^{N}\sum_{t=1}^{T} c_{nt}^{HFW} h_{nt} \quad \text{رابطه ۵)}$$

محدودیت‌های زیر مدل استراتژیک

در زنجیره‌تأمین استراتژیک با هدف مشخص، محدودیت‌هایی برای ظرفیت، جریان مواد و محصول نهایی وجود دارد که در ادامه به شرح آنها پرداخته خواهد شد.

انتخاب و در دسترس پذیری تامین‌کنندگان مواد اولیه: در مدل‌سازی زیر مدل استراتژیک فرض می‌شود که جزییات اطلاعات (مانند هزینه) تامین‌کنندگان مواد اولیه حیاتی مشخص می‌باشد. بنابراین، میزان مواد اولیه حیاتی خریداری شده و انتقال داده شده به همه کارخانه‌ها باید از ظرفیت عرضه هر یک از تامین‌کنندگان در هر دوره کمتر یا برابر باشد. از اینرو این محدودیت را می‌توان به صورت $\sum_{m=1}^{M} w_{ikmt} \le C_{ikt}^{RS} a_{ikt},\ i = 1, \dots, \acute{I}; k = 1, \dots, \acute{K}; t = 1, \dots, T$ بیان نمود. در این محدودیت $\acute{I} \le I$ تعداد انواع مواد اولیه حیاتی، و $\acute{K} \le K$ تعداد تامین‌کنندگان مواد اولیه حیاتی را نشان می دهد. علاوه بر این در مدل فرض می‌شود که مواد اولیه حیاتی فقط از تامین‌کنندگانی که به عنوان منبع مواد اولیه حیاتی مشخص شده اند خریداری شود. به عبارت دیگر مواد اولیه حیاتی نمی‌توانند از تمام عرضه‌کنندگان در بازار خریداری شوند که شامل تامین‌کنندگان $\acute{K} + 1$ تا K می‌باشند. این محدودیت با اعمال متغیرهای w_{ikmt} و a_{ikt} با دامنه نامحدود در زیر مدل استراتژیک بیان می‌شود. هنگام انتخاب تامین‌کنندگان مواد اولیه حیاتی در فاز طراحی زنجیره‌تامین برای مواد اولیه که کمیاب هستند، فرض می‌شود که حداقل مقدار خرید نیز با انتخاب تامین‌کننده همراه باشد. بنابراین محدودیت متناظر با این عبارت به صورت: $\sum_{m=1}^{M} w_{ikmt} \ge W_{ik}^{min} a_{ikt},\ i = 1, \dots, \acute{I}; k = 1, \dots, \acute{K}; t = 1, \dots, T$ بیان می‌شود. W_{ik}^{min} برابر است با حداقل مقدار مواد اولیه i که از تامین‌کننده k زمانی که تامین‌کننده k برای ماده اولیه i در هر دوره ای انتخاب شده باشد (فرض می‌شود که حداقل مقدار خرید در دوره‌های زمانی ثابت است). برای مواد اولیه غیر حیاتی اطلاعات به صورت کلی بازار برای مدل‌سازی فاز طراحی موجود می‌باشد. بنابراین، میزان مواد اولیه غیر حیاتی خریداری شده و انتقال داده شده به همه کارخانه‌ها باید از مقدار موجود در بازار در هر دوره کمتر یا برابر باشد. از اینرو این محدودیت را برای مواد اولیه غیر خیاتی می‌توان به صورت $\sum_{m=1}^{M} w_{imt} \le C_{it}^{RS},\ i = \acute{I} + 1, \dots, I;\ t = 1, \dots, T$ بیان نمود. همانند مواد اولیه حیاتی، متغیر w_{imt}، نشان می‌دهد که لزوما مواد اولیه غیر حیاتی از تامین‌کنندگان خاصی خرید نمی‌شود.

محدودیت ایجاد کارخانه: یک قسمت از مسئله طراحی زنجیره‌تامین در زیر مدل استراتژیک، زمان و مکان ایجاد کارخانه بر مبنای هزینه و تقاضا است. در مکان m، یک کارخانه با ظرفیت تولید U_m می‌تواند ایجاد شود. به عبارت دیگر: $\sum_{t=1}^{T} \emptyset_{mt} \le 1,\ m = 1, \dots, M$. همچنین محدودیت $\sum_{\tau=1}^{t} \emptyset_{m\tau} \ge \beta_{mt},\ m = 1, \dots, M;\ t = 1, \dots, T$ نشان می‌دهد اگر یک کارخانه در مکان m و در زمان t ایجاد شد، عملیات تولید در این کارخانه می‌تواند در دوره t یا دوره‌های بعد از آن انجام شود.

محدودیت ظرفیت کارخانه: هر کارخانه بالقوه در مکان m داری حداکثر ظرفیت تولید U_m می‌باشد. در اینجا فرض می‌شود که مدیران ظرفیت کارخانه (در مرحله طراحی) را به درصدی از ظرفیت حداکثری آن به منظور گسترش ظرفیت در آینده محدود می‌کنند. بنابراین محدودیت ظرفیت کارخانه m زمان t به صورت $x_{mt} \le uU_m\beta_{mt}$, $m = 1, \dots, M$; $t = 1, \dots, T$ می‌باشد. در اینجا u به عنوان یک عامل ظرفیت تولید و متغیر صفر و یک β_{mt} نشان می‌دهد که کارخانه m در زمان t اقدام به تولید نماید یا خیر. برای مثال اگر مدیران زنجیره‌تامین بخواهند ۹۰٪ حداکثر ظرفیت کارخانه تولید کنند، $u = 90$ خواهد شد. بنابراین به منظور تولید کارخانه در زمان t، کارخانه m باید حداقل v_m محصول نهایی تولید شود. پس: $x_{mt} \ge v_m\beta_{mt}$, $m = 1, \dots, M$; $t = 1, \dots, T$.

محدودیت تغییرات مقدار تولید: همانطور که در قسمت هزینه‌های تغییرات مقدار تولید گفته شد، این هزینه‌ها زمانی رخ می دهد که مقدار تولید در زمان t نسبت به دوره ماقبل آن تغییر کرده باشد. برای خطی کردن روابط موجود نیاز به انجام تغییر متغیر زیر می‌باشد:

رابطه ۶)
$$\begin{aligned} x_{mt} - x_{mt-1} &= e_{mt} \quad , m = 1, \dots, M \ ; \ t = 1, \dots, T \\ e_{mt} &= e^{+}_{mt} - e^{-}_{mt} \quad , m = 1, \dots, M \ ; \ t = 1, \dots, T \\ x_{m0} &= 0 \quad , m = 1, \dots, M \end{aligned}$$

محدویت نگهداری جریان کارخانه (مواد اولیه): میزان مواد اولیه که به عنوان موجودی در کارخانه m در طول دوره t نگهداری می‌شود برابر است با مقدار مواد اولیه کارخانه m در دوره قبل به علاوه مقدار مواد اولیه که در طی همین دوره به کارخانه m انتقال داده شد منهای مقدار مواد اولیه مصرف شده همین دوره در کارخانه m. بنابراین دو محدودیت زیر نگهداری از مواد اولیه حیاتی و غیر حیاتی را نشان می دهد. همچنین فرض می‌شود که r_{im0} به عنوان موجودی ماده اولیه i اول دوره کارخانه m می‌باشد، داریم:

رابطه ۷)
$$\begin{aligned} r_{im(t-1)} + \sum_{k=1}^{\acute{K}} w_{ikmt} - a_i x_{mt} &= r_{imt} \ , i = 1, \dots, \acute{I}; \ m = 1, \dots, M \ ; \ t = 1, \dots, T \\ r_{im(t-1)} + w_{imt} - a_i x_{mt} &= r_{imt} \ , i = \acute{I} + 1, \dots, I; \ m = 1, \dots, M \ ; \ t = 1, \dots, T \end{aligned}$$

محدویت ظرفیت مواد اولیه در کارخانه: فرض می‌شود که ظرفیت نگهداری مواد اولیه در کارخانه مشخص می‌باشد. بنابراین مقدار مواد اولیه i در کارخانه m در دوره t به ظرفیت موجودی محدود می‌شود. پس بار دیگر متغیر صفر و یک β_{mt} برای نشان دادن تولید در کارخانه m در دوره t بکار می‌رود. پس: $r_{imt} \le C^{HRP}_{imt}\beta_{mt}$, $i = 1, \dots, I$; $m = 1, \dots, M$; $t = 1, \dots, T$

محدویت نگهداری جریان کارخانه (محصول نهایی): همانند مواد اولیه، نیاز است جریانی از محصول نهایی در همه کارخانه‌ها نگهداری شود. به عبارت دیگر مقدار محصول نهایی که در کارخانه m در دوره t نگهداری می‌شود برابر است با تعداد محصول نهایی موجود در انبار کارخانه m در دوره گذشته به علاوه تعداد محصول نهایی ساخته شده کارخانه m در دوره فعلی منهای تعداد کل محصول نهایی انتقال داده شده به همه انبارها از کارخانه m در طول دوره t

همانند مواد اولیه، فرض می‌شود که g_{m0} به عنوان موجودی محصول نهایی اول دوره کارخانه m می‌باشد. بنابراین: $g_{m(t-1)} + x_{mt} - \sum_{n=1}^{N} y_{mnt} = g_{mt} \ , m = 1, \dots, M \ ; \ t = 1, \dots, T$.

محدویت ظرفیت محصول نهایی در کارخانه: در این زیرمدل ظرفیت محصول نهایی در تمام کارخانه‌ها بکار می‌رود. پس: t در دوره m برای نشان دادن تولید در کارخانه β_{mt}مشخص و محدود می‌باشد. متغیر صفر و یک . همچنین فرض شده است که کارخانه $g_{mt} \leq C_{mt}^{HFP} \beta_{mt} \ , \ m = 1, \dots, M \ ; \ t = 1, \dots, T$

برای انتقال محصول نهایی به انبارهای باز اقدام به تولید نماید که میزان ظرفیت انتقال خروجی با متغیر t در دوره m $\sum_{n=1}^{N} y_{mnt} \leq R_m^{PLANT} \beta_{mt} \ , \ m = 1, \dots, M \ ; \ t = 1, \dots, T$ نشان داده می‌شود. به عبارت دیگر: R_m^{PLANT}

محدویت نگهداری جریان انبار (محصول نهایی): همانند جریان محصول نهایی در کارخانه، مقدار محصول نهایی در انبار n در دوره t نگهداری می‌شود برابر است با تعداد محصول نهایی موجود در انبار n در دوره گذشته به علاوه تعداد محصول نهایی ساخته شده انتقال یافته از همه کارخانه‌ها به انبار n در دوره فعلی منهای تعداد کل محصول نهایی انتقال داده شده از انبار n به همه مشتری‌ها در طول دوره t می‌باشد. فرض می‌شود که h_{n0} به عنوان موجودی محصول نهایی اول دوره انبار n می‌باشد. بنابراین:

$$h_{n(t-1)} + \sum_{m=1}^{M} y_{mnt} - \sum_{p=1}^{P} z_{npt} = h_{nt} \ , n = 1, \dots, N \ ; \ t = 1, \dots, T \qquad \text{رابطه ۸)}$$

همچنین انبار n در دوره t باید برای دریافت محصول نهایی از کارخانه‌ها باز باشد. به عبارتی:

$\sum_{m=1}^{M} y_{mnt} \leq R_n^{INW} \delta_{nt} \ , \ n = 1, \dots, N \ ; \ t = 1, \dots, T$. متغیر R_n^{INW} ظرفیت انتقال ورودی انبار n در دوره t و متغیر صفر و یک δ_{nt} نشان می دهد که آیا انبار n در طی دوره t باز است یا خیر.

محدویت انتخاب و ظرفیت انبار: تعداد محصول نهایی که به عنوان موجودی در انبار n در طی دوره t محدود می‌باشد. بنابراین $h_{nt} \geq C_{nt}^{HFW} \delta_{nt} \ \ , \ n = 1, \dots, N \ ; \ t = 1, \dots, T$. همچنین اگر انبار n در دوره t باز باشد، باید حداقل q_n واحد از محصول نهایی را در خود نگهداری کند. $h_{nt} \geq q_n \delta_{nt} \ \ , \ n = 1, \dots, N \ ; \ t = 1, \dots, T$. علاوه بر این، هر انبار باز می‌تواند با ظرفیت R_n^{OUTW} محصول نهایی را از خود خارج کند. بنابراین:$\leq \sum_{p=1}^{P} z_{npt}$ $R_n^{OUTW} \delta_{nt} \ , \ n = 1, \dots, N \ ; \ t = 1, \dots, T$.

موجودی محصول در پایان دوره: طبق برنامه‌ریزی انجام شده در عملیات زنجیره‌تامین نیاز است که در پایان هر دوره مقداری محصول نهایی به عنوان موجودی در انبار نگهداری شود. پس مجموع موجودی محصول در همه کارخانه‌ها و انبارها در پایان دوره باید بزرگتر یا مساوری کسری از تقاضای دوره پایانی باشد. داریم: $\geq \sum_{m}^{M} g_{mT} + \sum_{n}^{N} h_{nT}$ $h^{FIN} \sum_{p}^{P} d_{pT} \ , \ 0 \leq h^{FIN} \leq 1$.

محدودیت تقاضا: در فاز طراحی مدیران زنجیره‌تامین درصدد ایجاد زیرساختی برای پاسخگویی به تقاضای بازار هستند. در زیر مدل استراتژیک مقدار محصول ارسال شده به هر بازار نباید بیش از تقاضای بازار در همان دوره باشند. به

عبارت دیگر، مقدار محصول انتقال یافته از همه انبارها به بازار $\boldsymbol{p}$ در دوره $\boldsymbol{t}$ نباید کمتر یا مساوی تقاضای بازار $\boldsymbol{p}$ در دوره $\boldsymbol{t}$ باشد. بنابراین: $\sum_{n=1}^{N} z_{npt} \leq d_{pt} \ , \ p = 1, \dots, P \ ; \ t = 1, \dots, T$.

همچنین وضعیت متغیرهای تصمیم نیز به صورت زیر خواهد بود:

$$
\begin{aligned}
&w_{imt} \geq 0 \ , i = \acute{I} + 1, \dots, I; \ \ m = 1, \dots, M \ ; \ t = 1, \dots, T \\
&w_{imt} \geq 0 \ , i = 1, \dots, \acute{I}; \ m = 1, \dots, M \ ; \ t = 1, \dots, T \\
&w_{ikmt} \geq 0 \ , i = 1, \dots, \acute{I}; \ k = 1, \dots, K \ ; m = 1, \dots, M \ ; \ t = 1, \dots, T \\
&w_{ikmt} \geq 0 \ , i = 1, \dots, \acute{I}; \ k = \acute{K} + 1, \dots, K; \ m = 1, \dots, M \ ; \ t = 1, \dots, T \\
&w_{ikmt} \geq 0 \ , i = \acute{I} + 1, \dots, I; k = 1, \dots, \acute{K} \ ; \ m = 1, \dots, M \ ; \ t = 1, \dots, T \\
&x_{mt}, e_{mt}^{+}, e_{mt}^{-}, y_{mnt}, z_{npt}, r_{imt}, g_{mt}, h_{nt} \geq 0 \ , \forall \ i, m, n, p, t \\
&e_{mnt}: free \ , \qquad m = 1, \dots, M \ ; \ t = 1, \dots, T \\
&\alpha_{ikt}: 0 \ or \ 1 \ , i = 1, \dots, \acute{I}; \ k = 1, \dots, \acute{K} \ ; \ t = 1, \dots, T \\
&\alpha_{ikt}: 0 \ or \ 1 \ , i = 1, \dots, \acute{I}; \ k = \acute{K} + 1, \dots, K; \ t = 1, \dots, T \\
&\alpha_{ikt}: 0 \ or \ 1 \ , i = \acute{I} + 1, \dots, I; k = 1, \dots, K \ ; \ t = 1, \dots, T \\
&\beta_{mt}, \delta_{nt}, \emptyset_{mt} : 0 \ or \ 1 \ , m = 1, \dots, M, n = 1, \dots, N \ ; \ t = 1, \dots, T
\end{aligned}
$$

رابطه ۹)

زیر مدل تاکتیکی

هنگامی که تصمیم‌گیری زیرساخت‌های زنجیره‌تامین مد نظر است، هزینه‌ها، مقدار تقاضا، عرضه کننده کالا خاص، داده‌ها مواد اولیه غیر حیاتی و حمل و نقل مواد اولیه و محصولات نهایی برای طراحی و عملیات زنجیره‌تامین نیاز است. بنابراین، در حالی که در زیر مدل استراتژیک انتخاب تامین‌کننده مواد اولیه حیاتی مطلوب و تعیین زیرساخت‌های کلی زنجیره‌تامین را مورد بررسی قرار می‌گیرد، زیر مدل تاکتیکی فرموله می‌شود و به حل مدل برای انتخاب تامین‌کنندگان مواد اولیه غیرحیاتی، و مقدار بهینه تولید محصول نهایی و حمل و نقل محصول و موجودی می‌پردازد. به منظور ارتباط دو زیر مدل، انتخاب تامین‌کننده مواد اولیه حیاتی، مکان کارخانه و انبار و مقدار تولید بهینه تعیین شده در زیر مدل استراتژیک به عنوان ورودی به زیر مدل تاکتیکی، با توابع تعریف شده مقادیر تولید بهینه در زیر مدل استراتژیک به عنوان محدودیت ظرفیت تولید در زیر مدل تاکتیکی استفاده می‌شود.

در مرحله عملیاتی این سناریو زنجیره تامین، مدیران به دنبال به حداقل رساندن زمان پاسخ کلی زنجیره‌تامین هستند. این هدف، در اینجا به حداقل رساندن زمان کل حمل و نقل مواد اولیه و محصول نهایی تفسیر می‌شود، این هدف به خصوص برای مواد فاسد شدنی و یا محصولاتی مانند مواد غذایی و دارو مهم است. فرض بر این است که مدیران زنجیره‌تامین در حال حاضر جهت پاسخگویی دقیق به تقاضای مشتری / بازار تمایل به تولید بیش از حد و اجتناب از کمبود دارند. ضمنا، مدیران قادر به توسعه یک هدف سود بر اساس مقدار سود بهینه تعیین شده در راه حل زیر مدل استراتژیک هستند. به این ترتیب،زیرمدل تاکتیکی برای انعکاس تمایل مدیران زنجیره‌تامین، به منظور به حداقل رساندن انحراف از سود، تقاضا، و اهداف زمان پاسخ به بیشترین حد ممکن طراحی شده است. بنابراین اهداف متعددی در زیر مدل تاکتیکی با استفاده از برنامه‌ریزی خطی آرمانی مدل‌سازی می‌شود. مزیت قابل توجه این روش بکارگیری محدودیت‌های هدف، که برای حداقل کردن انحراف از میزان هدف استفاده می‌شود. از این رو، سه هدف دستیابی یک

سطح سود خاص، پاسخگویی تقاضای مشتری، و به حداقل رساندن زمان حمل و نقل به عنوان محدودیت‌های آرمان در زیر مدل تاکتیکی بیان شده است. از آنجایی که طول یک دوره زمانی بین دو زیر مدل متفاوت است، ورودی به زیر مدل تاکتیکی به دست آمده از راه حل به زیر مدل استراتژیک باید کوچک و مناسب تعدیل شود. همچنین فرض شده است که همه نماد در زیر مدل تاکتیکی مربوط به دوره‌های زمانی کوتاه تر هستند، در غیر این صورت بیان می‌شود. به طور کلی زیر مدل تاکتیکی از همان نمادهای ارائه شده در زیر مدل استراتژیک استفاده می‌کند. هرچند که اطلاعات جدید بعد از ایجاد زیرساخت زنجیره‌تامین در زیر مدل استراتژیک در دسترس قرار می‌گیرد داده‌های دیگری نیز مورد نیاز می‌باشد. این داده‌ها عبارتند از:

b_{ikm}^{TRP}: زمان حمل هر واحد مواد اولیه i از تامین‌کننده k به کارخانه m.

b_{mn}^{TFW}: زمان حمل هر محصول نهایی از کارخانه m به انبار n.

b_{np}^{TFM}: زمان حمل هر محصول نهایی از نبار n به بازار p.

C_{mt}^{FP}: ظرفیت تولید در کارخانه m در زمان t.

t^{TAC}: تعداد دوره‌های زمانی در زیر مدل تاکتیکی که شامل یک دوره زمانی در زیر مدل استراتژیک می‌شود.

Y: هدف آرمانی که در زیر مدل استراتژیک مشخص شده است.

علاوه بر داده‌های بالا، چند متغیر تصمیم نیز در زیر مدل تاکتیکی اضافه شده است:

d_{dem-pt}^{-}: متغیر انحراف منفی مرتبط با تقاضا در بازار p در زمانt.

d_{profit}^{+}: متغیر انحراف مثبت سود آرمانی.

d_{profit}^{-}: متغیر انحراف منفی سود آرمانی.

d_{time}^{+}: متغیر انحراف مثبت زمان انتقال آرمانی.

d_{time}^{-}: متغیر انحراف منفی زمان انتقال آرمانی.

محدودیت‌های آرمانی زیر مدل تاکتیکی

همانطور که گفته شد سه محدودیت آرمانی در زیر مدل تاکتیکی برای اهداف سطح مشخص سود، پاسخگویی دقیق به تقاضا و حداقل کردن زمان حمل و انتقال در نظر گرفته می‌شود، که در ادامه به تشریح آنها پرداخته می‌شود:

محدودیت آرمانی بهینه کردن سود: با استفاده از مقدار بهینه سود حاصل از حل زیر مدل استراتژیک، مدیران زنجیره‌تامین می‌توانند از آن به عنوان هدف آرمانی در زیر مدل تاکتیکی استفاده کنند. همانند زیر مدل استراتژیک، سود از مابه التفاوت درآمد کل و هزینه کل بدست می‌آید. بار دیگر، درآمد کل به صورت $TR^{TAC} = S^{FP}\sum_{n=1}^{N}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} z_{npt}$ تعریف می‌شود. در این تابع TAC که در بالای TR آمده نشان دهنده تاکتیکی بودن تابع می‌باشد و همچنین تابع هزینه‌ها نیز به صورت زیر می‌باشد:

$$TC^{TAC} = CN^{TAC} + FC^{TAC} + RM^{TAC} + PC^{TAC} + PQ^{TAC} + SC^{TAC} + HC^{TAC} \quad \text{رابطه ۱۰)}$$

از آنجایی که ممکن است برخی از هزینه‌های مرتبط در طی حل زیر مدل استراتژیک تغییر کنند، نیاز است که هزینه‌های زیر مدل تاکتیکی دوباره محاسبه شوند که در ادامه به آنها پرداخته خواهد شد.

هزینه‌های ساخت: همانطور که در زیر مدل استراتژیک بیان شد، هزینه c_{mt}^{CON} مربوط به هزینه ساخت کارخانه با ظرفیت U_m در مکان m می‌باشد. از طریق حل زیر مدل استراتژیک مقدار متغیر صفر و یک Φ_{mt} بدست می‌آید که نشان می‌دهد آیا کارخانه در مکان m در زمان t ساخته شود یا خیر. بنابراین هزینه ساخت کارخانه عبارتست از:

$$CN^{STR} = \sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} c_{mt}^{CON}\Phi_{mt}$$

با حل زیر مدل استراتژیک متغیر Φ_{mt} برای همه mها و tها بدست می‌آید. در اینجا، فرض بر این است که اگر یک کارخانه در یک دوره معین زیرمدل استراتژیک ساخته شود مطابق با دوره متناسب با آن در زیر مدل تاکتیکی ساخته می‌شود. برای مثال، فرض می‌شود که دوره‌های زمانی در زیر مدل استراتژیک و تاکتیکی به ترتیب سال و فصل می‌باشد. سپس اگر کارخانه m در زیر مدل استراتژیک در سال دوم ساخته شود، در زیر مدل تاکتیکی در فصل پنجم ساخته می‌شود. همچنین به طور مشابه هزینه ساخت کارخانه در سال دوم در زیر مدل استراتژیک با هزینه ساخت کارخانه در زیر مدل تاکتیکی در فصل پنچم برابر می‌باشد.

هزینه عملیاتی ثابت برای کارخانه‌ها و انبارها: در زیر مدل تاکتیکی، هزینه ثابت (FC^{TAC}) زمانی که کارخانه m برای تولید و انبار n برای نگهداری موجودی مورد استفاده قرار گیرد، در نظر گرفته می‌شود. این هزینه‌ها در زیر مدل تاکتیکی با مقادیر بدست آمβ_{mt}ده و δ_{nt} برای کارخانه m و انبار n در زمان t بصورت زیر محاسبه می‌شود. در این تابع متغیرهای صفر و یک β_{mt} و δ_{nt} برای همه m، n و t در زیر مدل استراتژیک بدست می‌آید.

$$FC^{TAC} = \sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} f_{mt}^{P}\beta_{mt} + \sum_{n=1}^{N}\sum_{t=1}^{T} f_{nt}^{W}\delta_{nt} \qquad \text{رابطه ۱۱)}$$

هزینه مواد اولیه: بعد از حل زیر مدل استراتژیک، تامین‌کنندگان مواد اولیه حیاتی انتخاب می‌شوند که در حقیقت شرکای استراتژیک در فاز طراحی زنجیره‌تامین محسوب می‌شوند. بنابراین اطلاعات مربوط به تامین‌کنندگان مواد اولیه حیاتی و مواد اولیه غیر حیاتی (مانند هزینه و دسترس پذیری مواد) در شروع فاز طراحی زنجیره‌تامین مشخص می‌باشند. پس، میزان انتقال مواد اولیه و هزینه آن ممکن است در حل زیر مدل تاکتیکی تغییر یابد. میزان انتقال مواد اولیه حیاتی و غیر حیاتی برای محاسبه هزینه کلی مواد اولیه در فرمول زیر استفاده می‌شود:

$$RM^{TAC} = \sum_{i=1}^{\acute{I}}\sum_{k=1}^{\acute{K}}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} c_{ikt}^{R}\, w_{ikmt} + \sum_{i=\acute{I}+1}^{I}\sum_{k=1}^{K}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} c_{ikt}^{R}\, w_{ikmt} \qquad \text{رابطه ۱۲)}$$

هزینه متغیر تولید: هزینه متغیر تولید (PC^{TAC}) از مجموع حاصلضرب تعداد محصول نهایی تولید شده در هزینه متغیر تولید هر واحد بدست می‌آید. $PC^{TAC} = \sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} c_{mt}^{FP} x_{mt}$

هزینه تغییر مقدار تولید: همانند زیر مدل استراتژیک، برای یکنواخت کردن مقدار تولید در دو دوره متوالی تلاش می‌شود و برای خطی کردن روابط نیاز است تغییر متغیر صورت گیرد. هزینه کل تغییر مقدار تولید در طول افق برنامه‌ریزی به صورت زیر می‌باشد:

رابطه ۱۳)
$$PQ^{TAC} = \sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T}(c_{mt}^{PQ+} e_{mt}^{+} + c_{mt}^{PQ-} e_{mt}^{-})$$
$$x_{mt} - x_{mt-1} = e_{mt} \quad , m = 1, \dots, M \ , t = 1, \dots, T$$
$$e_{mt} = e_{mt}^{+} - e_{mt}^{-} \quad , m = 1, \dots, M \ , t = 1, \dots, T$$
$$x_{m0} = 0 \quad , m = 1, \dots, M$$

هزینه‌های حمل و نقل مواد اولیه و محصول نهایی: هزینه حمل (SC^{TAC}) شامل هزینه‌های مربوط به حمل مواد اولیه حیاتی و غیر حیاتی از همه تامین‌کنندگان به همه کارخانه‌ها، انتقال محصول نهایی از همه کارخانه‌ها به همه انبارها و انتقال محصول نهایی از همه انبارها به همه بازارها در کل دوره برنامه‌ریزی می‌باشد. پس:

رابطه ۱۴)
$$SC^{TAC} = \sum_{i=1}^{\acute{I}}\sum_{k=1}^{\acute{K}}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} c_{ikmt}^{SRP} w_{ikmt} + \sum_{i=\acute{I}+1}^{I}\sum_{K=1}^{K}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} c_{ikmt}^{SRP} w_{imt} + \sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N}\sum_{t=1}^{T} c_{mnt}^{SFW} y_{mnt} + \sum_{n=1}^{N}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} c_{npt}^{SFM} z_{npt}$$

هزینه نگهداری مواد اولیه و محصول نهایی در کارخانه و انبارها: هزینه نگهداری (HC^{TAC}) مربوط به نگهداری مواد اولیه و محصول نهایی در کارخانه‌ها و نگهداری محصول نهایی در انبارها می‌باشد که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

رابطه ۱۵)
$$HC^{TAC} = \sum_{i=1}^{I}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} c_{imt}^{HRP} r_{imt} + \sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} c_{mt}^{HFP} g_{mt} + \sum_{n=1}^{N}\sum_{t=1}^{T} c_{nt}^{HFW} h_{nt}$$

در مدل‌سازی و حل زیر مدل تاکتیکی، مدیران زنجیره‌تامین به دنبال این هستند که حداقل مقدار سود بدست آمده در زیر مدل استراتژیک را کسب کنند. برای تابع هدف مدل زیر مدل تاکتیکی مقدار سود آرمانی برابر Y در نظر گرفته می‌شود. بنابراین محدودیت آرمانی برای زیر مدل تاکتیکی با توجه به توضیحات بالا به صورت رابطه ۱۶ می‌باشد:

$$S^{FP}\sum_{n=1}^{N}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} z_{npt} - \sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} c_{mt}^{CON}\Phi_{mt} - \sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} f_{mt}^{P}\beta_{mt} + \sum_{n=1}^{N}\sum_{t=1}^{T} f_{nt}^{W}\delta_{nt} - \sum_{i=1}^{\acute{I}}\sum_{k=1}^{\acute{K}}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} c_{ikt}^{R}\, w_{ikmt} - \sum_{i=\acute{I}+1}^{I}\sum_{k=1}^{K}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} c_{ikt}^{R}\, w_{ikmt} - \sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} c_{mt}^{FP} x_{mt} - \sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} (c_{mt}^{PQ+} e_{mt}^{+} + c_{mt}^{PQ-} e_{mt}^{-}) - \sum_{i=1}^{\acute{I}}\sum_{k=1}^{\acute{K}}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} c_{ikmt}^{SRP}\, w_{ikmt} - \sum_{i=\acute{I}+1}^{I}\sum_{K=1}^{K}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} c_{ikmt}^{SRP}\, w_{imt} - \sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N}\sum_{t=1}^{T} c_{mnt}^{SFW}\, y_{mnt} - \sum_{n=1}^{N}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} c_{npt}^{SFM}\, z_{npt} - \sum_{i=1}^{I}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} c_{imt}^{HRP}\, r_{imt} - \sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} c_{mt}^{HFP}\, g_{mt} - \sum_{n=1}^{N}\sum_{t=1}^{T} c_{nt}^{HFW} h_{nt} + d_{profit}^{-} - d_{profit}^{+} = Y$$

رابطه ۱۶)

متغیرهای d_{profit}^{-} و d_{profit}^{+} به ترتیب متغیر انحراف منفی سود آرمانی و متغیر انحراف مثبت سود آرمانی می‌باشند. به منظور رسیدن و یا گذشتن از مقدار آرمانی Y متغیر d_{profit}^{-} در تابع هدف حداقل خواهد شد.

محدودیت آرمانی زمان انتقال کل: در سیستم‌های زنجیره تامین، معمولا مدیران به دنبال حداکثر رضایت مشتریان از طریق حداقل کردن زمان پاسخگویی به تقاضای مشتریان می‌باشند که این زمان، زمان بین صدور سفارش از سوی مشتری تا زمان تحویل سفارش به او مدل تاکتیکی هدف دیگری برای حداقل کردن زمان انتقال کل وجود دارد. زمان انتقال عبارتست از حاصل جمع زمان انتقال یک واحد مواد اولیه یا محصول نهایی از یک جزء زنجیره‌تامین به سایر کانال‌های زنجیره‌تامین می‌باشد که شامل همه موادهای اولیه و محصول نهایی، از همه تامین‌کنندگان، کارخانه‌ها، انبارها و مشتریان در همه زمان‌ها می‌باشد. محدودیت آرمانی متناظر با زمان انتقال به صورت زیر می‌باشد:

$$\sum_{i=1}^{\acute{I}}\sum_{K=1}^{\acute{K}}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} b_{ikm}^{TRP}\, w_{ikmt} + \sum_{i=\acute{I}+1}^{I}\sum_{k=1}^{K}\sum_{m=1}^{M}\sum_{t=1}^{T} b_{ikm}^{TRP}\, w_{ikmt} + \sum_{m=1}^{M}\sum_{n=1}^{N}\sum_{t=1}^{T} b_{mn}^{TFW}\, y_{mnt} + \sum_{n=1}^{N}\sum_{p=1}^{P}\sum_{t=1}^{T} b_{np}^{TFM}\, z_{npt} + d_{time}^{-} - d_{time}^{+} = 0$$

رابطه ۱۷)

متغیرهای d_{time}^{-} و d_{time}^{+} به ترتیب متغیر انحراف منفی زمان انتقال آرمانی و متغیر انحراف مثبت زمان انتقال آرمانی می‌باشند. در تابع فوق برای اینکه زمان کل انتقال به کمترین مقدار خود یعنی صفر برسد نیاز است که d_{time}^{+} حداقل شود.

محدودیت آرمانی تقاضای مشتریان: مدیران زنجیره‌تامین با ایجاد زیرساخت‌های تولید و توزیع به دنبال این هستند که به نقاضای مشتریان پاسخ دهند و حداقل تقاضای از دست رفته داشته باشند. این عبارت را می‌توان در محدویت آرمانی یک طرفه که انحراف مثبت وجود ندارد بیان کرد. بنابراین در زیر مدل تاکتیکی محدویت برآورده شدن دقیق تقاضا به صورت زیر می‌باشد:

$$\sum_{n=1}^{N} z_{npt} + d^{-}_{dem-pt} = d_{pt} \ , \ p = 1,2,\dots,P \ ; t = 1,2,\dots,T \qquad \text{رابطه ۱۸)}$$

در این محدودیت متغیر d^{-}_{dem-pt}، متغیر انحراف منفی مرتبط با تقاضا در بازار p در زمان t می‌باشد. برای اینکه دقیقا به تقاضای بازار p در زمان t پاسخ داده شود باید متغیر d^{-}_{dem-pt} حداقل شود.

محدودیت‌های ساختاری زیر مدل تاکتیکی

علاوه بر محدودیت‌های آرمانی تشریح شده در بالا، برای موجه ماندن منطقه موجه نیاز است محدودیت‌های دیگری به مدل اضافه شود که این محدودیت‌ها در زیر ادامه آمده است:

انتخاب و دسترس پذیری مواد اولیه: همانند زیر مدل استراتژیک ، میزان مواد اولیه i خریداری شده از تامین‌کننده k و انتقال داده شده به همه کارخانه‌ها در دوره t باید کوچکتر یا مساوی ظرفیت تامین هر یک از تامین‌کنندگان در هر دوره باشد. از اینرو این محدودیت برای مواد اولیه حیاتی و غیر حیاتی را می‌توان به صورت زیر بیان نمود:

$$\sum_{m=1}^{M} w_{ikmt} \le C^{RS}_{ikt} a_{ikt}, \ \ i = 1,\dots,\acute{I} \ ; k = 1,\dots,\acute{K} \ ; t = 1,\dots,T \qquad \text{رابطه ۱۹)}$$

$$\sum_{m=1}^{M} w_{ikmt} \le C^{RS}_{ikt} a_{ikt}, \ \ i = \acute{I}+1,\dots,I \ ; k = 1,\dots,K \ ; t = 1,\dots,T \qquad \text{رابطه ۲۰)}$$

در محدودیت فوق، متغیر صفر و یک a_{ikt} (که نشان می دهد آیا تامین‌کننده $k \le \acute{K}$ برای مواد اولیه حیاتی i در زمان t انتخاب شده است یا خیر) از طریق حل زیر مدل استراتژیک بدست آمده، یک عدد ثابت می‌باشد. بنابراین، فقط a_{ikt} برای $i = \acute{I}+1,\dots,I$ (انتخاب تامین‌کنندگان مواد اولیه غیر حیاتی) به عنوان متغیر تصمیم در زیر مدل تاکتیکی مد نظر می‌باشد. در اینجا فرض می‌شود که زیر مدل تاکتیکی نیز همانند زیر مدل استراتژیک به دنبال حداقل مقدار خرید در دوره‌های زمانی مشابه می‌باشد. در زیر مدل تاکتیکی حداقل مقدار خرید در هر دوره برابر است با حداقل مقدار خرید در زیر مدل استراتژیک تقسیم بر تعداد دوره‌های زیر مدل تاکتیکی که شامل یک دوره مدل استراتژیک می‌باشد. به عبارت دیگر:

$$\sum_{m=1}^{M} w_{ikmt} \ge \frac{w^{min}_{ik}}{t^{TAC}} a_{ikt}, \ \ i = 1,\dots,\acute{I} \ ; k = 1,\dots,\acute{K} \ ; t = 1,\dots,T \qquad \text{رابطه ۲۱)}$$

در اینجا a_{ikt} از حل زیر مدل استراتژیک بدست می‌آید و متناسب با زیر مدل تاکتیکی تخصیص می‌یابد. با حل زیر مدل استراتژیک این اطمینان حاصل می‌شود که مواد اولیه حیاتی از تامین‌کنندگان مواد اولیه غیر حیاتی خریداری نمی‌شود.

ظرفیت تولید: با حل زیر مدل استراتژیک مقدار تولید بهینه برای کارخانه‌ها مشخص می‌شود. مدیران زنجیره‌تامین همواره به دنبال ثابت نگه داشتن ظرفیت تولید در هر دوره هستند که کمی بیشتر از مقدار تولید بهینه برنامه‌ریزی شده است. این تصمیمات زمانی امکانپذیر می‌باشد که داده‌های تقاضا و هزینه در طول فاز طراحی زنجیره‌تامین در دسترس باشند. همانطور که در زیر مدل استراتژیک گفته شده ظرفیت تولید در کارخانه m برابر است با uU_m. مقدار بهینه تولید بدست آمده در زیر مدل استراتژیک، فرض می‌شود که مدیران زنجیره‌تامین تمایل دارند که ظرفیت تولید کارخانه m در زیر مدل تاکتیکی به $1 + (1 - u) = 2 - u$ در زمان‌های مشابه به زیر مدل استراتژیک برسد. البته این مقدار ظرفیت باید متناسب با بازه دوره‌های زمانی در زیر مدل تاکتیکی باشد. به طور مثال، فرض کنید در زیر مدل استراتژیک عامل ظرفیت تولید $u = 0.9$ و دوره زمانی یک ساله باشد، در حالیکه در زیر مدل تاکتیکی دوره زمانی سه ماهه در نظر گرفته می‌شود. در اینجا ظرفیت تولید کارخانه m در زیر مدل استراتژیک برابر $0.9U_m$ خواهد بود. حال اگر مقدار بهینه تولید در زیر مدل استراتژیک بعداز حل ۵۰۰۰ واحد باشد، آنگاه ظرفیت تولید کارخانه m در هر دوره زمانی متناظر با دوره زمانی زیر مدل استراتژیک (فصول ۱، ۲، ۳ و ۴) برابر است با $\frac{(2-0.9)5000}{4} = 1375$. بنابر این در زیر مدل تاکتیکی ظرفیت کارخانه m در دوره‌های زمانی ۱ تا ۴ برابر است با $C_{mt}^{FP} = 1375$. برای جلوگیری از سردرگمی ترکیب دوره‌های زمانی استراتژیک و تاکتیکی، این پارامتر به صورت جداگانه محاسبه می‌شود و در برنامه‌ریزی آرمانی نهایی در نظر گرفته نمی‌شود. محدودیت مرتبط با ظرفیت تولید در زیر مدل تاکتیکی به صورت $x_{mt} \le C_{mt}^{FP}\beta_{mt} \quad , m = 1, \dots, M \quad , t = 1, \dots, T$ خواهد بود. در اینجا β_{mt} که از حل زیر مدل استراتژیک بدست آمده است، نشان می دهد که آیا کارخانه m در زمان t تولید می‌کند یا خیر. به منظور جلوگیری از فعالیت بیهوده کارخانه کارخانه m در زمان t باید حداقل مقداری محصول نهایی تولید شود که محدودیت متناظر با آن به صورت $x_{mt} \ge \frac{v_m}{t^{TAC}}\beta_{mt} \quad , m = 1, \dots, M \quad , t = 1, \dots, T$ می‌باشد.

تغییرات مقدار تولید: همانند زیر مدل استراتژیک، هزینه‌های تغییرات مقدار تولید زمانی رخ می دهد که مقدار تولید در زمان t نسبت به دوره ماقبل آن تغییر کرده باشد (این مورد زمانی اتفاق می افتد که در کارخانه ای مقدار تولید به صفر برسد و یا کارخانه دوباره اقدام به تولید نماید). برای خطی کردن روابط موجود نیاز به انجام تغییر متغیر مانند زیر مدل استراتژیک می‌باشد.

نگهداری جریان کارخانه (مواد اولیه): محدویت نگهداری مواد اولیه در زیر مدل تاکتیکی همانند زیر مدل استراتژیک می‌باشد. میزان مواد اولیه که به عنوان موجودی در کارخانه m در طول دوره t نگهداری می‌شود برابر است با مقدار مواد اولیه کارخانه m در دوره قبل به علاوه مقدار مواد اولیه که در طی همین دوره به کارخانه m انتقال داده شد

منهای مقدار مواد اولیه مصرف شده همین دوره در کارخانه m. بنابراین دو محدودیت زیر نگهداری از مواد اولیه حیاتی و غیر حیاتی را نشان می دهد:

$$r_{im(t-1)} + \sum_{k=1}^{\acute{K}} w_{ikmt} - a_i x_{mt} = r_{imt} \ , i = 1, \dots, \acute{I};\ m = 1, \dots, M \ ;\ t = 1, \dots, T \qquad \text{رابطه ۲۲)}$$

$$r_{im(t-1)} + \sum_{k=1}^{K} w_{ikmt} - a_i x_{mt} = r_{imt} \ , i = \acute{I} + 1, \dots, I;\ m = 1, \dots, M \ ;)\ t = 1, \dots, T \qquad \text{رابطه ۲۳)}$$

فرض می‌شود که $\frac{r_{im0}}{t^{TAC}}$ به عنوان موجودی اول دوره ماده اولیه i در کارخانه m می‌باشد.

ظرفیت مواد اولیه در کارخانه: این محدودیت همانند زیر مدل استراتژیک بیان می‌شود.

نگهداری جریان کارخانه (محصول نهایی): همانند زیر مدل استراتژیک، نیاز است جریانی از محصول نهایی در همه کارخانه‌ها نگهداری شود. به عبارت دیگر مقدار محصول نهایی در کارخانه m که در دوره t نگهداری می‌شود برابر است با تعداد محصول نهایی موجود در انبار کارخانه m در دوره گذشته به علاوه تعداد محصول نهایی ساخته شده کارخانه m در دوره فعلی منهای تعداد کل محصول نهایی انتقال داده شده به همه انبارها از کارخانه m در طول دوره t می‌باشد. بنابراین:

$$g_{m(t-1)} + x_{mt} - \sum_{n=1}^{N} y_{mnt} = g_{mt} \ , m = 1, \dots, M \ ;\ t = 1, \dots, T \qquad \text{رابطه ۲۴)}$$

همانند زیر مدل استراتژیک ، فرض می‌شود که $\frac{g_{m0}}{t^{TAC}}$ به عنوان موجودی محصول نهایی اول دوره کارخانه m می‌باشد.

ظرفیت محصول نهایی در کارخانه: در این مدل ظرفیت محصول نهایی در تمام کارخانه‌ها مشخص و محدود می‌باشد. متغیر صفر و یک β_{mt} برای نشان دادن تولید در کارخانه m در دوره t بکار می رود. لذا:

$$g_{mt} \le C_{mt}^{HFP} \beta_{mt} , \qquad m = 1, \dots, M \ ;\ t = 1, \dots, T \qquad \text{رابطه ۲۵)}$$

همچنین فرض شده است که کارخانه m در دوره t برای انتقال محصول نهایی به انبارهای باز اقدام به تولید نماید که میزان ظرفیت انتقال خروجی با متغیر $\frac{R_m^{PLANT}}{t^{TAC}}$ نشان داده می‌شود. به عبارت دیگر:

$$\sum_{n=1}^{N} y_{mnt} \le \frac{R_m^{PLANT}}{t^{TAC}} \beta_{mt} , \qquad m = 1, \dots, M \ ;\ t = 1, \dots, T \qquad \text{رابطه ۲۶)}$$

نگهداری جریان انبار (محصول نهایی): همانند زیر مدل استراتژیک، مقدار محصول نهایی در انبار n در دوره t نگهداری می‌شود برابر است با تعداد محصول نهایی موجود در انبار n در دوره گذشته به علاوه تعداد محصول نهایی ساخته شده از همه کارخانه‌ها به انبار n در دوره فعلی منهای تعداد کل محصول نهایی انتقال داده شده از انبار n به همه مشتری‌ها در طول دوره t می‌باشد. بنابراین:

$$h_{n(t-1)} - \sum_{m=1}^{M} y_{mnt} - \sum_{p=1}^{P} z_{npt} = h_{nt} \ , n = 1, \dots, N \ ;\ t = 1, \dots, T \qquad \text{رابطه ۲۷)}$$

فرض می‌شود که $\frac{h_{n0}}{t^{TAC}}$ به عنوان موجودی محصول نهایی اول دوره انبار n می‌باشد. همچنین انبار n در دوره t باید برای دریافت محصول نهایی از کارخانه‌ها باز باشد. به عبارتی $\sum_{m=1}^{M} y_{mnt} \leq \frac{R_n^{INW}}{t^{TAC}} \delta_{nt}$, $n = 1, \dots, N$; $t = 1, \dots, T$

متغیر R_n^{INW} ظرفیت انتقال ورودی انبار n در دوره t و متغیر صفر و یک δ_{nt} نشان می‌دهد که آیا انبار n در طی دوره t باز می‌باشد یا خیر.

ظرفیت انبار: همانند زیر مدل استراتژیک، تعداد محصول نهایی که به عنوان موجودی در انبار n در طی دوره t که ظرفیت انبار می‌باشد محدود می‌باشد. بعد از حل زیر مدل استراتژیک مشخص می‌شود که کدام انبارها در کدام دوره‌ها باز می‌باشند که این عبارت با متغیر صفر و یک δ_{nt} مشخص می‌شود. بنابراین:

$$h_{nt} \leq C_{nt}^{HFW} \delta_{nt} \ , \qquad n = 1, \dots, N \ ; \ t = 1, \dots, T$$ رابطه ۲۸)

همچنین اگر انبار n در دوره t باز باشد، باید حداقل q_n واحد از محصول نهایی را انبار کند. پس:

$$h_{nt} \geq \frac{q_n}{t^{TAC}} \delta_{nt} \ , \qquad n = 1, \dots, N \ ; \ t = 1, \dots, T$$ رابطه ۲۹)

علاوه بر این، هر انبار باز می‌تواند با ظرفیت R_n^{OUTW} محصول نهایی را به بیرون انتقال دهد. بنابراین:

$$\sum_{p=1}^{P} z_{npt} \leq \frac{R_n^{OUTW}}{t^{TAC}} \delta_{nt} \ , \qquad n = 1, \dots, N \ ; \ t = 1, \dots, T$$ رابطه ۳۰)

موجودی محصول در پایان دوره: همانند زیر مدل استراتژیک، طبق برنامه‌ریزی انجام شده نیاز است که در پایان هر دوره مقداری محصول نهایی به عنوان موجودی پایان دوره در انبار موجود باشد. پس مجموع موجودی محصول در همه کارخانه‌ها و انبارها در پایان دوره باید بزرگتر یا مساوری درصدی از تقاضای پایان دوره باشد. داریم:

$$\sum_{m=1}^{M} g_{mT} + \sum_{n=1}^{N} h_{nT} \geq h^{FIN} \sum_{p=1}^{P} d_{pT} \ , \ 0 \leq h^{FIN} \leq 1$$ رابطه ۳۱)

تابع هدف زیر مدل تاکتیکی

پس از ایجاد چند هدف که به عنوان محدودیت‌های آرمانی در زیر مدل تاکتیکی در نظر گرفته می شوند، تابع هدف در این زیر مدل به دنبال حداقل کردن انحرافات می‌باشد.

در اینجا فرض می‌شود که مدیران زنجیره‌تامین اهداف را از بیشترین اهمیت تا کمترین اهمیت به ترتیب از سود، پاسخگویی به تقاضا و زمان انتقال رتبه بندی کردند. در ابتدا یک سطح اهمیت (P_r) برای هر یک از اهداف ($r =$ 1,2,3) در نظر گرفته می‌شود. سپس تابع هدف به صورت ترکیب خطی از متغیرهای به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$Min\ z = P_1 d_{profit}^{-} + P_2 \sum_{p=1}^{P} \sum_{t=1}^{T} d_{dem-pt}^{-} + P_3 d_{time}^{+}$$ رابطه ۳۲)

متغیرهای تصمیم این مدل نیز به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$w_{ikmt} \geq 0 \ , i = 1, \dots, \acute{I}; \ k = 1, \dots, \acute{K} \ ; m = 1, \dots, M \ ; \ t = 1, \dots, T$$
$$w_{ikmt} \geq 0 \ , i = \acute{I} + 1, \dots, I; k = 1, \dots, K \ ; \ m = 1, \dots, M \ ; \ t = 1, \dots, T$$ رابطه ۳۳)
$$w_{ikmt} \geq 0, i = 1, \dots, \acute{I}; \ k = \acute{K} + 1, \dots, K; \ m = 1, \dots, M \ ; \ t = 1, \dots, T$$

$x_{mt}, e^{+}_{mt}, e^{-}_{mt}, y_{mnt}, z_{npt}, r_{imt}, g_{mt}, h_{nt}, d^{-}_{profit}, d^{+}_{profit}, d^{-}_{time}, d^{+}_{time}, d^{-}_{dem-}$
$\geq 0, \forall i, m, n, p, t$
$e_{mnt}: free, \quad m = 1, \dots, M \; ; \; t = 1, \dots, T$
$\alpha_{ikt}: binary, i = \acute{I} + 1, \dots, I; \; k = 1, \dots, K; \; t = 1, \dots, T$
$\alpha_{ikt}: constant, i = 1, \dots, \acute{I}; \; k = K, \dots, \acute{K}; \; t = 1, \dots, T$
$\alpha_{ikt} \geq 0, i = 1, \dots, \acute{I}; k = \acute{K} + 1, \dots, K \; ; \; t = 1, \dots, T$
$\beta_{mt}, \delta_{nt}, \emptyset_{mt} : constant \; , m = 1, \dots, M, n = 1, \dots, N \; ; \; t = 1, \dots, T$

کاربرد مدل‌سازی

هنگامی که داده‌های مربوط به هزینه‌ها، ظرفیت‌ها و تقاضاها موجود باشد زیر مدل استراتژیک فرموله می‌شود بعد از حل زیر مدل استراتژیک، انتخاب تامین‌کنندگان مواد اولیه حیاتی، تصمیمات مربوط به ساخت کارخانه، داده‌هایی برای ظرفیت تولید مورد نیاز و سود نهایی زیرساخت‌های برنامه‌ریزی برای مدیران زنجیره‌تامین فراهم خواهد شد.

بعد از حل زیر مدل تاکتیکی، زیرساخت‌های برنامه ریزی، مقدار موجودی و انتقال مواد اولیه حیاتی، انتخاب تامین‌کنندگان مواد اولیه غیرحیاتی، مقدار تولید، موجودی و انتقال بهینه محصول نهایی و سود بهینه برای مدیران زنجیره‌تامین فراهم خواهد شد. به طور خلاصه ویژگی‌های زیر مدل استراتژیکی و تاکتیکی در جدول ۲ آمده است.

جدول ۲. خلاصه زیر مدل استراتژیک و تاکتیکی

ویژگی	مدل استراتژیک	مدل تاکتیکی
تابع هدف	حداکثر سازی سود	• حداقل کردن انحراف از سود • حداقل کردن انحراف میزان تقاضا • حداقل کردن انحراف زمان پاسخ
محدودیت‌ها	انتخاب و در دسترس پذیری تامین‌کنندگان مواد اولیه محدودیت ایجاد کارخانه محدودیت ظرفیت کارخانه محدودیت تغییرات مقدار تولید محدویت نگهداری جریان کارخانه (مواد اولیه) محدویت ظرفیت مواد اولیه در کارخانه محدویت نگهداری جریان کارخانه (محصول نهایی) محدویت ظرفیت محصول نهایی در کارخانه محدویت نگهداری جریان انبار (محصول نهایی) محدویت انتخاب و ظرفیت انبار موجودی محصول در پایان دوره تقاضا	محدودیت آرمانی بهینه کردن سود محدودیت آرمانی زمان انتقال کل محدودیت آرمانی تقاضای مشتریان انتخاب و دسترس پذیری مواد اولیه ظرفیت تولید تغییرات مقدار تولید نگهداری جریان کارخانه (مواد اولیه) ظرفیت مواد اولیه در کارخانه نگهداری جریان کارخانه (محصول نهایی) ظرفیت محصول نهایی در کارخانه نگهداری جریان انبار (محصول نهایی) ظرفیت انبار موجودی محصول در پایان دوره
تعداد محدودیت	$\mathrm{T}(2\acute{I}\acute{K} + 2\mathrm{IM} + \mathrm{I} - \acute{I} + 8\mathrm{M} + 5\mathrm{N} + \mathrm{P}) + 2\mathrm{M} + 1$	$T(2\acute{I}\acute{K} + 2IM + IK - \acute{I}K + 7M + 5N + P) + M + 3$

ویژگی	مدل استراتژیک		مدل تاکتیکی	
تعداد متغیر	کل	$\mathrm{T}(7M+2\mathrm{N}+2\mathrm{IM}-\acute{\mathrm{I}}\mathrm{M}+\acute{\mathrm{I}}\acute{\mathrm{K}}\mathrm{M}+\mathrm{MN}+\mathrm{NP}+\acute{\mathrm{I}}\acute{\mathrm{K}})$	کل	$T(5M+N+IM-\acute{I}KM+\acute{I}\acute{K}M+IKM+MN+NP+IK-\acute{I}K+P)+4$
	عدد صحیح	$\mathrm{T}(\acute{\mathrm{I}}\acute{\mathrm{K}}+2\mathrm{M}+\mathrm{N})$	عدد صحیح	$\mathrm{T}(\acute{\mathrm{I}}\acute{\mathrm{K}}+2\mathrm{M}+\mathrm{N})$
خروجی	• انتخاب تامین‌کنندگان مواد اولیه حیاتی • تصمیمات مربوط به ساخت کارخانه • داده‌هایی برای ظرفیت تولید مورد نیاز • سود نهایی		• انتخاب تامین‌کنندگان مواد اولیه غیر حیاتی • مقدار موجودی و انتقال مواد اولیه حیاتی • مقدار تولید، موجودی و انتقال بهینه محصول نهایی • سود بهینه	

داده‌های مورد نیاز برای مدل‌سازی

شرکت تعالی تجارت ماندگار برای تولید کیس‌های کامپیوتری (جعبه رایانه) پنج تامین‌کننده مواد اولیه مورد نیاز ($k=1,2,\dots,5$)، سه مکان کارخانه ($m=1,2,3$)، چهار انبار ($n=1,2,3,4$) و پنج بازار مشتری ($p=1,2,\dots,5$) وجود دارد. کیس کامپیوتر از دو ماده اولیه حیاتی فریم و فن ($i=1,2$) و سه ماده اولیه غیر حیاتی پنل، پیچ و کابل($i=3,4,5$) تشکیل می‌شود. مقدار مورد نیاز از مواد اولیه ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ به ترتیب ۵، ۲، ۷، ۱۲ و ۶ واحد می‌باشد. تامین‌کنندگان ۱ و ۲ می‌توانند هر دونوع مواد اولیه حیاتی و غیر حیاتی و تامین‌کنندگان ۳، ۴ و ۵ فقط مواد اولیه غیر حیاتی را تامین می‌کنند. محصول نهایی امکان تولید در هر سه کارخانه تولید و امکان انتقال به هر چهار انبار دارد. در تحقیق حاضر، برنامه‌ریزی زنجیره‌تامین برای یک دوره زمانی ۵ ساله انجام می‌شود. سایر داده‌های مورد نیاز در جداول زیر آمده است (لازم به ذکر است در این تحقیق تمام هزینه‌ها، درآمدها و هر مقداری که ماهیت ریالی داشته باشد بر مبنای ۱۰ هزار ریال می‌باشد که به دلیل تسهیل در محاسبات ۴ صفر حذف گردید). در جدول ۳ دادهای مربوط به هزینه‌های مختلف، در جدول ۴ هزینه‌های عملیاتی و ظرفیت کارخانه‌ها و در جدول ۵ هزینه‌های عملیاتی و ظرفیت مربوط به انبارها در سال‌های مختلف آمده است.

جدول ۳. دامنه هزینه‌های زنجیره‌تامین به ازای هر واحد

هزینه‌ها	دامنه هزینه‌ها برای هر واحد
هزینه مواد اولیه حیاتی	۵٫۶–۹ ریال
هزینه مواد اولیه غیر حیاتی	۴–۶ ریال
انتقال مواد اولیه حیاتی	۰٫۹–۱٫۹ ریال
انتقال مواد اولیه غیر حیاتی	۰٫۴–۱٫۲ ریال
انتقال محصول نهایی	۲٫۳–۶٫۴ ریال
نگهداری مواد اولیه	۰٫۲–۰٫۶ ریال/دوره
نگهداری محصول نهایی	۰٫۷–۱٫۱ ریال/دوره
تولید	۴٫۵–۹ ریال

جدول ۴. هزینه‌های عملیاتی و ظرفیت کارخانه‌ها

کارخانه	سال	هزینه ساخت	هزینه عملیاتی ثابت	حداقل مقدار تولید	حداکثر ظرفیت تولید	طرفیت انبار برای محصول نهایی	ظرفیت انتقال
۱	۱	۱،۰۰۰،۰۰۰	۳۰۰،۰۰۰	۱،۰۰۰	۵،۵۰۰	۱،۰۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۲	۱،۰۵۰،۰۰۰	۳۰۰،۰۰۰	۱،۰۰۰	۵،۵۰۰	۱،۱۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۳	۱،۱۰۰،۰۰۰	۳۵۰،۰۰۰	۱،۰۰۰	۵،۵۰۰	۱،۲۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۴	۱،۱۵۰،۰۰۰	۳۵۰،۰۰۰	۱،۰۰۰	۵،۵۰۰	۱،۴۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۵	۱،۲۰۰،۰۰۰	۴۰۰،۰۰۰	۱،۰۰۰	۵،۵۰۰	۱،۵۰۰	۱۵۰،۰۰۰
۲	۱	۱،۰۰۰،۰۰۰	۴۰۰،۰۰۰	۱،۰۰۰	۵،۵۰۰	۲،۰۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۲	۱،۰۵۰،۰۰۰	۴۰۰،۰۰۰	۱،۰۰۰	۵،۵۰۰	۲،۰۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۳	۱،۱۰۰،۰۰۰	۴۵۰،۰۰۰	۱،۰۰۰	۵،۵۰۰	۲،۰۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۴	۱،۱۵۰،۰۰۰	۴۵۰،۰۰۰	۱،۰۰۰	۵،۵۰۰	۲،۰۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۵	۱،۲۰۰،۰۰۰	۵۰۰،۰۰۰	۱،۰۰۰	۵،۵۰۰	۲،۰۰۰	۱۵۰،۰۰۰
۳	۱	۱،۰۰۰،۰۰۰	۳۰۰،۰۰۰	۱،۰۰۰	۵،۵۰۰	۳،۰۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۲	۱،۰۵۰،۰۰۰	۳۰۰،۰۰۰	۱،۰۰۰	۵،۵۰۰	۳،۱۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۳	۱،۱۰۰،۰۰۰	۳۵۰،۰۰۰	۱،۰۰۰	۵،۵۰۰	۳،۲۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۴	۱،۱۵۰،۰۰۰	۳۵۰،۰۰۰	۱،۰۰۰	۵،۵۰۰	۳،۳۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۵	۱،۲۰۰،۰۰۰	۴۰۰،۰۰۰	۱،۰۰۰	۵،۵۰۰	۳،۴۰۰	۱۵۰،۰۰۰

جدول ۵. هزینه‌های عملیاتی و ظرفیت انبارها

انبار	سال	هزینه عملیاتی ثابت	حداقل مقدار انبار	ظرفیت انبار	ظرفیت انتقال
۱	۱	۱۰۰،۰۰۰	۰	۴،۰۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۲	۱۰۰،۰۰۰	۰	۴،۰۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۳	۱۵۰،۰۰۰	۰	۴،۰۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۴	۱۵۰،۰۰۰	۰	۴،۰۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۵	۱۵۰،۰۰۰	۰	۴،۰۰۰	۱۵۰،۰۰۰
۲	۱	۲۰۰،۰۰۰	۰	۵،۰۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۲	۲۰۰،۰۰۰	۰	۵،۰۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۳	۲۵۰،۰۰۰	۰	۵،۰۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۴	۲۵۰،۰۰۰	۰	۵،۰۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۵	۲۵۰،۰۰۰	۰	۵،۰۰۰	۱۵۰،۰۰۰
۳	۱	۲۰۰،۰۰۰	۰	۶،۰۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۲	۲۰۰،۰۰۰	۰	۶،۰۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۳	۲۵۰،۰۰۰	۰	۶،۰۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۴	۲۵۰،۰۰۰	۰	۶،۰۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۵	۲۵۰،۰۰۰	۰	۶،۰۰۰	۱۵۰،۰۰۰
۴	۱	۲۰۰،۰۰۰	۰	۴،۵۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۲	۲۰۰،۰۰۰	۰	۴،۵۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۳	۲۵۰،۰۰۰	۰	۴،۵۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۴	۲۵۰،۰۰۰	۰	۴،۵۰۰	۱۵۰،۰۰۰
	۵	۲۵۰،۰۰۰	۰	۴،۵۰۰	۱۵۰،۰۰۰

با داده‌های مورد نظر مدل‌سازی زیر مدل‌های استراتژیک و تاکتیکی فرموله شده که اطلاعات آن در جدول ۶ آمده است.

جدول ۶. اندازه مدل‌های استراتژیک و تاکتیکی قطعی

زیر مدل	تعداد متغیر عدد صحیح	تعداد متغیر پیوسته	تعداد کل متغیر	تعداد محدودیت
استراتژیک	۷۰	۴۳۵	۵۰۵	۴۵۷
تاکتیکی	۳۰۰	۲۵۶۴	۲۸۶۴	۱۹۸۶

پس از حل زیر مدل استراتژیک مقدار بهینه سود ۵،۶۴۳،۳۶۶ ریال بدست آمد که این مقدار هدف در زیر مدل تاکتیکی وارد می‌شود. در قسمت اول، جدول ۷ تامین‌کنندگانی که برای ماده اولیه حیاتی ۱ و ۲ انتخاب شده اند آمده است. در قسمت دوم جدول ۷ آمده است که کدام انبارها در چه سال‌هایی محصول را در انبارها نگهداری می‌کنند. دیده می‌شود که نیاز است که فقط انبار۱، در هر پنج سال باز بوده و از محصول نهایی نگهداری می‌کند و باز نگه داشتن و استفاده از سایر انبارها توجیه اقتصادی ندارد. در قسمت سوم این جدول نیز نشان داده شده است که مقدار تولید بهینه هر کارخانه در سال‌های مختلف به چه میزان می‌باشد.

جدول ۷: انتخاب تامین‌کنندگان مواد اولیه حیاتی، برنامه عملیاتی انبارها و کارخانه‌ها

سال	ماده اولیه حیاتی ۱		ماده اولیه حیاتی ۲		برنامه علمیاتی انبارها				تولید بهبنه کارخانه		
	تامین‌کننده ۱	تامین‌کننده ۲	تامین‌کننده ۱	تامین‌کننده ۲	انبار ۱	انبار ۲	انبار ۳	انبار ۴	کارخانه ۱	کارخانه ۲	کارخانه ۳
سال ۱	-	√	√	√	√	√	√	√	۴،۹۵۰	۵،۴۰۰	۳،۶۰۰
سال ۲	√	√	√	√	√	-	-	-	۴،۹۵۰	۵،۴۰۰	۳،۶۰۰
سال ۳	-	√	√	√	√	-	-	-	۴،۹۵۰	۵،۴۰۰	۳،۶۰۰
سال ۴	-	√	√	-	√	-	-	-	۴،۹۵۰	۵،۴۰۰	۳،۶۰۰
سال ۵	-	√	√	√	√	-	-	-	۴،۹۵۰	۵،۴۰۰	۳،۶۰۰

با استفاده از قسمت دوم جدول ۷ که مربوط به مقدار بهینه تولید کارخانه‌ها در افق زمانی ۵ ساله می‌باشد و نیز $u = 0.9$ مقدار ظرفیت تولید در فصول مختلف ۵ سال به عنوان ورودی در زیر مدل تاکتیکی مطابق قسمت اول

جدول ۸ می‌باشد. با استفاده از داده‌های هزینه و ظرفیت‌ها و سایر ورودی‌ها زیر مدل تاکیتکی نیز فرموله شده و حل شد. همانطور که گفته شد نیاز است با توجه به سه هدف سود، تقاضا و زمان پاسخگویی، فقط اولویت هدف سود حل شد. مقدار سود بهینه در این زیر مدل ۳،۱۳۱،۰۹۷ ریال شد و مقدار تولید بهینه در زیر مدل تاکتیکی با اولویت هدف سود در قسمت دوم

جدول ۸ آمده است. همچنین کارخانه ۳ که کمترین مقدار تولید نسبت به کارخانه ۱ و ۲ را دارد (اولویت هدف سود) بیشترین تولید مازاد را برای پاسخگویی به تقاضای برآورده نشده را دارد که مقادیر آن در قسمت سوم

جدول ۸ آمده است. به عبارت دیگر با تغییر هدف این مقادیر همان تغییر میزان تولید می‌باشد.

جدول ۸. ظرفیت تولید، مقدار بهینه و تغییرات میزان تولید در فصول مختلف سال‌های اول تا پنجم

فصل	ظرفیت تولید کارخانه‌ها به عنوان ورودی در زیر مدل تاکتیکی			مقدار تولید بهینه در زیر مدل تاکتیکی با اولویت هدف سود			تغییرات میزان تولید در اثر جایگزینی هدف تقاضا با هدف سود		
	۱	۲	۳	۱	۲	۳	۱	۲	۳
۱	۱،۳۶۲	۱،۴۸۵	۹۹۰	۱،۳۶۲	۱،۰۰۹	۲۵۰	۰	+۴۷۶	+۷۴۰
۲	۱،۳۶۲	۱،۴۸۵	۹۹۰	۱،۳۶۲	۱،۲۴۶	۲۵۰	۰	+۲۳۹	+۷۴۰
۳	۱،۳۶۲	۱،۴۸۵	۹۹۰	۱،۳۶۲	۱،۴۸۵	۲۵۰	۰	۰	+۷۴۰
۴	۱،۳۶۲	۱،۴۸۵	۹۹۰	۱،۳۶۲	۱،۴۸۵	۲۵۰	۰	۰	+۷۴۰
۵	۱،۳۶۲	۱،۴۸۵	۹۹۰	۱،۳۶۲	۱،۴۸۵	۲۵۰	۰	۰	+۷۴۰
۶	۱،۳۶۲	۱،۴۸۵	۹۹۰	۱،۳۶۲	۱،۴۸۵	۲۵۰	۰	۰	+۷۴۰
۷	۱،۳۶۲	۱،۴۸۵	۹۹۰	۱،۳۶۲	۱،۴۸۵	۲۵۰	۰	۰	+۷۴۰
۸	۱،۳۶۲	۱،۴۸۵	۹۹۰	۱،۳۶۲	۱،۴۸۵	۲۵۰	۰	۰	+۷۴۰
۹	۱،۳۶۲	۱،۴۸۵	۹۹۰	۱،۳۶۲	۱،۲۴۱	۲۵۰	۰	+۲۴۴	+۷۴۰
۱۰	۱،۳۶۲	۱،۴۸۵	۹۹۰	۱،۳۶۲	۱،۲۸۸	۲۵۰	۰	+۱۹۷	+۷۴۰
۱۱	۱،۳۶۲	۱،۴۸۵	۹۹۰	۱،۳۶۲	۱،۳۸۸	۲۵۰	۰	+۹۷	+۷۴۰
۱۲	۱،۳۶۲	۱،۴۸۵	۹۹۰	۱،۳۶۲	۱،۳۸۸	۲۵۰	۰	+۹۷	+۷۴۰
۱۳	۱،۳۶۲	۱،۴۸۵	۹۹۰	۱،۳۶۲	۱،۳۱۳	۲۵۰	۰	+۱۷۲	+۷۲۵
۱۴	۱،۳۶۲	۱،۴۸۵	۹۹۰	۱،۳۶۲	۱،۲۳۸	۲۵۰	۰	+۲۴۷	+۶۱۸
۱۵	۱،۳۶۲	۱،۴۸۵	۹۹۰	۱،۳۶۲	۱،۲۳۸	۲۵۰	۰	+۲۴۷	+۶۱۳
۱۶	۱،۳۶۲	۱،۴۸۵	۹۹۰	۱،۳۶۲	۱،۱۸۹	۲۵۰	۰	+۲۹۶	+۶۱۳
۱۷	۱،۳۶۲	۱،۴۸۵	۹۹۰	۱،۳۶۲	۱،۱۸۹	۲۵۰	۰	+۲۹۶	+۷۴۰
۱۸	۱،۳۶۲	۱،۴۸۵	۹۹۰	۱،۳۶۲	۱،۰۴۰	۲۵۰	۰	+۴۴۵	+۷۴۰

۱۹	۱،۳۶۲	۱،۴۸۵	۹۹۰	۱،۳۶۲	۱،۰۴۰	۲۵۰	۰	+۴۴۵	+۷۴۰
۲۰	۱،۳۶۲	۱،۴۸۵	۹۹۰	۱،۳۶۲	۱،۰۴۰	۲۵۰	۰	+۴۴۵	+۷۴۰

در جدول ۹ میزان تقاضای برآورده نشده در همه بازارها در همه دوره‌ها را با فرض اولویت هدف سود نشان می‌دهد. قابل ذکر است که اگر هدف تقاضا از اولویت بالایی برخوردار باشد این مقدار تقاضای برآورده نشده کاهش می یابد.

جدول ۹: میزان تقاضای برآورده با فرض اولویت هدف سود

فصل	بازار					فصل	بازار				
	۱	۲	۳	۴	۵		۱	۲	۳	۴	۵
۱	۱،۰۰۰	۰	۰	۰	۰	۱۱	۱،۲۵۰	۰	۰	۰	۰
۲	۱،۰۰۰	۰	۰	۰	۰	۱۲	۱،۲۵۰	۰	۰	۰	۰
۳	۱،۰۰۰	۰	۰	۰	۰	۱۳	۱،۳۲۵	۰	۰	۰	۰
۴	۱،۰۰۰	۰	۰	۰	۰	۱۴	۱،۳۲۵	۰	۰	۰	۰
۵	۱،۰۵۰	۰	۰	۰	۰	۱۵	۱،۳۲۵	۰	۰	۰	۰
۶	۱،۰۵۰	۰	۰	۰	۰	۱۶	۱،۳۲۵	۰	۰	۰	۰
۷	۱،۰۵۰	۰	۰	۰	۰	۱۷	۱،۵۰۰	۰	۰	۰	۰
۸	۱،۰۵۰	۰	۰	۰	۰	۱۸	۱،۵۰۰	۰	۰	۰	۰
۹	۱،۲۵۰	۰	۰	۰	۰	۱۹	۱،۵۰۰	۰	۰	۰	۰
۱۰	۱،۲۵۰	۰	۰	۰	۰	۲۰	۱،۵۰۰	۰	۰	۰	۰
جمع کل میزان تقاضای برآورده نشده							۲۴،۵۰۰	۰	۰	۰	۰

همانطور که مشاهده شد ابتدا زیر مدل استراتژیک حل شد و سپس با استفاده از خروجی زیر مدل استراتژیک و سایر داده‌ها زیر مدل تاکتیکی فرموله و حل شد. از آنجاییکه زیر مدل تاکتیکی نوعی برنامه‌ریزی آرمانی با سه هدف می‌باشد، لذا نیاز است که هر بار یکی از اهداف نسبت به دو هدف دیگر از الویت بیشتری برخوردار باشد که نتایج بالا برای زمانی است که اولویت با هدف سود باشد.

اعتبار سنجی مدل‌های ارائه شده در این تحقیق در دو مرحله انجام پذیرفته است. نخست اینکه این مدل‌ها در اختیار تعدادی از افراد قرار گرفت که ۵ نفر از این افراد دارای دکتری تحقیق در عملیات و ۵ نفر دیگر دارای دکتری ریاضی کاربردی و جز اعضای هیت علمی دانشگاه‌ها و دارای سوابق اجرایی در حوزه زنجیره‌تامین شرکت تولیدی هستند. این مدل‌ها را از لحاظ محتوا، متغیرها، تابع هدف، محدودیت‌ها، روابط بین متغیرها مورد بررسی قرار دادند و مورد تایید آنها قرار گرفت.

در مرحله دوم، مقادیر بهینه اهداف بدست آمده از مدل ارائه شده در این تحقیق با وضع موجود شرکت مقایسه شد که حاکی از بهبود نسبی ۶٫۸٪ اهداف را دارد. به نظر می رسد استفاده از این مدل در دستیابی شرکت به اهداف مورد نظر کمک قابل توجهی نماید. به عبارت دیگر با توجه به نتایج حاصل شده می‌توان گفت که مدل‌های ارائه شده در این تحقیق از اعتبار برخوردار است.

بحث و نتیجه‌گیری

طراحی مدل‌های ریاضی زنجیره‌تامین از جمله تصمیمات استراتژیک و عملیاتی و تاکتیکی محسوب میشود که به تصمیماتی از قبیل تعداد و انتخاب تامین‌کننده، استراتژی‌های سیستم توزیع و ... می‌پردازد. با توجه به اهمیت این موضوع، طراحی و مدل‌سازی ریاضی زنجیره تامین، مورد توجه بیش از پیش محققان قرار گرفته است. در این تحقیق به بررسی زنجیره‌تامین چند کاناله چند هدفه در سطح تصمیم‌گیری استراتژیک و تاکتیکی پرداخته شده است. به منظور ارتباط دو زیر مدل، انتخاب تامین‌کننده مواد اولیه حیاتی، مکان کارخانه و انبار و مقدار تولید بهینه تعیین شده در زیر مدل استراتژیک به عنوان ورودی به زیر مدل تاکتیکی، با توابع تعریف شده مقادیر تولید بهینه در زیر مدل استراتژیک به عنوان محدودیت ظرفیت تولید در زیر مدل تاکتیکی استفاده می‌شود. اهداف هر دو زیر مدل دستیابی به حداکثر سود و پاسخگویی به تقاضای مشتریان است. البته در زیر مدل تاکتیکی حداقل کردن زمان پاسخگویی به تقاضای مشتریان نیز مد نظر است. مدل و راه حلی که در این تحقیق ارائه گردید به مدیران زنجیره تامین کمک می کند تا با استفاده از یک ابزار منعطف در طراحی و بهره برداری زنجیره تامین به اهداف مدنظر دست یابند. با توجه به جوابهای حاصل از مدل و استفاده از نظر خبرگان در مورد جوابهای بدست آمده و مقایسه آن با وضع موجود شرکت، کارایی مدل ارائه شده در این تحقیق، نشان از بهبود تصمیم‌گیری‌های زنجیره‌تامین دارد.

نتایج این پژوهش می‌تواند به مدیران زنجیره تامین در تصمیم گیری در هر دو سطح استراتژیک و تاکتیکی کمک کند، بطوری که می‌تواند محل احداث کارخانه، انبارها را تعیین نماید و نیز در انتخاب تامین کنندگان با توجه به نوع مواد اولیه (حیاتی و غیرحیاتی) جهت جلوگیری از اتلاف هزینه و زمان تصمیم سازی می کند. همچنین انعطاف پذیری در اولویت اهداف مد نظر دو دو سطح تصمیم گیری بر مزیت‌های مدل پیشنهادی می افزاید و مدیران با توجه به شرایط موجود در اولویت اهداف بازنگری نمایند. البته در مدل تحقیقات دیگران همچون نگهبان و دهقانی محمدآبادی (۲۰۱۸)، هونگ، دایی، لوح، یانگ (۲۰۱۸)، حسینی مطلق، ثمنی و سعادی (۲۰۱۸) ، جبارزاده ، هوقتون، پورمهدی (۲۰۱۹) و دورماز و بیلگن (۲۰۲۰) بر برخی از این ویژگی‌ها تاکید شده اما نگاه همه جانبه به این موارد در این تحقیق، سبب تمایز مدل پیشنهادی می شود. این مقاله بر تجزیه و تحلیل در سطح برنامه‌ریزی استراتژیک و تاکتیکی متمرکز بود. نتایج تحقیق حاضر برای تولید کنندگان سخت‌افزار کامپیوتر که البته در حاضر در مقیاس خیلی پایین در ایران انجام می شود، می‌تواند راهگشا باشد چرا که درابتدای ایجاد زیرساخت‌ها و مکان‌های مورد نظر می‌توانند چیدمان مکان‌ها و نیز انتخاب تامین کنندگان را با استفاده از مدل پیشنهادی این تحقق بررسی و اجرا نمایند. تحقیقات آینده می‌تواند اثرات ادغام دیگر متغیرهای تصمیم‌گیری در سطوح عملیاتی را هم در مدل مورد بررسی قرار دهد تا برنامه ریزی جامع تری برای کل زنجیره تامین در نظر گرفته شود. از جمله پیشنهادات دیگر برای تحقیقات آتی می‌توان به اعمال محدودیت‌های زیست محیطی و تاب آوری در مدل پیشنهادی این تحقیق اشاره کرد که می‌تواند به عنوان یک مدل عملکردی زنجیره‌تامین ارائه شود که البته لزوم انجام این تحقیق در دسترس بودن داده‌های مربوط به معیارهای زیست محیطی و نیز انعطاف پذیری زنجیره تامین در هنگام بروز اختلال و یا بحران است. همچنین میتوان به بررسی رویکردهای برنامه‌ریزی عدم قطعیت با استفاده از برنامه‌ریزی فازی پرداخت.

منابع

امینپور، سعید؛ ایرجپور، علیرضا؛ یزدانی، مهدی؛ محتشمی، علی (۱۳۹۹). طراحی مدل چندهدفه شبکه زنجیره تـأمین حلقـه بسته در صنعت خودرو با توجه به طرحهای بازده انرژی و زمان. مدیریت صنعتی، ۱۲(۲)،۳۱۹ -۳۴۳.

فلاح لاجیمی, حمیدرضا, جعفرنژاد, احمد, مهرگان, محمدرضا, الفت, لعیا. (۱۳۹۴). پیکره بندی شبکهٔ زنجیرهٔ تأمین یکپارچهٔ راهبردی تصادفی. مدیریت صنعتی, ۷(۱), ۸۳-۱۰۵.

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). ۶۴-۸۱.

References

Altiparmak, F., Gen, M., Lin, L., and T. Paksoy (2006). A genetic algorithm approach for multi-objective optimization of supply chain networks. Computers & Industrial Engineering, 51 (1), 196-215.

Aminpour, Saeed, Irajpour, Alireza, Yazdani, Mehdi & Mohtashami, Ali (2020). The Design of a Multi-directional Network Chain Model Offering a Closed Loop in the Automotive Industry by Providing Energy and Time Efficiency Programs. *Industrial Management Journal*, 12(1), 319-343. (in Persian)**.**

Anthony, R. N. (1965). *Planning and control systems: A framework for analysis* [by]. Division of Research, Graduate School of Business Administration, Harvard University.

Aras, N., & Bilge, Ü. (2018). Robust supply chain network design with multi-products for a company in the food sector. *Applied Mathematical Modelling, 60*, 526-539.

Barbosa-Povoa, A. P., Mota, B., & Carvalho, A. (2018). How to design and plan sustainable supply chains through optimization models? *Pesquisa Operacional*, *38*(3), 363-388.

Bashiri, M., Rezanezhad, M., Tavakkoli-Moghaddam, R., & Hasanzadeh, H. (2018). Mathematical modeling for a p-mobile hub location problem in a dynamic environment by a genetic algorithm. *Applied Mathematical Modelling, 54*, 151-169.

Biuki, M., Kazemi, A., & Alinezhad, A. (2020). An integrated location-routing-inventory model for sustainable design of a perishable products supply chain network. *Journal of Cleaner Production*, *260*, 120842.

Cigolini, R., Pero, M., Rossi, T., & Sianesi, A. (2014). Linking supply chain configuration to supply chain perfrmance: A discrete event simulation model. *Simulation Modelling Practice and Theory*, *40*, 1-11.

da Silveira Farias, E., Li, J. Q., Galvez, J. P., & Borenstein, D. (2017). Simple heuristic for the strategic supply chain design of large-scale networks: A Brazilian case study. *Computers & Industrial Engineering*, *113*, 746-756.

Durmaz, Y. G., & Bilgen, B. (2020). Multi-objective optimization of sustainable biomass supply chain network design. *Applied Energy*, *272*, 115259.

Ejikeme-Ugwu, E., Liu, S., & Wang, M. (2011). Integrated refinery planning under product demand uncertainty. *In Computer Aided Chemical Engineering* (Vol. 29, pp. 950-954).

Fallah Lajimi, H., Jafarnejad, A., Mehrgan, M., Olfat, L. (2015). Configuring integrated supply chain network stochastic strategic. *Industrial Management Journal, 7*(1), 83-105. (in Persian).

Fazlollahtabar, H., Mahdavi, I., & Mohajeri, A. (2013). Applying fuzzy mathematical programming approach to optimize a multiple supply network in uncertain condition with comparative analysis. *Applied Soft Computing, 13*(1), 550-562.

Gholizadeh, H., Tajdin, A., & Javadian, N. (2020). A closed-loop supply chain robust optimization for disposable appliances. *Neural Computing and Applications, 32*(8), 3967-3985.

Govindan, K., Jafarian, A., & Nourbakhsh, V. (2015). Bi-objective integrating sustainable order allocation and sustainable supply chain network strategic design with stochastic demand using a novel robust hybrid multi-objective metaheuristic. *Computers & Operations Research, 62*, 112-130.

Graves, S. C., & Willems, S. P. (2005). Optimizing the supply chain configuration for new products. *Management science, 51*(8), 1165-1180.

Handfield, R. B., & Nichols Jr, E. L. (1999). Introduction to. Supply Chain Management, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ.

Hong, Z., Dai, W., Luh, H., & Yang, C. (2018). Optimal configuration of a green product supply chain with guaranteed service time and emission constraints. *European Journal of Operational Research, 266*(2), 663-677.

Hosseini-Motlagh, S. M., Samani, M. R. G., & Saadi, F. A. (2019). Strategic optimization of wheat supply chain network under uncertainty: a real case study. *Operational Research*, 1-41.

Jabbarzadeh, A., Haughton, M., & Pourmehdi, F. (2019). A robust optimization model for efficient and green supply chain planning with postponement strategy. *International Journal of Production Economics, 214*, 266-283.

Keyvanshokooh, E., Ryan, S. M., & Kabir, E. (2016). Hybrid robust and stochastic optimization for closed-loop supply chain network design using accelerated Benders decomposition. *European Journal of Operational Research, 249*(1), 76-92.

Kim, J., & Rogers, K. J. (2005). An object- oriented approach for building a flexible supply chain model. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*.

Kumar, S. K., & Tiwari, M. K. (2013). Supply chain system design integrated with risk pooling. *Computers & Industrial Engineering, 64*(2), 580-588.

Lee, Y. H., & Kwon, S. G. (2010). The hybrid planning algorithm for the distribution center operation using tabu search and decomposed optimization. *Expert systems with applications, 37*(4), 3094-3103.

Mohammadi, A., Alem Tabriz, A., Pishvaee, M. (2018). Designing Green Closed-loop Supply Chain Network with Financial Decisions under Uncertainty. *Industrial Management Journal*, 10(1), 61-84. (in Persian).

Mota, B., Gomes, M. I., Carvalho, A., & Barbosa-Povoa, A. P. (2018). Sustainable supply chains: An integrated modeling approach under uncertainty. *Omega*, *77*, 32-57.

Negahban, A., & Dehghanimohammadabadi, M. (2018). Optimizing the supply chain configuration and production-sales policies for new products over multiple planning horizons. *International Journal of Production Economics*, *196*, 150-162.

Nezamoddini, N., Gholami, A., & Aqlan, F. (2020). A risk-based optimization framework for integrated supply chains using genetic algorithm and artificial neural networks. *International Journal of Production Economics*, *225*, 107569.

Qiu, X., Zhang, L., Ren, Y., Suganthan, P. N., & Amaratunga, G. (2014, December). Ensemble deep learning for regression and time series forecasting. In *2014 IEEE symposium on computational intelligence in ensemble learning (CIEL)* (pp. 1-6). IEEE.

Rahmani, D., & Mahoodian, V. (2017). Strategic and operational supply chain network design to reduce carbon emission considering reliability and robustness. *Journal of Cleaner Production*, *149*, 607-620.

Ramezani, M., Bashiri, M., & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2013). A new multi-objective stochastic model for a forward/reverse logistic network design with responsiveness and quality level. *Applied Mathematical Modelling*, *37*(1-2), 328-344.

Ross, J. W. (2003). Creating a strategic IT architecture competency: Learning in stages.

Soleimani, H., & Kannan, G. (2015). A hybrid particle swarm optimization and genetic algorithm for closed-loop supply chain network design in large-scale networks. *Applied Mathematical Modelling*, *39*(14), 3990-4012.

Thanh, P. N., Bostel, N., & Péton, O. (2012). A DC programming heuristic applied to the logistics network design problem. *International Journal of Production Economics*, *135*(1), 94-105.

Vahdani, B., & Mohammadi, M. (2015). A bi-objective interval-stochastic robust optimization model for designing closed loop supply chain network with multi-priority queuing system. *International Journal of Production Economics*, *170*, 67-87.

Wang, R. C., & Liang, T. F. (2005). Applying possibilistic linear programming to aggregate production planning. *International journal of production economics*, *98*(3), 328-341.

Yang, D., Li, X., Jiao, R. J., & Wang, B. (2018). Decision support to product configuration considering component replenishment uncertainty: A stochastic programming approach. *Decision Support Systems*, *105*, 108-118.

Zhang, L. L., Lee, C., & Zhang, S. (2016). An integrated model for strategic supply chain design: Formulation and ABC-based solution approach. *Expert Systems with Applications*, *52*, 39-49.