International Journal of InXustrial Engineering & ProXuction Management (2014)

August 2014, Volume 25, Number 2
pp. 185-204

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

Proposing a Model for Optimization of Integrated Supply Chain: Using Multi-Objective Stochastic Programming

A. Mazaheri, M. Karbasian*, S.M. Sajadi, H. Shiroyezad & S. Abedi

Ali Mazaheri, *Iran Aircraft Manufacturing Co , Shahinshahr, Isfahan, Iran, MS_c in Industrial Engineering*
Mahdi Karbasian, *Department of Industrial Engineering, Malek-ashtar University of Technology,Shahinshahr, Isfahan, Iran, Assistance professor of Industrial Engineering*
Seyed Mojtaba Sajadi, *Faculty of Entretreneurship, Assistance Professor, University of Tehran, Iran,*
Hadi Shirouyehzad, *Department of Industrial Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University,Isfahan,Iran, Assistance professor of Industrial Engineering*
Saeed Abedi, *Young Researchers Club, Najafabad Branch, Islamic Azad University ,Najafabad,Isfahan, Iran, MS_c in Industrial Engineering*

KeyworXs

Supply Chain Optimization,
Multi Objective Stochastic Programming,
Aggregate Production Planning,
Uncertainty,
Financial Risk,
Six Sigma

ABSTRACT

Nowadays, global rapid transformation speed faced the organizations to investigate supply chain management in order to overcome the unsecure conditions of their environment. Because it influenced all organization's activities to generate products and services to customers in a way that suppliers must produce parts and materials in best quality and the lowest cost. Also, producers and distributors must have close relationship with market development policies. In this paper, we consider the optimization and promotion of supply chain consisted of multi-supplier, multi-producer, multi-distribution centers and multi-customer centers in the form of multi-period and with multiple products and scenarios. This formulation develops previous presented models to cover many other characteristics of the supply chain and propose more realistic model. To this end, integrated production programming has considered under the condition of uncertainty and a two-stage stochastic model has created. Then a multi-objective stochastic model is introduced in which six-sigma scale is used to minimize the defects of raw materials. Also, the proposed model tries to satisfy customer with the aid of minimizing the shortage and maximizing the minimum amount of satisfied demand. In the other hand, consideration and control of financial risk related to design of different alternatives has been intended. Finally, investigating the performance of supply chain management, as a main propose of this paper, has been evaluated considering the profit through time periods and different scenarios. The result is a Pareto optimal solution set which can be used in decision making.

© 2014 IUST Publication, IJIEPM. Vol. 25, No. 2, All Rights Reserved

* **Corresponding author. Mehdi Karbasian**
Email: *mkarbasi@ mut-es.ac.ir*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]

نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنـــایع و مدیـــــریت تولیـــد

شمـــــاره 2، جلـــد 25، شهـــریور 1393

صفحـــــه 204-186

نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید دانشگاه علم و صنعت ایران

ISSN: 2008-4870

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

ارائه مدلی جهت بهینه‌سازی زنجیره تأمین یکپارچه با استفاده از روش برنامه‌ریزی تصادفی چند هدفه

علی مظاهری، مهدی کرباسیان *، سیدمجتبی سجادی، هادی شیرویه‌زاد و سعید عابدی

کلمات کلیدی

بهینه‌سازی‌زنجیرهٔ تأمین[1]،
برنامه‌ریزی تصادفی چند هدفه[2]،
برنامه‌ریزی تولید یکپارچه[3]،
عدم قطعیت[4]، ریسک‌مالی[5]،
شش سیگما[6].

چکیده:

امروزه سیر تحولات پرشتاب جهانی، سازمان‌ها را بر آن داشته تا برای غلبه بر شرایط نامطمئن پیرامون خود به تحقیق در مدیریت زنجیره تأمین بپردازند، زیرا تمامی فعالیت‌های سازمان را به منظور تولید محصولات و ارائه خدمات مورد نیاز مشتریان تحت تأثیر قرار می‌دهد به گونه‌ای که تأمین‌کنندگان بایستی قطعات و مواد را با بهترین کیفیت و کمترین هزینه تولید نمایند و تولیدکنندگان و توزیع کنندگان محصولات نیز باید رابطه نزدیکی با سیاست‌های توسعه بازار داشته باشند. در این مقاله بهینه‌سازی و ارتقای زنجیرهٔ تأمین متشکل از چند تأمین‌کننده، چند تولیدکننده، چند مرکز توزیع، و چندین مرکز مشتری در حالت چند دوره‌ای و با وجود چند محصول و چند سناریو درنظر گرفته شده است. فرمول‌بندی مسئله مدل‌های ارائه شده در گذشته را توسعه می‌دهد تا بسیاری از ویژگی‌های دیگر زنجیرهٔ تأمین به‌منظور ارائه مدلی واقع بینانه‌تر را دربرگیرد، به همین منظور برنامه‌ریزی تولید یکپارچه تحت شرایط عدم قطعیت درنظر گرفته شده و یک مدل تصادفی دو مرحله‌ای ایجاد شده است. در ادامه یک مدل تصادفی چند هدفه معرفی می‌شود که از مقیاس شش سیگما به‌منظور حداقل‌سازی عیوب مواد اولیه استفاده می‌شود، همچنین با استفاده از کمینه‌سازی کمبودها و بیشینه‌سازی حداقل میزان ارضای تقاضا، مدل سعی در ایجاد رضایت برای مشتری دارد، ازسوی دیگر توانایی درنظر گرفتن و مهارکردن ریسک مالی مربوط به گزینه‌های مختلف طراحی، در مدل ایجاد شده است و درنهایت هدف مسئله یعنی بررسی عملکرد زنجیرهٔ تأمین، بادرنظر گرفتن سود در سرتاسر دوره‌های زمانی و در سناریوهای گوناگون ارزیابی شده است، نتیجه کار یک مجموعه جواب بهینه پارتو است که می‌تواند در تصمیم‌گیری به‌کار گرفته شود.

تاریخ وصول: 90/12/17

تاریخ تصویب: 91/6/15

علی مظاهری، شرکت صنایع هواپیماسازی ایران، شاهین شهر، اصفهان، ایران a. mazaheri2007@gmail. Com

***نویسنده مسئول مقاله: دکتر مهدی کرباسیان**، دانشگاه صنعتی مالک‌اشتر، گروه مهندسی صنایع، شاهین‌شهر، اصفهان، ایران، دانشیار دانشکده مهندسی صنایع mkarbasi@ mut-es.ac.ir

سید مجتبی سجادی، دانشگاه تهران، گروه کسب و کار جدید، ایران، استادیار دانشکده کارآفرینی، msajadi@ut.ac.ir

هادی شیرویه زاد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد نجف‌آباد، گروه مهندسی صنایع، نجف‌آباد، اصفهان، ایران، استادیار دانشکده مهندسی صنایع hadi.shirouyehzad@gmail.com

سعید عابدی، دانشگاه آزاد اسلامی،واحد نجف‌آباد، باشگاه پژوهشگران جوان، نجف‌آباد، اصفهان، ایران، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد Saeedabedi_2734@ yahoo.com

[1] *Supply Chain Optimization*
[2] *Multi Objective Stochastic Programming*
[3] *Aggregate ProDuction Planning*
[4] *Uncertainty*
[5] *Financial Risk*
[6] *Sid Sigma*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]

1. مقدمه

مفهوم مدیریت زنجیرهٔ تأمین[1] که در اوایل دهه 90 پدید آمد، اخیراً بسیار مورد توجه قرار گرفته است، چون مدیریت یکپارچه زنجیرهٔ تأمین می‌تواند ایجاد وقایع غیرمنتظره و نامطلوب را در یک شبکه کاهش دهد و بر بازده کلیه اعضاء مؤثر باشد. سیمچی-لوی و همکاران عقیده داشتند که مدیریت زنجیرهٔ تأمین نگرشی یکپارچه به کارخانه، تأمین‌کنندگان و مشتریان آن دارد و تمام جریان‌های ورودی و خروجی (مواد، نقدینگی و اطلاعات) را هماهنگ می‌کند تا محصولات به مقدار مورد نیاز، تولید و در محل‌های لازم در زمان مناسب توزیع شوند و هدف اصلی رسیدن به نتایج مطلوب اقتصادی و ارضای مشتریان است [1]. فاکس و همکاران، مسائل مدیریت زنجیرهٔ تأمین را براساس وسعت برنامه‌ریزی در سطوح مختلف استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی تحلیل کردند [2].

ازسوی دیگر میرزاپور و همکاران عقیده دارند که، مدیریت زنجیرهٔ تأمین شامل برنامه‌ریزی در سرتاسر زنجیره از مواداولیه تا مشتری نهایی است و مبنای مدیریت عملیات را شکل می‌دهد. به‌نظر آنها مدیریت زنجیرهٔ تأمین تأثیری شگفت بر عملکرد سازمان ازنظر هزینه، کیفیت، قابلیت اطمینان، پاسخگوئی و انعطاف‌پذیری در بازار جهانی بوده و درحال تبدیل شدن به یک ساختار با نظم هرچه کاملتر می‌باشد، از این رو این امر مستلزم یک ساختار سازمانی و معیارهای عملکردی مشخص‌تر می‌باشد[3]. مدیریت زنجیرهٔ تأمین، مدیران و تحلیلگران را قادر می‌سازد تا تمرکز صرف خود را از کارخانه‌ی تولیدی برداشته و به نهادهایی که کارخانه با آنها تعامل دارد متوجه سازند،ازجمله این نهادها می‌توان به تأمین‌کنندگان، مراکز توزیع و مشتریان اشاره نمود، که از آن جمله می‌توان به برخی مقالات اشاره نمود[4-8].

از آنجایی که ماهیت اغلب زنجیره‌های تأمین با عدم قطعیت توصیف می شود، پارامترهای مدل از قبیل ضریب هزینه، سرعت تولید، تقاضا و غیره در حقیقت قطعی نیستند. مطالعات بسیاری این عدم قطعیت زنجیره تامین را در سطوح گوناگون بررسی کرده‌اند. در ادامه‌ی بررسی مقالات، بک و همکاران، گردرام و همکاران و تایمپ و کالراس، تلاشهای زیادی برای مدل‌سازی و بهینه‌سازی زنجیرهٔ تأمین برای رویکردهای تصادفی و قطعی نموده‌اند[9، 10، 11] . بخشی از این تلاشها بر محور نظریه کنترل بوده که در آن عدم قطعیت به عنوان اختلال در مدل پویای یک سیستم تعریف شده است. بُس و پِکنی ، در مقاله‌شان بدنبال تنظیم موجودی کالا هستند تا بوسیله برنامه ریزی به سطح مطلوب ارائه خدمت به مشتری برسند و سپس آن را با رویکرد مدل کنترل پیشگویانه دنبال کنند [12]. پرئا لوپز و همکاران ، متغیرهای بهینه‌ای را مشخص کردند که سود سیستم را، بوسیله بهینه سازی یک برنامه ریزی خطی مختلط عدد صحیح چند دوره‌ای و با استفاده از یک رویکرد افق متحرک مدل کنترل پیشگویانه به حداکثر می‌رسانند [13]. کلیه این رویکردها در سطح عملیاتی مورد استفاده هستند.

همچنین در سطح تاکتیکی برنامه‌ریزی زنجیره تأمین، مقالات ون لندقم و ون مائل[13] و همچنین یو و لی، مربوط به توزیع مواد اولیه و محصولات بوده‌اند [14، 15]. در سطح استراتژیک، تحقیقات بسیاری درباره مکانیابی اجزاء شبکه زنجیره تأمین تحت عدم قطعیت انجام شده‌اند، به منظور یک مرور خوب در این زمینه خواننده محترم میتواند به اسنایدر رجوع نماید [16].

در گروه دیگری از تحقیقات، محبوب‌ترین رویکرد تحقیقاتی، *فرآیند تصمیم‌گیری دو مرحله‌ای* است. تفاوت کاربردها، در انتخاب متغیرهای تصمیم و چگونگی محاسبه ارزش مورد انتظار (امید ریاضی) است، جائیکه محاسبه انتگرال چند بعدی برای توزیع احتمال با پارامترهای غیر قطعی پیچیده می‌شود.کوهن و لی، سوبراه مانییام، ایبر و گراسمن و تیسیاکیس و همکاران، عقیده دارند که با تعریف سناریوهای گسسته و یا ترکیباتی از نمونه‌های گسسته کلیه پارامترهای غیر قطعی، مشکل توابع توزیع پیوسته نیز برطرف می‌شوند[17-20].

بررسی ادبیات تحقیق در مقالات پتکف و ماراناس، گوپتا و ماراناس، ایراپتریتو و پیستیکپولس، احمد و ساهینیدیس نشان می‌دهد که همواره مهم‌ترین منبع عدم قطعیت، تقاضا بوده است. با توجه به اینکه ارضای تقاضای مشتریان از مهم ترین انگیزه های برنامه‌ریزی‌های زنجیره تأمین است، ترکیب عدم قطعیت تقاضا با برنامه‌های تصمیم‌گیری مناسب خواهد بود [21-25].

همچنین تیسیاکیس و همکاران، سانتسو و همکاران و الهدهی و گزارا مطرح کرده‌اند که به طور متداول، تمرکز بهینه سازی در مسائل مدیریت زنجیره تأمین بر حداکثرسازی سود یا حداقل سازی هزینه به عنوان یک هدف واحد است. با این حال معیارهایی چون برآورده کردن به موقع تقاضای مشتری یا درصد تحویل سفارش[2] نیز باید در نظر گرفته شوند چون اینها به مقاصد اصلی مدیریت زنجیره تأمین یعنی، برآورده کردن نیازهای مشتری مربوط می‌شوند [20، 26، 27]. دی تنی و تنچیپا، ارل و فرل اظهار کرده‌اند که در سالهای اخیر زمان پاسخ‌گویی به مشتریان در طراحی شبکه توزیع درنظر گرفته شده است. به دلیل تغییرات جهانی ایجاد شده در زنجیره‌های تولید و توزیع، کنترل زمان تحویل برای بسیاری شرکتها به یک مزیت رقابتی تبدیل

[2] *Fill rate*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]

شده است، این پارامتر تأثیراتی بر هزینه‌ها دارد و می‌تواند از پیکربندی زنجیره تأمین تأثیرپذیر باشد [28، 29] .

در برخی مطالعات اخیر، محققین با استفاده از برنامه ریزی تصادفی عدد صحیح دو مرحله ای، به تصمیم گیری های استراتژیک و تاکتیکی می‌پردازند. به عبارت دیگر متغیرهای باینری نشان دهنده وجود نقاط مختلف زنجیره تأمین و متغیرهای مربوط به ظرفیت مکان‌ها متغیرهای مرحله اول می‌باشند چون باید قبل از پدیدار گشتن عدم قطعیت تقاضا در طراحی در نظر گرفته شوند و از سوی دیگر متغیرهای تصمیم مربوط به تعداد محصولات تولید و ذخیره شده در نقاط مختلف زنجیره، جریان کالاهای حمل شده بین نقاط مختلف شبکه و فروش محصولات، متغیرهای مرحله دوم به حساب می‌آیند. میرحسنی و همکاران ، از این استراتژی و تحلیل جوابها برپایه سناریو توسط الگوریتم تجزیه بندرز[1] در یک مدل چند دوره‌ای تخصیص منابع استفاده می‌کنند [30]. احمد و همکاران ، برای توسعه ظرفیت یک زنجیره تأمین به فرمول‌بندی برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای بر پایه سناریو روی می‌آورند تا عدم قطعیت را مدلسازی کنند [31]. گوپتا و ماراناس و تیسیاکیس و همکاران، از یک برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای برای اتخاذ تصمیمات استراتژیک و تاکتیکی در زنجیره تأمین تحت عدم قطعیت تقاضا استفاده کرده‌اند [20، 22، 23]. آلنس-آیوس و همکاران، از یک الگوریتم شاخه و کران[13] برای حل مسئله برنامه ریزی عددصحیح تصادفی یک مسئلهٔ زنجیره تأمین دو مرحله ای استفاده کرده‌اند [32]. بلک هرست و همکاران، از یک رویکرد شبکه‌ای برای مدلسازی یک زنجیره تأمین استفاده نموده‌اند [33]. ریو و همکاران، برنامه‌ریزی دوسطحی و برنامه‌ریزی پارامتریک را برای حل یک مسئله تخصیص منابع در زنجیره تأمین تحت عدم قطعیتِ تقاضا به کار برده‌اند [34].

اما با این حال تعداد مقالاتی که طراحی زنجیره تأمین را تحت عدم قطعیت و با اهداف متعدد در نظر می‌گیرند بسیار کم است که به عنوان نمونه می‌توان به صبری و بمن ، گویلن و همکاران و چن و همکاران اشاره نمود [35-37].

گویلن و همکاران، طراحی و ارتقای یک مسئله زنجیره‌ی تأمین متشکل از چند کارخانه، انبار و بازار را درنظر گرفته‌اند. فرمول‌بندی مسئله، مدلهای ارائه شده در گذشته را توسعه می‌دهد تا بسیاری از خواص دیگر زنجیره‌ی تأمین را برای ارائه واقع‌بینانه‌تر پیامدهای طراحی آن دربرگیرد. هدف مسئله، یعنی عملکرد زنجیره‌ی تأمین با درنظرگرفتن نه تنها سود در سرتاسر دوره زمانی، بلکه ارضای تقاضا نیز ارزیابی شده است. پیکربندی زنجیره‌ی تأمین بدست آمده توسط یک برنامه‌ریزی ریاضی قطعی با پیکربندی‌های تعیین شده توسط سناریوهای تصادفی مختلف ، نمایانگر عدم قطعیت، مقایسه می‌شود. ازسوی دیگر، این رویکرد توانایی درنظر گرفتن و مهارکردن ریسک مالی مربوط به گزینه‌های مختلف طراحی را فراهم می‌کند. حاصل یک مجموعه جواب بهینه پارتو می‌باشد که می‌تواند در تصمیم‌گیری به‌کار گرفته شود [36].

مجموعه جواب بهینه پارتو به این معنی است که اگر در میزان عددی متغیرهای بدست آمده کمترین تغییری ایجاد شود تراضی بین اهداف پیش خواهد آمد.

آزارن و همکاران به توسعه یک برنامه‌ریزی تصادفی چند هدفه برای طراحی زنجیره‌ی تأمین تحت عدم قطعیت پرداخته‌اند. در مدل آنها تقاضا، منابع، فرآوری، حمل و نقل، کسری و هزینه‌های توسعه ظرفیت همگی به‌عنوان پارامترهای غیرقطعی لحاظ شده‌اند. این مدل چند هدفه شامل:

(I) به حداقل رساندن جمع هزینه‌های سرمایه‌گذاری جاری و هزینه‌های موردانتظار برای فرآوری، حمل و نقل، کمبود و توسعه ظرفیت، (II) به حداقل رساندن واریانس هزینه کل و (III) به حداقل رساندن ریسک مالی می‌باشد. ایده‌های تأمین‌کننده‌های غیرقابل اطمینان و توسعه ظرفیت پس ازدرک پارامترهای غیرقطعی نیزدر مدل به کار گرفته می‌شوند. درنهایت تکنیک دستیابی به هدف برای حصول راه‌حل بهینه پارتو که می‌تواند برای تصمیم‌گیری به کار گرفته شود را مورداستفاده قرار داده‌اند [38].

ردریگو و همکاران، روشی را برای ارزیابی ریسک سیستمی کیفیت پایین در زنجیره‌ی تأمین نشان داده‌اند. یک مدل چندهدفه تصادفی معرفی کرده‌اند که از مقیاس شش سیگما برای ارزیابی ریسک مالی استفاده می‌کند. دلیل آنها برای ایجاد این مدل، این بوده است که بدلیل منفعت مالی، برون سپاری به تأمین‌کنندگان خارجی ازجمله چین در سالهای اخیر بسیار رایج شده است. این برون‌سپاری تأثیرات عیوب کیفی را به درستی مشخص نمی‌کنند، نتیجه مقاله نشان می‌دهد که با کاهش میزان کیفیت مواد اولیه میزان سود افزایش می‌یابد و بالعکس [39].

کاردنا والدس و همکاران، یک شبکه تولید و توزیع دو قسمتی را باتعدادی کارخانه تولیدی، چند مشتری و یک مجموعه از مراکز توزیع درنظر گرفته‌اند. مهمترین هدف آنها توسعه ادبیات موجود با دخالت دادن عدم قطعیت تقاضای مشتریان در محل مراکز توزیع و انتخاب راه حمل‌ونقل و همچنین طراحی شبکه‌ای که قادر به برآورده کردن اهداف اقتصادی و کیفی تصمیم‌گیرنده در دوسطح شبکه تأمین باشد، بوده است. آنها مسئله را به شکل یک مسئله منابع عدد صحیح دو مرحله‌ای فرمول‌بندی کرده‌اند تا به

[1] *GjeDrum*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]

یک مجموعه پیکربندی بهینه شبکه و تخصیص راه‌های حمل و نقل و جریانهای متناظر در جهت حداقل سازی همزمان هزینه و زمان انتظار مشتری برسند. آنها یک مدل بهینه‌سازی تصادفی تحت عدم قطعیت تقاضا توسعه داده‌اند که در آن ریسک موجود را با سناریوها نشان داده‌اند [40].

میرزاپور و همکاران، یک زنجیره‌ی تأمین شامل چند تأمین‌کننده، چند تولیدکننده و چند مشتری، با وجود چند محل تولید درحالت چند دوره‌ای با وجود چند محصول در مسئله برنامه‌ریزی تولید یکپارچه تحت شرایط عدم قطعیت درنظر گرفته‌اند.

درابتدا یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح مختلط غیرخطی برای رویارویی با مسئله برنامه‌ریزی تولید یکپارچه درحالت وجود دو هدف متعارض و یک محیط دارای عدم قطعیت برای زنجیره‌ی تأمین پیشنهادشده. پارامترهای هزینه‌ای زنجیره تأمین و نوسانات تقاضا از این عدم قطعیت ناشی می‌شوند. سپس این مسئله به یک مسئله خطی چند هدفه تبدیل می‌شود، هدف اول جهت مینیمم کردن هزینه‌های زنجیره‌ی تأمین و تابع هدف دوم بدنبال حداکثر کردن رضایت مشتری از طریق مینیمم سازی ماکزیمم مقدار کمبودها در محل مشتریان در تمامی دوره‌های زمانی است. درنهایت مدل پیشنهادی به‌عنوان یک مدل تک هدفه برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط با بکارگیری روش Lp-metric حل می‌شود [3].

بنابراین در تشکیل مدل زنجیره تأمین باید سود کل زنجیره ، خدمت به مشتریان و کیفیت تولیدات تأمین کنندگان را در نظر گرفت، حتی اگر سنجش آنها در واحد پول مشکل باشد. معمولاً برای سود بیشتر، رضایت مشتری و کیفیت محصول کمتر می‌شوند، و سه هدف، بالا بردن سود، رضایت مشتری و کیفیت در تناقض خواهند بود. بنابراین طرح مسئله به صورت چندهدفه پیشنهاد می‌شود که پاسخ آن یک مجموعه جواب بهینه پارتو است که به جای یک جواب واحد، گزینه هایی حاصل تراضی بین چند هدف را پیشنهاد می‌کند.

در میتینن، روشهای متنوعی برای حل مسائل چندهدفه پیشنهاد شده است [41]. در بین روشهای متنوع پیشنهاد شده برای حل مسائل چند هدفه توسط آزاپاجیکو کلایفت ، ژو و همکاران و چن و همکاران روشهای مجموع وزین، برنامه‌ریزی آرمانی و محدودیت-اپسیلن، که بر پایه تبدیل اهداف از کمیت برداری به کمیت نرده‌ای بنا شده‌اند، در مهندسی فرآیند بیشتر از بقیه استفاده می‌شوند [42-44]. به دلیل اینکه بهینه سازی مسائل چندهدفه غالباً به دنبال تراضی بین اهداف است، مجموعه جواب بهینه پارِتوی حاصل از بینهایت گزینه تشکیل شده است.

برای تعیین یک نقطه خاص به عنوان جواب ، تلاشهایی برای مقایسه اهداف صورت گرفته‌اند که از آن جمله می‌توان به بهینه سازی یک تابع Nash-type، در جدرام و همکاران اشاره نمود [45]. همچنین استفاده از مجموعه های فازی برای تعریف اهداف توسط چن و همکاران، صورت گرفته است [44].

در این مقاله، مسئله طراحی زنجیرهٔ تأمین چهارسطحی ما به صورت یک مدل چند هدفه برای چند محصول متشکل از چند ماده خام، چند سناریو و برای چندین دوره زمانی مطرح می‌شود که هدف ابتدایی حداکثرسازی سود موردانتظار زنجیره با استفاده از حداکثرسازی ارزش فعلی خالص می‌باشد، هدف دوم افزایش سطح کیفیت در مواداولیه و کاهش عیوب تأمین‌کنندگان می‌باشد، هدف سوم حداقل‌سازی مجموع کمبود کالاها در محدوده مشتریان در تمامی دوره‌های زمانی را انجام داده، هدف چهارم حداقل‌سازی ریسک مالی و درنهایت هدف پنجم به دنبال حداکثر کردن ارضاء تقاضا می‌باشد که از طریق تعیین یک مقدار حداقل برای ارضاء تقاضا حاصل می‌گردد. در این مدل نوسانات تقاضا دلیل عدم قطعیت هستند، علاوه براین موارد برنامه‌ریزی تولید یکپارچه نیز در مدل دیده شده که برروی اهداف تأثیر گذاشته و دقت مدل را به واسطهٔ در نظر گرفتن متغیرهای تأثیرگذار در هزینه‌های مستقیم و غیرمستقیم بالاتر می‌برد. ازجمله مواردی که می‌توان اظهار کرد که در این مدل منظور شده‌اند، سطوح مختلف علمی و تجربی کارکنان، بهره‌وری نیروی کار، روشهای تولید به‌صورت اضافه‌کاری و پیمانکاری فرعی، استخدام، اخراج، هزینه آموزش و ... می‌باشد و این کار باعث می‌شود که روند مدل‌سازی پیچیده‌تر شود.

در ادامه مقاله به این صورت تقسیم‌بندی شده است: در بخش دوم شرح مسئله، در بخش سوم مدل تصادفی چند هدفه و فرمولاسیون ارائه می‌شود، سپس در بخش چهارم روش حل معرفی می‌شود. پس از آن پایداری و اثربخشی مدل پیشنهادی با یک مثال عددی در بخش پنجم به اثبات می‌رسد و در نهایت نتیجه‌گیری تحقیق را در بخش ششم مطالعه خواهید فرمود.

2. شرح مسئله

براساس تحقیق گالگو برنامه‌ریزی تولید یکپارچه یک مسئله سنتی است که سازمانها با آن رودررو هستند [46]، به همین سبب میرزاپور و همکاران یک زنجیره تأمین شامل چند تأمین‌کننده، چند تولیدکننده و چند مشتری، با وجود چند محل تولید در حالت چند دوره‌ای با وجود چند محصول در مسئله برنامه‌ریزی تولید یکپارچه تحت شرایط عدم قطعیت در نظر گرفته‌اند [3].

کاردناوالدس و همکاران یک شبکه تولید و توزیع دو قسمتی را با تعدادی کارخانه‌ی تولیدی، چند مشتری و یک مجموعه از مراکز توزیع در نظر گرفته‌اند، هدف آنها دخالت دادن عدم قطعیت

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]

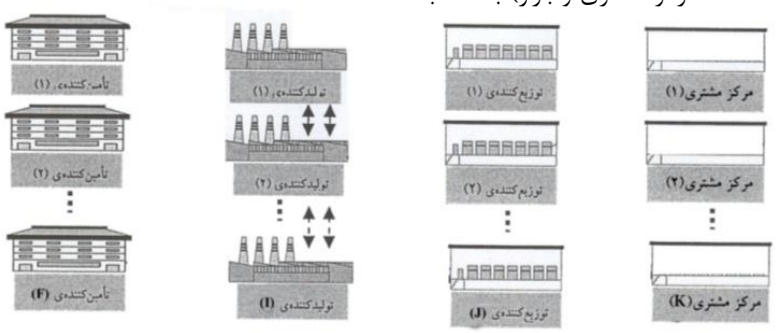
تقاضای مشتریان و انتخاب راه حمل و نقل بوده است [40]. ردریگو و همکاران یک مدل چند هدفه تصادفی معرفی کرده‌اند که از مقیاس شش سیگما برای ارزیابی ریسک مالی استفاده می‌کند و نشان داده است که هرچه به سطح کیفیت شش سیگما نزدیکتر شویم سازمان با ضرر مواجه می‌شود و هرچه سطح کیفیت کاهش نماید میزان سود افزایش می‌یابد [39].

بنابراین کارخانه ها باید در باره چند استراتژی متناقض حداکثرسازی سود کوتاه مدت و دستیابی به ثبات بلند مدت با ارائه کیفیت بالا، ایجاد حداکثر ارضای تقاضای مشتریان، به حداقل رساندن کمبودها و به حداقل رساندن ریسک مالی تصمیم بگیرند. به عنوان مثال معمولا تصمیمات زنجیره تامین توسط تحلیلگرانی ارزیابی شده است که محاسبه هزینه‌ها و کیفیت را مستقل از هم درنظر گرفته‌اند. این فرآیند تصمیم‌گیری مستقل، تاثیرات عیوب را به درستی تعیین نمی‌کند و تصمیمات استراتژیک بی‌نتیجه بوده و به طور جامع قادر به در نظر گرفتن پیچیدگی مسئله نخواهد بود. هدف ما بررسی پدیده‌های ذکر شده توسط یک مدل چند هدفه است که پس از پدید آمدن عدم قطعیت تقاضا مقادیر متفاوتی برای ارزش فعلی خالص، ارضای تقاضا و حد میانی بین کیفیت و سود را نشان می‌دهد.

در این مقاله، مسئله چهار سطحی زنجیره تأمین (تامین‌کننده- تولیدکننده- مرکز توزیع‌کننده – مرکز مشتری و بازار) با حساب حداکثرسازی دو هدف (ارزش فعلی خالص و حداقل ارضای تقاضا) و حداقل سازی سه هدف (تعداد قطعات معیوب مواد اولیه ، میزان کمبود در بازارها و ریسک مالی) و در نظر گرفتن ارجحیت‌های تصمیم گیرندگان طراحی می‌شود. علاوه بر این در محدودیتهای مربوط به این اهداف، آنچه که مربوط به برنامه‌ریزی تولید می‌باشد نیز گنجانده شده است. برنامه‌ریزی تولید پیشرفته با تعیین سطوح تولید، موجودی و نیروی کار در راستای برآورده‌سازی تقاضای متغیر در یک افق برنامه‌ریزی در ارتباط است.

ساختار زنجیره تأمین فوق الذکر در شکل 1 نشان داده شده است و شامل عناصر زیر است:

- مجموعه‌ای از تامین کنندگان که مواد اولیه مورد نیاز کارخانه‌ها را تامین می‌کنند
- مجموعه‌ای از کارخانه ها که در آن محصولات قبل از فرستاده شدن به انبارها تولید می‌شوند.
- مجموعه‌ای از انبارها برای ذخیره محصولات برای فرستادن به بازار.
- مجموعه‌ای از بازارها که محصولات در آنها در دسترس مشتریان قرار می‌گیرند.



شکل 1. پیکربندی زنجیرهٔ تأمین

در نهایت بر اساس مجموعه جواب بدست آمده از بهینه سازی چند هدفه می‌توان پیکربندی مطلوب را بر اساس سطوح عملکرد هر هدف یافت.

2-1. مفروضات مدل پیشنهادی

در مدل پیشنهادی تعدادی تأمین کننده وجود دارد که به تعدادی تولیدکننده که محصولات نهایی خود را برای توزیع‌کنندگان ارسال می‌کنند، ارایه‌ی خدمت می‌نمایند. در این میان تعدادی پیمانکار نیز در نظر گرفته شده است که این پیمانکاران توانایی تأمین محصولات نهایی را دارند و رابطه‌ی مستقیمی با تولیدکنندگان از طریق فعالیت در مراکز تولید دارند. در مدل نیز تعدادی توزیع کننده در نظر گرفته شده‌اند، که می‌توان آنها را رابط بین تولیدکنندگان و مشتریان دانست و در انتها مراکز مشتری قرارداد که می‌توان آنها را نمایندگی‌های فروش محصولات نهایی دانست. هدف اصلی مدل، تعیین نحوه‌ی تخصیص بهینه‌ی منابع در کل زنجیره‌ی تأمین با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، توزیع‌کنندگان، حمل و نقل و شرط با کیفیت بودن زنجیره با استفاده از محدودیت کنترل آماری شش سیگما بر روی مواد اولیه است. در این مدل ظرفیت تولید با توجه به زمان در دسترس عادی و زمان

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]

اضافه‌کاری هر تولیدکننده و زمان در دسترس بودن هر پیمانکار فرعی در هر دوره‌ی زمانی و ظرفیت حجم انبار هر توزیع‌کننده و محدودیت‌های ارسال و حمل‌و نقل تعیین می‌شود.

همچنین ظرفیت هر تولیدکننده مستقل از دیگر تولیدکنندگان در نظر گرفته شده است. ظرفیت توزیع‌کنندگان برابر با حداکثر فضای در دسترس و با توجه به تقاضاهای موجود در هر دوره‌ی زمانی محاسبه می‌شود و ظرفیت تأمین‌کنندگان نیز با توجه به ظرفیت در دسترس برای ذخیره مواد خام در انبار هر تولیدکننده در هر دوره زمانی مشخص می‌شود. علاوه بر محدودیت‌های فوق عوامل دیگری همچون تعداد استخدام، اخراج و آموزش برای کارکنان سطوح مختلف در هریک از مراکز تولید و هزینه‌ای که به مراکز تولید زنجیره تحمیل می‌کنند در نظر گرفته شده است.

در این مدل پیش فرض‌های زیر مدنظر قرار گرفته‌اند :

- هر محصول نهایی وارد انبار شده و سپس به مرکز مشتری منتقل می‌شود.
- میزان تقاضا برای هر محصول و در هر مرکز مشتری مستقل از یکدیگر و به صورت تصادفی می‌باشد.
- هر محصول می‌تواند در یک یا چند مرکز تولید، تولید شود و هر مرکز تولید می‌تواند یک یا چند نوع محصول را تولید کند.
- مراکز مشتری کمبود خود را از سایر مراکز مشتری تأمین نمی‌کنند.
- طول دوره زمانی با توجه به خصوصیات مسأله و به وسیله تحلیل‌گر مشخص می‌شود.
- جریان کالا بین نقاط مختلف زنجیره تأمین در شروع دوره‌ی برنامه‌ریزی، صفر است.

3. مدل تصادفی چند هدفه

در این مقاله یک رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای با چند هدف پیشنهاد شده، که عدم قطعیت مربوط به تقاضا را در فرآیند طراحی در بر می‌گیرد.

در مسئله مطرح شده، عدم قطعیت مربوط به تقاضا در مجموعه‌ای از سناریوها با احتمال پیشامدِ داده شده بیان می‌شود. چنین سناریوهایی همراه با احتمالات مربوطه باید به عنوان داده‌های ورودی به مدل فراهم شوند. بعلاوه متغیرهای تصمیم توصیف کننده‌ی ساختار شبکه‌ای یعنی همان متغیرهای باینری (دودویی) نشان‌دهنده وجود نقاط مختلف زنجیرهٔ تأمین هستند و متغیرهای پیوسته مربوط به ظرفیت مکان‌ها، متغیرهای مرحلهٔ اول می‌باشند چون باید قبل از پدیدار گشتن عدم قطعیت تقاضا در طراحی درنظر گرفته شوند. ازسوی دیگر متغیرهای تصمیم مربوط به تعداد محصولات تولید و ذخیره شده در نقاط مختلف زنجیرهٔ تأمین، جریان کالای حمل شده بین نقاط مختلف شبکه و فروش محصولات، متغیرهای مرحله دوم به حساب می‌آیند.

در پایانِ طراحی و پس از پدید آمدن عدم قطعیت تقاضا، مقادیر متفاوتی برای ارزش فعلی خالص، ارضای تقاضا، تعداد قطعات معیوب مواد اولیه، کمبودها و ریسک مالی بدست می‌آیند. در ادامه فرمول‌بندی ریاضی برای این مدل شرح داده می‌شود:

3-1. نمادگذاری

اندیس‌ها

f : شمارنده‌ی مراکز تأمین مواد خام $(f = 1, 2, \dots, F)$

g : شمارنده‌ی ساعات در دسترس در حالات گوناگون (زمان عادی $g = 1$ ؛ زمان اضافه‌کاری $g = 2$ ، زمان قراردادی پیمانکار فرعی $g = 3$)

i : شمارنده‌ی مراکز تولید محصولات $(i = 1,2, \dots, I)$

j : شمارنده‌ی مراکز توزیع و انبارها $(j = 1,2, \dots, J)$

k : شمارنده‌ی مراکز مشتری و بازارها $(k = 1,2, \dots, K)$

l : شمارنده‌ی سطوح علمی و تجربی کارکنان $(l = 1,2, \dots, L)$

p : شمارنده‌ی محصولات $(p = 1,2, \dots, P)$

r : شمارنده‌ی مواد خام $(r = 1,2, \dots, R)$

s : شمارنده‌ی سناریوها $(s = 1,2, \dots, S)$

t : شمارنده‌ی دوره‌های زمانی $(t = 1,2, \dots, T)$

پارامترها

a_{rft} : هزینه ماده خام r ام تأمین شده بوسیله تأمین‌کننده‌ی f ام در دوره زمانی t ام.

$C_f^{\circ L}$: حداقل ظرفیت تأمین کننده f ام.

$C_f^{\circ u}$: حداکثر ظرفیت تأمین کننده f ام.

C_{rf} : عامل ظرفیت مصرفی ماده خام r ام توسط تأمین کننده f ام.

CH_{igt} : هزینه تولید هر ساعت در زمان عادی $g = 1$ ؛ اضافه‌کاری $g = 2$ ، و پیمانکار فرعی $g = 3$ در مکان تولیدی iام در دوره زمانی t ام.

CIM_{rit} : هزینه نگهداری موجودی برای ماده خام r ام در کارخانه تولیدی iام در دوره زمانی t ام.

Dem_{pkts} : تقاضای محصول p ام در بازار k ام در دوره زمانی t ام در سناریوی s ام.

dr_{rf} : نرخ عیب ماده خام r ام از تأمین کننده f ام.

FCI_{pi}^{L} : هزینه‌های ثابت در مرکز تولید i ام.

FCI_{WHj}^{L} : هزینه‌های ثابت در انبار j ام.

$FIRC_{Lit}$: هزینه اخراج کارگر سطح l ام، اخراج شده از مرکز تولید i ام در دوره زمانی t ام.

HC_{pjt} : هزینه نگهداری هر واحد p ام در انبار j ام در دوره زمانی t ام.

$HIRC_{Lit}$: هزینه استخدام کارگر سطح l ام ، استخدام شده در مرکز تولید i ام در دوره زمانی t ام.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]

IC_{pjt} : هزینه موجودی هر واحد محصول p ام در انبار j ام در دوره زمانی t ام.
IE^{L}_{pi} : برخی هزینه‌های غیرمستقیم در مرکز تولید i ام.
IE^{L}_{WHj} : برخی هزینه‌های غیرمستقیم در انبار j ام.
ir : نرخ بهره.
M : یک عدد بزرگ.
$MCaP_i$: ظرفیت انبار مواد اولیه در مرکز تولید i ام.
nd : تعداد دوره‌های زمانی برای استهلاک.
$PcaP^{L}_{i}$: حداقل ظرفیت مرکز تولید i ام.
$PcaP^{u}_{i}$: حداکثر ظرفیت مرکز تولید i ام.
$Price_{pkt}$: قیمت محصول p ام در بازار kام در دوره زمانی tام.
$Prob_s$: احتمال وقوع سناریوی s ام.
PT_{pi} : زمان تولید محصول p ام در مرکز تولید i ام.
SL_{Lit} : هزینه کارگر سطح l ام در مرکز تولید i ام در دوره زمانی t ام.
SV : ارزش اسقاطی کل زنجیره‌ی تأمین.
$TC0_{rfit}$: هزینه حمل ماده خام r ام از تأمین کننده f ام برای مرکز تولید i ام در دوره زمانی t ام.
$TC1_{pijt}$: هزینه حمل هر واحد از محصول p ام بین مرکز تولید i ام و انبار j ام در دوره زمانی t ام.
$TC2_{pjkt}$: هزینه حمل هر واحد از محصول p ام بین انبار j ام و بازار k ام در دوره زمانی t ام.
$TRC_{\acute{l}lit}$: هزینه آموزش برای کارگر سطح l ام ، آموزش دیده برای رسیدن به سطح $\acute{l}$ ام در مرکز تولیدی i ام در دوره زمانی t ام.
$TcaP_{git}$: زمان در دسترس عادی $(g=1)$ ، اضافه‌کاری $(g=2)$ و پیمانکاری فرعی $(g=3)$ در مرکز تولیدی i ام در دوره زمانی t ام.
tr : نرخ مالیات.
U_{rp} : ماتریس کاربرد ماده خام r ام در محصول p ام.
W_r : فاکتور وزنی برای اهمیت ماده خام r ام.
$WHcaP^{l}_{j}$: حداقل ظرفیت انبار j ام.
$WHcaP^{u}_{j}$: حداکثر ظرفیت انبار j ام.
α_{pi} : درصد ظرفیت تولید از محصول p ام در مرکز تولید i ام.
αWF_t : درصد تغییر مجاز در نیروی کار در دوره زمانی t ام.
β_{pj} : درصد ظرفیت انبار از محصول p ام در انبار j ام.
γ_{pi} : ضریب هزینه ثابت در مرکز تولید i ام.
γ_{WHj} : ضریب هزینه ثابت در انبار j ام.
ξ_{pi} : ضریب هزینه‌های غیرمستقیم در مرکز تولید i ام.
ξ_{WHj} : ضریب هزینه‌های غیرمستقیم در انبار j ام.
λ_j : میزان گردش موجودی در انبار j ام.
μ : فاکتور سرمایه در گردش.
Ω : سطح مطلوبیت / آرمان برای سود.
v_l : درصد بهره‌وری کارگران l ام $(0 \le v_l \le 1)$.
π_{pkt}: هزینه کمبود محصول pام در بازار kام در دوره زمانی tام.

متغیرها

ما در این تحقیق به دنبال یافتن مقادیر بهینه متغیرهای زیر هستیم :

AIL_{pjts} : متوسط سطح موجودی کالای p ام در انبار j ام برای دوره زمانی t ام در سناریوی s ام.
BD_{pkts} : کمبود محصول p ام در بازار k ام در دوره زمانی t ام در سناریوی s ام.
C°_{f} : ظرفیت تأمین کننده f ام.
CF_{ts} : جریان نقدینگی در دوره زمانی t ام در سناریوی s ام.
CI : سرمایه‌گذاری اصلی.
DE_{ts} : هزینه‌های مستقیم در دوره زمانی t ام در سناریوی s ام.
DeP_t : مقدار استهلاک در دوره زمانی t ام.
$Dsat_{ts}$: ارضای تقاضای کلی در دوره زمانی t ام در سناریوی s ام.
FCI : سرمایه‌گذاری اصلی ثابت.
FL_{lit} : تعداد کارگران سطح l ام اخراج شده از مرکز تولید i ام در دوره زمانی t ام.
HL_{lit} : تعداد کارگران سطح l ام استخدام شده برای مرکز تولید i ام در دوره زمانی t ام.
IE_{ts} : هزینه‌های غیرمستقیم در دوره زمانی t ام در سناریوی s ام.
IM_{rits} : میزان نگهداری ماده خام r ام در مرکز تولیدی i ام در دوره زمانی t ام در سناریوی s ام.
INV_{pjts} : میزان محصول p ام نگهداری شده در انبار j ام در دوره زمانی t ام در سناریوی s ام.
L_{lit} : تعداد کارگران سطح l ام در مرکز تولید i ام در دوره زمانی t ام.
MXsat: یک مقدار حداقل برای ارضاء تقاضا.
NPV_s : ارزش فعلی خالص در سناریوی s ام.
$PcaP_i$: ظرفیت مرکز تولیدی i ام.
ReV_{ts} : درآمدها در دوره زمانی t ام در سناریوی s ام.
$Risk\,(x,\Omega)$: ریسک مالی.
Tax_{ts} : مالیات‌ها در دوره زمانی t ام در سناریوی s ام.
$UL_{\acute{l}lit}$: تعداد کارگران آموزش دیده برای رسیدن از سطح l ام به سطح $\acute{l}$ ام در مرکز تولید i ام در دوره زمانی t ام.
WC : سرمایه در گردش.
WHcaP_j : ظرفیت انبار j ام.
X_{pijts} : میزان حمل محصول p ام از مرکز تولید i ام به انبار j ام در دوره زمانی t ام در سناریوی s ام.
XN_{pigts} : تعداد تولید شده از محصول p ام در مرکز i ام بااستفاده از روش g ام در دوره زمانی t ام درسناریوی sام.
Y°_{rfits} : میزان حمل از ماده خام r ام از تأمین کننده f ام برای مرکز تولید i ام در دوره زمانی t ام درسناریوی s ام.
Y_{pjkts} : میزان حمل محصول p ام از انبار j ام به بازار k ام در دوره زمانی t ام درسناریوی s ام.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]

$$A_i = \begin{cases} 1 & \text{اگر مرکز تولید } i \text{ ام فعال باشد} \\ 0 & \text{در غیراینصورت} \end{cases}$$

$$A_{rf} = \begin{cases} 1 & \text{اگر تأمین کننده } f \text{ ام توان تأمین ماده خام } r \text{ ام را داشته باشد} \\ 0 & \text{در غیراینصورت} \end{cases}$$

$$B_j = \begin{cases} 1 & \text{اگر انبار } j \text{ ام فعال باشد} \\ 0 & \text{در غیراینصورت} \end{cases}$$

$$UP_{l\acute{l}} = \begin{cases} 1 & \text{اگر آموزش برای رسیدن از سطح مهارت } l \text{ ام به سطح مهارت } \acute{l} \text{ ام ممکن است} \\ 0 & \text{در غیراینصورت} \end{cases}$$

$$Z_{s(x,\Omega)} = \begin{cases} 1 & \text{اگر سطح آرمان برای سود از ارزش فعلی خالص برای هر سناریوی } s \text{ بزرگتر باشد} (\Omega > \mathrm{NPV}_s) \\ 0 & \text{در غیراینصورت} \end{cases}$$

$$\gamma_f = \begin{cases} 1 & \text{اگر تأمین کننده } f \text{ ام برای تأمین انتخاب شود} \\ 0 & \text{در غیراینصورت} \end{cases}$$

3-2. توابع هدف

در این تحقیق ما به دنبال رسیدن به پنج هدف اصلی در زنجیره هستیم که در نهایت یک مجموعه جواب بهینه پارتو برای زنجیره حاصل می‌شود، که این اهداف عبارتند از :

3-2-1. تابع هدف بیشینه‌سازی سود

$$o_1 = Max\, E\,[NPV] = \max \sum_s Prob_s . NPV_s \qquad (1)$$

هدف اول (o_1) ، حداکثر سازی سود مورد انتظار با استفاده از حداکثرسازی ارزش فعلی خالص[1] (NPV) می‌باشد.

پس از نمودار شدن عدم قطعیت، مقدارهای متفاوتی برای ارزش فعلی خالص بر اساس هر سناریو بدست می‌آیند (NPV_s). مدل ارائه شده باید ارزش مورد انتظار توزیع ارزش فعلی خالص ($E[NPV]$) را به حداکثر برساند که این ارزش مورد انتظار از میانگین ارزش‌های فعلی خالص برای هر سناریو (NPV_s) بدست می‌آیند. در نهایت ارزش فعلی خالص مورد انتظار برابر است با احتمال پیشامد سناریوی s ام ($Prob_s$) ضربدر ارزش فعلی خالص زنجیره تأمین در سناریوی s ام (NPV_s) . برای کلیه سناریوهای موجود. محاسبهNPV_s در معادلات (29) الی (40) نشان داده شده است.

3-2-2. تابع هدف کمینه‌سازی عیوب تأمین‌کنندگان

$$o_2 = MinE[OUB] = \min \sum_r \sum_f \sum_i \sum_t \sum_s Y^{\circ}_{rfits}.dr_{rf}.W_r.Prob_s \qquad (2)$$

هدف دوم (o_2)، حداقل سازی عیوب مواد اولیه و در نتیجه افزایش کیفیت است.

برای این هدف باید میزان حمل مواد خام از تأمین کنندگان برای کلیه مراکز تولیدی در تمامی دوره‌های زمانی و برای کلیه سناریوها (Y°_{rfits}) در نرخ عیب مواد خام دریافت شده از تأمین کنندگان (dr_{rf}) در فاکتور وزنی برای اهمیت مواد خام (W_r) ضربدر احتمال پیشامد سناریوی sام ($Prob_s$) کمینه گردد و ارزش موردانتظار عیوب مواد اولیه ($E[OUB]$) را به حداقل برساند.

3-2-3. تابع هدف کمینه‌سازی کمبودها

$$o_3 = MinE[BD] = \min \sum_p \sum_k \sum_t \sum_s BD_{pkts}.Prob_s \qquad (3)$$

1. *Net Present Value*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]

هدف سوم (o_3) کمینه‌سازی کمبود کالاها در محدوده مشتریان در تمامی دوره‌های زمانی و تمامی سناریوها را انجام می‌دهد که سبب ایجاد حداکثرسازی رضایت مشتری می‌شود.
در این هدف، کمینه‌سازی امیدریاضی کمبود به ازای تمامی محصولات در تمامی بازارها در تمامی دوره‌های زمانی و سناریوها (BD_{pkts}) دنبال می‌شود.

3-2-4. تابع هدف کمینه‌سازی ریسک مالی

$$o_4 = \text{Min}\, Risk\,(x, \Omega) \quad (4)$$

هدف چهارم (o_4)، کمینه‌سازی ریسک مالی که یک پروژه طراحی شده تحت عدم قطعیت با آن مواجه است را نشان می‌دهد.

3-2-5. تابع هدف بیشینه‌سازی میزان ارضای تقاضا

$$o_5 = \text{Max}\, MDsat \quad (5)$$

در هدف پنجم (o_5)، حداکثر کردن حداقل ارضای تقاضا در نظر گرفته می‌شود که باید برای کلیه سناریوها در تمامی بازه‌های زمانی بدست آید.

3-3. محدودیت‌ها

محدودیت‌های (6) الی (45) همگی در کنار هم تضمین‌کننده‌ی ایجاد روابط منطقی در زنجیرهٔ تأمین یکپارچه‌ی پیشنهادی هستند، که در زیر به تشریح آنها پرداخته شده است :

3-3-1. محدودیت تعادل جرمی بین مواد جاری در شبکه زنجیره تأمین

$$\sum_f Y^{\circ}_{rfits} . A_{rf} \geq \sum_p \sum_g XN_{pigts} . U_{rp} \quad \forall r, i, t, s \quad (6)$$

هدف از این محدودیت اینست که بین مواد جاری در شبکه زنجیرهٔ تأمین باید تعادل برقرار باشد، بنابراین میزان حمل هر ماده خام از کلیه تأمین‌کنندگان برای هر مرکز تولیدی در هر دوره زمانی برای هر سناریو $\left(Y^{\circ}_{rfits}\right)$، در مؤلفه باینری که نشان می‌دهد کدام نوع از ماده اولیه توسط کدام تأمین کننده تأمین می‌شود $\left(A_{rf}\right)$ باید بزرگتر یا مساوی باشد با کلیه محصولات تولید شده در هر مرکز تولید با استفاده از تمامی روشهای تولید (دسترسی عادی، اضافه‌کاری و یا پیمانکاری فرعی) در هر دوره زمانی و هر سناریو (XN_{pigts})، در ماتریس کاربرد هر نوع از ماده خام در هر محصول $\left(U_{rp}\right)$.

3-3-2. محدودیت تعادل جرمی بین محصولات جاری در شبکه زنجیرهٔ تأمین

$$XN_{pigts} = \sum_j X_{pijts} \quad \forall p, i, t, s \quad (7)$$

برای هر مرکز تولید تعداد محصول تولید شده با استفاده از یکی از روشهای تولید (عادی، اضافه‌کاری، پیمانکاری فرعی) در هر بازه زمانی و هر سناریو (XN_{pigts}) باید مطابق محدودیت (7) از مرکز تولید به انبارها ارسال گردد یعنی در حقیقت باید برابر باشد با میزان حمل محصول از مرکز تولید به کلیه انبارها در هر دوره زمانی و برای هر سناریو (X_{pijts}).

3-3-3. محدودیت ظرفیت حجم انبار مراکز توزیع

$$\sum_i X_{pijts} + INV_{pj(t-1)s} = \sum_k Y_{pjkts} + INV_{pjts} \quad \forall p, j, t, s \quad (8)$$

در اولین بازه زمانی، زمانی که پیشنهاد ساخت مکان‌های مختلف زنجیره تأمین داده می‌شود، جریان کالا بین نقاط مختلف زنجیره و موجودی باید صفر باشد.

3-3-5. محدودیت تعادلی میزان محصول ارسال شده و تقاضای بازار

$$\sum_j Y_{pjkts} \leq Dem_{pkts} \quad \forall p, k, t, s \quad (10)$$

میزان حمل محصول از کلیه انبارها به مرکز مشتری (بازار) در هر دوره زمانی و هر سناریو (Y_{pjkts}) باید از میزان تقاضای آن محصول در مرکز مشتری در هر دوره زمانی و هر سناریو (Dem_{pkts})، کوچکتر یا مساوی باشد.

3-3-6. محدودیت تعادلی موجودی برای مواد اولیه در مرکز تولید

$$IM_{rits} = IM_{ri(t-1)s} + \sum_f Y^{\circ}_{rfits} - \sum_g \sum_p XN_{pigts} . U_{rp} \quad \forall r, i, t, s \quad (11)$$

یک معادله بالانس موجودی برای مواد اولیه می‌باشد که در آن میزان نگهداری ماده خام در مرکز تولیدی در پایان هر دوره

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]

زمانی و هر سناریو (IM_{rits}) برابر است با میزان نگهداری ماده خام در مرکز تولیدی در دوره زمانی قبل و همان سناریو ($IM_{ri(t-1)s}$) به علاوه مقدار ماده خام منتقل شده از کلیه تأمین کنندگان به مرکز تولیدی در همان دوره زمانی و سناریو (Y°_{rfits}) ، منهای مقدار واحد ماده خام استفاده شده از هر نوع برای هر محصول (U_{rp})، ضربدر تعداد محصولات تولید شده در مرکز تولیدی با استفاده از روشهای مختلف تولید (عادی، اضافه‌کاری، پیمانکاری فرعی) در هر دوره زمانی و در هر سناریو (XN_{pigts}).

7-3-3. محدودیت تعیین کمبود محصول در مراکز مشتری

(12)

$$BD_{pkts} = Dem_{pkts} - \sum_j Y_{pjkts} \quad \forall\ p,k,t,s$$

کمبود هر محصول در هر بازار در هر دوره زمانی و سناریو (BD_{pkts})، حاصل تقاضای محصول در بازار در دوره زمانی و سناریو (Dem_{pkts}) منهای میزان حمل محصول از کلیه انبارها به بازار در دوره زمانی و همان سناریو (Y_{pjkts}) می‌باشد.

8-3-3. محدودیت‌های ظرفیت تأمین کنندگان

$$\sum_r Y^{\circ}_{rfits}.C_{rf} \leq C^{\circ}_f \qquad \forall\ f,i,t,s \qquad (13)$$

کلیه مواد خام منتقل شده از تأمین‌کننده به هر مرکز تولید در هر دوره زمانی و سناریو (Y°_{rfits}) در عامل ظرفیت مصرفی ماده خام توسط تأمین کننده (C_{rf}) باید کمتر یا مساوی ظرفیت تأمین کننده (C°_f) باشد.

$$C^{\circ l}_f \gamma_f \leq C^{\circ}_f \leq C^{\circ u}_f \gamma_f \qquad \forall f \qquad (14)$$

در این محدودیت ظرفیت تأمین کننده (C°_f) از بالا و پایین توسط حد بالای ظرفیت تأمین کننده ($C^{\circ u}_f$) و حد پایین ظرفیت تأمین کننده ($C^{\circ l}_f$) محدود می‌شود، که در آن متغیر باینری γ_f نشانه انتخاب یا عدم انتخاب تأمین کننده است، که این انتخاب در دوره اول اتفاق افتاده است.

9-3-3. محدودیت‌های ظرفیت مراکز تولید

$$\sum_g \sum_p XN_{pigts}.\alpha_{pi} \leq PcaP_i \qquad \forall i,t,s \quad (15)$$

ظرفیت هر مرکز تولید توسط یک متغیر پیوسته ($PcaP_i$) نشان داده می‌شود که باید بیشتر از کلیه محصولات تولید شده در هر مرکز تولید با استفاده از کلیه روش‌های تولید (عادی، اضافه‌کاری و پیمانکاری فرعی) برای هر دوره زمانی و هر سناریو (XN_{pigts}) ضربدر درصد ظرفیت تولید از هر محصول در آن مرکز تولید (α_{pi}) باشد.

$$PcaP^l_i A_i \leq PcaP_i \leq PcaP^u_i A_i \qquad \forall i \qquad (16)$$

در این محدودیت نیز ظرفیت هر مرکز تولید ($PcaP_i$) از بالا و پایین توسط حدبالای ظرفیت ($PcaP^u_i$) و حد پایین ظرفیت تولید ($PcaP^l_i$) محدود می‌شود که در آن A_i یک متغیر باینری است که نشان‌دهنده فعال بودن یا غیرفعال بودن هر مرکز تولید می‌باشد که این امر در برنامه‌ریزی استراتژیک دوره اول برای زنجیره مشخص می‌شود.

10-3-3. محدودیت‌های ظرفیت مراکز توزیع و انبارها

(17)

$$\sum_p INV_{pjts}\beta_{pj} \leq WHcaP_j \qquad \forall j,t,s$$

در این محدودیت ظرفیت هر انبار توسط یک متغیر پیوسته ($WHcaP_j$) نشان داده می‌شود که باید بیشتر از ذخیره کلیه محصولات در انبار در هر دوره زمانی و هر سناریو (INV_{pjts}) ضربدر ضریبی که درصد اشغال ظرفیت انبار توسط آن محصول را نشان می‌دهد (β_{pj}) باشد.

(18)

$$2\sum_p AIL_{pjts}\beta_{pj} \leq WHcaP_j \quad \forall\ p,j,t,s$$

جریان کلی کالاهای فرستاده شده از هر انبار به هر مرکز مشتری نیز توسط ظرفیت انبار ($WHcaP_j$) محدود می‌شود. در این محدودیت فرض بر این است که برای هر بازه زمانی و هر سناریو و هر انبار ، ظرفیت لازم برای جای دادن مقدار خاصی از محصولات، با فرض برنامه محل و تحویل منظم، دو برابر مجموع میانگین ذخیره کلیه محصولات در هر انبار در هر دوره زمانی و سناریو (AIL_{pjts}) ضربدر درصد اشغال ظرفیت انبار توسط محصول (β_{pj}) می‌باشد.

$$AIL_{pjts} = \frac{\sum_k Y_{pjkts}}{\lambda_j} \qquad \forall p,j,t,s \qquad (19)$$

متوسط سطح موجودی محصول در انبار برای هر دوره زمانی و سناریو (AIL_{pjts}) از تقسیم میزان حمل محصول از انبار به

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]

کلیه بازارها در هر دوزه زمانی و سناریو (Y_{pjkts}) به نسبت گردش آن کالا در انبار (λ_j) بدست می‌آید.

$$WHcaP_j^l B_j \le WHcaP_j \le WHcaP_j^u B_j \quad \forall j \quad (20)$$

در این محدودیت نیز مانند محدودیت‌های (14) و (16) ظرفیت هر انبار ($WHcaP_j$) از بالا و پایین توسط حد بالای ظرفیت انبار ($WHcaP_j^u$) و حد پایین ظرفیت انبار ($WHcaP_j^l$) محدود می‌شود که در آن B_j یک متغیر باینری مربوط به تصمیمات استراتژیک دوره اول می‌باشد که نشان‌دهنده فعال بودن یا غیرفعال بودن انبار می‌باشد.

$$\sum_r IM_{rits} \le McaP_i \quad \forall i,t,s \quad (21)$$

میزان نگهداری کلیه مواد خام در هر مرکز تولیدی در هر دوره زمانی و سناریو (IM_{rits}) باید کوچکتر یا مساوی ظرفیت انبار ماده خام در آن مرکز تولیدی ($McaP_i$) باشد.

3-3-11. محدودیت‌های تعادلی نیروی کار

$$L_{lit} = L_{li(t-1)} + HL_{lit} - FL_{lit} - \sum_{\acute{l}} UL_{l\acute{l}it} \quad \forall l,i,t \quad (22)$$

این محدودیت، یک معادله بالانس برای نیروی کار است و اشاره می‌کند به اینکه تعداد کارکنان در یک سطح خاص در یک مرکز تولیدی در یک دوره زمانی (L_{lit}) برابر است با نیروی کار با همان مهارت در همان مرکز تولیدی در دوره زمانی قبلی ($L_{li(t-1)}$)، به علاوه تعداد کارکنان استخدام شده در همان سطح، در همان مرکز تولیدی و در همان دوره (HL_{lit})، منهای تعداد کارکنان اخراج شده همان سطح، در همان مرکز تولید و همان دوره (FL_{lit}) منهای تعداد کارکنان راه یافته از این سطح خاص به کلیه سطوح بالاتر ($UL_{l\acute{l}it}$).

$$\sum_l (FL_{lit} + HL_{lit}) \le \alpha WF_{(t-1)} \cdot \sum_l L_{li(t-1)} \quad \forall i,t \quad (23)$$

این محدودیت به این نکته اشاره می‌کند که تغییر در سطح نیروی کار نمی‌تواند از نسبت کارکنان در دوره قبل تجاوز کند به این صورت که تعداد کارکنان اخراج شده و استخدام شده برای کلیه سطوح در هر مرکز تولیدی و در هر دوره زمانی (FL_{lit} ، HL_{lit})، باید کوچکتر و مساوی تعداد کارکنان کلیه سطوح در هر مرکز تولیدی در دوره زمانی قبلی ($L_{li(t-1)}$) ضربدر درصد تغییر مجاز نیروی کار در دوره قبل ($\alpha WF_{(t-1)}$) باشد.

$$FL_{lit} + \sum_{\acute{l}} UL_{l\acute{l}it} \le L_{li(t-1)} \quad \forall l,i,t \quad (24)$$

تعداد کارکنان اخراج شده یک سطح خاص در هر مرکز تولید و در هر دوره زمانی(FL_{lit})، به علاوه تعداد کارکنان آموزش دیده برای رسیدن از همان سطح به سطوح بالاتر در هر مرکز تولیدی و در هر دوره زمانی ($UL_{l\acute{l}it}$) باید کوچکتر و مساوی باشد از تعداد کارکنان همان سطح در مرکز تولیدی و در دوره زمانی قبل ($L_{li(t-1)}$).

$$\sum_{\acute{l}} UL_{l\acute{l}it} . FL_{lit} = 0 \quad \forall l,i,t \quad (25)$$

این محدودیت به این نکته اشاره می‌کند که کارکنانی که برای رسیدن برای مهارت‌ها و سطوح بالاتر آموزش می‌بینند، نباید در همان دوره اخراج شوند.

$$U_{l\acute{l}it} \le M.UP_{l\acute{l}} \quad \forall l,\acute{l},i,t \quad (26)$$

این محدودیت تضمین می‌کند که ارتقای نیروی کار آموزش دیده از سطح $\acute{l}$ به سطح l با ایجاد برنامه آموزشی ممکن خواهد بود و در آن M یک عدد بزرگ دلخواه می‌باشد.

3-3-12. محدودیت‌های ظرفیتی زمان تولید

$$\sum_l L_{lit} v_l (TcaP_{1it} + TcaP_{2it}) \ge \sum_{g\in\{1,2\}} \sum_p XN_{pigts} . PT_{pi} \quad \forall i,t,s \quad (27)$$

در این محدودیت تعداد کارکنان سطوح مختلف در هر مرکز تولیدی و هر دوره زمانی (L_{lit})، در میزان بهره‌وری آن سطح (v_l)، ضربدر مجموع زمان عادی در دسترس و اضافه‌کاری برای هر مرکز تولیدی و هر دوره زمانی ($TcaP_{1it}$ ، $TcaP_{2it}$) باید بزرگتر و مساوی باشد از تعداد محصولات تولید شده در هر مرکز تولیدی با استفاده از روشهای تولیدی (عادی و اضافه‌کاری) در هر دوره زمانی و هر سناریو (XN_{pigts}) ضربدر زمان تولید محصولات در هر مرکز تولیدی (PT_{pi}).

$$\sum_p XN_{pi3ts} . PT_{pi} \le TcaP_{3it} \quad \forall i,t,s \quad (28)$$

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]

زمان در دسترس پیمانکاری فرعی در هر واحد تولیدی و در هر دوره زمانی ($TcaP_{3it}$) بزرگتر و مساوی است از تعداد کلیه محصولات ساخته شده در هر مرکز تولیدی در حالت پیمانکاری فرعی در هر دوره زمانی و هر سناریو (XN_{pi3ts}) ضربدر زمان تولید محصولات در هر مرکز تولید (PT_{pi}).

13-3-3. محدودیت‌های محاسبه ارزش فعلی خاص

$$NPV_s = \Sigma_t \frac{CF_{ts}}{(1+ir)^{t-1}} \quad \forall s \tag{29}$$

مقدار NPV_s ، باید برحسب قواعد و قوانین متناسب (استهلاک، مالیات و غیره) تعیین شود، در نتیجه ممکن است، ارزش فعلی خالص از فرمولهای مختلفی بدست آیند که ما در این پژوهش تصمیم گرفتیم برای هر سناریو از جریان نقدینگی تنزیلی در هر دوره زمانی و هر سناریو (CF_{ts}) تقسیم بر، عدد یک به علاوه نرخ بهره به توان دوره زمانی قبلی ($(1+ir)^{t-1}$) برای کلیه دوره‌های زمانی محاسبه می‌شود.

$$CF_{ts} = -CI = -(FCI + WC) \qquad \forall s, t = 1 \tag{30}$$

جریان نقدینگی در دوره اول و برای هر سناریو (CF_{ts}) برابر است با منهای میزان سرمایه‌گذاری اصلی (CI) که برای بنا کردن زنجیره تأمین در ابتدی کار لازم است و مقدار آن برابر است با

$$FcI = \sum_i \left(Fcl^l_{pi}.A_i + PcaP_i\gamma_{pi}\right) + \sum_j \left(FCI^l_{WHj}B_j + WHcaP_j\gamma_{WHj}\right) \tag{33}$$

دوره اول شامل هزینه برپایی کارخانه‌ها و انبارهای زنجیره تأمین می‌شود و تابعی خطی از ظرفیتهایشان است. در این رابطه سرمایه‌گذاری اصلی ثابت برابر است با، به ازای کلیه مراکز تولید، هزینه‌های ثابت در هر مرکز تولید فعال (Fcl^l_{pi}) به علاوه ظرفیت هر مرکز تولید ($PcaP_i$) ضربدر ضریب هزینه ثابت هر محصول در هر مرکز تولید (γ_{pi}) به علاوه، برای کلیه مراکز توزیع، هزینه‌های ثابت در هر مرکز توزیع فعال (FCI^l_{WHj}) به علاوه ظرفیت هر مرکز توزیع ($WHcaP_j$) ضربدر هزینه ثابت هر محصول در هر مرکز توزیع (γ_{WHj}).

$$WC = \mu\,.\,FCI \tag{34}$$

میزان سرمایه‌گذاری اصلی ثابت (FCI) به علاوه سرمایه در گردش (WC).

$$CF_{ts} = ReV_{ts} - DE_{ts} - IE_{ts} - Tax_{ts} \quad \forall\ s, 1 < t < T \tag{31}$$

جریان نقدینگی برای بازه‌های زمانی بعد از دوره اول و قبل از دوره آخر (CF_{ts}) برابر است با درآمد در دوره زمانی و برای هر سناریو (ReV_{ts}) منهای هزینه‌های مستقیم برای همان دوره زمانی و هر سناریو (DE_{ts}) ، منهای هزینه‌های غیرمستقیم برای همان دوره زمانی و هر سناریو (IE_{ts})، منهای مالیات برای همان دوره زمانی و هر سناریو (Tax_{ts}).

$$CF_{ts} = ReV_{ts} - DE_{ts} - IE_{ts} - Tax_{ts} + WC + SV \quad \forall s, t = T \tag{32}$$

جریان نقدینگی برای بازه زمانی آخرین دوره (CF_{ts}) مانند معادله (31) می‌باشد تنها با این تفاوت که چون در آخرین بازه زمانی قرار داریم سرمایه در گردش (WC) که بخشی از سرمایه‌گذاری ابتدایی است و ارزش اسقاطی زنجیره تأمین (SV) بازگردانده می‌شود.

سرمایه در گردش (WC) ، که نشان‌دهنده مبلغ ابتدایی لازم برای شروع تولید و توزیع در شبکه است، نسبت مستقیم با FCI دارد که در این محدودیت در یک مقدار ثابت ($\mu = 0/194$) ضرب می‌شود، که این مقدار توسط بیگلر و همکاران، پیشنهاد شده است[47].

$$ReV_{ts} = \sum_p \sum_j \sum_k Y_{pjkts}\,.Price_{pkt} \qquad \forall t, s \tag{35}$$

درآمد بدست آمده در هر بازه زمانی و هر سناریو در تناسب با کلیه محصولات حمل شده از کلیه انبارها به تمامی مراکز مشتری در هر دوره زمانی و هر سناریو (Y_{pjkts}) و قیمت محصولات در کلیه بازارها در هر دوره زمانی ($Price_{pkt}$) می‌باشند.

$$\begin{aligned} IE_{ts} = &\Big(\sum_l \sum_i FIRC_{lit}\,.FL_{lit} + \sum_{\bar{l}} \sum_i HIRC_{\bar{l}it}\,.HL_{\bar{l}it} + \\ &\sum_l \sum_{\bar{l}} \sum_i TRC_{l\bar{l}it}\,.UL_{l\bar{l}it}\Big) A_i + \sum_i \left(IE^l_{pi}\,.A_i + PcaP_i\xi_{pi}\right) + \\ &\sum_j \left(IE^l_{WHj}\,.B_j + WHcaP_j\xi_{WHj}\right) + \sum_p \sum_k \pi_{pkt}\,.BD_{pkts} \qquad \forall t, s \end{aligned} \tag{36}$$

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]

مخارج غیرمستقیم ایجاد شده در هر بازه زمانی و هر سناریو (IE_{ts}) با ظرفیت مراکز تولید و انبارها نسبت مستقیم دارد و در این معادله برابر است با هزینه اخراج کارکنان در تمامی سطوح و برای کلیه مراکز تولید در هر دوره زمانی ($FIRC_{lit}$) ضربدر تعداد کارکنان اخراجی در سطوح مختلف در کلیه مراکز تولید و هر دوره زمانی (FL_{lit})، به علاوه هزینه استخدام کارکنان در سطوح مختلف و برای کلیه مراکز تولید و هر دوره زمانی ($HIRC_{lit}$) در تعداد کارکنان استخدامی در سطوح گوناگون در کلیه مراکز تولید و دوره زمانی (HL_{lit})، به علاوه هزینه آموزش برای کارکنان سطوح مختلف، آموزش دیده برای رسیدن به سطوح بالاتر در تمامی مراکز تولید در هر دوره زمانی ($TRC_{l\tilde{l}it}$) ضربدر تعداد کارکنان آموزش دیده برای ارتقاء سطوح در کلیه مراکز تولیدی و دوره زمانی ($UL_{l\tilde{l}it}$)، به علاوه برخی هزینه‌های غیرمستقیم (IE^{i}_{pi}) و ظرفیت مرکز تولیدی ($PcaP_i$) در ضریب هزینه‌های غیرمستقیم تولید در مرکز تولیدی (ξ_{pi}) برای کلیه مراکز تولید، به علاوه برخی هزینه‌های غیر مستقیم (IE^{l}_{WHj}) و ظرفیت مرکز توزیع ($WHcaP_j$) در ضریب هزینه‌های غیرمستقیم انبار در مرکز توزیع(ξ_{WHj}) به ازای کلیه مراکز توزیع و در نهایت به علاوه ، هزینه کمبود کلیه محصولات در کلیه مراکز مشتری به ازای هر دوره زمانی (π_{pkt}) در تعداد محصولات در مراکز مشتری برای هر دوره زمانی و هر سناریو (BD_{pkts}) می‌باشد.

$$DE_{ts} = \sum_p \sum_i \sum_g PT_{pi} \cdot CH_{igt} \cdot XN_{pigts} + \sum_p \sum_j \sum_k HC_{pjt} \cdot Y_{pjkts} + \sum_r \sum_f \sum_i TC0_{rfit} \cdot Y^{\circ}_{rfits} + \sum_p \sum_i \sum_j TC1_{pijt} \cdot X_{pijts} + \sum_p \sum_j \sum_k TC2_{pjkt} \cdot Y_{pjkts} + \sum_p \sum_j \sum_k IC_{pjt} \cdot \frac{Y_{pjkts}}{\lambda_j} + \sum_r \sum_f \sum_i a_{rft} \cdot Y^{\circ}_{rfits} + \sum_l \sum_i SL_{lit} \cdot L_{lit} + \sum_r \sum_i CIM_{rit} \cdot IM_{rits} \qquad \forall t, s \tag{37}$$

هزینه‌های مستقیم بدست آمده در هر بازه زمانی و سناریو (DE_{ts}) با تعداد محصولات تولید شده، ذخیره و منتقل شده بین نقاط مختلف زنجیره تأمین متناسب است که این هزینه‌ها عبارتند از :
زمان تولید کلیه محصولات در تمامی مراکز تولید (PT_{pi})در هزینه تولید هر ساعت در تمامی مراکز تولید و بر اساس تمامی روشهای تولید (عادی، اضافه‌کاری، پیمانکاری فرعی) در هر دوره زمانی (CH_{igt}) در تعداد تولید شده محصولات در مراکز تولید و بر اساس روشهای تولید گوناگون(عادی، اضافه‌کاری، پیمانکاری فرعی) در هر دوره زمانی و سناریو (XN_{pigts})، به علاوه هزینه نگهداری کلیه محصولات در مراکز توزیع در هر دوره زمانی (HC_{pjt}) در میزان حمل کلیه محصولات از مراکز توزیع به کلیه مراکز مشتری در هر دوره زمانی و سناریو (Y_{pjkts})، به علاوه هزینه حمل کلیه مواد خام از تمامی تأمین کنندگان به کلیه مراکز تولیدی در هر دوره زمانی ($TC0_{rfit}$) در میزان مواد خام حمل شده از تأمین کنندگان به مراکز تولیدی در هر دوره زمانی و سناریو (Y°_{rfits}) ، به علاوه هزینه حمل و نقل محصولات گوناگون بین مراکز تولید و انبارها در هر دوره زمانی ($TC1_{pijt}$) در میزان حمل کلیه محصولات از مراکز تولید به انبارها در هر دوره زمانی و سناریو (X_{pijts}) ، به علاوه هزینه حمل و نقل کلیه محصولات از مراکز توزیع به کلیه مراکز مشتری در هر دوره زمانی ($TC2_{pjkt}$) در میزان حمل کلیه محصولات از مراکز توزیع به مراکز مشتری در هر دوره زمانی و سناریو (Y_{pjkts})، به علاوه هزینه موجودی برای کلیه محصولات در کلیه مراکز توزیع در هر دوره زمانی (IC_{pjt}) در میزان حمل محصولات گوناگون از کلیه مراکز توزیع به کلیه مراکز مشتری در هر دوره زمانی و سناریو تقسیم بر میزان گردش موجودی در کلیه مراکز توزیع ($\frac{Y_{pjkts}}{\lambda_j}$)، به علاوه هزینه کلیه مواد خام تأمین شده از کلیه تأمین کنندگان در هر دوره زمانی (a_{rft}) در میزان مواد خام حمل شده از کلیه تأمین کنندگان برای کلیه مراکز تولید در هر دوره زمانی و سناریو (Y°_{rfits}) ، به علاوه هزینه کارکنان سطوح مختلف در کلیه مراکز تولید در هر دوره زمانی (SL_{lit}) در تعداد کارکنان سطوح مختلف در کلیه مراکز تولید در هر دوره زمانی (L_{lit})، و در نهایت به علاوه هزینه نگهداری موجودی برای کلیه مواد خام در تمامی مراکز تولید در هر دوره زمانی (CIM_{rit}) در میزان نگهداری کلیه مواد خام در کلیه مراکز تولیدی در هر دوره زمانی و سناریو (IM_{rits}) می‌باشد.

$$Tax_{ts} = (ReV_{ts} - DeP_t).tr \qquad \forall 1 < t \leq nd+1, s \tag{38}$$

$$Tax_{ts} = ReV_{ts}.tr \qquad \forall nd+1 < t \leq T, s \tag{39}$$

مالیات قابل پرداخت در هر دوره زمانی و سناریو(Tax_{ts}) با فرض استهلاک خطی توسط معادلات (38) و(39) محاسبه می‌شود، که در این معادلات نرخ مالیات مؤثر بر سود ناخالص با (tr) و تعداد دوره‌های زمانی که استهلاک در طول آن در نظر گرفته شده با (nd) نمایش داده می‌شود.

$$DeP_t = \frac{FCI - SV}{nd} \qquad \forall 1 < t \leq nd+1 \tag{40}$$

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]

مقدار استهلاک برای هر دوره زمانی (DeP_t)، برابراست با سرمایه‌گذاری اصلی ثابت (FCI) منهای ارزش اسقاطی (SV) تقسیم بر دوره زمانی که استهلاک در طول آن در نظر گرفته شده است (nd).

3-3-14. محدودیت‌های افزایش ارضاء تقاضا

$$Dsat_{ts} = \frac{\sum_p \sum_j \sum_k Y_{pjkts}}{\sum_p \sum_k Dem_{pkts}} \qquad \forall\ t > 1, s \qquad (41)$$

سطح ارضای تقاضا باید برابر یک مقدار از پیش تعیین شده باشد وگرنه هدف دوم (کاستن مواد اولیه معیوب) به قیمت عدم ارضای تقاضا تحقق خواهد یافت که مسلماً مطلوب نیست.

در این معادله ارضای تقاضای کلی برابر است با میزان حمل کلیه محصولات از مراکز توزیع به کلیه مراکز مشتری در هر دوره زمانی و سناریو (Y_{pjkts}) تقسیم بر تقاضای کلیه محصولات در کلیه مراکز مشتری در هر دوره زمانی و سناریو (Dem_{pkts}).

$$MDsat \leq \frac{\sum_p \sum_j \sum_k Y_{pjkts}}{\sum_p \sum_k Dem_{pkts}} \qquad \forall\ t > 1, s \qquad (42)$$

در این محدودیت باید یک مقدار حداقل برای ارضاء تقاضا ($MDsat$) درنظر گرفته شود که باید برای کلیه سناریوها در تمام بازه‌های زمانی بدست آید.

بنابراین با انتخاب یک مقدار معین برای MDsat مطمئن می‌شویم که برای هر بازه زمانی و سناریو، ارضاء تقاضا به مقدار مطلوب می‌رسد. بدین ترتیب فرمول‌بندی فوق قادر به ارائه‌ی یک خط مشئ عملیاتی است که می‌توان تقاضا را تا حد تعیین شده‌ای از قبل ارضاء کرد.

3-3-15. محدودیت‌های کاهش ریسک مالی زنجیرهٔ تأمین

$$Risk(x, \Omega) = \sum_s Prob_s . Z_s(x, \Omega) \qquad (43)$$

$$Z_s(x, \Omega) = \begin{cases} 1 & \text{اگر } \Omega > NPV_s \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases} \qquad (44)$$

از ریسک مالی برای سنجش خطری که پیکربندی زنجیره تأمین با آن مواجه خواهد بود استفاده می‌شود. این مقدار به صورت احتمال نرسیدن هزینه یا سود به یک مقدار مطلوب Ω تعریف می‌شود، که در آن NPV_s ، ارزش فعلی خالص پس از نمودار شدن عدم قطعیت و بوقوع پیوستن سناریو است. بعلاوه رسیدن یا نرسیدن به مقدار مطلوب (Ω) به‌صورت صفر یا یک نشان داده می‌شود.بنابراین فرمول ریسک مالی با متغیرهای باینری به‌صورت معادله(43) می‌باشد، که در آن $Z_s(x, \Omega)$ یک متغیر باینری برای هر سناریو، به صورت معادله (44) می‌باشد.

3-3-16. محدودیت‌هایی برای تکمیل مدل

$$L_{ilt}, FL_{ilt}, HL_{ilt}, UL_{ilt}, AIL_{pjts}, XN_{pigts}, Y^{*}_{rfits}, Y_{pjkts}, X_{pijts}, WHcaP_j, PcaP_i, McaP_i, INV_{pjts}, IM_{rits}, C^{*}_{f}, BD_{pkts} \geq 0 \qquad (45)$$

4. روش حل مسئله

مسئله شامل پنج هدف می‌باشد و جواب مسئله یک مجموعه بهینه پارتو است و این بدین معناست که در وضعیت بهینه پارتو نمی‌توان مقدار یک تابع را بدون کاهش مقدار یک یا چند تابع دیگر افزایش داد و درنهایت مجموعه این نقاط منحنی پارتو نام دارد. در این مقاله این مجموعه جوابها از روش محدودیت اپسیلن بدست می‌آیند.

در این روش یکی از اهداف به عنوان تابع هدف اصلی انتخاب می‌شود و سایر اهداف به شکل زیر به محدودیت تبدیل می‌شوند. به‌طورکلی، مسئله بهینه‌سازی چند هدفه با تعداد O هدف بدین شکل خواهد بود:

$$Min(f_1(x), \ldots, f_o(x))$$

$$x \in X$$

و به این صورت بوسیلهٔ محدودیت اپسیلن جایگزین می‌شود:

$$Min\ f_j(x)$$
$$x \in X$$
$$Subject\ to: f_k(x) \leq \varepsilon_k, k = 1, \ldots, O;\ O \neq j$$

روند انتخاب توابع هدف به عنوان محدودیت و تعیین مقادیر ε_k به مسئله بستگی دارد.

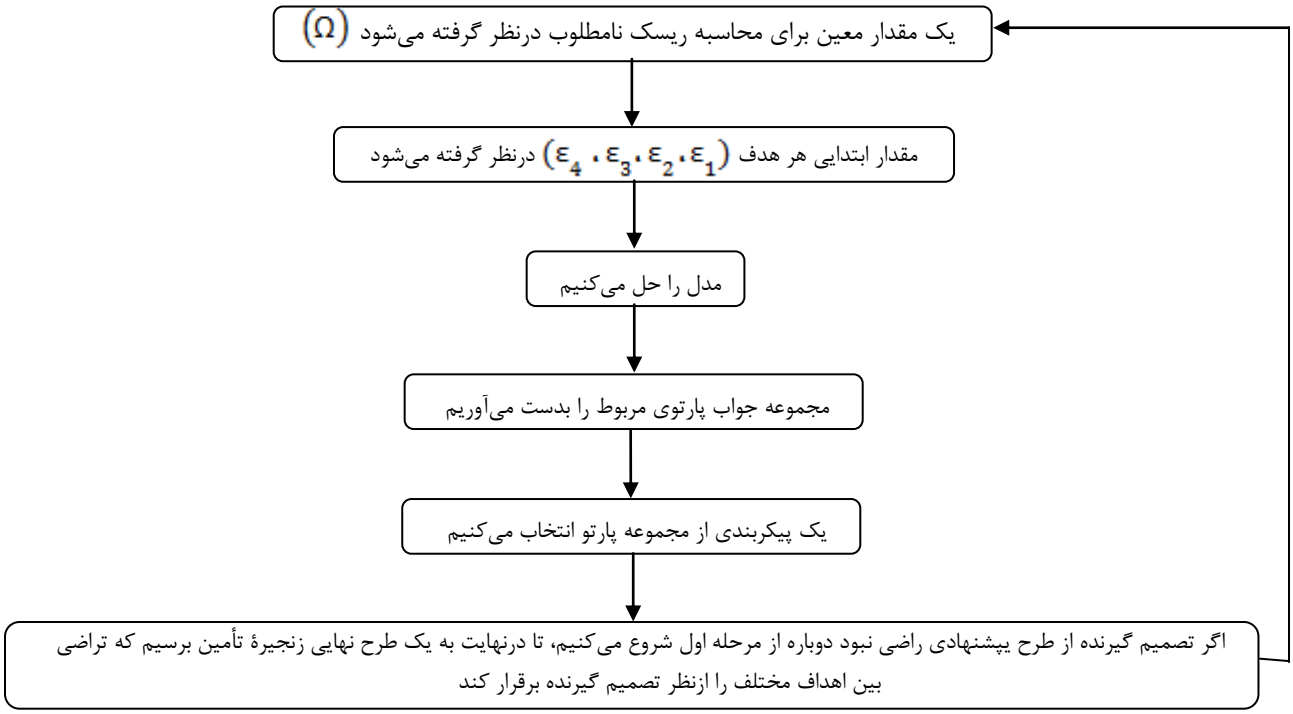
این روش در مقاله شامل بهینه‌سازی یکی از توابع هدف و درنظر گرفتن سایر اهداف به عنوان محدودیت بوسیله یک مقدار مجاز ε_k است. سپس با تغییر ε_k می‌توان مجموعه جواب بهینه پارتو را یافت، بنابراین بهینه‌سازی زیر کافی خواهد بود:

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]

$$
\begin{aligned}
&Maximise\ E\ [NPV]\\
&subject\ to:\\
&Eqs.\ (6)-(45)\\
&O_2 \leq \varepsilon_1\\
&O_3 \leq \varepsilon_2\\
&O_4 \leq \varepsilon_3\\
&O_5 \geq \varepsilon_4
\end{aligned}
$$

بدین ترتیب با تغییر ε_1، ε_2، ε_3، ε_4 و همچنین Ω، مجموعه جواب‌های مختلف بدست می‌آیند. هر کدام از این جواب‌ها یک پیکربندی زنجیرهٔ تأمین را نمایش می‌دهند.

درنهایت روش حل پیشنهادی به‌صورت زیر است:



نمودار 1. روش حل پیشنهادی

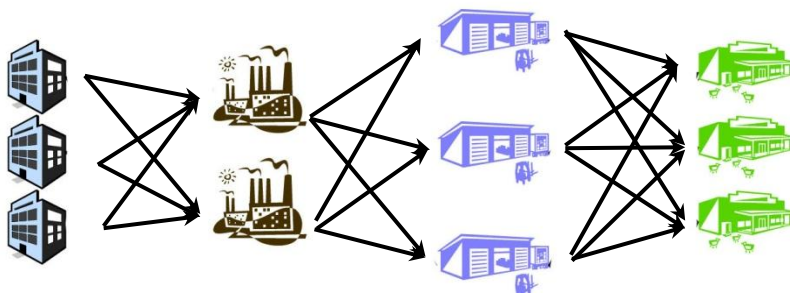
5. مثال عددی

برای نشان دادن توانایی‌ها و اثبات مدل پیشنهادی در مسائل زنجیرهٔ تأمین در این بخش مثال عددی با داده‌های اولیه تصادفی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

5-1. تشریح مثال عددی

یک زنجیرهٔ تأمین چهار قسمتی مطابق شکل 2 درنظر گرفته شده که در آن مجموعه‌ای از سه تأمین‌کننده مواداولیه برای دو کارخانه تولیدی وجود دارد، سه نوع ماده اولیه در تولید دو نوع محصول به کار برده می‌شوند.

سپس آن محصولات به سه مرکز توزیع فرستاده می‌شوند تا به دست مشتریان در سه مرکز مشتری برسند.



شکل 2. زنجیرهٔ تأمین مورد مطالعه

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]

تمام اطلاعات مربوط به تأمین‌کنندگان در جداول 1 الی 4 (در پیوست) و تمام اطلاعات مربوط به کارخانه‌ها در جداول 5 الی 7 و داده‌های مربوط به انبارها در جداول 8 الی 12 آمده‌اند. جداول 13 الی 15 هزینه‌های حمل و نقل را نشان می‌دهند. تمامی اعداد مربوط به هزینه‌ها در هر دوره 1/5درصد رشد را نشان می‌دهند و همچنین قیمت محصولات در جدول 16 درج شده‌اند که در هر دوره 1/6درصد رشد برای آن درنظر گرفته شده است و افق برنامه‌ریزی 12 دوره فرض شده است.

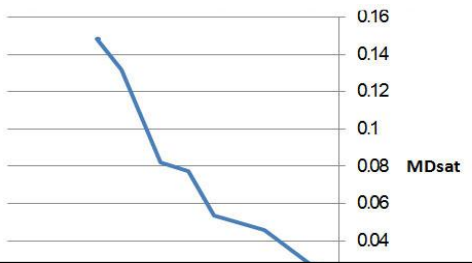
تقاضا برای چهار سناریو با احتمال هریک 25٪ توسط نمونه‌برداری برحسب یک توزیع نرمال تهیه شده‌اند و مقدار موردانتظار تقاضای مشتریان برای محصولات و جریان کالا بین نقاط مختلف زنجیره و تولیدات در اولین دوره زمانی صفر فرض شده است، چون در این دوره تصمیمات استراتژیک مربوط به مرحله اول بهینه‌سازی زنجیره اتخاذ می‌شوند. در مرحله دوم تقاضاها بوسیله یک توزیع نرمال با میانگین‌های زیر داده شده است:

$$E[Dem_{pkts}] = \{2500, 3000, 2700\}$$
$$\forall p = p_1, k \epsilon K, t = 2, s \epsilon S$$
$$E[Dem_{pkts}] = \{1300, 2400, 1700\}$$
$$\forall p = p_2, k \epsilon K, t = 2, s \epsilon S$$

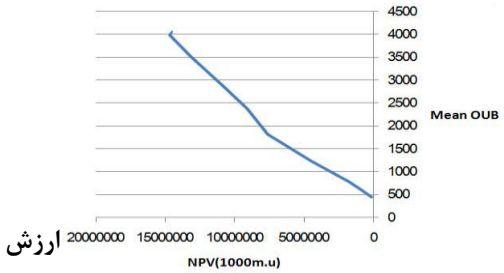
انحراف معیار تقاضای دوره دوم 15٪ درنظر گرفته شده است. فرض می‌کنیم که در سایر دوره‌ها تقاضا در هر دوره 5٪ افزایش خواهد یافت (در دوره دوم 15٪ و در دوره‌های سوم و چهارم به ترتیب 15/75٪ و 16/5375٪ میانگین افزایش می‌یابد). در هر دوره نرخ بهره برابر 2٪، نرخ مالیات برابر 3٪ و استهلاک در هفت بازه اول پیش می‌آید و ارزش اسقاط زنجیرهٔ تأمین 10٪ سرمایه‌گذاری اصلی ثابت است و سرمایه در گردش نسبت مستقیمی با سرمایه‌گذاری اصلی ثابت دارد. هزینه نگهداری موجودی مواد خام در کارخانجات در جدول 17 ارائه شده است. جدول 18 زمان تولید برای هریک از انواع محصولات را در هر مرکز تولید نشان می‌دهد. هزینه‌های مربوط به نیروی انسانی برای هر مرکز تولید در جداول 19 الی 23 ذکرشده است. در جدول 26 ظرفیت ذخیره سازی مواداولیه در کارخانجات مشخص شده. زمان عادی موجود، اضافه‌کاری و پیمانکاری فرعی برحسب واحد زمانی و هزینه تولید در این زمانها در جداول27 و 28 ذکر شده‌اند. ماتریس کاربرد مواد خام در هر محصول در جدول 29 آمده است. جدول 35 فاکتور وزنی برای اهمیت مواد خام را نشان می‌دهد و در نهایت جدول 31 هزینه کمبود هر محصول در هر مرکز مشتری را نشان می‌دهد.

5-2. نتایج حاصل از مثال عددی

تمامی محاسبات با استفاده از الگوریتم گلوبال سالور بوسیله نرم‌افزار لینگو نسخه 8 ، بر روی یک رایانه با پردازشگر پنتیوم IV با سرعت 1/86 گیگا هرتز و 1 گیگابایت حافظه موقت بر روی سیستم عامل ویندوز XP اجرا شدند. فرمول‌بندی ریاضی حاصل 7305 معادله، 5085 متغیر پیوسته و 46 متغیر باینری دارد که در لینگو اجراء و توسط گلوبال سالور حل شده و زمان لازم برای بدست آوردن جوابها بین 3480 تا 10800 ثانیه بوده است. البته باید توجه داشت که در این مطالعه ارائه یک چهارچوب طراحی زنجیره تأمین مهمتر از یافتن یک الگوریتم سریع و کارا است و قابل ذکر است که تعداد متغیرهای باینری مربوط به تصمیمات مرحله اول می‌شوند که به سناریو بستگی ندارند. در بررسی مثال موجود به این نتیجه رسیدیم که حداقل ارضای تقاضا تا سطوح معین $\%\,14/83$ - $MDsat = \%0/01\,7$ سودمند است ولی بالاتر و پایین‌تر از این مقادیر میزان سود کاهش می‌یابد و تراضی بین دو هدف را به دنبال دارد، چون افزایش و کاهش مقدار حداقل ارضای تقاضا از مقادیر ذکر شده باعث کاهش امید ریاضی ارزش فعلی خالص $(E[NPV])$ می‌شود. به نظر می‌رسد برای رسیدن به جوابهایی با حداقل ارضای تقاضای بالاتر به شبکه‌ای با ظرفیت بیشتر (به دلیل ارضای تقاضای بیشتر) نیاز داریم. نتایج موجود بر اساس حداکثر کردن ارزش فعلی خالص و بررسی میزان کمبود کالاها در بازارهای مختلف بدست آمده و حداقل میانگین کمبود $E[BD]$ ، برای مثال عددی مورد نظر 156111 بدست آمده که به وضوح نشان دهنده این است که شبکه زنجیره تأمین قابلیت گسترش و رسیدن به سود چند برابر را دارا می‌باشد. در بررسی ریسک مالی به این نتیجه رسیدیم که با افزایش میانگین کمبود، میزان سود کاهش می‌یابد ولی با توجه به اینکه میزان سطح آرمان برای سود 8500000 واحد پولی در نظر گرفته شده میزان ریسک مالی برای میانگین کمبود کمتر از 173000 برابر صفر است و این ریسک برای میانگین کمبود، بین 173000 تا 178000 رشد می‌یابد و برای میانگین کمبود بیشتر از 178000 ، میزان ریسک مالی برابر یک می‌شود. در بررسی‌های به عمل آمده اینگونه به نظر می‌رسد که با کاهش مواد اولیه معیوب و افزایش سطح سیگمای مواد اولیه مقدار عددی ارزش فعلی خالص، افزایش می‌یابد و با افزایش میزان مواد اولیه معیوب و کاهش سطح سیگمای مواد اولیه مقدار عددی ارزش فعلی خالص، کاهش می‌یابد. نتایج ارائه شده در متن فوق الذکر را می‌توان در شکل‌های 3 الی 8 مشاهده نمود.

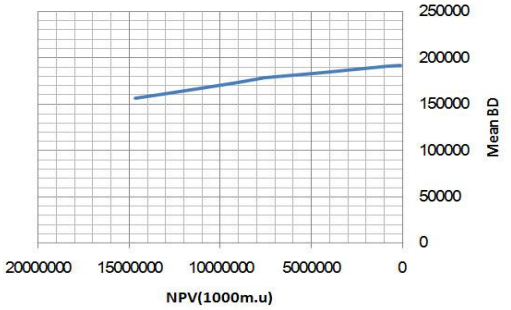


[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]

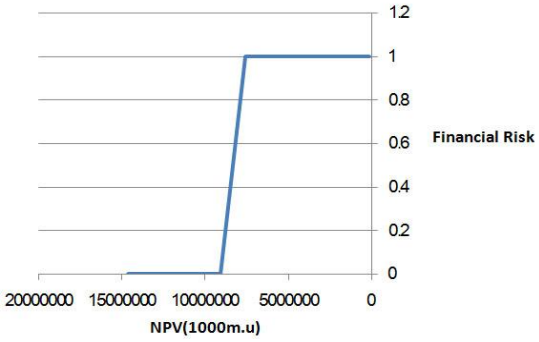


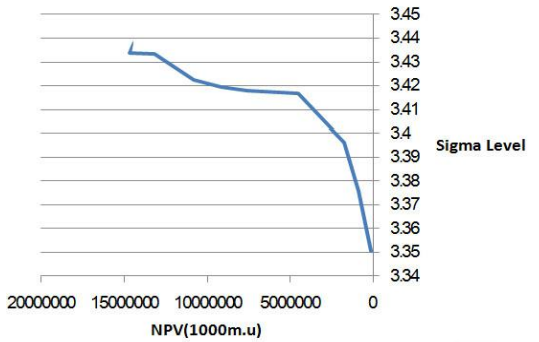
ارزش

شکل 4. نمودار متوسط میزان کمبود و ارزش فعلی خالصِ طرح‌های پارتوی تصادفی



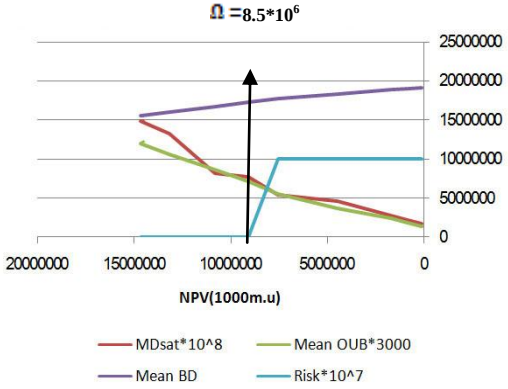
شکل5. نمودار ریسک مالی و ارزش فعلی خالصِ طرح‌های پارتوی تصادفی





شکل 6 . نمودار سطح سیگما و ارزش فعلی خالصِ طرح‌های پارتوی تصادفی

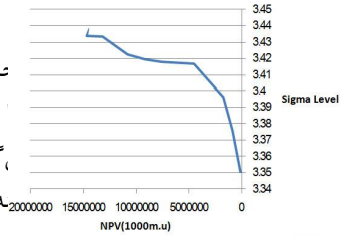
شکل7. نمودار متوسط میزان عیوب تأمین کنندگان و ارزش فعلی خالصِ طرح‌های پارتوی تصادفی



شکل 8. نمودار رفتار توابع هدف بر مبنای ارزش فعلی خالصِ طرح‌های پارتوی تصادفی

6. نتیجه‌گیری

مدلسازی زنجیرهٔ تأمین یک فرآیند چالش برانگیز است چون عوامل متعددی باید در مدل دیده شوند. بهینه‌سازی تصادفی چند می‌کند. عدم قطعیت پارام اد انعطاف و پایداری بیش در این‌صورت فرایند تصم گیرد. افزایش سود یا کاهـ ـه‌سازی زنجیرهٔ تأمین هستند. مشکل اصلی چنین مدل‌هایی درنظر گرفتن عوامل مهمی چون ارضای مشتری، کیفیت و انتخاب تأمین‌کنندگان است.



در این مقاله یک فرمول‌بندی با رویکردی نسبتاً جامع پیشنهاد نمودیم که عواملی مانند افزایش سود از طریق فرمول‌بندی ارزش فعلی خالص، کاهش عیوب تأمین‌کنندگان، افزایش حداقل ارضاء تقاضا، کاهش کمبودها و کاهش ریسک مالی را در برمی‌گیرد و این مدلِ برنامه‌ریزی تصادفی چند هدفه تصمیمات نوعی استراتژیک و تاکتیکی زنجیره تأمین را معین می‌کند. علاوه براین برخی دیگر از خصوصیات مدل پیشنهادی بصورت زیر است:

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]

I: درنظر گرفتن اکثر پارمترهای هزینه‌ای زنجیرهٔ تأمین نظیر هزینه‌های حمل، هزینه نگهداری و هزینه موجودی، هزینه کمبود، هزینه‌های تولید و هزینه‌های مرتبط با نیروی کار.

II: درنظر گرفتن مواردی نظیر استخدام، اخراج و بهره‌وری کارکنان

III: درنظر گرفتن سطح عملی و تجربی کارکنان و امکان آموزش و ارتقای کارکنان.

IV: نوسانات تقاضا باتوجه به عدم قطعیت.

در واقع به صورت نوآورانه برنامه‌ریزی تولید تحت شرایط عدم قطعیت با در نظر گرفتن سناریو در مدل لحاظ شده و علاوه بر آن زنجیره تأمین در چهارسطح به صورت یکپارچه با چندین تابع هدف کاربردی و به صورت چند دوره‌ای با وجود چند محصول مورد بررسی قرار گرفته است، کاری که در سایر مقالات مطالعه شده که در مرور ادبیات به آنها اشاره گردیده انجام نشده است. در ادامه این مدل چند هدفه به‌عنوان یک مسئله تک هدفه با بکارگیری روش محدودیت اپسیلن حل شده و مجموعه‌ای از جواب‌های بهینه پارتو را دراختیار تصمیم گیرنده قرار می‌دهند. حل مثال عددی حد میانی بین سود، کیفیت، ارضاء تقاضا، کمبود و ریسک مالی را نشان داد و دید خوبی برای تصمیم‌گیرنده فراهم کرد.

در پایان باید اشاره نمود که تحقیقات درخصوص مدل‌های زنجیرهٔ تأمین پایان نیافته است و فرصت‌های تحقیقات آتی برای محققین درجهت گسترش بهینه‌سازی پایدار و رویکردهای برنامه‌ریزی چند هدفه وجود دارد و امکان توسعه مدل موجود با تحلیل بیشتر خطوط تولید و آوردن مباحث کیفیت از مواد اولیه و تأمین‌کنندگان به خطوط تولید وجود دارد.

مراجع

[1] Simchi-Levi, D., Kamisky, P., Simchi-Levi, E., *Designing and Managing the Supply Chain. Concepts, Strategies*, and Case Studies,Irwin McGraw-Hill, 2000.

[2] Fox, M., Barbuceanu, M., Teigen, R., *Agent-Oriented Supply Chain Management.* The International Journal of Flexible Manufacturing Systems 12, 2000, 165–188.

[3] Mirzapour Al-e-hashem, S.M.J., Malekly, H., Aryanezhad, M.B., *A Multi-Objective Robust Optimization Model for Multi-Product Multi-Site Aggregate Production Planning in A Supply Chain Under Uncertainty.* International Journal of Production Economics , 134(1) , 2011, 28-42.

[4] Dolgui, A., Ould-Louly, M.A., *A Model for Supply Planning Under Lead Time Uncertainty*. International Journal of Production Economics 78(2), 2002, 145–152.

[5] Wang, R.-C., Liang, T.F., *Applying Possibilistic Linear Programming to Aggregate Production Planning*. International Journal of Production Economics, 98(3), 2005, 328-341.

[6] Gunnarsson, H., Rönnqvist, M., *Solving a Multi-Period Supply Chain Problem for a Pulp Company using Heuristics–An Application to Södra Cell AB*. International Journal of Production Economics 116(1), 2008, 75–94.

[7] Lodree, Jr., E.J., Uzochukwu, B.M., *Production Planning for a Deteriorating Item with Stochastic Demand and Consumer Choice*. International Journal of Production Economics 116(2), 2008, 219–232.

[8] Gebennini, E., Gamberini, R., Manzini, R., *An Integrated Production–Distribution Model for the Dynamic Location and Allocation Problem with Safety Stock Optimization.* International Journal of Production Economics 122(1), 2009, 286–304.

[9] Bok, J.K., Grossmann, I.E., Park, S., *Supply Chain Optimization in Continuous Flexible Process Networks*. Industrial and Engineering Chemistry Research 39, 2000, 1279–1290.

[10] Gjerdrum, J., Shah, N., Papageorgiou, L.G., *A Combined Optimisation and Agent-Based Approach for Supply Chain Modeling and Performance Assessment*. Production Planning and Control 12, 2000, 81–88.

[11] Timpe, C.H., Kallrath, J., *Optimal Planning in Large Multi-Site Production Networks.* European Journal of Operational Research 126, 2000, 422–435.

[12] Bose, S., Pekny, J.F., *A Model Predictive Framework for Planning and Scheduling Problems: a Case Study of Consumer Hoods Supply Chain*. Computer and Chemical Engineering 24, 2000, 329–335.

[13] Perea-López, E., Ydstie, B.E., Grossmann, I.E., *A Model Predictive Control Strategy for Supply Chain Optimization.* Computer and Chemical Engineering 27, 2003, 1201–1218.

[14] Van Landeghem, H., Vanmaele, H., *Robust Planning: a New Paradigm for Demand Chain Planning*. Journal of Operation Management 20 [6], 2002, 769–783.

[15] Yu, C.-S., Li, H.-L., *A Robust Optimization Model for Stochastic Logistic Problems*. International Journal of Production Economics 64 [1–3], 385–397.

[16] Snyder, L.V., *Facility Location Under Uncertainty: a Review*. IIE Transactions 38 [7], 2006, 537–554.

[17] Cohen, M.A., Lee, H.L., *Resource Deployment Analysis of Global Manufacturing and Distribution networks*. Journal of Manufacturing and Operations

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]

Stochastic Integer Programming Approach for Capacity Expansion Under Uncertainty, School of Industrial and Systems Engineering, Georgia Institute of Technology, Atlanta, GA, USA, 2000.

[32] Alonso-Ayuso, A., Escudero, L.F., Garin, A., Ortuno, M.T., Perez, G., *An Approach for Strategic Supply Chain Planning Under Uncertainty Based on Stochastic 0-1 Programming.* Journal of Global Optimization 26, 2003, 97–124.

[33] Blackhurst, J., Wu, T., O'Grady, P., *A Network-Based Approach to Modeling Uncertainty in a Supply Chain*. International Journal of Production Research 42, 2004, 1639–1658.

[34] Ryu, J.H., Dua, V., Pistikopoulos, N., *A Bilevel Programming Framework for Enterprise-wide Process Networks Under Uncertainty*. Computers & Chemical Engineering 28, 2004, 1121–1129.

[35] Sabri, E., Beamon, B., *A Multi-Objective Approach to Simultaneous Strategic and Operational Planning in Supply Chain Design.* The International Journal of Management Science 28 [5], 2000, 581–598.

[36] Guillén, G., Mele, F.D., Bagajewicz, M.J., Espuֹa, A., Puigjaner, L., *Multiobjective Supply Chain Design Under Uncertainty.* Chemical Engineering Science 60 (6), 2005, 1535–1553.

[37] Chen, C., Wang, B., Lee, W., *Multi-Objective Optimization for a Multi-Enterprise Supply Chain Network.* Industrial and Engineering Chemistry Research 42 [6–7], 2008, 1879–1889.

[38] Azaron, A., Borwn, K.N., Tarim, S.A., Modarres, M., *A Multi-Objective Stochastic Programming Approach for Supply Chain Design Considering Risk.* International Journal of Production Economics 116, 2008, 129–138.

[39] Rodrigo B., Franca, ErickC. Jones, CaseyN. Richards, Jonathan, P., Carlson., *Multi-Objective Stochastic Supply Chain Modeling to Evaluate Tradeoffs Between Profit and Quality.* International Journal of Production Economics.127[2010],292-299.

[40] Cardona-Valdés. Y., Alvarez. A., Ozdemir. D., *A bi-Objective Supply Chain Design Problem with Uncertainty*, 2010.

[41] Miettinen, K.M., *Nonlinear Multi Objective Optimization*, Kluwer Academic Publishers, Boston, 1999.

[42] Azapagic, A., Clift, R., *The Application of Life Cycle Assessment to Process Optimisation*. Computer and Chemical Engineering 10, 1999, 1509–1526.

[43] Zhou, Z., Cheng, S., Hua, B., *Supply Chain Optimization of Continuous Process Industries with Sustainability Considerations*. Computer and Chemical Engineering 24, 2000, 1151–1158.

Management 2, 1989, 81–104.

[18] Subrahmanyam, S., *Issues in the Design and Planning of Batch Chemical Plants*. Ph.D. Thesis, Purdue University,West Lafayette, USA, 1996.

[19] Iyer, R.R., Grossmann, I.E., *A Bilevel Decomposition Algorithm for Long-Range Planning of Process Networks*. Industrial and Engineering Chemistry Research 37, 1998, 474–481.

[20] Tsiakis, P., Shah, N., Pantelides, C.C., *Design of Multi-Echelon Supply Chain Networks Under Demand Uncertainty*. Industrial and Engineering Chemistry Research 40, 2001B 3585–3604.

[21] Petkov, S.B., Maranas, C.D., *Multiperiod Planning and Scheduling of Multipurpose Batch Plants Under Demand Uncertainty.* Industrial and Engineering Chemistry Research 36, 4864–4881.

[22] Gupta, A., Maranas, C.D., *A Two-Stage Modelling and Solution Framework for Multisite Midterm Planning Under Demand Uncertainty.* Industrial and Engineering Chemistry Research 39, 2000, 3799–3813.

[23] Gupta, A., Maranas, C.D., *Managing Demand Uncertainty in Supply Chain Planning*. Computer and Chemical Engineering 27, 2003, 1219–1227.

[24] Ierapetritou, M.G., Pistikopoulos, E.N., *Batch Plant Design and Operations Under Uncertainty.* Industrial and Engineering Chemistry Research 35, 1996, 772–787.

[25] Ahmed, S., Sahanidis, N.V., *Robust Process Planning Under Uncertainty.* Industrial and Engineering Chemistry Research, 37, 1998, 1883-1892.

[26] Santoso, T., Ahmed, S., Goetschalckx, M., Shapiro, A., *A Stochastic Programming Approach for Supply Chain Network Design Under Uncertainty*. European Journal of Operational Research 167 (1), 2005, 96–115.

[27] Elhedhli, S., Gzara, F., *Integrated Design of Supply Chain Networks with Three Echelons*, multiple commodities and technology selection. IIE Transactions 40 [1], 2008, 31–44.

[28] De Toni, A., Tonchia, S., *Performance Measurement Systems: Models, Characteristics and Measures*. International Journal of Operations & Production Management 21 [1–2], 2001, 46–70.

[29] Erol, I., Ferrell Jr., W.G., *A Methodology to Support Decision Making Across the Supply Chain of an Industrial Distributor*. International Journal of Production Economics 89 (1), 2004, 119–129.

[30] MirHassani, S.A., Lucas, c., Mitra, G., Poojari, C.A., *Computational Solution of Capacity Planning Model Under Uncertainty*. Parallel Computing Journal 26, 1999, 511–538.

[31] Ahmed, S., King, A.J., Parija, G., *A Multi-Stage*

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]

[44] Chen, C.L., Wang, B.W., Lee, W.C., *Multi-Objective Optimization for a Multi-Enterprise Supply Chain Network*. Industrial and Engineering Chemistry Research 42, 1879–1889.

[45] Gjerdrum, J., Shah, N., Papageorgiou, L.G., *Transfer Prices for Multienterprise Supply Chain Optimisation*. Industrial and Engineering Chemistry Research 40, 2001, 1650–1660.

[46] Gallego, G., 2001, lecture note, IEOR 4000: Production Management, Lecture 5 <http://columbia.edu/~gmg2/4000/pdf/lect_05.pdf>.

[47] Biegler, L.T., Grossmann, I.E., Westerberg, A.W., *Systematic Methods of Chemical Process Design*, *Prentice-Hall PTR*, New Jersey. Birge, J.R., Louveaux, F., 1997. Introduction to Stochastic Programming, Springer, New York.

[Downloaded from ijiepm.iust.ac.ir on 2026-09-14]