



## Designing Multi Period-Multi Level Supply Chain for Fixed Lifetime Perishable Products under Uncertainty

Ahmad Ebrahimi \*

PhD of Production and Operations Management, Allameh Tabatabai University, Tehran, Iran

Laya Olfat 

Professor of Operations Management and Information Technology Department, Allameh Tabatabai University, Tehran, Iran

Maghsoud Amiri 

Professor of Operations Management and Information Technology Department, Allameh Tabatabai University, Tehran, Iran

Mohammad taghi taghavifard 

Professor of Operations Management and Information Technology Department, Allameh Tabatabai University, Tehran, Iran

### Abstract

The current research has considered the design of the four-level supply chain of perishable goods, including manufacturing factories, distribution centers, wholesalers, and retailers, in conditions of uncertainty in important parameters. The aim is to make strategic and tactical decisions, including the location, number, and size of distribution centers and wholesalers, stock levels in stocking centers, determining the flow of goods between facilities at different supply chain levels, and choosing the type of means of transporting goods between facilities. This is achieved through a three-objective mathematical model. The goals include minimizing the expected total cost in the supply chain, achieving the shortest travel time of goods in the chain, and at the same time minimizing the amount of deviation from customer demand. The presented model tries to pay attention to environmental uncertainty and consider different operational scenarios, as well as the possible approach in important parameters. This takes into account the product life cycle, the different rate of spoilage of the goods in different storage facilities, the different capacity of the facilities in different scenarios, and considering different methods of product transportation with different rates of product spoilage. All of this aims to cover the lack of previous research in the field of

\* Corresponding Author: [ebrahimi4444@gmail.com](mailto:ebrahimi4444@gmail.com)

**How to Cite:** Karimi, H., Jamshidi, M. J., Bakhsham, M. (2023). Designing Multi Period-Multi Level Supply Chain for Fixed Lifetime Perishable Products under Uncertainty, *Industrial Management Studies*, 21(69), 129-172.

perishable goods supply chain design. Considering the multi-objective nature of the model and the need to create flexibility in decision-making for decision-makers, this research uses Normal Boundary Intersection (NBI), which allows decision-makers to choose the most optimal solution according to the importance of different goals. GAMS 24 software and MILP solver were used to solve the mathematical model.

### **Materials and Methods**

This study presents a multiobjective model for designing a four-echelon supply chain (SC) in the strategic and tactical levels for fixed lifetime perishable products. The targeted SC levels include production plants, distribution centers (DC), wholesalers, and retailers. The locations of the plants and retailers are predetermined, while the locations of DCs and wholesalers will be selected from potential locations. The elaborated model seeks to minimize the total cost and product transportation time in the SC and minimize expected demand deviation as well. The Normal Boundary Intersection (NBI) method is employed for solving the model, and GAMS software is used to determine the optimal values of decision variables.

### **Results**

This study utilizes a case study of an Iranian broad dairy company that produces eleven product groups. Data for the study were collected from historical company records and expert interviews. According to the opinions of the experts, three different operational scenarios have been extracted, and the data related to each scenario, especially the customer demand, has been estimated according to historical data as well as the corrective opinions of the managers. The results of the proposed mathematical programming model showed that changes in demand did not have unexpected effects on the values of the objective function and did not change the general trend of the answer to the problem. On the other hand, changes in the percentage of perishability of the product had far less impact on the values of the objective functions as well as the membership function. The overall result is normal, and as a result, in general, these changes represent the stability of the model against the fluctuations of important parameters. A comparison of optimal results and reality reveals that the examined SC needs a redesign of its DCs and wholesalers' locations, and hybrid transportation methods should be used.

### **Conclusion**

Supply chain design (SCD) of fixed lifetime perishable products at the strategic and tactical levels is indeed an important issue. By considering the research gap, this study developed a multi-objective and multi-level model for SCD of fixed lifetime perishable products, and new concepts such as varying


perishability rates in storage and transportation facilities are considered. On the other hand, with regard to environmental uncertainty, important parameters such as demand and capacity of facilities are considered as probable parameters. Adding environmental and social factors as new objectives, hybrid transportation methods, and horizontal interactions in the same SC levels can be considered for model development. In order to solve the proposed model, NBI has been used, which has significant advantages compared to other solution methods. By turning the answer of the optimization model into a kind of decision-making problem, this technique gives flexibility to the decision-maker to choose the best solution for their supply chain design according to the weight of each goal. Also, the decision-maker can redesign and increase the adaptability of the supply chain by changing the important parameters of the problem over time.

**Keywords:** Supply Chain Design, Perishable Goods, Mathematical Modeling, Uncertainty, Normal Boundary Intersection (NBI).




## طراحی زنجیره تأمین چند دوره‌ای-چندسطحی جهت کالاهای فاسدشدنی با دوره عمر ثابت در شرایط عدم اطمینان


دانشجوی دکتری مدیریت تولید و عملیات، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران

احمد ابراهیمی \* 


استاد گروه مدیریت عملیات و فناوری اطلاعات، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران

لیا الفت 

استاد گروه مدیریت عملیات و فناوری اطلاعات، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران

مقصود امیری 

استاد گروه مدیریت عملیات و فناوری اطلاعات، دانشگاه علامه طباطبائی، تهران، ایران

محمدتقی تقوی فرد 

### چکیده

پژوهش حاضر طراحی زنجیره تأمین چهار سطحی کالاهای فاسدشدنی شامل کارخانجات تولیدی، مراکز توزیع، عمده‌فروشان و خرده‌فروشان در شرایط عدم اطمینان در پارامترهای مهم را مدنظر قرار داده است و به منظور اتخاذ تصمیمات مهم در سطوح استراتژیک و تاکتیکی از جمله مکان، تعداد و اندازه مراکز توزیع و عمده‌فروشان، سطح موجودی در مراکز انبارش کالا، تعیین میزان جریان کالا میان تسهیلات در سطوح مختلف زنجیره تأمین و همچنین انتخاب نوع و سیله حمل و نقل کالا میان تسهیلات از یک مدل ریاضی سه هدفه بهره می‌برد. اهداف شامل حداقل‌سازی هزینه کل مورد انتظار در زنجیره تأمین، دستیابی به کمترین زمان سفر کالا در زنجیره و درعین حال حداقل نمودن میزان انحراف از تقاضای مشتریان می‌باشد. مدل ارائه شده تلاش می‌کند ضمن توجه به عدم اطمینان محیطی و در نظر گرفتن سناریوهای عملیاتی مختلف و همچنین رویکرد احتمالی در پارامترهای مهم، با در نظر گرفتن دوره عمر محصول، نرخ متفاوت فساد کالا در تسهیلات مختلف انبارش، ظرفیت متفاوت تسهیلات در سناریوهای مختلف و همچنین در نظر گرفتن

روش‌های مختلف حمل‌ونقل محصول با نرخ‌های مختلف فساد کالا، نقصان تحقیقات قبلی در حوزه طراحی زنجیره تأمین کالاهای فاسدشدنی را پوشش دهد. با توجه به چند هدفه بودن مدل و همچنین لزوم ایجاد انعطاف در تصمیم‌گیری برای تصمیم‌گیران، این پژوهش از تکنیک محدودده میان‌بخشی نرمال (NBI) که به تصمیم‌گیرندگان امکان انتخاب مطلوب‌ترین راه‌حل با توجه به درجه اهمیت اهداف مختلف را می‌دهد استفاده نموده است. به منظور حل مدل ریاضی از نرم‌افزار GAMS 24 و حل‌کننده MILP استفاده شده است.

**کلیدواژه‌ها:** طراحی زنجیره تأمین، کالای فاسدشدنی، مدل‌سازی ریاضی، عدم اطمینان، تکنیک محدودده میان‌بخشی نرمال.



## مقدمه

شبکه زنجیره تأمین زیربنای عملیات در بسیاری از صنایع و کسب و کارها محسوب می‌شوند (شهابی و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۴). در فضای رقابتی و محیط عملیاتی نامطمئن و مملو از ریسک روزافزون، طراحی شبکه‌ای کارا و مؤثر در هزینه و پاسخگو در برابر مشتریان، به شدت از اهمیت برخوردار است (فریز و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۱). تمرکز بر افزایش کارایی و طراحی ساختار می‌تواند تا ۶۰ درصد کاهش هزینه را به دنبال داشته باشد (هریسون<sup>۳</sup>، ۲۰۰۴). بسیاری از شرکت‌های موفق دنیا از جمله اپل، آمازون، سیسکو، کوکاکولا، دل، نایکی و پروکتور اند گمبل بخشی از موفقیت خود را مدیون مدیریت زنجیره تأمین می‌دانند (کازلنکووا و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۱۵؛ محمدی و همکاران<sup>۵</sup>، ۲۰۱۷). هماهنگی در یکپارچگی شرکا و بنگاه‌های همکار در زنجیره تأمین و توانمندی آن‌ها در تشکیل شبکه‌ای کارا از عوامل موفقیت زنجیره تأمین بوده و به شدت به چگونگی طراحی شبکه زنجیره تأمین بستگی دارد. (فیضی و همکاران، ۱۳۹۰). طراحی زنجیره تأمین مستلزم اتخاذ تصمیماتی در سطوح استراتژیک و تاکتیکال زنجیره تأمین می‌باشد و طبیعی است تأثیر مستقیم و بلندمدت بر عملکرد کلی زنجیره تأمین به خصوص عملکردهای متأثر از مکان تسهیلات می‌گذارد (رمضانی و همکاران<sup>۶</sup>، ۲۰۱۴). تصمیمات کلانی نظیر انتخاب مکان و ظرفیت تسهیلات، مکانیزم‌های حمل و نقل و میزان موجودی در سطوح مختلف زنجیره در سطح استراتژیک و نرخ جریان مواد و تولید از جمله تصمیمات سطح تاکتیکال زنجیره تأمین تلقی می‌گردد (ملو و همکاران<sup>۷</sup>، ۲۰۰۶؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۶؛ محمدی و همکاران، ۱۳۹۷). با توجه به تأثیرات بلندمدت مکان‌یابی تسهیلات، اشتباه در انتخاب مکان، هزینه‌های اضافه‌ای را در کل

- 
1. Shahabi et al.
  2. Friesz et al.
  3. Harrison
  4. Kozlenkova et al.
  5. Mohammadi et al.
  6. Ramezani et al.
  7. Melo et al.

مدت بهره‌برداری از تسهیلات به زنجیره تأمین تحمیل خواهد نمود (منگ و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۹). نوع محصولات موضوع زنجیره تأمین فاکتور مهم دیگری است که بر طراحی شبکه تأثیرگذار است و لایه دیگری از پیچیدگی را به مسئله طراحی می‌افزاید و علاوه بر ساختار کلی شبکه تولید و توزیع، عملیات‌های مهمی نظیر برنامه‌ریزی تولید، مدیریت موجودی و تأمین و تدارکات را با محدودیت مواجه می‌سازد (آموریم و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۱). امروزه در دنیا انواع مختلف کالاهای فاسدشدنی مانند محصولات دارویی، لبنی، فراورده‌های خونی و بسیاری از محصولات صنعتی تولید و مصرف می‌شوند (فیروزی<sup>۳</sup> و همکاران، ۲۰۱۴) به گونه‌ای که در ایالات متحده محصولات فاسدشدنی ۵۰ درصد از کل صنعت خواروبار را به خود اختصاص داده است (فرگوسن و کتزنبرگ<sup>۴</sup>، ۲۰۰۶). زنجیره تأمین محصولات فاسدشدنی با چالش‌های مهمی نظیر تقاضای پرنوسان، دوره عمر محدود و تمرکز مشتری بر ایمنی محصول مواجه‌اند و مجموعه این عوامل پیچیدگی طراحی زنجیره تأمین آن‌ها را افزایش می‌دهد. محصولات فاسدشدنی به دو طبقه کلی تقسیم می‌شوند: طبقه اول محصولاتی هستند که ارزش آن‌ها به زمان وابسته است (اقلام فسادپذیر و بهبودپذیر) و با گذشت زمان تغییر مطلوبیت می‌دهند و طبقه دوم محصولاتی هستند که دوره عمر آن‌ها ثابت است (محصولات فاسدشدنی با دوره عمر ثابت) و با گذشت زمان مطلوبیت آن‌ها تغییر نمی‌کند اما پس از اتمام دوره عمر، ارزش آن صفر می‌شود (غلامی و هنرور، ۱۳۹۴)؛ بنابراین طراحی مناسب شبکه زنجیره تأمین محصولات فاسدشدنی با دوره عمر ثابت، از عوامل موفقیت در کسب و کارهای مرتبط با این حوزه می‌باشد (آموریم و همکاران، ۲۰۱۱؛ محمد موسوی و بزرگی امیری<sup>۵</sup>، ۲۰۱۷). در یک جمع‌بندی کلی می‌توان فاکتورهای مهمی نظیر دوره عمر محصول (فیروزی و همکاران، ۲۰۱۳)، زمان حمل و نرخ فسادپذیری (ظهیری و

- 
1. Meng et al.
  2. Amorim et al.
  3. Firoozi et al.
  4. Ferguson & Ketzenberg
  5. Mohammad Musavi & Bozorgi-Amiri

همکاران<sup>۱</sup>، (۲۰۱۵) و تعداد دوره‌های برنامه‌ریزی (کاسترو و همکاران<sup>۲</sup>، ۲۰۱۷) و همچنین ماهیت احتمالی پارامترهای مهم و موازنه میان تقاضا و ظرفیت تسهیلات به منظور افزایش قابلیت اطمینان شبکه (چن و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۷) را مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در طراحی زنجیره تأمین کالاهای فاسدشدنی قلمداد کرد.

سیاست‌های مدیریت موجودی به شدت تحت تأثیر دوره عمر محصول می‌باشد و جهانی شدن شبکه تأمین کنندگان و بازارهای هدف شرکت‌ها، اهمیت زمان حمل و نقل کالاها را دوچندان ساخته است (دی کایزر و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۱۷). از این رو در نظر گرفتن گزینه‌های متنوع حمل در طراحی زنجیره تأمین کالاهای فاسدشدنی علاوه بر افزایش سرعت در حمل، می‌تواند کارایی هزینه‌ای شبکه را ارتقا بخشد. از سوی دیگر نرخ فاسدشدگی محصولات به طور مستقیم به شرایط حمل و نگهداری (مانند: دما، نور، رطوبت و ...) در حین حمل و انبارش وابسته است و در نتیجه تفکیک نرخ فاسدشدگی تسهیلات حمل و انبارش محصولات در مدل‌سازی حائز اهمیت می‌باشد. عدم تطابق میان تقاضا و ظرفیت تسهیلات مهم زنجیره تأمین، از دیگر چالش‌های مسائل طراحی زنجیره تأمین می‌باشد. ایجاد اضافه ظرفیت در تسهیلات منجر به تحمیل هزینه‌های اضافه در سرمایه‌گذاری و عملیات و کمبود ظرفیت در تسهیلات نیز افزایش میزان تقاضای ازدست‌رفته و کاهش قابلیت اتکا و اطمینان به زنجیره تأمین را در پی خواهد داشت. در نتیجه موازنه میان دو جنبه مذکور را می‌توان یکی از مهم‌ترین موازنه‌ها در طراحی زنجیره تأمین تلقی کرد (چن و همکاران، ۲۰۱۷) که تاکنون کمتر مورد توجه پژوهشگران این حوزه قرار گرفته است. ماهیت احتمالی پارامترهای مهم زنجیره تأمین، عدم اطمینان و شرایط متغیر محیطی نیز مجموعه عواملی هستند که بر اهمیت و پیچیدگی مسئله طراحی شبکه زنجیره تأمین می‌افزایند. حوادث و وقایع طبیعی، حادثه‌های تروریستی، شیوع بیماری‌ها و اعمال قرنطینه، تغییرات مالکیتی و اعتصابات کارگری منجر به

- 
1. Zahiri et al.
  2. Castro et al.
  3. Chen et al.
  4. De keizer et al.



اختلالات گسترده در زنجیره تأمین از جمله اختلال در زیرساخت‌های حمل و نقل و تسهیلات مهم نظیر مراکز انبارش و توزیع کالا می‌گردد (دیابت و همکاران، ۲۰۱۸؛ روحانی‌نژاد و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۱۸). قابل پیش‌بینی نبودن وقایع و بحران‌ها، در نظر گرفتن سناریوهای مختلف در مسائل طراحی شبکه زنجیره تأمین و افزایش پایداری آن در شرایط مختلف عملیاتی را اجتناب‌ناپذیر ساخته است (کاوه و قبادی<sup>۲</sup>، ۲۰۱۷). همچنین یکی از مفروضات بیشتر پژوهش‌ها در حوزه طراحی زنجیره تأمین، از دست رفتن کل ظرفیت تسهیلات در صورت بروز اختلال می‌باشد درحالی‌که در واقعیت بیشتر تسهیلات در موقعیت‌های مختلف با درصدی از ظرفیت خود فعال هستند (روحانی‌نژاد و همکاران، ۲۰۱۸). افزایش و اهمیت روزافزون موارد مذکور شرکت‌ها را بر آن داشته است تا به دنبال مدل‌هایی برای طراحی زنجیره تأمین خود باشند که در شرایط مختلف توانمندی خود را در حفظ و تغذیه بازار در عین کارایی به اثبات برساند. طراحی شبکه زنجیره تأمین کالای فاسدشدنی در شرایط عدم اطمینان در سطوح استراتژیک و تاکتیکال، همواره یکی از موضوعات چالش‌برانگیز در مدیریت زنجیره تأمین بوده است (دیابت و همکاران، ۲۰۱۸؛ چن و همکاران، ۲۰۱۷). مجموعه این چالش‌ها باعث شده است تا محققان این حوزه اغلب با مفروض گرفتن شرایط و عوامل تأثیرگذار بر طراحی زنجیره تأمین کالاهای فاسدشدنی که مسائل را به صورت غیرواقعی ساده می‌نماید از متغیرهای مهمی نظیر تفاوت نرخ فسادپذیری در تسهیلات مختلف، چنددوره‌ای بودن برنامه‌ریزی و ماهیت احتمالی پارامترها صرف نظر نمایند (ظهوری و همکاران، ۲۰۱۷). از سوی دیگر سرعت بالای مصرف کالاهای فاسدشدنی باعث شده تا بیشتر پژوهشگران مدل‌های طراحی شبکه این کالاها را یک دوره‌ای مدل‌سازی نمایند (کاسترو و همکاران، ۲۰۱۷؛ محمد موسوی و بزرگی امیری ۲۰۱۷؛ خلیلی دامغانی و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۱۵؛ دیکایزر و همکاران ۲۰۱۷) درحالی‌که افق برنامه‌ریزی در بسیاری از این گروه محصولات چنددوره‌ای است. برقراری تعادل میان تقاضا و ظرفیت تسهیلات نیز یکی

---

1. Rohaninejad et al.

2. Kaveh & Ghobadi

3. Khalili-Damghani et al.

از موازنه‌های مهم در طراحی زنجیره تأمین می‌باشد که از تحمیل هزینه‌های اضافه به شبکه جلوگیری می‌کند و در عین اهمیت، کمتر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. این پژوهش در پی آن است تا با توجه به عدم اطمینان فزاینده در محیط عملیاتی شرکت‌ها زنجیره تأمینی را طراحی و پیشنهاد نماید که ضمن توجه به احتمالی بودن تقاضا، در نظر گرفتن نرخ متفاوت فساد کالا در تسهیلات مختلف انبارش، تنوع در روش‌های حمل و نقل کالا میان سطوح مختلف و همچنین نرخ فساد کالا در حمل به روش‌های مختلف، در شرایط مختلف عملیاتی، ریسک‌های محیطی را تعدیل نموده و همچنان پاسخگو و قابل اتکا باقی بماند. در این راستا ضمن توجه خاص به هزینه ناشی از فاسدشدگی کالا در تسهیلات انبارش و حمل، با توجه به نقش تعیین‌کننده زمان گردش کالا در طراحی زنجیره تأمین محصولات فاسدشدنی با دوره عمر ثابت، هزینه کل مورد انتظار زنجیره تأمین و زمان کل حمل و نقل کالا میان تسهیلات مختلف را از طریق مدل‌سازی ریاضی حداقل نماید. به‌علاوه ضمن توجه به اهمیت پایداری زنجیره تأمین در شرایط مختلف عملیاتی و همچنین در نظر گرفتن این واقعیت که تسهیلات مختلف اعم از تسهیلات تولید، حمل و انبارش کالا در شرایط مختلف عملیاتی معمولاً با درصدی از ظرفیت اسمی خود فعال هستند، برقراری موازنه میان تقاضا و ظرفیت تسهیلات در شرایط عدم اطمینان را دنبال نموده است. به‌منظور تحقق این مهم حداقل‌سازی میزان انحراف مورد انتظار تقاضای مشتریان از میزان کالای ارسالی به آن‌ها نیز به‌عنوان یک هدف به مدل اضافه‌شده تا کارایی مدل ریاضی جهت سنجش اطمینان و پایداری مدل مورد آزمون قرار گیرد. در ادامه پیشینه تحقیقات انجام‌شده ارائه خواهد شد. در بخش بعد مدل‌سازی ریاضی مسئله و همچنین تکنیک حل مسئله مورد بحث قرار خواهد گرفت. یافته‌های پژوهش در ادامه آن و در آخر هم نتیجه‌گیری و پیشنهادها ارائه خواهد شد.

### مبانی نظری و پیشینه پژوهش

مسائل طراحی شبکه زنجیره تأمین به‌طور گسترده‌ای در حوزه‌های گوناگون از جمله مکان‌یابی کارخانه‌ها، انبارها و مراکز توزیع، فرودگاه‌ها و اماکن اضطراری مورد مطالعه قرار

گرفته است و در این مسائل تلاش می‌گردد تا مکان تسهیلات مختلف از میان سایت‌های تعیین شده انتخاب گردد به گونه‌ای که اهداف موردنظر محقق گردد (روحانی‌نژاد و همکاران، ۲۰۱۸). در این میان فسادپذیر بودن محصول سطح بالاتری از پیچیدگی را به مسئله می‌افزاید. دوره عمر محدود این گروه از محصولات، تحویل به موقع آن‌ها به مشتری را به یکی از مهم‌ترین فاکتورها در فرایند توزیع مبدل می‌سازد که این مهم مستقیماً تحت تأثیر مکان و نوع تسهیلات می‌باشد (خلیلی دامغانی و همکاران، ۲۰۱۵؛ دی‌کایزر و همکاران، ۲۰۱۷). هزینه ایجاد و راه‌اندازی تسهیلات مختلف از جمله تسهیلات انبارش و حمل محصولات فاسدشدنی فاکتور مهم دیگری است که ساختار شبکه زنجیره تأمین را تحت تأثیر قرار می‌دهد. اهمیت زمان چرخش<sup>۱</sup> این محصولات در زنجیره تأمین، در نظر گرفتن تنوع تسهیلات حمل و نقل را ضروری می‌نماید. تنوع در تسهیلات حمل علاوه بر انعطاف‌پذیری زنجیره تأمین در تحویل سریع و به موقع محصولات، می‌تواند کارایی آن در کاهش هزینه‌ها و کاهش نرخ فاسدشدگی محصولات حین حمل را افزایش دهد (دی‌کایزر و همکاران، ۲۰۱۷). از طرفی شرایط نگهداری (نور، دما، رطوبت و ...) حین انبارش و حمل، تأثیر مستقیمی بر نرخ فسادپذیری دارد و از این رو چگونگی محاسبه نرخ فسادپذیری در مدل‌سازی از اهمیت برخوردار است (کاسترو و همکاران، ۲۰۱۷). تطبیق تقاضا و ظرفیت تسهیلات در سطوح مختلف زنجیره تأمین لایه دیگری از پیچیدگی است که لازم است در مدل‌سازی طراحی زنجیره تأمین مدنظر قرار گیرد. ایجاد اضافه ظرفیت در تسهیلات به تحمیل هزینه‌های اضافه در سرمایه‌گذاری و عملیات و کمبود ظرفیت نیز با توجه به عدم اطمینان موجود در تقاضا، به کاهش سهم بازار و نیز کاهش قابلیت اطمینان زنجیره منجر خواهد شد (چن و همکاران، ۲۰۱۸). گسترش روزافزون عدم اطمینان در حوزه‌های مختلف کسب و کار، لحاظ نمودن عدم اطمینان را در مدل‌های طراحی زنجیره تأمین را الزامی ساخته است (دی‌بابت و همکاران، ۲۰۱۸). اختلال در یکی از سطوح زنجیره تأمین، کلیه شرکای زنجیره را متأثر ساخته و در نتیجه طراحی شبکه زنجیره تأمین بدون در نظر گرفتن پارامترهای احتمالی، نتایج آن را از واقعیت دور خواهد ساخت (کاوه و قبادی، ۲۰۱۷). همچنین یکی دیگر از واقعیاتی

که در غالب پژوهش‌های قبلی مورد غفلت واقع شده فعالیت تسهیلات مختلف زنجیره تأمین با کسری از ظرفیت خود در شرایط مختلف است (روحانی‌نژاد و همکاران، ۲۰۱۸). اهمیت بالای محصولات فاسدشدنی از یک سو و خلأهای تحقیقاتی مورد اشاره، لزوم توسعه پژوهش‌ها در این حوزه را کاملاً ضروری می‌نماید. در ادامه جدیدترین پژوهش‌ها در این خصوص مورد بررسی قرار خواهد گرفت. کوهن و لی<sup>۱</sup> (۱۹۸۸) یک مدل جامع زنجیره تأمین با چهار زیر مدل احتمالی کوچک تر ارائه دادند و از رویکردهای حل ابتکاری<sup>۲</sup> جهت حل مدل یکپارچه شده استفاده کردند. تنگ و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۰۷) اتخاذ تصمیمات راهبردی و تصمیمات مرتبط با موجودی را به صورت یکپارچه در طراحی زنجیره تأمین کالاهای فاسدشدنی در نظر گرفتند و هزینه موجودی را با توجه فاسدشدن موجودی با یک نرخ ثابت مدنظر قرار دادند. هیاست و دیابت<sup>۴</sup> (۲۰۱۱) مدلی چند دوره‌ای برای یک محصول فسادپذیر با دوره عمر معین با یک تأمین کننده و مجموعه‌ای از خرده‌فروشان با تقاضای قطعی ارائه داده‌اند که مکان، تعداد و همچنین الگوی تخصیص مشتریان به انبارهای مورد نیاز را تعیین می‌نماید. دی و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۱۱) مدلی یک دوره‌ای برای طراحی شبکه توزیع و اتخاذ تصمیمات استراتژیک شامل مکان و سطح موجودی مراکز توزیع محصولات کشاورزی فاسدشدنی با هدف حداقل سازی هزینه شامل هزینه تسهیلات، موجودی، حمل و نقل و هزینه خرابی ارائه داده‌اند. در تحقیقی دیگر ژائو و الوی<sup>۶</sup> (۲۰۱۱) با ارائه مدلی برای مکان‌یابی تسهیلات، تعیین ظرفیت تولید و نوع حمل و نقل در زنجیره تأمین محصولات کشاورزی تلاش کرده‌اند تا هزینه‌های تولید و حمل را حداقل نمایند. پیشوایی و رزمی<sup>۷</sup> (۲۰۱۲) یک مدل برنامه‌ریزی خطی با تأکید بر مسئولیت اجتماعی زنجیره تأمین و هوشیاری محیطی در

---

1. Cohen & Lee

2. Heuristic

3. Tang et al.

4. Hiassat & Diabat

5. Di et al.

6. Zhao & Lv

7. Pishvae & Razmi

شرایط عدم اطمینان ارائه دادند و به منظور حل آن از یک روش فازی تعاملی بهره بردند. دیات‌ها و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۲) مدلی چندهدفه برای مکان‌یابی تسهیلات در زنجیره تأمین قارچ به‌عنوان یک محصول با فاسدشوندگی بالا ارائه داده‌اند که در آن اماکن بالقوه برای مراکز توزیع، با هدف‌های حداکثرسازی سود زنجیره و حداقل‌سازی مسافت طی شده توسط ناوگان حمل مشخص می‌شوند. همامی و فرین<sup>۲</sup> (۲۰۱۳) یک مدل برنامه‌ریزی خطی برای تعیین مکان تأمین‌کنندگان، توزیع‌کنندگان و تولیدکنندگان در یک زنجیره تأمین جهانی با لحاظ نمودن تأثیر مکان تسهیلات بر زمان تحویل کالا به مشتریان ارائه کردند. بدین منظور آن‌ها قیدهایی برای زمان تحویل کالا در مدل خود اعمال نمودند و موازنه‌ای میان زمان تحویل و تصمیمات استراتژیک زنجیره برقرار نمودند. جوزدانی و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۳) با در نظر گرفتن حداقل‌سازی هزینه حمل کالا به‌عنوان هدف، مدلی پویا برای مکان‌یابی تسهیلات و همچنین برنامه‌ریزی عملیاتی زنجیره تأمین شیر ضمن توجه به عدم اطمینان در تقاضا ارائه داده‌اند. مکان‌یابی مراکز توزیع کالای فاسدشدنی در مدلی توسط درزرنر و اسکات<sup>۴</sup> (۲۰۱۳) مورد مطالعه قرار گرفته و از ترکیب مسئله موجودی و مکان‌یابی، وابستگی سیاست‌های موجودی به مکان مراکز اثبات شده است. یو و ناگرنی<sup>۵</sup> (۲۰۱۳) در تحقیق دیگری مدلی ارائه کردند که به‌منظور برآورده‌سازی تقاضا، میزان کالای فاسدشده را با در نظر گرفتن فساد کالا به‌صورت یک تابع نمایی و معرفی ضریب تکاثر در هر سطح زنجیره محاسبه و از این طریق جریان کالا در مسیرهای مختلف را تنظیم می‌کند. فیروزی و همکاران (۲۰۱۴) ضمن تأکید بر اهمیت کالاهای فاسدشدنی در تجارت و صنعت، مدلی غیرخطی را باهدف یکپارچگی تصمیمات مرتبط با مدیریت موجودی و مکان‌یابی تسهیلات ارائه و ثابت کرده‌اند که جهت کالاهای فاسدشدنی مدل‌های یکپارچه در مقایسه با سایر مدل‌ها عملکرد

---

1. Diatha et al.

2. Hammami & Frein

3. Jouzdani et al.

4. Drezner & Scott

5. Yu & Nagurney

به مراتب بهتری دارند. گوویندان و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۴) مدلی با دو هدف حداقل نمودن هزینه و اثرات محیطی جهت یک زنجیره تأمین سه سطحی در صنعت غذا ارائه و با تعریف زودترین و دیرترین زمان رسیدن کالا به توزیع کننده و خرده فروش، جریمه‌ای برای زودتر یا دیرتر رسیدن کالا تعریف کرده‌اند اما هزینه فسادپذیری را در مدل منظور نکرده‌اند. غلامی و هنرور (۱۳۹۴) با لحاظ نمودن هزینه فساد کالا جهت مواد خام و محصول نهایی، مدلی جهت یک زنجیره تأمین سه سطحی ارائه دادند. مدل ارائه شده نرخ فاسدشدگی را ثابت و تقاضا را قطعی و مدیریت موجودی را فروشنده محور در نظر می‌گیرد. موسی زاده و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۵) مدلی دو هدفه برای طراحی زنجیره تأمین در سطوح استراتژیک و تاکتیکال ارائه داده‌اند که دو هدف حداقل سازی هزینه‌ها و همچنین حداقل ساختن تقاضای تأمین نشده را دنبال می‌کند اما در عین حال موضوعات مهمی نظیر نرخ متفاوت فسادپذیری در تسهیلات مختلف، حداقل سازی زمان سفر کالا، موازنه ظرفیت و تقاضا و نیز عدم اطمینان موجود در فضای کسب و کار مدنظر قرار نداده‌اند. قضاوتی و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۷) با در نظر گرفتن یک زنجیره تأمین با محوریت توزیع کننده، مدلی با هدف حداکثر ساختن سود ارائه داده‌اند. مدل آن‌ها با تمرکز بر ارائه فصلی محصول، سه شاخص را برای اندازه‌گیری عمر محصول با دوره عمر ثابت ارائه داده است. محمد موسوی و بزرگی امیری (۲۰۱۷) با در نظر گرفتن زنجیره تأمینی متشکل از هاب‌های توزیع، مدلی جهت مکان‌یابی آن‌ها و همچنین زمان‌بندی حرکت وسایل نقلیه ارائه داده‌اند. مدل ارائه شده که هدف آن حداکثر سازی احتمال خرید می‌باشد میزان فسادپذیری کالا و درصد آلودگی ایجاد شده توسط شبکه را در راستای پایدارسازی شبکه زنجیره تأمین مورد توجه قرار داده اما هزینه فسادپذیری در تابع هدف لحاظ نشده است. دیابت و همکاران (۲۰۱۸) مدلی برای زنجیره تأمین کالاهای فاسدشدنی با هدف حداقل سازی هزینه و زمان ارائه و تلاش کرده‌اند مدل ارائه شده قابلیت‌های لازم به منظور تاب‌آوری در سناریوهای مختلف عملیاتی از جمله شرایط بحرانی

---

1. Govindan et al.

2. Mousazadeh et al.

3. Ghezavati et al.

طراحی زنجیره تأمین چند دوره‌ای-چندسطحی جهت کالاهای ...؛ ابراهیمی و همکاران | ۱۴۳

را داشته باشد. یاوری و گرائیلی<sup>۱</sup> (۲۰۱۹) در پژوهشی به بررسی مسئله طراحی زنجیره تأمین بسته<sup>۲</sup> جهت کالاهای فاسدشدنی در صنعت لبنیات پرداخته‌اند. آن‌ها دو هدف حداقل‌سازی هزینه کل و همچنین حداقل‌سازی آلودگی محیطی در شرایط عدم اطمینان در تقاضا، نرخ بازگشت کالا و هزینه را دنبال نموده اما فاکتورهای مهمی نظیر هزینه فاسدشدن کالا، نرخ متفاوت فاسدشدگی در تسهیلات، روش‌های مختلف حمل کالا و همچنین اهمیت زمان گردش کالا در زنجیره را در نظر نگرفته‌اند. در جدول شماره ۱ مهم‌ترین مقالات موردبررسی از جنبه‌های مختلف با پژوهش حاضر مقایسه شده است.

جدول ۱. مقایسه مقالات مهم موردبررسی با پژوهش حاضر

مدل سازی احتمالی	موازنه تقاضا و ظرفیت	هزینه فساد کالا در هدف	هزینه حمل میان تسهیلات به طرق مختلف	مدل سازی چند دوره‌ای	روش حمل چندحالتی	نرخ فسادپذیری متفاوت در تسهیلات حمل	نرخ فسادپذیری متفاوت در تسهیلات انبارش	تعداد سطوح زنجیره تأمین	پژوهش
		*						۴	اورجلاکاسترو و همکاران (۲۰۱۷)
*				*				۳	رضانیان و بهبودی (۲۰۱۷)
			*					۲	محمد موسوی و بزرگی امیری (۲۰۱۷)
*			*	*	*			۴	موسی زاده و همکاران (۲۰۱۵)
						*			یو و ناگرنی (۲۰۱۳)
*			*	*				۴	زهیری و همکاران (۲۰۱۷)
				*				۴	یاوری و گرائیلی (۲۰۱۹)
			*					۲	درزنر و اسکات (۲۰۱۳)
		*	*					۲	دی و همکاران (۲۰۱۱)

1. Yavari & Geraeli

2. Closed supply chain

مدل سازی احتمالی	موازنه تقاضا و ظرفیت	هزینه فساد کالا در هدف	هزینه حمل میان تسهیلات به طرق مختلف	مدل سازی چند دوره‌ای	روش حمل چندحالتی	نرخ فساد پذیری متفاوت در تسهیلات حمل	نرخ فساد پذیری متفاوت در تسهیلات انبارش	تعداد سطوح زنجیره تأمین	پژوهش
			*		*			۲	خلیلی دامغانی و همکاران (۲۰۱۵)
			*					۲	اعتمادنیا و همکاران (۲۰۱۵)
				*				۲	هیاست و همکاران (۲۰۱۷)
				*				۳	قضاوتی و همکاران (۲۰۱۵)
								۳	دیکایزر و همکاران (۲۰۱۷)
*				*				۴	حسینی و همکاران (۲۰۱۲)
			*	*	*			۲	گوویندان و همکاران (۲۰۱۳)
			*					۳	فیروزی و همکاران (۲۰۱۳)
*	*	*	*	*	*	*	*	۴	پژوهش حاضر

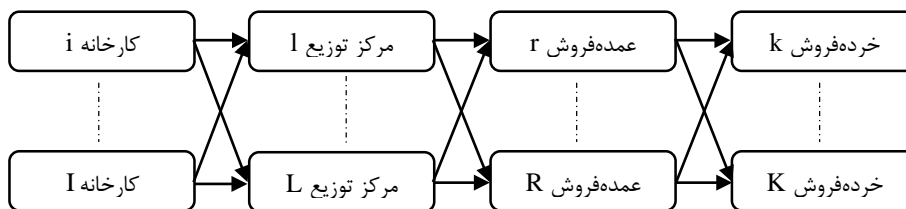
بررسی تحقیقات انجام شده در حوزه طراحی زنجیره تأمین کالاهای فاسدشدنی در سطوح استراتژیک و تاکتیکال برآوردگر این موضوع است که پژوهشگران این حوزه در عین اهمیت موضوع فسادپذیری، اغلب به این موضوع دیدی کلی داشته و نقش عواملی مهمی نظیر وابستگی میزان فاسدشدگی این دسته از محصولات به فاکتورهایی نظیر شرایط نگهداری، سرعت در حمل و فروش و تطبیق عرضه و تقاضا به منظور کاهش تقاضای ازدست رفته در مراکز فروش را عملاً نادیده گرفته‌اند. توجه به عوامل مذکور ما را به این نتیجه می‌رساند که نرخ فسادپذیری محصولات در انبارها و مراکز توزیع و فروش مختلف و همچنین در روش‌های مختلف حمل و نقل یکسان نخواهد و در نتیجه تفاوت میان نرخ فسادپذیری محصولات در عملیات‌های مختلف از جمله انبارش و حمل اجتناب‌ناپذیر بوده و مسئله را به واقعیت نزدیک خواهد ساخت که این موضوع تاکنون مورد توجه محققان این



حوزه نبوده است. همچنین با توجه به عدم اطمینان موجود در فضای کسب و کار و ماهیت احتمالی تقاضا بخصوص در کالاهای فاسدشدنی، تطابق میان عرضه و تقاضا در مراکز خرده‌فروشی، احتمال کمبود و در نتیجه هزینه‌های مرتبط به آن را به حداقل می‌رساند که این مهم نیز مورد توجه محققان حوزه طراحی شبکه زنجیره تأمین کالاهای فاسدشدنی نبوده است.

### مدلسازی ریاضی

در این پژوهش با در نظر گرفتن یک زنجیره تأمین چهار سطحی (نمودار ۱) شامل کارخانجات تولیدی، مراکز توزیع، مراکز عمده‌فروشی و مراکز خرده‌فروشی، تصمیم‌گیری در سطوح استراتژیک و تاکتیکال به کمک مدلسازی ریاضی مدنظر قرار دارد. با توجه به اهمیت نوع محصول در تعیین اهداف طراحی زنجیره تأمین، این مطالعه بهینه‌سازی هم‌زمان هزینه، زمان و میزان تقاضای تأمین نشده را مدلسازی و یکپارچه می‌نماید. مدل ارائه‌شده به صورت تک‌محصولی و چنددوره‌ای می‌باشد که در قالب سناریوهای متفاوت عملیاتی مدلسازی خواهد شد. مکان کارخانجات تولیدی و خرده‌فروشان ثابت و از پیش تعیین شده و مکان مراکز توزیع و همچنین عمده‌فروشان از میان مراکز بالقوه انتخاب خواهد شد. با توجه قابل پیش‌بینی نبودن وقوع بحران‌ها و نیز توجه به عدم اطمینان موجود در فضای کسب و کار، ضمن در نظر گرفتن سناریوهای متفاوت عملیاتی، پارامترهای مهمی نظیر تقاضای خرده‌فروشان، ظرفیت تسهیلات مهم شامل مراکز توزیع و عمده‌فروشان به صورت احتمالی با توجه به سناریوی فعال در نظر گرفته شده است و سایر پارامترها قطعی فرض شده‌اند.



نمودار ۱. ساختار کلی زنجیره تأمین موردنظر

هر یک از موجودیت‌های ذکر شده در زنجیره تأمین مورد نظر، با توجه به اهداف مدنظر در مدل، حاوی پارامترها و متغیرهای متعددی می‌باشند که در قالب جدول شماره ۲ ارائه شده‌اند.

جدول ۲. پارامترها و متغیرهای مدل‌سازی ریاضی (جدول به لحاظ شکلی متفاوت باشد)

شناساگرها		
$i = 1, \dots, I$	مجموعه کارخانجات تولیدی	$i$
$l = 1, \dots, L$	مجموعه نقاط بالقوه برای ایجاد مراکز توزیع	$l$
$r = 1, \dots, R$	مجموعه نقاط بالقوه برای ایجاد مراکز عمده‌فروشی	$r$
$k = 1, \dots, K$	مجموعه نقاط تقاضا	$k$
$t = 1, \dots, T$	مجموعه دوره‌های تولیدی	$t$
$t = 1, \dots, N$	مجموعه روش‌های حمل‌ونقل	$n$
$s = 1, \dots, S$	مجموعه سناریوها	$s$
پارامترها		
	میزان تقاضای مشتریان ناحیه $k$ در دوره $t$ در سناریوی $S$	$D_{kt}^s$
	هزینه تولید کارخانه $i$	$F_i$
	ظرفیت تولید کارخانه $i$ در دوره $t$	$M_{it}$
	ظرفیت مرکز توزیع $l$ در دوره $t$	$C_{lt}$
	ظرفیت عمده‌فروشی $r$ در دوره $t$	$O_{rt}$
	ظرفیت خرده‌فروشی $k$ در دوره $t$	$N_{kt}$
	زمان حمل‌ونقل واحد محصول از کارخانه $i$ به مرکز توزیع $l$ به روش حمل $n$	$PT_{iln}$
	زمان حمل‌ونقل واحد محصول از مرکز توزیع $l$ به عمده‌فروشی $r$ به روش حمل $n$	$DT_{lrn}$
	زمان حمل‌ونقل واحد محصول از عمده‌فروشی $r$ به خرده‌فروشی $k$ به روش حمل $n$	$WT_{rkn}$
	درصد فسادپذیری محصول در حمل‌ونقل از کارخانه $i$ به مرکز توزیع $l$ به روش حمل $n$	$\partial_{iln}$
	درصد فسادپذیری محصول در حمل‌ونقل از مرکز توزیع $l$ به مرکز عمده‌فروشی $r$ به روش حمل $n$	$\alpha_{lrn}$
	درصد فسادپذیری محصول در حمل از مرکز عمده‌فروشی $r$ به مرکز خرده‌فروشی $k$ به روش حمل $n$	$\beta_{rkn}$
	هزینه حمل‌ونقل واحد محصول از کارخانه $i$ به مرکز توزیع $l$ به روش $n$	$PC_{iln}$
	هزینه حمل‌ونقل واحد محصول از مرکز توزیع $l$ به عمده‌فروشی $r$ به روش $n$	$DC_{lrn}$
	هزینه حمل‌ونقل واحد محصول از عمده‌فروشی $r$ به خرده‌فروشی $k$ به روش $n$	$WC_{rkn}$
	هزینه ایجاد و راه‌اندازی مرکز توزیع $l$	$A_l$

هزینه ایجاد و راه‌اندازی مرکز عمده‌فروشی $r$	$B_r$
هزینه نگهداری واحد محصول در مرکز توزیع $l$	$HD_l$
هزینه نگهداری واحد محصول در مرکز عمده‌فروشی $r$	$HW_r$
هزینه نگهداری واحد محصول در مرکز خرده‌فروشی $k$	$HR_k$
درصد فسادپذیری محصول در مرکز توزیع $l$ در دوره $t$	$\theta_l$
درصد فسادپذیری محصول در مرکز عمده‌فروشی $r$ در دوره $t$	$\gamma_r$
درصد فسادپذیری محصول در مرکز خرده‌فروشی $k$ در دوره $t$	$\varphi_k$
هزینه فاسدشدن واحد کالا در مرکز توزیع $l$	$E_l$
هزینه فاسدشدن واحد کالا در مرکز عمده‌فروشی $r$	$F_r$
هزینه فاسدشدن واحد کالا در مرکز خرده‌فروشی $k$	$G_k$
هزینه فاسدشدن واحد کالا در حمل‌ونقل از کارخانه $i$ به مرکز توزیع $l$ به روش حمل $n$	$PPC_{iln}$
هزینه فاسدشدن واحد کالا در حمل‌ونقل از مرکز توزیع $l$ به مرکز عمده‌فروشی $r$ به روش حمل $n$	$DPC_{lrn}$
هزینه فاسدشدن واحد کالا در حمل از مرکز عمده‌فروشی $r$ به مرکز خرده‌فروشی $k$ به روش حمل $n$	$WPC_{rkn}$
هزینه فاسدشدن واحد کالا در مرکز توزیع $l$	$E_l$
هزینه فاسدشدن واحد کالا در مرکز عمده‌فروشی $r$	$F_r$
درصد محصول قابل‌پردازش توسط کارخانه $i$ در دوره $t$ در سناریوی $S$	$q_{it}^S$
درصد محصول قابل‌پردازش توسط مرکز توزیع $l$ در دوره $t$ در سناریوی $S$	$u_{it}^S$
درصد محصول قابل‌پردازش توسط عمده‌فروش $r$ در دوره $t$ در سناریوی $S$	$g_{rt}^S$
درصد محصول قابل‌پردازش توسط خرده‌فروش $k$ در دوره $t$ در سناریوی $S$	$d_{kt}^S$
احتمال رخداد سناریوی $S$ در دوره $t$	$\rho_t^S$
عدد مثبت بزرگ	$B$
<b>متغیرهای تصمیم</b>	
اگر مرکز توزیع $l$ فعال باشد برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر خواهد بود.	$X_l$
اگر مرکز عمده‌فروشی $r$ فعال باشد برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر خواهد بود.	$Y_r$
سطح موجودی در مرکز توزیع $l$ در دوره $t$ در سناریوی $S$	$W_{lt}^S$
سطح موجودی در مرکز عمده‌فروشی $r$ در دوره $t$ در سناریوی $S$	$Z_{rt}^S$
سطح موجودی در مرکز خرده‌فروشی $k$ در دوره $t$ در سناریوی $S$	$J_{kt}^S$
میزان جریان محصول از کارخانه $i$ به مرکز توزیع $l$ در دوره $t$	$Q_{ilt}$
میزان جریان محصول از مرکز توزیع $l$ به مرکز عمده‌فروشی $r$ در دوره $t$	$U_{lrt}$

میزان جریان محصول از مرکز عمده‌فروشی ۳ به مرکز خرده‌فروشی $k$ در دوره $t$	$G_{rkt}$
میزان کمبود خرده‌فروشی $k$ در دوره $t$ در سناریوی $S$	$L_{kt}^S$
مقدار تقاضای برآورده نشده مورد انتظار برای خرده‌فروشی $k$	$EDNS_k$

مدل‌سازی ریاضی محدودیت‌ها. با توجه به ابعاد مختلف مسئله و ساختار زنجیره تأمین، ابتدا محدودیت‌ها با توجه به جریان کالا از کارخانه‌ها به مراکز توزیع و از مراکز توزیع به مراکز عمده‌فروشی و سپس محدودیت‌ها با توجه به جریان کالا از مراکز توزیع به مراکز عمده‌فروشی و از مراکز عمده‌فروشی به مراکز خرده‌فروشی ارائه می‌گردد:

$$\sum_l \sum_n Q_{ilt^n}^S \leq M_{it} Q_{it}^S \quad \forall i, t, s \quad \text{رابطه (۱)}$$

$$\sum_i \sum_n Q_{ilt^n}^S \leq X_l C_{lt} \quad \forall l, t, s \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$\sum_l \sum_n U_{lrt^n}^S \leq Y_r O_{rt} \quad \forall r, t, s \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$\sum_i \sum_n Q_{ilt^n}^S (1 - \theta_{iln}) \geq \sum_r \sum_n U_{lrt^n}^S \quad \forall l, t, s \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$\sum_r \sum_n U_{lrt^n}^S \leq X_l C_{lt} U_{it}^S \quad \forall l, t, s \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$\sum_r \sum_n U_{lrt^n}^S \leq W_{lt}^S \quad \forall l, t, s \quad \text{رابطه (۶)}$$

$$W_{it}^S = W_{i,t-1}^S (1 - \theta_i) + \sum_{i,n} Q_{ilt^n}^S - \sum_{r,n} U_{lrt^n}^S \quad \forall l, t \geq 2, s \quad \text{رابطه (۷)}$$

رابطه (۱) تضمین می‌نماید کل محصول تولیدی که از هر کارخانه به تمامی مراکز توزیع ارسال می‌گردد حداکثر برابر با ظرفیت فعال تولیدی آن کارخانه در سناریوی فعال خواهد بود. رابطه (۲) تضمین می‌نماید مجموع محصول تولیدی ارسال شده از کلیه کارخانجات تولیدی به مقصد هر یک از مراکز توزیع در دوره‌های مختلف بیشتر از ظرفیت آن مرکز توزیع در دوره موردنظر نخواهد بود. به طریقی مشابه رابطه شماره (۳) نیز این تضمین را

ایجاد می‌کند که مجموع محصولی که از هر یک از مراکز توزیع به یک مرکز عمده‌فروشی در هر دوره تولید ارسال می‌شود از حداکثر ظرفیت آن مرکز عمده‌فروشی بیشتر نخواهد بود. به‌منظور پیشگیری از کمبود در مراکز توزیع رابطه شماره (۴) ارائه شده و این شرط را برقرار می‌نماید که مجموع کالای ارسالی از کارخانه‌های تولیدی به هر یک از مراکز توزیع در هر دوره بیشتر یا برابر با مجموع کالای ارسالی از آن مرکز توزیع به تمام مراکز عمده‌فروشی در همان دوره باشد. رابطه (۵) مقدار کالایی که از هر مرکز توزیع  $l$  به تمام مراکز عمده‌فروشی ارسال می‌گردد را از ظرفیت فعال آن مرکز توزیع در سناریو  $S$  کمتر یا مساوی نگه می‌دارد. مقدار کالایی که از هر مرکز توزیع  $l$  به تمام مراکز عمده‌فروشی ارسال می‌گردد از موجودی آن مرکز توزیع در سناریوی فعال کمتر یا مساوی خواهد بود. این مهم در رابطه شماره (۶) نمایش داده شده است. رابطه شماره (۷) میزان موجودی هر دوره در هر یک از مراکز توزیع را برای دوره‌های تولید دوم به بعد نشان می‌دهد که برابر خواهد بود با مجموع موجودی دوره قبل و موجودی ارسال شده از هر یک از کارخانجات تولیدی به آن مرکز توزیع که میزان کالای ارسال شده از آن مرکز توزیع به کلیه مراکز عمده‌فروشی از آن کسر شده باشد. لازم به ذکر است همان‌گونه که در بخش فرضیات بیان شد میزان موجودی کلیه مراکز در دوره اول برابر صفر منظور شده است. در ادامه محدودیت‌های مدل با توجه به جریان کالا از مراکز توزیع به مراکز عمده‌فروشی و از مراکز عمده‌فروشی به مراکز خرده‌فروشی ارائه می‌گردد:

$$\sum_k \sum_n G_{rkt n}^S \leq Y_r O_{rt} g_{rt}^S \quad \forall r, t, s \quad \text{رابطه ۸}$$

$$\sum_k \sum_n G_{rkt n}^S \leq Z_{rt}^S \quad \forall r, t, s \quad \text{رابطه ۹}$$

$$\sum_l \sum_n U_{l r t n}^S (1 - \alpha_{l r n}) \geq \sum_k \sum_n G_{rkt n}^S \quad \forall r, t, s \quad \text{رابطه ۱۰}$$

$$Z_{rt}^S = Z_{r,t-1}^S (1 - \gamma_r) + \sum_l \sum_n U_{l r t n}^S - \sum_k \sum_n G_{rkt n}^S \quad \forall r, t, s \quad \text{رابطه ۱۱}$$

$$\sum_r \sum_n G_{rktn}^s \leq N_{kt}^s \quad \forall k, t, s \quad \text{رابطه (۱۲)}$$

$$j_{kt}^s - L_{kt}^s = j_{k,t-1}^s (1 - \varphi_k) + \sum_r \sum_n G_{rktn}^s (1 - \beta_{rkn}) - D_{kt}^s \quad \forall k, t, s \quad \text{رابطه (۱۳)}$$

مجموع کالای ارسال شده از هر عمده فروش به کلیه خرده فروشان کمتر یا مساوی ظرفیت قابل پردازش آن عمده فروش و همچنین موجودی آن عمده فروش در آن دوره در سناریوی فعال خواهد بود که این مهم به ترتیب در روابط (۸) و (۹) نشان داده شده است. مطابق رابطه (۱۰) مجموع کالای ارسالی از مراکز توزیع به هر مرکز عمده فروشی در هر دوره بیشتر یا برابر با مجموع کالای ارسالی از آن مرکز عمده فروشی به تمام مراکز خرده فروشی در همان دوره است که این محدودیت مقدار موجودی عمده فروشان را همواره بزرگ تر یا مساوی صفر حفظ می کند. مطابق رابطه (۱۱) میزان موجودی هر یک از مراکز عمده فروشی در هر دوره و برابر خواهد بود با مجموع موجودی دوره قبل و موجودی ارسال شده از کلیه مراکز توزیع در همان دوره که میزان کالای ارسال شده از آن مرکز عمده فروشی به کلیه نقاط مشتری از آن کسر شده است. مقدار کالایی که از تمامی عمده فروشان به هر خرده فروش ارسال می گردد کمتر یا مساوی ظرفیت آن خرده فروش در آن دوره در سناریوی فعال می باشد که این مهم در رابطه (۱۲) بیان شده است. نوسان تقاضا خرده فروشان را به عنوان لایه آخر زنجیره تأمین همواره با اضافه موجودی و یا کمبود مواجه می سازد. مطابق رابطه (۱۳) تفاضل موجودی و میزان کمبود هر خرده فروش در هر دوره برابر است با مقدار موجودی فاسد نشده باقیمانده از دوره قبل به اضافه مقدار کالای سالم دریافتی از عمده فروشان که میزان تقاضا از آن کسر شده است. با توجه رابطه (۱۳) قدر مطلق اختلاف میان موجودی هر خرده فروش در هر دوره با دوره قبل از حاصل ضرب ظرفیت و درصد محصول قابل پردازش توسط خرده فروش در آن دوره کمتر خواهد بود (رابطه (۱۴)).

$$|j_{kt}^s - j_{k,t-1}^s| \leq N_{kt}^s \times d_{kt}^s \quad \forall k, t, s \quad \text{رابطه ۱۴}$$

محاسبه شاخص انحراف از تقاضا: به منظور کاهش هزینه‌های تحمیلی به زنجیره تأمین و ایجاد حداکثر تطابق میان تقاضای احتمالی خرده‌فروشان و میزان کالای ارسال شده به آنان، رابطه (۱۵) مورد استفاده قرار گرفته است. این رابطه میزان انحراف مورد انتظار از تقاضا برای هر خرده‌فروش را محاسبه می‌نماید.

$$EDNS_k = \sum_s \rho^s \sum_t L_{kt}^s \quad \forall k \quad \text{رابطه ۱۵}$$

توابع هدف: مدل حاضر با توجه به ماهیت مسئله، دستیابی به سه هدف مهم یعنی حداقل کردن هزینه و زمان و همچنین حداقل‌سازی تقاضای برآورده نشده را به‌طور هم‌زمان در دستور کار دارد (رابطه ۱۶). تابع هدف اول تلاش می‌کند تا کل هزینه‌های زنجیره تأمین شامل هزینه تولید، هزینه ایجاد و راه‌اندازی مراکز توزیع و مراکز عمده‌فروشی، هزینه حمل، هزینه نگهداری محصول و به‌طور خاص هزینه فاسدشدگی کالا در تسهیلات حمل‌ونقل میان سطوح مختلف زنجیره و همچنین مراکز انبارش کالا یعنی مراکز توزیع و انبارهای عمده‌فروشی را در سناریوهای مختلف حداقل نماید. در مقابل هدف دوم به دنبال آن است تا زمان گردش کالا را در زنجیره تأمین حداقل نماید. لذا در این راستا انتخاب وسیله حمل‌ونقل سریع‌تر که معمولاً هزینه بالاتری را دارد و با هدف اول در تعارض است را ترجیح می‌دهد. از سوی دیگر در تابع هدف سوم، تلاش می‌شود تا تقاضای مشتریان در هر دوره تا سرحد امکان برآورده گردد که تحقق این موضوع مستلزم شرایطی نظیر انتخاب وسیله حمل‌ونقل سریع، استفاده از حداکثر ظرفیت تسهیلات و نرخ فاسدشدگی بالاتر می‌باشد که به‌نوبه خود با دو تابع هدف اول تعارض‌هایی را ایجاد می‌کند. تابع هدف سوم به دنبال اعتباربخشی به زنجیره تأمین بوده و به‌نوعی می‌توان ادعا کرد افزایش قابلیت اعتمادپذیری

زنجیره تأمین را در سناریوهای مختلف عملیاتی دنبال می‌کند. مجموعه تعارض‌های فوق‌الذکر موازنه جذابی را میان توابع هدف ایجاد خواهد کرد. در ادامه بخش‌های مختلف توابع هدف تشریح می‌گردد.

اولین بخش تابع هدف اول ( $TPC$ )، مجموع هزینه‌های تولید محصولات را در کلیه کارخانجات تولیدی محاسبه می‌کند (رابطه ۱۸). هزینه ایجاد مراکز توزیع و مراکز عمده‌فروشی ( $TEC$ ) در رابطه (۱۹) بیان شده و جزء سوم ( $TRC$ )، مجموع هزینه حمل محصول میان سطوح مختلف زنجیره تأمین را محاسبه می‌کند (رابطه ۲۰). رابطه (۲۱) هزینه نگهداری محصول در مراکز انبارش محصول ( $THC$ )، یعنی مراکز توزیع و مراکز عمده‌فروشی و در آخر رابطه (۲۲) مجموع هزینه فاسدشدگی محصول در حین حمل و نقل میان سطوح مختلف زنجیره تأمین و همچنین هزینه فاسدشدگی ناشی از انبارش کالا را محاسبه و ارائه می‌دهد.

$$\text{Min}(f_1(y), f_2(y), f_3(y)) \quad \text{رابطه ۱۶}$$

$$y \in \Omega$$

$$f_1 = TPC + TEC + TRC + THC + TPeC \quad \text{رابطه ۱۷}$$

$$TPC = \sum_s \rho^s \sum_{i,l,t} Q_{ilt}^s F_i \quad \text{رابطه ۱۸}$$

$$TEC = \sum_l A_l X_l + \sum_r B_r Y_r \quad \text{رابطه ۱۹}$$

$$TRC = \sum_s \rho^s \left( \sum_{i,l,t,n} Q_{ilt}^s PC_{ilm} + \sum_{l,r,t,n} U_{lrt}^s DC_{lrn} + \sum_{r,k,t,n} G_{rkt}^s WC_{rkn} \right) \quad \text{رابطه ۲۰}$$

$$THC = \sum_s \rho^s \left( \sum_{l,t} W_{lt}^s HD_l + \sum_{r,t} Z_{rt}^s HW_r + \sum_{k,t} J_{kt}^s HR_k \right) \quad \text{رابطه ۲۱}$$



$$\begin{aligned}
 TPeC = \sum_s \rho^s \left( \sum_{i,l,t,n} Q_{ilt n}^s \theta_{iln} PPC_{iln} \right. \\
 + \sum_{l,r,t,n} U_{lrtn}^s \alpha_{lrn} DPC_{lrn} \\
 + \sum_{r,k,t,n} G_{rkt n}^s \beta_{rkn} WPC_{rkn} + \sum_{l,t} W_{lt}^s \theta_l E_l \\
 \left. + \sum_{r,t} Z_{rt}^s \gamma_r F_r + \sum_{k,t} J_{kt}^s \varphi_k G_k \right)
 \end{aligned}$$

رابطه ۲۲

تابع هدف دوم (رابطه ۲۳) حداقل سازی زمان سفر کالا در زنجیره شامل زمان‌های حمل کالا از کارخانجات تولیدی به مراکز توزیع، از مراکز توزیع به انبارهای عمده‌فروشی و نهایتاً زمان سفر از مراکز عمده‌فروشی به خرده‌فروش‌ها را دنبال می‌نماید.

$$\begin{aligned}
 f_2 = \sum_s \rho^s \left( \sum_{i,l,t,n} Q_{ilt n}^s PT_{iln} + \sum_{l,r,t,n} U_{lrtn}^s DT_{lrn} \right. \\
 \left. + \sum_{r,k,t,n} G_{rkt n}^s WT_{rkn} \right)
 \end{aligned}$$

رابطه ۲۳

تابع هدف سوم میزان کل انحراف مورد انتظار از تقاضا (ارائه شده در رابطه شماره (۲۴)) را محاسبه و حداقل می‌نماید.

$$f_3 = \sum_k EDNS_k$$

رابطه ۲۴

### روش حل: روش محدوده میان‌بخشی نرمال

به‌طور کلی در بهینه‌سازی چندهدفه، بهینه‌سازی هم‌زمان چندین هدف رقیب و بعضاً متضاد مورد نظر می‌باشد. تکنیک محدوده میان‌بخشی نرمال یکی از تکنیک‌های حل مسائل

چند هدفه می باشد که در مواردی که اطلاعاتی در خصوص اولویت اهداف در دست نباشد، مجموعه ای از راه حل های بهینه که آن ها را راه حل های بهینه پارتو<sup>۱</sup> می نامند را ارائه می دهد. در حقیقت سطح پارتو<sup>۲</sup> سطحی است که جواب های بهینه نمی توانند بدون آسیب به بهینگی سایر اهداف، بهبودی در یک هدف مشخص ایجاد نمایند (کولت و سیاری<sup>۳</sup>، ۲۰۰۳). مسئله حداقل سازی مورد نظر را می توان به صورت زیر بیان کرد:

$$\text{Min } F(X) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_p(x)]^T \quad \text{رابطه (۲۵)}$$

که  $y \in \Omega$  و  $p \geq 2$  و  $\Omega = \{x \in R^p : h(x) = 0, g(x) \leq 0\}$  و  $x$  متغیر تصمیم گیری مسئله و  $\Omega$  ناحیه شدنی مسئله را نشان می دهد. با توجه به محدودیت های مساوی و نامساوی، فضای موجه شکل گرفته و هر جواب در این فضا یک جواب موجه می باشد. روش جمع وزن دار<sup>۴</sup> یکی از پذیرفته شده ترین روش ها در ایجاد سطح پارتو می باشد اما در این روش در صورتی که مجموعه پارتو غیر محدب باشد، نقاط پارتو در نقاط غیر محدب در محاسبات مدنظر قرار نخواهند گرفت و راه حل های بهینه در سطح پارتو به صورت یکنواخت توزیع نمی گردند (رومان و روزهارت<sup>۵</sup>، ۲۰۰۶). روش NBI این نقصان را برطرف می نماید. در این روش ابتدا ماتریس نتیجه<sup>۶</sup> که دارای  $p$  سطر و  $p$  ستون است، به صورت زیر تشکیل می گردد:

$$\Phi = \begin{bmatrix} f_1^*(x_1^*) & \dots & f_1(x_i^*) & \dots & f_1(x_p^*) \\ \vdots & \ddots & f_1(x_i^*) & \dots & f_1(x_p^*) \\ f_i(x_1^*) & \dots & f_i^*(x_i^*) & \dots & f_i(x_p^*) \\ \vdots & \dots & f_1(x_i^*) & \ddots & f_1(x_p^*) \\ f_p(x_1^*) & \dots & f_p(x_i^*) & \dots & f_p^*(x_p^*) \end{bmatrix} \quad \text{رابطه (۲۶)}$$

- 
1. Pareto optimal solution
  2. Pareto surface
  3. Collette & Siarry
  4. Weighted sum
  5. Roman & Rosehart
  6. Payoff table

نقاط  $f_1^*(x_1^*)$  تا  $f_p^*(x_p^*)$  نقاط ایدئال<sup>۱</sup> نامیده شده که در آن همه توابع هدف در نقطه بهینه خود هستند. ماتریس نتیجه دارای  $p$  سطر و ستون است که  $\lambda$ مین سطر آن مقادیر به دست آمده برای تابع هدف  $f_i$  هستند که کمترین و بیشترین مقادیر به ترتیب نقاط ایدئال ( $f^U$ ) و نقاط غیرایدئال<sup>۲</sup> ( $f^{SN}$ ) را نمایش می‌دهند. این نقاط در نمودار ۳ نمایش داده شده است. با توجه به متفاوت بودن مقیاس توابع هدف، ابتدا باید آن‌ها را با استفاده از نقاط ایدئال و غیرایدئال و با استفاده از رابطه (۲۷) نرمال نمود:

$$\bar{f}_i(x) = \frac{f_i(x) - f_i^U}{f_i^{SN} - f_i^U} \quad \text{رابطه (۲۷)}$$

رابطه (۲۷) با نرمال‌سازی، دامنه ابتدایی توابع هدف را بر بازه  $[0,1]$  تصویر می‌کند و مسئله بهینه‌سازی چندهدفه در یک فضای بدون مقیاس حل می‌شود. هر نقطه در ماتریس نتیجه نرمال شده  $P(\beta_1, \dots, \beta_p)$  با استفاده از رابطه (۲۸) نمایش داده می‌شود:

$$P(\beta_1, \dots, \beta_p) = \begin{bmatrix} \beta_1 \bar{\phi}_{11} + \dots + \beta_p \bar{\phi}_{1p} \\ \vdots \\ \beta_1 \bar{\phi}_{p1} + \dots + \beta_p \bar{\phi}_{pp} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه (۲۸)}$$

که  $\sum_{i=1}^p \beta_i = 1$  و  $0 \leq \beta_i \leq 1$  می‌باشد. در فضای نرمال شده همان گونه که در نمودار شماره سه مشاهده می‌شود، نقاط تکیه‌گاه<sup>۳</sup>  $(\bar{\phi}_{11}, \dots, \bar{\phi}_{1p}, \dots, \bar{\phi}_{p1}, \dots, \bar{\phi}_{pp})$  خطی که تحت عنوان CHIM<sup>۴</sup> شناخته می‌شود را تشکیل می‌دهند و به صورت مجموعه زیر تعریف می‌گردد:

- 
1. Utopia point
  2. Nadir point
  3. Anchor points
  4. Convex Hull Individual Minima

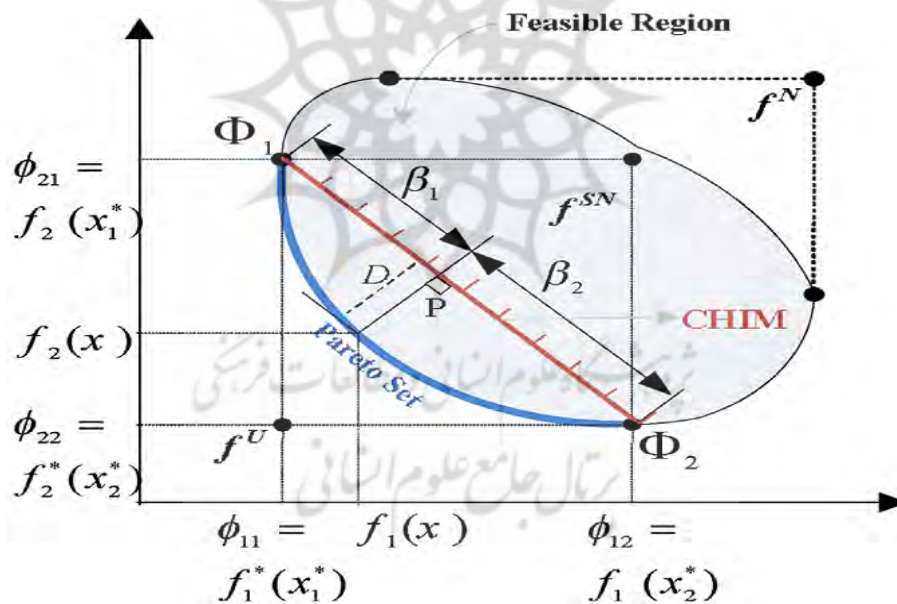
$$H = \left\{ \bar{\phi} \cdot w_k : \beta_i \in R^p, \sum_{i=1}^p \beta_i = 1, 0 \leq \beta_i \leq 1 \right\} \quad \text{رابطه (۲۹)}$$

$$w_k = [\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p]$$

با استفاده از مفاهیم هندسه مقدماتی، فاصله هر نقطه  $P$  روی خط  $CHIM$  و سطح پارتو به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$D \begin{bmatrix} \hat{n}_1 \\ \vdots \\ \hat{n}_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \beta_1 \bar{\phi}_{11} & + \dots + & \beta_p \bar{\phi}_{1p} \\ \vdots & & \vdots \\ \beta_1 \bar{\phi}_{p1} & + \dots + & \beta_p \bar{\phi}_{pp} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \bar{f}_1(x) \\ \vdots \\ \bar{f}_p(x) \end{bmatrix} \quad \text{رابطه (۳۰)}$$

که  $\hat{n} = [\hat{n}_1, \dots, \hat{n}_p]^T$  بردار واحد نرمال و  $\bar{F}(x) = [\bar{f}_1(x), \dots, \bar{f}_p(x)]^T$  محورهای تقاطع نرمال به  $CHIM$  و سطح پارتو می‌باشد.



نمودار ۲. تکنیک محدوده میان‌بخشی نرمال

در نهایت می‌توان گفت تابع هدف (۲۵) با یافتن راه‌حل‌های مجموعه‌ای از توابع هدف (۳۱) که در آن فاصله  $D^k$  میان خط  $CHIM$  و سطح پارتو در هر ترکیب  $\beta_1^k$  و  $\beta_2^k$  که  $k =$

$(1, 2, \dots, k)$  حداکثر گردد، بهینه می‌شود:

$$\text{Max } D \quad \text{رابطه (۳۱)}$$

$$\bar{\phi} \cdot w_k + \hat{n} \cdot D = \bar{F}(x) \quad \text{به طوری که:}$$

$$h(x) = 0, g(x) \leq 0 \quad \text{رابطه (۳۲)}$$

بنابراین مسئله بهینه‌سازی اصلی (۲۵) به مجموعه‌ای از زیر مسئله‌های (۳۱) تبدیل می‌شود که نمایشگر مجموعه‌ای از مسائل بهینه‌سازی تک هدفه با هدف حداکثرسازی فاصله میان خط CHIM و سطح پارتو می‌باشد. در مرحله بعد باید بهترین جواب از بین جواب‌های به دست آمده انتخاب شود. بدین منظور، یک تابع عضویت خطی  $\mu_i$  برای هر یک از توابع هدف  $f_i$  با استفاده از رابطه (۳۳) تعریف می‌گردد:

$$\mu_i = \begin{cases} 1 & f_i \leq f_i^{\min} \\ \frac{f_i^{\max} - f_i}{f_i^{\max} - f_i^{\min}} & f_i^{\min} \leq f_i \leq f_i^{\max} \\ 0 & f_i \geq f_i^{\max} \end{cases} \quad \text{رابطه (۳۳)}$$

که مقادیر  $f_i^{\max}$  و  $f_i^{\min}$  به ترتیب بهترین و بدترین مقادیر تابع هدف نام برای تصمیم‌گیران می‌باشد. طبیعی است تابع عضویت فوق، میزان تحقق هر یک از اهداف را نشان می‌دهد. در گام بعد میزان عضویت نرمال  $\mu[k]$  برای هر یک از جواب‌های غیرغالب<sup>۱</sup> به کمک رابطه (۳۴) محاسبه می‌شود:

$$\mu[k] = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_i[k]}{\sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n \mu_i[k]} \quad \text{رابطه (۳۴)}$$

رابطه (۳۴) که در آن  $m$  نمایانگر تعداد جواب غیرغالب و  $n$  تعداد تابع هدف است، تابع هدف را بر بازه  $[0, 1]$  تصویر می‌کند به طوری که  $\mu_i[k] = 1$  تحقق کامل هدف و  $\mu_i[k] = 0$  بدترین حالت تابع هدف را نشان می‌دهد. در حقیقت این تابع عضویت نوعی شاخص

تصمیم‌گیری انطباق‌پذیر است که با توجه به گزینه‌های تصمیم‌گیری تغییر می‌کند. در صورت وجود وزن‌های متفاوت برای توابع هدف، رابطه (۳۴) با رابطه (۳۵) که یک تابع نرمال وزن‌دار است جایگزین می‌شود:

$$\mu[k] = \frac{\sum_{i=1}^n \lambda_i \mu_i[k]}{\sum_{k=1}^m \sum_{i=1}^n \lambda_i \mu_i[k]} \quad \text{رابطه (۳۵)}$$

که  $\lambda_i$  وزن تابع هدف نام می‌باشد. به این صورت می‌توان راه‌حل‌ها را بر اساس مقدار ضریب تابع عضویت کل مرتب نمود. هر کدام از راه‌حل‌ها که بیشترین مقدار ضریب عضویت کل را داشتند به‌عنوان بهترین گزینه یا مؤثرترین جواب انتخاب می‌شود.

### یافته‌های پژوهش

با استفاده از داده‌های یک شرکت بزرگ فعال در صنعت لبنیات که تولیدکننده یازده گروه محصول (SKU) می‌باشد مدل ارائه‌شده مورد آزمون قرار گرفته است. شرکت موردنظر دارای سه سایت بزرگ تولیدی در سه منطقه متفاوت، بیش از شانزده مرکز توزیع و بیش از بیست عمده‌فروش می‌باشد. با توجه به گستردگی جغرافیایی، داده‌های مربوط به منطقه جنوب غرب کشور مدنظر قرار گرفته است. بدین ترتیب، در این پژوهش تعداد سه کارخانه تولیدی (i1, i2, i3)، چهار مکان بالقوه برای مراکز توزیع (11, 12, 13, 14)، پنج مکان بالقوه برای ایجاد مراکز عمده‌فروشی (r1, r2, r3, r4, r5) و هشت خرده‌فروش (k1, k2, k3, k4, k5, k6, k7, k8) همراه با سه روش حمل‌ونقل (n1, n2, n3) در دو دوره زمانی مدنظر قرار گرفته است. در این راستا تعداد موجودی کالای ابتدای دوره در هر یک از مراکز انبارش صفر در نظر گرفته شده است. با توجه به نظر مدیران به تیم خبره، سه سناریوی متفاوت عملیاتی استخراج و داده‌های مربوط به هر سناریو بخصوص تقاضای مشتریان، با توجه به داده‌های تاریخی و همچنین نظرات اصلاحی مدیران برآورد شده است. مهم‌ترین داده‌های تحقیق در قالب جدول‌های شماره سه تا هشت ارائه گردیده است.

جدول ۳. تقاضای خرده‌فروشان

دوره‌های تولیدی	خرده‌فروشان							
	k1	K2	K3	K4	K5	K6	K7	K8
<b>S1</b>								
t1	۱۵۰۰	۲۳۰۰	۱۹۰۰	۴۲۰۰	۳۱۰۰	۱۸۰۰	۱۵۵۰	۳۱۵۰
t2	۱۵۰۰	۲۳۰۰	۱۹۰۰	۴۲۰۰	۳۱۰۰	۱۸۰۰	۱۵۵۰	۳۱۵۰
<b>S2</b>								
t1	۲۲۵۰	۳۴۵۰	۲۸۵۰	۶۳۰۰	۴۶۵۰	۲۷۰۰	۲۳۲۵	۴۷۲۵
t2	۲۲۵۰	۳۴۵۰	۲۸۵۰	۶۳۰۰	۴۶۵۰	۲۷۰۰	۲۳۲۵	۴۷۲۵
<b>S3</b>								
t1	۱۰۵۰	۱۶۱۰	۱۳۳۰	۲۹۴۰	۲۱۷۰	۱۲۶۰	۱۰۸۵	۲۲۰۵
t2	۱۰۵۰	۱۶۱۰	۱۳۳۰	۲۹۴۰	۲۱۷۰	۱۲۶۰	۱۰۸۵	۲۲۰۵

جدول ۴. داده‌های مربوط به کارخانجات تولیدی

پارامتر	دوره	کارخانه تولیدی		
		i1	i2	i3
هزینه تولید	t1	۳۷۰۰۰	۳۸۵۰۰	۳۹۰۰۰
	t2	۳۷۰۰۰	۳۸۵۰۰	۳۹۰۰۰
ظرفیت تولید	t1	۱۱۰۰۰	۱۰۰۰۰	۱۲۰۰۰
	t2	۱۸۰۰۰	۶۰۰۰	۱۵۰۰۰

جدول ۵. داده‌های مربوط به مراکز توزیع

مراکز توزیع	هزینه راه‌اندازی	ظرفیت		هزینه داری‌نگه		درصد فسادپذیری کالا		هزینه واحد فساد کالا	
		t1	t2	t1	t2	t1	t2	t1	t2
11	$50 \times 10^9$	۱۰۰۰۰	۱۰۰۰۰	۲۸۰۰	۲۸۰۰	۰/۰۸	۰/۰۸	۴۸۲۳۷	۴۸۲۳۷
12	$70 \times 10^9$	۱۵۰۰۰	۱۵۰۰۰	۲۳۰۰	۲۳۰۰	۰/۰۶	۰/۰۶	۴۹۰۵۹	۴۹۰۵۹
13	$4/5 \times 10^9$	۱۱۰۰۰	۱۱۰۰۰	۲۳۰۰	۲۳۰۰	۰/۰۷	۰/۰۷	۵۰۶۵۵	۵۰۶۵۵
14	$50 \times 10^9$	۵۰۰۰	۵۰۰۰	۲۷۰۰	۲۷۰۰	۰/۰۹	۰/۰۹	۵۴۸۱۳	۵۴۸۱۳

جدول ۶. داده‌های مربوط به مراکز عمده‌فروشی

عمده‌فروشان	هزینه راه‌اندازی	ظرفیت		هزینه داری‌نگه		درصد فسادپذیری کالا		هزینه واحد فساد کالا	
		t1	t2	t1	t2	t1	t2	t1	t2
r1	$20 \times 10^9$	4000	4000	2200	2200	0/06	0/06	58835	58835
r2	$20 \times 10^9$	3000	3000	2500	2500	0/06	0/06	58314	58314
r3	$20 \times 10^9$	4000	4000	2000	2000	0/07	0/07	64257	64257
r4	$25 \times 10^9$	5000	5000	2600	2600	0/07	0/07	60778	60778
r5	$30 \times 10^9$	5000	5000	1800	1800	0/04	0/04	56672	56672

جدول ۷. داده‌های مربوط به مراکز خرده‌فروشی

خرده‌فروشان	ظرفیت		هزینه داری‌نگه		درصد فسادپذیری کالا		هزینه واحد فساد کالا	
	t1	t2	t1	t2	t1	t2	t1	t2
k1	350	350	2420	2420	0/07	0/07	67088	67088
k2	300	300	2750	2750	0/07	0/07	68311	68311
k3	400	400	2200	2200	0/08	0/08	73740	73740
k4	200	200	2860	2860	0/08	0/08	69372	69372
k5	250	250	1980	1980	0/04	0/04	69372	69372
k6	200	200	2090	2090	0/08	0/08	66029	66029
k7	350	350	2365	2365	0/08	0/08	66015	66015
k8	300	300	2530	2530	0/04	0/04	66043	66043

جدول ۷. درصد ظرفیت فعال عمده‌فروشان در سناریوهای مختلف

دوره‌های تولیدی	خرده‌فروشان				
	r1	r2	r3	r4	r5
<b>S1</b>					
t1	1	0,95	0,9	0,85	0,9
t2	1	0,95	0,9	0,85	0,9
<b>S2</b>					
t1	0,5	0,475	0,45	0,425	0,45
t2	0,5	0,475	0,45	0,425	0,45



دوره‌های تولیدی	خرده‌فروشان				
	r1	r2	r3	r4	r5
S3					
t1	۰,۷۵	۰,۷۱	۰,۶۸	۰,۶۴	۰,۶۸
t2	۰,۷۵	۰,۷۱	۰,۶۸	۰,۶۴	۰,۶۸

جدول ۸. درصد ظرفیت فعال مراکز توزیع در سناریوهای مختلف

دوره‌های تولیدی	خرده‌فروشان			
	l1	l2	l3	l4
S1				
t1	۰,۹۰	۰,۸۵	۰,۹۰	۰,۹۰
t2	۰,۹۰	۰,۸۵	۰,۹۰	۰,۹۰
S2				
t1	۰,۴۵	۰,۴۳	۰,۴۵	۰,۴۵
t2	۰,۴۵	۰,۴۳	۰,۴۵	۰,۴۵
S3				
t1	۰,۶۸	۰,۶۴	۰,۶۸	۰,۶۸
t2	۰,۶۸	۰,۶۴	۰,۶۸	۰,۶۸

جدول ۹. زمان حمل واحد از مراکز تولید به مراکز توزیع

زمان حمل و نقل واحد از کارخانه تولیدی به مرکز توزیع	i1	i2	i3	i4
n1				
i1	۱۶	۱۸	۱۹	۲۴
i2	۱۱	۱۳	۱۴	۱۹
i3	۸	۸	۱۱	۱۶
n2				
i1	۲۰	۲۲	۲۳	۲۹
i2	۱۳	۱۵	۱۷	۲۳
i3	۱۰	۱۰	۱۳	۱۹
n3				
i1	۸	۹	۱۰	۱۲
i2	۶	۶	۷	۱۰

زمان حمل و نقل واحد از کارخانه تولیدی به مرکز توزیع	i1	i2	i3	i4
i3	۴	۴	۶	۸

جدول ۱۰. زمان حمل واحد از مرکز توزیع  $l$ ام به مراکز عمده فروشی  $r$ ام به روش حمل  $m$ ام

زمان حمل واحد از کارخانه به مرکز توزیع	r1	r2	r3	r4	r5
<b>n1</b>					
11	۸	۱۴	۲۶	۰	۹
12	۵	۶	۱۸	۹	۱
13	۱۴	۱۲	۸	۲۰	۱۰
14	۱۲	۴	۱۲	۱۹	۱۰
<b>n2</b>					
11	۹	۱۷	۳۲	۵۰۰	۱۰
12	۶	۷	۲۱	۱۰	۵۰۰
13	۱۷	۱۴	۱۰	۲۴	۱۱
14	۱۲	۴	۱۲	۱۹	۱۰
<b>n3</b>					
11	۴	۵۰۰	۱۳	۵۰۰	۴
12	۵۰۰	۳	۹	۴	۵۰۰
13	۷	۵۰۰	۴	۱۰	۵
14	۶	۲	۶	۱۰	۵

با توجه به اطلاعات فوق، مسئله در قالب نرم افزار GAMS و با استفاده از روش MILP و حل کننده Baron حل شده است. در پژوهش حاضر وزن تمامی توابع هدف (حداقل سازی هزینه، زمان و تقاضای برآورده نشده) به صورت پیش فرض، یکسان در نظر گرفته شده و با توجه به حجم داده و ابعاد مسئله مجموعه ای از راه حل ها به دست آمده است. خلاصه مهم ترین اطلاعات هر راه حل شامل تابع عضویت نرمال شده هر یک از توابع هدف و همچنین تابع عضویت کل در قالب جدول شماره ۱۱ ارائه شده است.

جدول ۱۱. نتایج حل با استفاده از تکنیک محدوده میان بخشی نرمال

شماره	$\mu_{Total}$	Cost	$\mu_{Cost}$	Time	$\mu_{Time}$	ENS	$\mu_{ENS}$	$\beta_{Cost}$	$\beta_{Time}$	$\beta_{ENS}$	رتبه
۱	۰/۳۶	۲۵۲۸۸۳۵۴۱۰	۰/۱۰۰۰	۱۲۵۲۱۱۲	۰/۵۲۱	۰/۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰	۰/۰۰	۱/۰۰	۹
۲	۰/۶۳	۱۹۲۰۸۰۶۴۷۹	۰/۳۶۴	۵۰۸۲۱۶,۴	۰/۸۲۶	۰/۰۰	۱/۰۰۰	۰/۰	۰/۲۵	۰/۷۵	۷
۳	۰/۷۵	۱۵۱۸۶۷۹۲۸۱	۰/۶۰۴	۱۷۲۰۱۳,۹	۰/۹۶۳	۷۳۲۴/۶۷	۰/۷۷۴	۰/۰	۰/۵۰	۰/۵۰	۴
۴	۰/۷۴	۱۲۷۴۳۴۲۶۷۳	۰/۷۵۰	۱۴۸۲۴۳	۰/۹۷۳	۲۰۲۶۲/۵۱	۰/۳۷۶	۰/۰	۰/۷۵	۰/۲۵	۵
۵	۰/۷۵	۱۰۰۸۸۵۶۷۹۱	۰/۹۰۹	۸۲۵۹۵,۷۸	۱/۰۰۰	۳۲۴۴/۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰	۱/۰۰	۰/۰۰	۳
۶	۰/۷۸	۱۲۳۶۷۰۳۶۵۰	۰/۷۷۳	۹۸۵۶۲۹,۷	۰/۶۳۰	۰/۰۰	۱/۰۰۰	۰/۵	۰/۰۰	۰/۵۰	۲
۷	۰/۸۷	۸۶۷۴۰۷۳۴۷,۵	۰/۹۹۴	۷۱۴۴۳۳,۶	۰/۷۴۱	۸۴۹۲/۵۸	۰/۷۳۸	۰/۵	۰/۲۵	۰/۲۵	۱
۸	۰/۶۷	۸۷۳۹۱۷۶۵۶,۶	۰/۹۹۰	۱۱۸۷۳۵۰	۰/۵۴۸	۳۰۳۵۳/۹۵	۰/۰۶۵	۰/۵	۰/۵۰	۰/۰۰	۶
۹	۰/۵۰	۸۵۲۸۵۵۰۵۸,۴	۱/۰۰۰	۲۵۱۷۵۸۴	۰/۰۰۳	۳۲۳۱۰/۹۰	۰/۰۰۴	۱/۰	۰/۰۰	۰/۰۰	۸

همان‌گونه که در جدول شماره یازده مشاهده می‌گردد ستون‌های *Cost* و *Time* و *ENS* به ترتیب مقادیر توابع هدف اول، دوم و سوم یعنی هزینه مورد انتظار، زمان و میزان تقاضای برآورده نشده مورد انتظار را نمایش می‌دهد. ستون‌های  $\mu_{Cost}$  و  $\mu_{Time}$  و  $\mu_{ENS}$  نیز به ترتیب نمایشگر مقدار تابع عضویت نرمال هدف‌های هزینه مورد انتظار، زمان و میزان تقاضای برآورده نشده مورد انتظار می‌باشند و ستون  $\mu_{total}$  مقدار تابع عضویت کل نرمال را برای هر یک از راه‌حل‌ها نشان می‌دهد. مقادیر  $\beta$  که در سه ستون باقیمانده نمایش داده شده است نیز در حقیقت میزان تحقق هر یک از اهداف را در هر یک از راه‌حل‌ها نمایش می‌دهد که کلیه مقادیر آن میان صفر (عدم تحقق هدف) و یک (تحقق کامل هدف) می‌باشد. در نهایت در آخرین ستون سمت راست جدول رتبه هر یک از راه‌حل‌های به‌دست آمده نمایش داده شده است. با توجه به رتبه‌بندی انجام شده راه‌حل شماره هفت با مقدار تابع عضویت کل ۰/۸۷، به‌عنوان راه‌حل‌های منتخب انتخاب می‌گردد. درصد تحقق هر یک از اهداف در راه‌حل منتخب نیز با توجه به مقادیر  $\beta$  مشخص است. همان‌گونه که در جدول شماره ۱۱ مشاهده می‌گردد در راه‌حل‌های برتر تابع هدف حداقل‌سازی زمان بیشترین میزان تحقق را به خود اختصاص داده است. بررسی راه‌حل‌های منتخب نشان می‌دهد شرکت مورد بررسی با توجه

به داده‌های ارائه شده نیازمند بازطراحی و تغییر ساختار شبکه زنجیره تأمین خود در منطقه جنوب غرب کشور می‌باشد و با فرض یکسان بودن اولویت اهداف، شرکت مورد نظر لازم است به منظور کاهش هزینه‌ها، کاهش زمان گردش کالا در زنجیره تأمین و همچنین افزایش سطح خدمت به مشتری در مکان مراکز توزیع و همچنین مراکز عمده‌فروشی‌های خود تجدیدنظر نموده و ضمن کاهش تعداد آن‌ها موقعیت جغرافیایی آن‌ها را نیز تغییر دهد. همچنین شیوه‌های حمل فعلی بهینه نبوده و لازم است از روش‌های حمل ترکیبی با توجه به الزامات هزینه‌ای و سرعت در زنجیره استفاده گردد. اگرچه اولویت‌های شرکت در حوزه برآورده‌سازی اهداف با توجه به مقتضیات زمان، هزینه، جغرافیا، بازار، مزیت رقابتی و غیره تصمیمات مدیریت را تحت تأثیر قرار می‌دهد و تمامی موارد فوق تحت تأثیر پیش فرض یکسان بودن وزن و اهمیت توابع هدف می‌باشند. بدیهی است تصمیم‌گیرندگان در شرایط مختلف و با توجه به جنبه‌های مهم مورد اشاره در فوق، قادر هستند اولویت اهداف را تعیین نموده و با توجه به اولویت تعیین شده مسئله طراحی ساختار زنجیره تأمین را حل نموده و بهترین گزینه جهت طراحی یا تجدید ساختار زنجیره تأمین خود را انتخاب نمایند. این مهم قابلیت منحصر به فردی است که تکنیک حل NBI به عنوان یک تکنیک برتر در اختیار تصمیم‌گیرندگان قرار می‌دهد. در حقیقت تکنیک حل NBI پاسخ مسئله بهینه‌سازی را به شکل یک مسئله تصمیم‌گیری ارائه داده و این امکان را در اختیار تصمیم‌گیران قرار می‌دهد تا با توجه به اولویت هر یک از اهداف نسبت به یکدیگر، بهترین گزینه را انتخاب نمایند. همچنین در صورت تغییر اولویت‌ها در گذر زمان به انجام تغییرات حساب شده در ساختار زنجیره تأمین خود پردازند. این موارد به خوبی برتری تکنیک NBI را به عنوان یک تکنیک حل برتر در مقایسه با سایر تکنیک‌های حل نظیر برنامه‌ریزی آرمانی نشان می‌دهد. نکته قابل تأمل دیگر مقایسه هزینه‌های عملیاتی زنجیره تأمین مورد بحث شامل هزینه‌های تولید، حمل و نقل، نگهداری و همچنین هزینه فاسدشدگی می‌باشد. نتایج این مقایسه نشان می‌دهد به طور میانگین در میان راه‌حل‌های ارائه شده توسط مدل، هزینه فاسدشدگی حدوداً ۲۰ درصد از مجموع کل هزینه‌های عملیاتی را شامل می‌شود که این موضوع به خوبی اثبات‌کننده

طراحی زنجیره تأمین چند دوره‌ای-چندسطحی جهت کالاهای ...؛ ابراهیمی و همکاران | ۱۶۵

اهمیت توجه به هزینه فساد کالا در مراحل حمل و انبارش می‌باشد. نکته قابل توجه دیگر اینکه در راه حل منتخب یعنی راه حل‌های شماره هفت میزان هزینه فساد کالا در حداقل ممکن یعنی حدود ۱۱ درصد از کل هزینه‌های عملیاتی می‌باشد که این موضوع نیز لزوم توجه به اهمیت بازطراحی شبکه زنجیره تأمین شرکت مورد نظر را نشان می‌دهد. به منظور بررسی میزان تأثیر تغییرات پارامترهای مهمی نظیر تقاضا و همچنین درصد فسادپذیری محصول در تسهیلات حمل و انبارش که تغییرپذیری بیشتری دارند، تحلیل حساسیت انجام و میزان تغییرات در قالب جدول ۱۲ ارائه شده است.

جدول ۱۲. تحلیل حساسیت پارامترهای پژوهش

پارامتر	درصد تغییرات	درصد تغییر هدف اول	درصد تغییر هدف دوم	درصد تغییر هدف سوم	مقدار تابع عضویت کل نرمال
تقاضا	۱۰-	-۱۱/۴۲	-۴۲/۱۴	-۳۴/۱۴	۱۸/۵۴
	۵	-۱/۵۶	-۱۴/۳۳	-۱۳/۱۰	۱۵/۵۳
	۱۰	۱۸/۱۲	-۹/۴۲	۱۱/۱۹	۸/۱۶
درصد فسادپذیری محصول	۱۰-	۳/۵۵	-۱/۲۳	۹/۹۶	-۱۴/۴۷
	۵	-۱/۶۸	-۷/۸۳	۹/۷۶	-۱۰/۹۷
	۱۰	-۰/۰۴	-۰/۲۲	-۰/۲۷	۰/۴۶

همان گونه که ملاحظه می‌گردد تغییرات تقاضا تأثیرات غیرمنتظره‌ای بر مقادیر تابع هدف نداشته و روند کلی پاسخ مسئله را تغییر نمی‌دهد و از سوی دیگر تغییرات در درصد فسادپذیری محصول نیز به مراتب تأثیر کمتری بر مقادیر توابع هدف و همچنین تابع عضویت کل نرمال دارد و در نتیجه به طور کلی این تغییرات نمایانگر پایداری مدل در برابر نوسانات پارامترهای مهم می‌باشد.

### نتیجه‌گیری و پیشنهادها

طراحی زنجیره تأمین در حقیقت ماهیت زنجیره تأمین را شکل داده و شامل اتخاذ تصمیماتی می‌باشد که الگوی سرمایه‌گذاری در سطوح مختلف، روابط میان شرکا، میزان

انعطاف‌پذیری، میزان خطرپذیری، میزان شفافیت و قابلیت اطمینان زنجیره تأمین را تعیین می‌نماید. انتخاب مکان تسهیلات، میزان جریان کالا و سطح موجودی در سطوح مختلف و انتخاب نوع وسیله حمل و نقل با توجه به اهداف زنجیره تأمین مهم‌ترین تصمیماتی هستند که شرکت‌ها در سطوح استراتژیک و تاکتیکال زنجیره تأمین باهدف دستیابی به بیشترین کارایی و افزایش سهم بازار اتخاذ می‌نمایند. این موضوع بخصوص در مورد کالاهای فاسدشدنی نظیر محصولات لبنی اهمیت دوچندانی پیدا کرده و می‌تواند به‌تنهایی علت موفقیت یا عدم موفقیت کسب و کار تلقی گردد. تحقیق حاضر با در نظر گرفتن شکاف تحقیقاتی در حوزه مذکور، مدلی چندهدفه و چندمرحله‌ای جهت طراحی زنجیره تأمین کالاهای فاسدشدنی با دوره عمر ثابت در شرایط عدم اطمینان ارائه کرده است. در مدل ارائه‌شده مفاهیم جدیدی نظیر گرفتن نرخ‌های فاسدشدگی متغیر در تسهیلات نگه‌داری و حمل و نقل کالا مدنظر قرار گرفته است. همچنین با توجه به نرخ‌های فاسدشدگی، هزینه فساد کالا در تابع هدف هزینه کل زنجیره تأمین مدنظر قرار گرفته است. از سوی دیگر با توجه به عدم اطمینان محیطی که زنجیره تأمین با آن مواجه است پارامترهای مهم نظیر تقاضا و ظرفیت تسهیلات مهم به‌عنوان پارامترهای احتمالی در نظر گرفته شده‌اند. مدل ارائه‌شده سه هدف شامل حداقل‌سازی هزینه مورد انتظار، حداقل‌سازی زمان کل گردش کالا در زنجیره تأمین و همچنین حداقل‌سازی میزان انحراف مورد انتظار از تقاضا را دنبال می‌نماید. در نتیجه مدل ارائه‌شده علاوه بر تلاش برای کاهش هزینه و زمان گردش کالا که دو شاخص مهم در طراحی زنجیره تأمین می‌باشد، میزان انحراف مورد انتظار از تقاضای مشتریان را نیز به‌عنوان شاخصی جدید که به‌نوعی انطباق‌پذیری زنجیره تأمین را ارزیابی می‌کند مدنظر قرار می‌دهد که در مطالعات قبلی مورد توجه قرار نگرفته است. از سوی دیگر به‌منظور حل مدل از تکنیک محدوده میان‌بخشی نرمال (NBI) که برتری‌های قابل توجهی در مقایسه با سایر روش‌های حل دارد استفاده شده است. این تکنیک با تبدیل پاسخ مدل بهینه‌سازی به‌نوعی مسئله تصمیم‌گیری، این انعطاف‌پذیری را به تصمیم‌گیرنده می‌دهد تا با توجه به وزن هر یک از اهداف بهترین راه‌حل را برای طراحی زنجیره تأمین خود انتخاب نماید. همچنین در صورت

لزوم و با تغییر پارامترهای مهم مسئله در گذر زمان به بازطراحی و افزایش توان انطباق‌پذیری زنجیره تأمین خود پردازد. اگرچه مدل ارائه‌شده در این تحقیق با توجه به شرایط کلی زنجیره تأمین محصولات لبنی به‌عنوان یک کالاهای فاسدشدنی با دوره عمر ثابت ارائه شده است اما می‌توان با اعمال تغییرات اندک آن را جهت سایر محصولات فاسدشدنی و یا حتی سایر گروه محصولات به کار گرفت. اضافه کردن فاکتورهای محیط زیستی و اجتماعی به‌عنوان اهداف جدید، در نظر گرفتن روش‌های حمل‌ونقل ترکیبی، در نظر گرفتن ارتباطات افقی میان تسهیلات در سطوح یکسان، طراحی مدل در حالت چند محصولی، طراحی زنجیره تأمین به‌صورت چند کاناله و همچنین مقایسه پاسخ‌های مدل با استفاده از تکنیک‌های حل مختلف از جمله تحقیقات پیشنهادی است که در ادامه این تحقیق می‌تواند مدنظر قرار بگیرد.

#### ORCID

Ahmad Ebrahimi		<a href="http://orcid.org/0000-0002-4914-4035">http://orcid.org/0000-0002-4914-4035</a>
Laya Olfat		<a href="http://orcid.org/0000-0003-4550-8775">http://orcid.org/0000-0003-4550-8775</a>
Maghsoud Amiri		<a href="http://orcid.org/0000-0002-0650-2584">http://orcid.org/0000-0002-0650-2584</a>
Mohammad taghi taghavifard		<a href="http://orcid.org/0000-0002-4212-2079">http://orcid.org/0000-0002-4212-2079</a>

## منابع

۱. فیضی، کامران؛ الفت، لعیا؛ تقوی فرد، محمدتقی؛ مرادی باستانی، محسن (۱۳۹۱). مدل رابطه همکاری میان سازمانی برای بهبود عملکرد زنجیره تأمین در صنعت فرش ماشینی ایران. فصلنامه علوم مدیریت ایران، ۶(۲۲)، ۱-۲۷.
۲. غلامی، منا؛ هنرور، محبوبه (۱۳۹۴). ارائه مدلی ریاضی با رویکرد مدیریت موجودی توسط فروشنده برای اقلام بهبودپذیر و فسادپذیر در طول یک زنجیره تأمین سه سطحی. نشریه مهندسی صنایع، ۴۹(۲)، ۲۳۷-۲۵۶.
۳. محمدی، علی؛ خلیفه، مجتبی؛ عباسی، عباس؛ علیمحمدلو، مسلم؛ اقتصادی فرد، محمود. (۱۳۹۶). طراحی زنجیره تأمین و یکپارچه سازی رویکردهای مالی و عملیاتی. چشم انداز مدیریت صنعتی، ۲۶، ۱۳۹-۱۶۸.
۴. محمدی، علی؛ خلیفه، مجتبی؛ علیمحمدلو، مسلم؛ عباسی، عباس؛ اقتصادی فرد، محمود. (۱۳۹۷). طراحی عملیاتی و مالی سیستم زنجیره تأمین چند سطحی در سطوح تصمیم گیری استراتژیک و تاکتیکی. پژوهش های نوین در تصمیم گیری، ۳(۱)، ۲۶۷-۲۹۸.
5. Amorim, P. Meyr, H. Almeder, C. & Almada-Lobo, B. (2011). Managing perishability in production-distribution planning: A discussion and review. *Flexible Services and Manufacturing Journal*, 20, 1-25.
6. Chen, X. & Zhong, C.y. (2013). *An improved genetic algorithm for location problem of logistic distribution center for perishable products*. International Asia conference on industrial engineering and management innovation (IEMI2012) proceedings (pp. 949-959).
7. Cohen, M. A. & Lee, H. L. (1988). Strategic analysis of integrated production-distribution systems: Models and methods. *Operations Research*, 36, 216-228.
8. De keizer, M. Akkerman, R. Grunow, M. Bloemhof-Ruwaard, J. Haijema, R. Van der Vorst, J. (2017). Logistics network design for perishable products with heterogeneous quality decay. *European Journal of Operational Research*. 262, 535-549.
9. Diabat A. Jabbarzadeh, A. Khosrojerdi, A. (2018). A perishable product supply chain network design problem with reliability and disruption considerations, *International Journal of Production Economics*, 212, 121-138.
10. Diatha, K. Karumanchi, R. & Garg, S. (2012). Mobile enabled operations



- management using multi-objective-based logistics planning for perishable products. *Computers and Industrial Engineering*, 42, 133–142.
11. Di, W. Wang, J. Li, B. & Wang, M. (2011). *A location-inventory model for perishable agricultural product distribution centers*. 2011 2nd international conference on artificial intelligence, management science and electronic commerce, AIMSEC 2011 – proceedings (pp. 919–922).
  12. Drezner, Z. & Scott, C. H. (2013). Location of a distribution center for a perishable product. *Mathematical Methods of Operational Research*, 78(3), 301–314.
  13. Faisal, M. N. Banwet, D. K. Shankar, R. (2006). Supply chain risk mitigation: modeling the enablers. *Business Process Management Journal*, 12(4), 535-552.
  14. Feizi, K. Olfat, L. Taghavifard, M. Moradi Bastani, M. (2012). Collaborative inter-organizational relationship model to improve supply chain performance in Iranian machine-woven carpet industry. *Iranian journal of management sciences (IAMS)*. 6(22), 1-27. [In Persian].
  15. Ferguson M, Ketzenberg ME. (2006). Information sharing to improve retail product freshness of perishables. *Production and Operations Management*, 15(1): 57–73.
  16. Firoozi, Z. Ismail, N. Ariaifar, S. Tang, S. H. Ariffin, M. K. M. A. & Memariani, A. (2013). Distribution Network Design for Fixed Lifetime Perishable Products: A Model and Solution Approach, *Journal of Applied Mathematics*, 1-13
  17. Firoozi, Z. Ismail, N. Ariaifar, S. Tang, S. H. Ariffin, M. K. M. A. & Memariani, A. (2014). *Effects of integration on the cost reduction in distribution network design for perishable products*. *Mathematical Problems in Engineering*, 1–10.
  18. Friesz, T.L. Lee, I. Lin, C.C. (2011). Competition and disruption in a dynamic urban supply chain. *Transportation Research Part B*. 45 (8), 1212–1231.
  19. Ghezavati, V. R. Hooshyar, S. & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2017). A Benders' decomposition algorithm for optimizing distribution of perishable products considering postharvest biological behavior in agri-food supply chain: A case study of tomato. *Central European Journal of Operations Research*, 1-26.
  20. Gholami, M. & Honarvar, M. (2015). Developing a Mathematical Model for Vendor Managed Inventory Considering Deterioration and Amelioration Items in a Three-Level Supply Chain. *Journal of Industrial Engineering*, 49(2), 237-256. [In Persian].
  21. Govindan, K. Jafarian, A. Khodaverdi, R. & Devika, K. (2014). Two-

- echelon multiplevehicle location-routing problem with time windows for optimization of sustainable supply chain network of perishable food. *International Journal of Production Economics*, 9–28.
- 22.Hammami, R. & Frein, Y. (2013). An optimisation model for the design of global multi-echelon supply chains under lead time constraints. *International Journal of Production Research*, 51, 2760–2775.
- 23.Harrison, T.P. (2004). *Principles for the strategic design of supply chains*. In: Harrison, T.P. Lee, H.L. Neale, J.J. (Eds.), *the Practice of Supply Chain Management: Where Theory and Application Converge*. Springer, New York, pp. 3–12
- 24.Hasani, A. Zegordi, S. H. & Nikbakhsh, E. (2012). Robust closed-loop supply chain network design for perishable goods in agile manufacturing under uncertainty. *International Journal of Production Research*, 50 (16), 4649–4669.
- 25.Hiassat A, Diabat A. (2011). A location-inventory-routing problem with perishable products. Proceedings of the 41st International Conference on Computers and Industrial Engineering.
- 26.Javier Arturo Orjuela-Castro, Lizeth Andrea Sanabria-Coronado, Andrés Mauricio Peralta-Lozano, (2014). Coupling facility location models in the supply chain of perishable fruits, *Research in Transportation Business & Management*, Volume 24, 73-80.
- 27.Jouzani, J. Sadjadi, S. J. & Fathian, M. (2013). Dynamic dairy facility location and supply chain planning under traffic congestion and demand uncertainty: A case study of Tehran. *Applied Mathematical Modelling*, 8467–8483.
- 28.Kaveh, A. and M. Ghobadi (2017). "A Multistage Algorithm for Blood Banking Supply Chain Allocation Problem." *International Journal of Civil Engineering* 15(1): 103-112.
- 29.Kozlenkova, V. Hult, T. M. Lund, D. J. Mena, J. A. Kekec, P. (2015). The role of marketing channels in supply chain management. *Journal of Retailing*, 91(4), 586–609.
- 30.Krishnamoorthy, N. R. D. A. M. (2016). *Facility location and routing decisions for a food delivery network*. IEEE international conference on industrial engineering and engineering management, Bali.
- 31.Melo, M. Nickel, S. & Saldanha da Gama, F. (2006). *Dynamic multi-commodity capacitated facility location: A mathematical modeling framework for strategic supply chain planning*. *Computers & Operations Research*, 181–208.
- 32.Meng, Q. Huang, Y. & Cheu, R. L. (2009). Competitive facility location on decentralized supply chains. *European, Journal of Operational Research*, 487–499.
- 33.Mohammadi, A. Abbasi, A. Alimohammadlou, M. Eghtesadifard, M. &

- Khalifeh, M. (2017). Optimal design of a multi-echelon supply chain in a system thinking framework: An integrated financial-operational approach. *Computers & Industrial Engineering*, 114, 297-315.
34. Mohammadi, A. M. Khalifeh, Abbasi, A. Alimohammadlou, M. Eghtesadifard, M. (2018). Designing Operational and Financial Multi Echelon Supply Chain System in Strategic and Tactical Levels of Decision-Making, *Journal of Modern Researches in Decision Making*, 3(1), 267-298 [In Persian].
35. Mohammadi, A. M. Khalifeh, Abbasi, A. Alimohammadlou, M. Eghtesadifard, M. (2017). Supply chain design and financial and operational approaches integration. *Journal of Industrial Management Perspective*, 26, 139-168 [In Persian].
36. Mohammad Musavi, M. Bozorgi-Amiri, A. (2017). A multi-objective sustainable hub location scheduling problem for perishable food supply chain, *Computers & Industrial Engineering*, 113, 766-778.
37. Mousazadeh, M. Torabi, S.A. & Zahiri, B. (2015). A robust possibilistic programming approach for pharmaceutical supply chain network design. *Computers & Chemical Engineering*, 82, 115-128.
38. Pishvae, M. S. & Razmi, J. (2012). Environmental supply chain network design using multi-objective fuzzy mathematical programming. *Applied Mathematical Modelling*, 36, 3433-3446.
39. Ramezani, M. Kimiagari, A. M. Karimi, B. (2014). Closed-loop supply chain network design: a financial approach. *Applied Mathematical Modelling*, 38(15/16), 4099-4119.
40. Rohaninejad, M. Sahraeian, R. & Tavakkoli-Moghaddam, R. (2018). Multi-echelon supply chain design considering unreliable facilities with facility hardening possibility.
41. Shahabi, M. Unnikrishnan, A. Jafari-Shirazi, E. D. Boyles, S. (2014). A three level location-inventory problem with correlated demand, *Transportation Research Part B* 69, 1-18
42. Tang, K. Yang, C. & Yang, J. (2007). A supply chain network design model for deteriorating items. In International Conference on Computational Intelligence and Security 2007 (pp. 1020-1024).
43. Who, Global Database on Blood Safety, Summary Report 2011, World Health Organization, 2011, <http://www.who.int/blood-safety/global-database/GDBS-Summary-Report-2011.pdf>.
44. Yu, M. & Nagurney, A. (2013). Competitive food supply chain networks with application to fresh produce. *European Journal of Operational Research*, 224(2), 273-282.
45. Zahiri B. S. Torabi, M. Mousazadeh, and S. Mansouri, (2015). Blood collection management: Methodology and application, *Applied*

*Mathematical Modelling*, 39, 7680-7696.

46. Zhao, X. & Lv, Q. (2011). Optimal design of agri-food chain network: An improved particle swarm optimization approach. *International Conference on Management and Service Science*, (8), 1-5.

#### Reference [In Persian]

1. Feizi, K. olfat, L. Taghavifard, M. Moradibastani, M. (1391). Inter-organizational cooperation relationship model to improve supply chain performance in Iran's machine-made carpet industry. *Iranian journal of management sciences*. 6(22),1-27. [In Persian]
2. Gholami, M. Honarvar, M. (1394). Presenting a mathematical model with an inventory management approach by the seller for recoverable and perishable items during a three-level supply chain. *Journal of Industrial Engineering*. 49(2), 237-256. [In Persian]
3. Mohammadi, A. Khalifeh, M. Abbasi, A. Alimohammadloo, M. Eghtesadifard, M. (1396). Supply chain design and integration of financial and operational approaches. *The perspective of industrial management*, 26, 139-168. [In Persian]
4. Mohammadi, A. Khalifeh, M. Alimohammadloo, M. Abbasi, A. Eghtesadifard, (1397). Operational and financial design of multi-level supply chain system in strategic and tactical decision-making levels. *New researches in decision making*, 3(1), 267-298. [In Persian]

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی  
رتال جامع علوم انسانی

**استناد به این مقاله:** ابراهیمی، احمد، الفت، لعیا، امیری، مقصود، تقوی فرد، محمدتقی. (۱۴۰۲). طراحی زنجیره تأمین چند دوره‌ای-چندسطحی جهت کالاهای فاسدشدنی با دوره عمر ثابت در شرایط عدم اطمینان، *مطالعات مدیریت صنعتی*، ۷۰(۲)، ۱۷۲-۱۲۹.

DOI: 10.22054/jims.2023.65741.2752



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