International Journal of Industrial Engineering & Production Management (2016)
September 2016, Volume 27, Number 3
pp. 433-446

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

An Integrated Model of Data Envelopment Analysis and Location-Inventory Model for Determining of Distribution Centers in Supply Chain

Samuel Yousefi, Mustafa Jahangoshai Rezaee* & Majid Baghery

Samuel Yousefi, *Master student of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Engineering, Urmia University of Technology*
Mustafa Jahangoshai Rezaee, *Assistant professor of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Engineering, Urmia University of Technology*
Majid Baghery, *Master of Science of Industrial Management, Departement of Management and Accounting, Allameh Tabatabaii University*

Keywords

Location-inventory,
Distribution centers,
Supply chain,
Eefficiency,
Dispersion

ABSTRACT

One of The main goals of supply chain management (SCM) is to achieve efficiency and cost effectiveness in economic institutions. On the other hand, the maximization of desirable facilitie's dispersion (such as distribution centers), based on a criterion such as customer responding coefficient, can lead to suitable covering of different zones. Therefore, by selecting the most efficient distribution centers and optimizing the costs besides maximizing the dispersion, a competitive advantage could be achieved. In this paper, in ordre to solve the distribution centers location problem, an integrated model for establishing these centers and allocating commodities to them is proposed. This mentioned model is achieved by utilizing the muliti-objective programming, and the integration of data envelopement analysis (DEA) with the inventory-location models, according to the maximization of dispertion. The proposed multiple objective model includes: minimizing of inventory costs, maximizing of efficiency and covered demand simultaneously and determining of the location of distribution centers in a two-tier supply chain. Solving this non linear multi objective model is done after the model simplification, after variable changing and then integrating the objective functions by applying the global criterion method respectively. Finally, a numerical example is presented to illustrate the cababilities of the proposed model.

© 2016 IUST Publication, IJIEPM Vol. 27, No. 3, All Rights Reserved

نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنـــایع و مدیـــــریت تولیـــد

شمـــاره ۳، جلـــد ۲۷، پاییز ۱۳۹۵
صفحـــه ۴۴۶-۴۳۴

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

ISSN: 2008-4870

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

مدل ترکیبی تحلیل پوششی داده‌ها و مکان‌یابی - موجودی برای تعیین مراکز توزیع در زنجیره تأمین

ساموئل یوسفی، مصطفی جهانگشای رضائی* و مجید باقری

کلمات کلیدی

مکان‌یابی - موجودی،
مراکز توزیع،
زنجیره تأمین،
کارایی،
تحلیل پوششی داده ها،
پراکندگی

چکیده:

یکی از اهداف اصلی مدیریت زنجیره‌تأمین در بنگاه‌های اقتصادی، دست‌یابی به کارایی و اثربخشی هزینه است. از سوی دیگر، حداکثرسازی پراکندگی تسهیلات مطلوب نظیر مراکز توزیع نسبت به یکدیگر و با توجه معیاری نظیر ضریب پاسخگویی به مشتریان، می‌تواند منجر به پوشش‌دهی مناسب تقاضای مناطق مختلف شود. پس با انتخاب کاراترین مراکز توزیع و بهینه‌سازی هزینه‌ها در کنار حداکثرسازی پراکندگی، می‌توان به مزیت رقابتی دست یافت. بنابراین در این مقاله، برای حل مسأله مکان‌یابی مراکز توزیع، مدلی ترکیبی برای استقرار این مراکز و تخصیص کالا به آن‌ها، ارائه می‌شود. مدل مذکور با بهره‌گیری از برنامه ریزی چندهدفه و ترکیب مدل تجمیع همزمان تحلیل پوششی داده‌ها و مدل مکان‌یابی-موجودی با توجه به حداکثرسازی پراکندگی حاصل می‌گردد. مدل ارائه شده شامل اهداف حداقل‌سازی هزینه‌های موجودی، حداکثرسازی همزمان کارایی و پوشش‌دهی تقاضا برای تعیین مکان مراکز توزیع در یک زنجیره‌تأمین دو سطحی تولیدکننده-مراکز توزیع می‌باشد. حل مدل برنامه‌ریزی غیرخطی چندهدفه ارائه شده به ترتیب با ساده‌سازی توسط تغییر و سپس یکپارچه‌سازی اهداف با استفاده از روش معیار جامع که در برابر پارامترهای مسأله استوار می‌باشد، صورت گرفته است. در نهایت با بررسی یک مثال عددی، نحوه استفاده و تجزیه و تحلیل مدل ارائه شده شرح داده شده است.

۱. مقدمه

یک زنجیره تأمین شامل تمامی مراحلی است که به طور مستقیم یا غیرمستقیم در برآورده ساختن خواسته‌های مشتری دخیل است. زنجیره تأمین نه تنها شامل سازندگان و تأمین کنندگان می‌شود، بلکه بخش‌های حمل‌ونقل، انبارها، خرده‌فروشان و حتی خود مشتریان را نیز در بر می‌گیرد [۱].

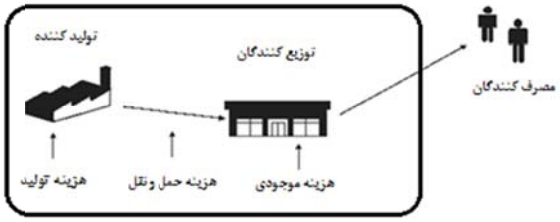
مدیریت زنجیره تأمین نیز، مجموعه‌ای از روش‌هاست که برای یکپارچه‌سازی اثربخش تأمین‌کنندگان، تولیدکنندگان، انبارها و فروشگاه‌ها استفاده می‌شود. به طوری که کالا در حجم مناسب، مکان مناسب و زمان مناسب، تولید و توزیع شود تا هزینه‌ی کل سیستم به حداقل برسد و الزامات سطح خدمات برآورده شود [۲].

در واقع یکی از اهداف اساسی مدیریت زنجیره‌تأمین در بنگاه‌های اقتصادی، کاهش هزینه‌های زنجیره تأمین از جمله هزینه‌های انتقال کالا از تولیدکنندگان به مراکز توزیع و از سوی دیگر افزایش سطح خدمت‌رسانی به مشتریان است. بنابراین، برای دستیابی به این هدف، تعیین تعداد و مکان بهینه مراکز توزیع به عنوان یک مسأله استراتژیک، از تصمیمات اصلی در یک زنجیره‌تأمین است. با توجه به شکل ۱ نیز می‌توان پی برد که در واقع سازمان توزیع، آخرین حلقه زنجیره‌تأمین محسوب می‌شود که بدون واسطه، محصولات تولید شده توسط کارخانه‌ی تولیدی را با توجه به سیستم لجستیکی برنامه‌ریزی شده، به انبارهای خود منتقل کرده و به بازار مصرف عرضه می‌دارد. بدین ترتیب با توزیع بهینه می‌توان هزینه‌های

تاریخ وصول: ۹۳/۰۳/۰۶
تاریخ تصویب: ۹۴/۰۲/۱۳

ساموئل یوسفی، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی ارومیه، S.yousefi@ine.uut.ac.ir
مجید باقری، دانش آموخته کارشناسی ارشد مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه علامه طباطبائی، Majid_baghery_1987@yahoo.co.uk
***نویسنده مسئول مقاله: دکتر مصطفی جهانگشای رضائی**، استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی ارومیه، M.jahangoshai@uut.ac.ir

سیستم را نسبت به توزیع نامناسب تا حد قابل قبولی کاهش داده و در زمان نیز صرفه‌جویی نمود. بنابراین توزیع، یک عامل مهم در سودآوری یک بنگاه تولیدی است، زیرا مستقیماً روی هزینه زنجیره‌تأمین و تجربه مشتری تأثیر می‌گذارد. بر این اساس، شرکت‌های موجود در صنایع یکسان، معمولاً شبکه‌های توزیع بسیار متفاوتی را برای کسب سود بیشتر انتخاب می‌کنند. دسته‌ای از بنگاه‌ها، با در نظر گرفتن فواصل بیشتر بین مراکز توزیع با ظرفیت بیشتر را مورد هدف قرار می‌دهند و عده‌ای دیگر، به دلیل اهمیت زمان پاسخگویی به مشتری، افزایش تعداد مراکز توزیع با ظرفیت پایین را در نظر می‌گیرند [۳].



شکل ۱. زنجیره تأمین مورد بررسی در این تحقیق

از سوی دیگر، میزان موجودی همواره نقش اصلی را در موفقیت و چشم انداز یک زنجیره تأمین صنایع تولیدی داشته و بایستی هماهنگی سطوح موجودی در سرتاسر زنجیره‌تأمین از جمله سطح توزیع‌کننده مورد توجه قرار گیرد. بدین ترتیب مدل‌هایی تحت عنوان مدل‌های مکان‌یابی-موجودی در مدیریت زنجیره‌تأمین ایجاد شده‌اند که به صورت همزمان به تعیین مکان بهینه تسهیلات می‌پردازند و از مباحث موجودی برای حداقل‌سازی هزینه‌های زنجیره‌تأمین استفاده می‌نمایند. از آنجایی که هزینه‌های موجودی به ساختار زنجیره‌تأمین و تعداد مراکز توزیع فعال وابسته است، لذا در این مدل‌های ترکیبی، هزینه‌های موجودی و مکان‌یابی به صورت یکپارچه در نظر گرفته شده و کمینه می‌شوند. به طور کلی، مدل‌های مکان‌یابی - موجودی، برای مکان‌یابی مراکز توزیع یا نمایندگی‌های فروش کاربردهای زیادی دارند؛ زیرا، مکان‌یابی صحیح و مناسب مراکز توزیع، می‌تواند دستیابی به سهم بیشتر از بازار را برای واحدهای صنعتی به دنبال داشته و منجر به موفقیت آن‌ها گردد. از این جهت، بنگاه‌های تولیدی در پی آن هستند که مکان مراکز توزیع خود را با توجه به فضای شدنی و پوشش‌دهی، به گونه‌ای تعیین نمایند که با تعداد کمتر و فاصله بیشتر نسبت به هم، توان تأمین تقاضای بیشتری را داشته باشند. به عبارت دیگر، بایستی مکان‌های انتخابی برای استقرار مراکز توزیع علاوه بر بهترین بودن از لحاظ معیارهای هزینه‌ای، داری ضریب دسترسی و پوشش‌دهی بیشتر باشند [۳].

با توجه به بیان مسأله، هدف اصلی این مقاله معرفی مدل جدید برای مکان‌یابی و فعال‌سازی مراکز توزیع در شبکه زنجیره‌تأمین دوسطحی تولیدکننده - مراکز توزیع و همچنین، تعیین میزان تخصیص دوره‌ای کالا به هر یک از مراکز مستقر شده است. این مدل با ترکیب مباحث موجودی و مکان‌یابی، علاوه بر تعیین مکان کارا از لحاظ معیارهای معیارهای هزینه‌ای و غیر هزینه‌ای برای استقرار مراکز توزیع، سعی در افزایش میزان پوشش‌دهی بازار هدف با به کارگیری مفهوم پراکندگی دارد. در واقع، این روش کمک می‌کند تا مکان‌هایی انتخاب شوند که علاوه بر دارا بودن کارایی مناسب از لحاظ معیارهایی نظیر ضریب دسترسی و هزینه استقرار در هر مکان، میزان پراکندگی مناسبی نیز از سایر مراکز مستقر شده داشته باشند. این مدل، برای صنایعی نظیر صنایع لبنی که در آن‌ها علاوه بر کاهش هزینه‌های موجودی، رقابت با سایر تولیدکنندگان برای دستیابی به سهم فروش بیشتر در بازار از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، قابلیت به کارگیری دارد. ساختار کلی مقاله نیز به این صورت است که در بخش دوم، ادبیات موضوع مربوط به مکان‌یابی مراکز توزیع - موجودی، مدل‌های مکان‌یابی با توجه به حداکثرسازی پراکندگی و روش تحلیل پوششی داده‌ها ارائه می‌گردد. در بخش سوم به معرفی مدل ترکیبی پیشنهادی پرداخته می‌شود. در بخش چهارم، روش حل مدل و یکپارچه‌سازی آن بیان شده و در ادامه و در بخش پنجم نیز مثالی با نتایج محاسباتی ارائه و مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد. در نهایت، نتیجه گیری و پیشنهاداتی برای توسعه مدل برای تحقیقات آتی در بخش ششم ارائه خواهد شد.

۲. مرور ادبیات

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 سیاست های توسعه بازار داشته باشند [۴]. در همین راستا و در جهت حداقل‌سازی هزینه‌های سیستم، در نظر گرفتن همزمان هزینه‌های موجودی و هزینه‌های زنجیره‌تأمین مطرح شد؛ اما در نظر گرفتن توأم هزینه‌های موجودی و هزینه‌های توزیع که بیشتر آن‌ها غیرخطی هستند، کمتر مورد توجه بوده است. به تبع آن، توجه کمتری نیز به مکان‌یابی مراکز توزیع با در نظر گرفتن هزینه‌های زنجیره‌تأمین شده است. بنابراین در بخش اول مرور ادبیات، به تحقیقات صورت گرفته در زمینه مکان‌یابی مراکز توزیع در زنجیره تأمین پرداخته می‌شود. با بررسی این بخش مشخص می‌شود، در

اکثر تحقیقات توجه اصلی مدیریت بر روی انتخاب مکان تسهیلات بر اساس حداقل‌سازی هزینه‌های سیستم موجودی بوده است. در نتیجه معیارهای کمی و کیفی که می‌توانند برای هر مکان در جهت محاسبه کارایی مورد بررسی قرار گیرد، به دلیل عدم توجه مدیریت در مدل‌های مکان‌یابی-موجودی مورد توجه قرار نگرفته است. در ادامه نیز، مسائل پراکندگی و روش تجمیع تحلیل پوششی داده‌ها برای آگاهی از نحوه مدل‌سازی، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۱-۲. مکان‌یابی مراکز توزیع-موجودی

موفقیت در محیط تجاری نیاز به مدیریت سیستم ارتباطات پیچیده دارد که در واقع این ارتباط، تعیین کننده مدل توزیع بین عوامل لجستیک است که به منظور رساندن مواد اولیه به مراکز تولیدی تا رسیدن به دست مشتری می‌باشد. در این میان بخش توزیع مواد و محصولات دارای اهمیت است، به خصوص هنگام توزیع محصول یعنی زمانی‌که، مواد اولیه تبدیل به محصول شده‌اند [۵]. به همین دلیل در سال‌های اخیر تحقیقاتی در مورد مکان‌یابی نظام‌مند مراکز توزیع انجام شده است و تلاش بیشتر محققان در جهت ترکیب این گونه مسائل با سایر مباحث جدید در زنجیره‌تأمین و علوم دیگر بوده است. در آغاز چاندرا[1] [۶] با در نظر گرفتن همزمان هزینه‌های موجودی و هزینه‌های زنجیره‌تأمین، دریچه‌ای را در مسیر ترکیب هزینه‌های سیستم موجودی و هزینه‌های عملیاتی زنجیره‌تأمین به وجود آورد. ایشان مدلی با عنوان برنامه‌ریزی هماهنگ تولید و توزیع را ارائه کرد، که هدف این مدل حداقل کردن هزینه کل شامل هزینه‌های راه اندازی، تولید، حمل و نقل محصولات تولیدی به خرده فروشان و هزینه‌های موجودی بود.در ادامه، جایارامان و پیرکول[2] [۷] نیز مدلی یکپارچه از نوع برنامه‌ریزی مختلط صفر و یک برای حداقل‌سازی هزینه‌های کل زنجیره‌تأمین نظیر هزینهٔ ثابت استقرار، عملیات و انبارها، هزینه متغیر تولید و توزیع، هزینهٔ حمل‌ونقل مواد اولیه از فروشندگان به مراکز تولید و نهایتاً حمل‌ونقل محصولات نهایی به مشتریان از طریق انبارها ارائه نمودند. در نهایت به دلیل اهمیت موضوع و در راستای توسعه زنجیره‌تأمین، مدل‌های ویژه‌ای تحت عنوان مکان‌یابی- موجودی با ترکیب دو بحث موجودی و مکان‌یابی نیز به طور گسترده‌ای در تحقیقات پژوهشگران مطرح گردید، که برخی از این تحقیقات در زمینه مسأله مکان‌یابی مراکز توزیع زنجیره‌تأمین به طور مختصر عبارتند از: مکان‌یابی چند مرکز توزیع و تخصیص با هدف حداقل‌سازی هزینه کل انتظار [۸]، مکان‌یابی مراکز توزیع با ظرفیت محدود با در نظر گرفتن شعاع پوشش متغیر در سیستم توزیع [۹]، مکان‌یابی-موجودی تحت رویکرد مدیریت موجودی توسط فروشنده با هدف بهبود بهره‌وری زنجیره‌تأمین و حداقل‌سازی هزینه‌های موجودی [۱۰]، مکان‌یابی انبارها در شبکه‌های زنجیره تأمین سه سطحی با هدف کاهش هزینه‌ها و بهبود رقابت پذیری [۱۱]، مکان‌یابی چندگانه-موجودی برای تخصیص بهینه با توجه به پاسخ‌دهی سریع انبار [۱۲]، مکان‌یابی - موجودی و مسیریابی در مسأله طراحی یک شبکه توزیع با هدف به حداقل رساندن هزینه کل و حداکثر متوسط زمان تحویل کالا به مشتریان [۱۳] و ترکیب مسائل مکان‌یابی-موجودی و قیمت‌گذاری در مسأله طراحی شبکه توزیع زنجیره‌تأمین با هدف حداکثرسازی سود [۱۴].

۲-۲. مسائل پراکندگی

مسائل تصمیم‌گیری بی‌شماری وجود دارد که اطلاعات آن فاصله‌ای (جغرافیایی) می‌باشد. انتخاب موقعیت مناسب برای استقرار تسهیلات، جستجویی است جهت یافتن مکانی که بتوان با نیازهای خاص تسهیلات مربوط هماهنگ گردد. نیازهای مربوط به استقرار یافتن و انتخاب موقعیت محل تسهیلات با توجه به معیارهای موردنظر، مکان‌یابی نامیده می‌شود [۱۵]. از سوی دیگر، یکی از اهداف تعریف شده در علم مکان‌یابی حداکثرسازی پراکندگی بین تسهیلات است. بدین ترتیب مدل‌های مکان‌یابی بر اساس حداکثرسازی پراکندگی ایجاد شده‌اند. برای مثال، کورتین و چرچ[3] [۱۶] در سال ۲۰۰۶ میلادی، مدل‌هایی از پراکنده‌سازی را ارائه دادند که در آن‌ها چند نوع از تسهیلات موردنظر قرار گرفتند. آن‌ها دسته‌ای از مدل‌های برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح، برای مدل‌های اساسی پراکنده‌سازی ارائه و روشی هوشمند برای حذف محدودیت‌ها پیشنهاد کردند.

ارکات و نیومن[4] [۱۷] نیز با توجه به مدل‌های پراکندگی، بر مبنای روش تعریف حداکثر پراکندگی مقایسه‌هایی را برای تکمیل تحقیقات در این زمینه انجام دادند. آن‌ها یک نام‌گذاری قراردادی سه جزئی برای تمایز بین انواع مختلف پراکندگی به کار گرفتند. به گونه‌ای که اولین جزء نام‌گذاری برای همه مدل‌ها، واژه "حداکثر" است. این در حالی است که جزء دوم، عملکرد کلی سیستم و جزء سوم ارتباطات بین تسهیلات مورد نظر برای هر تسهیل را نشان می‌دهد و می‌تواند دو واژه "حداقل" و "مجموع" را شامل شود. در ادامه این نام گذاری باعث شد چهار نوع مدل پراکندگی تعریف گردد که در جدول ۱ نشان داده شده است.

جدول ۱. بررسی مسائل پراکندگی چهارگانه

نوع مسأله پراکندگی	ارائه کننده	هدف مسأله
حداکثر-حداقل-حداقل[۵]	مون و چودری[۶][۱۸]	هدف مسأله p پراکندگی: حداکثر سازی فاصله بین دو تسهیل مکان‌یابی شده.
حداکثر-مجموع-حداقل[۷]	مون و چودری [۱۸]	هدف مسأله p پدافند: یافتن مجموعه‌ای دارای حداکثر پراکندگی با استفاده از جمع حداقل فواصل بین تسهیلات مکان‌یابی شده.
حداکثر-حداقل-مجموع[۸]	ارکات و نیومن [۱۷]	حداکثرسازی پراکندگی فاصله هر تسهیل با تمام تسهیلات موجود (فاصله قطبی[۹]).
حداکثر- مجموع- مجموع[۱۰]	چرچ و گارفینک[۱۱][۱۹]	حداکثرسازی کوچکترین مقدار فواصل قطبی بر مبنای مفهوم حداکثرسازی جمع همه فواصل قطبی برای هر تسهیل.

۳-۲. روش تحلیل پوششی داده‌ها

در دنیای امروزی، تجزیه تحلیل پوششی داده‌ها به عنوان یکی از روش‌های مهم برای سنجش کارایی مطرح شده است. کارایی در مفهوم عام به معنای درجه و کیفیت رسیدن به مجموعه اهداف مطلوب است [۲۰]. این روش را فارل[۱۲][۲۱] در سال ۱۹۵۷ میلادی با اندازه‌گیری عملکرد یک واحد تولیدی ارائه نمود. مدل مورد بررسی وی، تنها یک ورودی و یک خروجی را در نظر می‌گرفت و وی نتوانست مدل خود را در حالت چند ورودی و چند خروجی توسعه دهد. در ادامه، دانشمندان دیگر نظیر لی و همکاران[۱۳][۲۲]، مدل فارل را توسعه دادند و مدلی را پیشنهاد دادند که توانایی اندازه‌گیری کارایی با چندین ورودی و خروجی را داشت و این مدل تحلیل پوششی داده‌ها نام گرفت. به طور کلی دلیل مقبولیت روش تحلیل پوششی داده‌ها، امکان بررسی روابط پیچیده و اغلب نامعلوم بین چندین ورودی و خرووجی می‌باشد. به طورکلی با استفاده از مدل‌های ریاضی، کارایی یک واحد نسبت به واحدهای دیگر بیشینه می‌شود، یعنی کارایی نسبی هر واحد تصمیم‌گیری (DMU[۱۴]) براساس ورودی‌ها و خروجی‌های آن مورد سنجش قرار می‌گیرد؛ اما، بایستی توجه نمود که واحدهای مورد ارزیابی باید کاملا هم ارز (یعنی دارای ورودی‌ها و خروجی‌های کاملا مشابه) باشند. در برخی موارد به علت ازدیاد تعداد واحدهای تصمیم‌گیری، باید تعداد زیادی مدل برنامه‌ریزی خطی نوشت و فرآیند حل مسأله بسیار وقت‌گیر خواهد بود. در همین راستا، کلیمبرگ و راتیک[۱۵][۲۳] در سال ۲۰۰۸ میلادی در تحقیق خود در زمینه مدل‌های ترکیبی مکان‌یابی-تحلیل پوششی داده‌ها، مدلی با عنوان تجمیع همزمان تحلیل پوششی داده‌ها (SDEA[۱۶]) ارائه نمود و موجب حل این مشکل شد. در این تحقیق نیز، برای محاسبه همزمان کارایی نقاط کاندیدا از این روش بهره گرفته خواهد شد.

۳. معرفی مدل

در این بخش مدلی بر مبنای مسأله پراکندگی "حداکثر - حداقل - مجموع"[۱۷] ایجاد می‌شود، که به دنبال حداکثرسازی حداقل فاصله قطبی برای هر تسهیل و حداکثرکردن مجموع کارایی برای تمام واحدهای تصمیم‌گیری است. منظور از فاصله قطبی، جمع فواصل بین یک تسهیل با سایر تسهیلات است. با بررسی مدل‌های پراکندگی مشاهده می‌شود که این مدل‌ها از جمله مدل "حداکثر – حداقل - مجموع"، تنها مکان‌یابی تسهیلات را بر اساس حداکثرسازی پراکندگی انجام می‌دهند و مفهوم کارایی در آن‌ها در نظر گرفته نمی‌شود. به همین دلیل برای رفع این مشکل، با ترکیب مدل پراکندگی و تجمیع همزمان تحلیل پوششی داده‌ها سعی می‌گردد تا مکان‌هایی مورد انتخاب قرار گیرند که علاوه بر دارا بودن پراکندگی مناسب (پوشش‌دهی بیشتر مشتریان)، کارایی مناسبی نیز از لحاظ معیارهایی غیر هزینه‌ای نظیر ضریب امنیت و ضریب دسترسی و معیارهای هزینه‌ای نظیر هزینه استقرار (در راستای کاهش هزینه‌ها) و غیره داشته باشند. از سوی دیگر، به دلیل پیاده‌سازی این مدل برای انتخاب محل استقرار مراکز توزیع، بهینه‌سازی هزینه‌های سیستم موجودی نیز در امر انتخاب نقاط استقرار این مراکز و میزان کالای تخصیص یافته به آن‌ها در نظر گرفته می‌شود. بنابراین هدف این مدل انتخاب حداکثر V مکان از بین n محل کاندیدا و مشخص نمودن میزان کالای تخصیص یافته به آن‌ها است، به گونه‌ای که پوشش‌دهی بازار هدف توسط این مراکز با توجه به حداکثرسازی پراکندگی، افزایش کارایی و کمینه‌سازی هزینه‌های سیستم موجودی، افزایش یابد. لازم به توضیح است که برای محاسبه کارایی مکان‌های بالقوه، بایستی برای هر واحد تصمیم‌گیر با توجه به تعریف مسأله، ورودی و خروجی‌هایی درنظر گرفته شوند. معمولاً عوامل نامطلوب مانند هزینه استقرار، که مدیریت در جهت کاهش دادن آن‌ها است به عنوان ورودی و عوامل مطلوب مانند سودآوری، ضریب دسترسی، قابلیت اطمینان در تحویل و انعطاف پذیری در سرویس‌دهی، که هدف افزایش آن‌هاست، به عنوان خروجی در نظر گرفته می‌شوند. در نتیجه در این مقاله بر خلاف اغلب تحقیقات، هزینه استقرار و سود حاصل از فروش به صورت توابع هدف در نظر گرفته نشده است، بلکه این موارد به علت جلوگیری از ازدیاد توابع هدف و محاسبه مناسب کارایی نقاط، به عنوان معیارهای ورودی و

خروجی تابع تحلیل پوششی داده‌ها محسوب می‌گردد. در ادامه، ابتدا به معرفی مفروضات، اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم پرداخته شده و سپس مدل مذکور ارائه می گردد.

-مفروضات:

۱. زنجیره‌تأمین مورد بررسی، دو سطحی شامل یک تولیدکننده و چند مرکز توزیع است.
۲. ظرفیت تولیدکننده نامحدود فرض می‌شود.
۳. کمبود غیرمجاز است.
۴. تقاضای کالای مورد نظر در طول دوره ثابت و قطعی است.
۵. مدل به صورت چند دوره‌ای است.
۶. مدل به صورت تک کالایی در نظر گرفته شده است.
۷. تسهیلاتی از قبل مستقر نشده‌اند.
۸. از آنجایی که تولیدکننده از سیستم تولید به هنگام (*JIT*[۱۷]) استفاده می‌کند، هزینه نگهداری تولیدکننده ناچیز فرض می گردد. بدین صورت که در زمان اعلام سفارش مراکز توزیع، کالا تولید و ارسال می‌گردد.
۹. هزینه نگهداری در مراکز توزیع متناسب با میانگین موجودی است.

-اندیس‌ها:

$K=\{1,\ldots,n\}$: مجموعه نقاط کاندیدا است.

$I=\{1,\ldots,m\}$: مجموعه ورودی‌های هر مکان کاندیدا (واحدهای تصمیم‌گیری) است.

$J=\{1,\ldots,s\}$: مجموعه خروجی‌های هر مکان کاندیدا (واحدهای تصمیم‌گیری) است.

-پارامترها:

D: نرخ تقاضای سالیانه برای کالای تولیدکننده که توسط V مرکز پوشش داده می شود،

hk: نرخ نگهداری به ازای واحد کالا در واحد زمان، در مرکز توزیعی که در مکان k قرار می‌گیرد،

A_k: هزینه ثابت سفارش‌دهی کالا (شامل هزینه های اداری و دفتری، مخابراتی، پرداخت دستمزد) در مرکز توزیعی که در مکان k قرار می‌گیرد،

S_k: نرخ اسمی‌فروش سالیانه کالا در مرکز توزیعی که در مکان k قرار می‌گیرد (بر اساس مطالعات بازار و محدودیت فضا) ،

C_k: هزینه تولید و حمل و نقل هر واحد کالا، از تولیدکننده به مکان توزیعی k به ازای واحد مسافت،

M: عددی بسیار بزرگ و مثبت،

ε: عددی بسیار کوچک و مثبت،

d_{kz}: فاصله بین مکان k و z،

I_{ik}: مقدار i امین ورودی مکان k ام،

O_{jk}: مقدار j امین خروجی مکان k ام،

V: حداکثر تعداد تسهیلاتی که بر اساس نظر مدیریت بایستی مکان‌یابی نمود.

-متغیرهای تصمیم گیری:

q_k: میزان تخصیص کالا در هر دوره، به مرکز توزیعی که در مکان k قرار می‌گیرد،

Q: مجموع کالای تخصیص یافته به مراکز توزیع در هر دوره،

y_k: یک متغیر صفر و یک است (اگر تصمیم به فعال‌سازی مرکز توزیع در مکان k گرفته شود برابر با ۱ و در غیر این صورت صفر است).

e_k: میزان عدم کارایی مکان k ام

V_{ki}: وزن i امین ورودی مکان k ام

U_{kj}: وزن j امین خروجی مکان k ام

Hd_k : حداقل فاصله قطبی مکان کاندیدای k ام از سایر تسهیلات مستقر شده.

در این بخش، ابتدا هزینه‌های سیستم موجودی بر اساس مفروضاتی که ذکر گردید، بیان می‌شود و سپس ساختار اولیه مدل پیشنهادی شرح داده خواهد شد. به طور کلی تولیدکننده در دسته مسائل خریدار-فروشنده، دارای هزینه‌هایی نظیر هزینه خرید، سفارش‌دهی و نگهداری است، اما از آنجایی که در تحقیق حاضر به بررسی زنجیره‌تأمین دو سطحی تولیدکننده-توزیع‌کننده پرداخته می‌شود، این هزینه‌ها تغییر می‌کنند. در نتیجه بر اساس مفروضات ذکر شده و نوع مسأله، هزینه‌هایی نظیر هزینه‌های تولید و راه اندازی و نگهداری برای تولیدکننده قابل تصور است. در نتیجه، تنها تابع هزینه‌ای تحت عنوان هزینه تولید (شامل هزینه نیروی انسانی، راه‌اندازی و تأمین مواد اولیه) و حمل‌ونقل، برای تولیدکننده در نظر گرفته شده است. در مورد مراکز توزیع که فعالیت انبار کردن و توزیع کالا را انجام می‌دهند، هزینه‌های نگهداری و سفارش‌دهی به عنوان اقلام هزینه‌ای در نظر گرفته شده است که در ادامه شرح داده می‌شود.

الف) هزینه تولید سالانه تولیدکننده و هزینه حمل‌ونقل (*ACPT*[۱۸]):

$$ACPT = \min \frac{D}{Q}\sum_{k=1}^{n} C_k q_k \qquad (۱)$$

ب) هزینه سفارش‌دهی سالانه مراکز توزیع(*AOC*[۲۰]):

$$AOC = \min \frac{D}{Q}\sum_{k=1}^{n} A_k y_k \qquad (۲)$$

ج) هزینه نگهداری سالانه در مراکز توزیع(*AIHC*[۱۹]):

در طول کل دوره (T)، موجودی تخصیص داده شده به مراکز توزیع، به طور تدریجی و در طول دوره T_k با نرخ S_k برای هر

مرکز از q_k به صفر تغییر کرده و در واقع به فروش می‌رسد. بنابراین برای محاسبه هزینه نگهداری سالانه، ابتدا بایستی میانگین موجودی I_k را در هر مرکز توزیع محاسبه نموده، سپس نرخ نگهداری را بر آن اعمال نمود. در نتیجه داریم:

$$I_k = \frac{\frac{1}{2}\times q_k \times T_k}{T} = \frac{\frac{1}{2}\times q_k \times \frac{q_k}{S_k}}{\frac{Q}{D}} = \frac{Dq_k^{\,2}}{2QS_k}$$
$$AIHC = \min \sum_{k=1}^{n} AIHC_k = \sum_{k=1}^{n} h_k I_k = \frac{D}{2Q}\sum_{k=1}^{n}\frac{h_k q_k^{\,2}}{S_k} \qquad (۳)$$

در نهایت تابع هزینه‌های سیستم موجودی به صورت رابطه (۴) تشکیل می‌شود. توابع پراکندگی و کارایی نیز به ترتیب، با به کارگیری مدل پراکندگی "حداکثر-حداقل-مجموع" و مدل تجمیع تحلیل پوششی داده‌ها در روابط (۵) و (۶) بیان شده است:

$$Z_1 = \min\left(\frac{D}{Q}\sum_{k=1}^{n}(C_k q_k + A_k y_k) + \frac{D}{2Q}\sum_{k=1}^{n}\frac{h_k}{S_k}q_k^{\,2}\right) \qquad (۴)$$

$$Z_2 = \max \sum_{k=1}^{n} Hd_k \qquad (۵)$$

$$Z_3 = \max \sum_{k=1}^{n} (1 - e_k) \qquad (۶)$$

با توجه به توابع هدف ارائه شده، تابع هدف Z_1 هزینه‌های سالانه سیستم موجودی را حداقل می‌سازد. تابع هدف Z_2 به دنبال حداکثرسازی حداقل فاصله قطبی است و تابع هدف Z_3 نیز مجموع کارایی را برای تمام نقاط (k) حداکثر می‌سازد. محدودیت‌های سه تابع هدف فوق به شرح زیر است:

۱) محدودیت‌های تابع Z_1:

رابطه (۷) نشان می‌دهد که مجموع میزان تخصیص کالا در هر دوره، به تمام مراکز توزیع منتخب، برابر Q است. رابطه (۸) نشان می‌دهد که میزان تخصیص سالانه کالای مورد نظر به مرکز توزیعی که در مکان k قرار می‌گیرد، بایستی کوچکتر از ظرفیت فروش سالانه مرکز توزیع منتخب باشد. رابطه (۹) نیز تضمین می‌کند در صورتی که مکانی انتخاب گردد، حداقل کالایی به آن تخصیص پیدا کند تا در صورت عدم وجود کالایی برای تخصیص دادن، مکانی اضافه انتخاب نگردد.

$$Q = \sum_{k}^{n} q_k \qquad (۷)$$

$$q_k \le \frac{y_k S_k}{D} Q \qquad \forall k \qquad (۸)$$

$$q_k \ge \varepsilon y_k \qquad \forall k \qquad Q > \varepsilon \quad q_k \ge 0 \qquad (۹)$$

۲) محدودیت‌های تابع Z_2:

روابط (۱۰) و (۱۱) برای تعریف فاصله قطبی به کار می‌رود. رابطه(۱۰) بیان می‌کند اگر هیچ تسهیلی در محل k قرار نداشته باشد، Hd_k اجازه دارد که یک جمع بسیار بزرگ باشد. وقتی که یک تسهیل در محل k قرار بگیرد، Hd_k محدود به این است که کمتر یا مساوی با جمع فواصل بین k و تمام مکان‌های z (که یک تسهیل در آن مستقر شده) باشد. در این موارد جایی که یک تسهیل در مکان بالقوه z مستقر نشده، هیچ فاصله وزن‌دهی شده‌ای در جمع قرار نمی‌گیرد. رابطه (۱۱) تضمین می‌کند مقدار Hd_k همواره برابر صفر است، اگر تسهیلی در مکان k قرار نگیرد.

$$Hd_k \le \sum_{\substack{z=1 \\ z\ne k}}^{n} d_{kz} y_z + M(1 - y_k) \quad \forall k \qquad (۱۰)$$

$$Hd_k \le M y_k \quad \forall k \qquad (۱۱)$$

۳) محدودیت‌های تابع Z_3:

رابطه (۱۲) تضمین می‌کند که مجموع موزون ورودی‌های هر واحدهای تصمیم‌گیر برابر با متغیر صفر و یک باشد. این رابطه برای تمام واحدهای تصمیم‌گیر باید لحاظ شود. رابطه (۱۳) میزان عدم کارایی را به ازای مجموع موزون خروجی‌های هر واحدهای تصمیم‌گیر نشان می‌دهد. این رابطه نیز برای تمام واحدهای تصمیم‌گیر باید لحاظ شود. رابطه (۱۴) نشان می‌دهد که مجموع موزون خروجی‌ها باید کمتر از مجموع موزون ورودی‌های متناظر خودش باشد. رابطه (۱۵) و (۱۶) نشان می‌دهند که بایستی وزن ورودی‌ها و خرووی‌ها غیر منفی باشد. محدودیت (۱۷) نیز تضمین می‌کند که خروجی موزون برای هر مکان و هر نوع خروجی، کمتر یا مساوی با ۱ باشد.

$$\sum_{i=1}^{m} V_{ki} I_{ik} = y_k \qquad \forall k \qquad (۱۲)$$

$$\sum_{j=1}^{s} U_{kj} O_{jk} + e_k = y_k \qquad \forall k \qquad (۱۳)$$

$$\sum_{j=1}^{s} U_{kj} O_{jz} - \sum_{i=1}^{m} V_{ki} I_{iz} \le 0 \qquad \forall k; \forall z (k \ne z) \qquad (۱۴)$$

$$U_{kj} \ge \varepsilon y_k \qquad \forall j,k \qquad (۱۵)$$

$$V_{ki} \ge \varepsilon y_k \qquad \forall i,k \qquad (۱۶)$$

$$U_{kj} O_{jk} \le y_k \qquad \forall j,k \qquad (۱۷)$$

۴) محدودیت مشترک:

رابطه (۱۸) تضمی می‌کند که حداکثر V تسهیل مکان‌یابی شوند. این محدودیت زمانی که بتوان با انتخاب تعداد کمتری مرکز توزیع، بهینه‌سازی توابع هدف را انجام داد، موثر است. به گونه‌ای

که مانع از راه اندازی مراکز توزیع بیش از تعداد لازم برای برآورده نمودن تقاضا و اعمال هزینه اضافی می‌شود.

$$\sum_{k=1}^{n} y_k \le V \qquad (۱۸)$$

۴. روش حل مسئله

با بررسی توابع مذکور در بخش قبل مشخص می‌گردد که تابع هدف اول معرفی شده، یک مدل غیرخطی و از نوع کسری[۲۱] است، که این موضوع منجر به دشواری حل این تابع هدف و رسیدن به جواب بهینه سراسری[۲۲] توسط الگوریتم‌های دقیق می‌گردد. در این میان، حالت کسری مدل بیش از موارد دیگر باعث پیچیده شدن مدل می‌شود. در نتیجه، در ابتدا بایستی سعی نمود تابع هدف اول، از حالت کسری به صورت غیرخطی ساده و درجه دوم[۲۳] تبدیل شود. سپس با استفاده از یکی از روش‌های حل توابع چند هدفه، مدل به مدلی با یک تابع هدف تبدیل شود که در گروه مسائل برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح قرار می‌گیرد. بنابراین، همانطور که بیان گردید، ابتدا به ساده‌سازی مدل ارائه شده به شرح زیر پرداخته می شود:

$$Z_1 = \min\left(\frac{D}{Q}\left(\sum_{k=1}^{n}(C_k q_k + A_k y_k) + \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{n}\frac{h_k q_k^{\,2}}{S_k}\right)\right) \xrightarrow{Q=\sum_{k}^{n} q_k}$$

$$Z_1 = \min \frac{D\left(\sum_{k=1}^{n}(C_k q_k + A_k y_k) + \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{n}\frac{h_k q_k^{\,2}}{S_k}\right)}{\sum_{k=1}^{n} q_k}$$

با تغییر متغیر $t = \left(\sum_{k=1}^{n} q_k\right)^{-1}$ در این صورت فرض می‌کنیم $tq_k = q_k'$ در این‌صورت خواهیم داشت:

$$t\sum_{k=1}^{n} q_k = 1 \Rightarrow \sum_{k=1}^{n} q_k' = 1 \qquad (۱۹)$$

در ادامه با ضرب t در صورت و مخرج، تابع هدف اول به صورت زیر تبدیل می‌شود:

$$Z_1 = \min D\left(\sum_{k=1}^{n}(C_k q_k' + tA_k y_k) + \sum_{k=1}^{n}\frac{h_k}{2S_k} q_k q_k'\right)$$

ضمناً محدودیت $\sum_{k=1}^{n} q_k' = 1$ به جای $Q = \sum_{k}^{n} q_k$ و روابط (۲۰) و (۲۱) به جای روابط (۸) و (۹) که در مدل پایه بیان شده است، به مجموعه محدودیت‌ها اضافه می‌شود. همچنین داریم:

$$q_k \le \frac{y_k S_k}{D} Q \Rightarrow q_k \le \frac{y_k S_k}{D}\sum_{k=1}^{n} q_k \xrightarrow{tq_k = q_k'}$$

$$q_k' \le \frac{y_k S_k}{D}\sum_{k=1}^{n} q_k' \Rightarrow q_k' \le \frac{y_k S_k}{D} \qquad \forall k \qquad (۲۰)$$

$$q_k \ge \varepsilon y_k \xrightarrow{tq_k = q_k'} \frac{q_k'}{t} \ge \varepsilon y_k \xrightarrow{t \le 1} q_k' \ge \varepsilon y_k \qquad \forall k \qquad (۲۱)$$

پس از تغییر متغیر صورت گرفته، مشاهده می‌شود بخش هزینه نگهداری تابع هدف اول، دارای ضریب q_k است و حاصلضرب دو متغیر غیر یکسان برای بهینه‌سازی دشوار خواهد بود، بنابراین از لم زیر استفاده می‌کنیم:

لم: حداقل‌سازی $\sum_{k=1}^{n}\frac{Dh_k}{2S_k} q_k q_k'$ معادل با حداقل‌سازی $\sum_{k=1}^{n}\frac{Dh_k}{2S_k} q_k'^{\,2}$ می‌باشد.

اثبات:

$$\sum_{k=1}^{n}\frac{Dh_k}{2S_k} q_k q_k' \xrightarrow{tq_k = q_k'} \sum_{k=1}^{n}\frac{Dh_k}{2S_k t} q_k'^{\,2} \xrightarrow{t \le 1} \sum_{k=1}^{n}\frac{Dh_k}{2S_k} q_k'^{\,2}$$

$$\Rightarrow \sum_{k=1}^{n}\frac{Dh_k}{2S_k} q_k q_k' \ge \sum_{k=1}^{n}\frac{Dh_k}{2S_k} q_k'^{\,2}$$

$$\Rightarrow \min \sum_{k=1}^{n}\frac{Dh_k}{2S_k} q_k q_k' \ge \sum_{k=1}^{n}\frac{Dh_k}{2S_k} q_k'^{\,2}$$

به عبارت دیگر، با حداقل‌سازی $\sum_{k=1}^{n}\frac{Dh_k}{2S_k} q_k'^{\,2}$، در واقع $\sum_{k=1}^{n}\frac{Dh_k}{2S_k} q_k q_k'$ را حداقل می‌کنیم و حکم ثابت می‌شود.

در مرحله آخر ساده‌سازی، بخش هزینه‌های سفارش‌دهی تابع هدف اول، نیز با تغییر متغیر از حالت حاصلضرب یک متغیر صفر و یک در عدد حقیقی خارج می‌شود. در نتیجه، رابطه زیر را به صورت شکل نهایی تابع هدف اول داریم:

$$Z_1 = \min D\left(\sum_{k=1}^{n}(C_k q_k' + tA_k y_k) + \sum_{k=1}^{n}\frac{h_k}{2S_k} q_k'^{\,2}\right)$$

$$\xrightarrow{ty_k = z_k} Z_1 = \min D\left(\sum_{k=1}^{n}(C_k q_k' + A_k z_k) + \sum_{k=1}^{n}\frac{h_k}{2S_k} q_k'^{\,2}\right)$$

روابط (۲۲) الی(۲۴) نیز به عنوان محدودیت‌های مربوط به تغییر متغیر جدید به مجموعه محدودیت ها اضافه می‌گردد:

$$z_k \le M y_k \qquad (۲۲)$$

$$z_k \le t \qquad (۲۳)$$

$$t - z_k + M y_k \le M \qquad (۲۴)$$

بنابراین مشکل موجود در تابع هدف اول رفع گردیده و توابع هدف مدل ارائه شده به صورت زیر خواهند بود:

$$Z_1 = \min D\left(\sum_{k=1}^{n}(C_k q_k' + A_k z_k) + \sum_{k=1}^{n}\frac{h_k}{2S_k} q_k'^{\,2}\right)$$

$$Z_2 = \max \sum_{k=1}^{n} H d_k$$

$$Z_3 = \max \sum_{k=1}^{n} (1 - e_k)$$

همانطور که مشخص است، توابع هدف ذکر شده در تضاد با یکدیگر عمل می‌کنند و بهینه‌سازی با توجه به یک تابع هدف در یک زمان، منجر به انحراف از جواب بهینه در سایر توابع هدف می‌شود. در نتیجه بایستی برای بهینه‌سازی سه تابع هدف ذکر شده، از روشی استفاده نمود که به طور همزمان بهینه‌سازی تمام

اهداف را انجام دهد [۲۴]. همچنین، توابع هدف در مدل اصلی در بازه‌های مختلفی تغییر می‌کنند، لذا برای اینکه این تغییرات در جواب نهایی اثر گذار نباشند، از روش معیار جامع که یکی از روش‌های نرمال‌سازی است بهره گرفته می‌شود. در واقع، روش معیار جامع در جهت پیدا کردن یک سازش در بین همه اهداف عمل می‌کند، به صورتی که مجموع انحراف نسبی تمام اهداف از ارزش‌های مطلوب (Z_i^*) خود را کمینه سازد. در نتیجه تابع هدف نهایی با استفاده روش معیار جامع به صورت زیر بیان می‌گردد:

$$\min Z = w_1 \times \frac{Z_1 - Z_1^*}{Z_1^*} + w_2 \times \frac{Z_2^* - Z_2}{Z_2^*} + w_3 \times \frac{Z_3^* - Z_3}{Z_3^*} \qquad (۲۵)$$

همان‌طور که در رابطه (۲۵) مشخص است، در این روش برای در نظر گرفتن نظر تصمیم‌گیرنده نیز می‌توان وزن‌های متفاوتی به توابع هدف اختصاص داد، به گونه‌ای که w_i وزن توابع هدف بر اساس نظر تصمیم‌گیرنده[۲۴] بوده و رابطه $\sum_{i=1}^{3} w_i = 1$ برقرار است.

با این رویکرد، اگر مدیریت وزن بالاتری به یک تابع هدف بدهد، جواب به دست آمده در حالت بهینه‌سازی همزمان، به جواب بهینه تابع مورد نظر نزدیک‌تر است. در رابطه (۲۵) ابتدا مقادیر بهینه هر یک از توابع هدف(Z_i^*)، مستقل از دیگری و با در نظر گرفتن تمامی محدودیت‌های مسأله محاسبه شده و تابع هدف جدیدی طبق آنچه در رابطه مذکور نشان داده شده است، ایجاد می‌گردد. در نتیجه این تابع هدف که از روش معیار جامع حاصل گردیده، مسأله را به گونه‌ای حل می‌کند که تفاوت بین هر تابع هدف و مقدار بهینه آن حداقل گردد. با حل مجدد مدل شامل تابع هدف جدید و محدودیت‌های مدل اصلی مقادیر بهینه نسبی هر یک از توابع هدف به دست می‌آید. نکته حائز اهمیت در بهینه سازی مستقل توابع هدف بدین شرح است که در زمان حداقل‌سازی تابع Z_1، در صورتی که مقدار متغیر t محاسبه شده مقداری بزرگتر از صفر داشته باشد، بر اساس برنامه‌ریزی کسری[۲۵] جواب حاصل از تابع هدف اول (Z_1^P)، جواب بهینه مسأله (Z_1^*) است. اما در صورتی که مقدار صفر برای t حاصل گردد تابع زیر اجرا گردیده و جواب‌های حاصل از این مدل، جواب مسأله می‌باشد [۲۵]:

$$Max = t$$
$$st:$$
$$AX \le B$$
$$D(\sum_{k=1}^{n}(C_k q_k^{/} + A_k z_k) + \sum_{k=1}^{n}\frac{h_k}{2S_k}q_k^{/2}) = Z_1^P$$

این مدل تمام محدودیت‌های اصلی مسأله ($AX \le B$)که قبلا بیان گردید را دارا بوده و محدودیت جدیدی تحت عنوان $Z_1=Z_1^P$ نیز به این مجموعه اضافه گردیده است. همچنین کران بالای به دست آمده برای متغیر t، در روش تک هدفه نمودن معیار جامع و جلوگیری از تکرار این مراحل به عنوان پارامتر ورودی به کار گرفته می شود.

۵. مثال عددی و تجزیه و تحلیل داده ها

در این بخش برای مشاهده عملکرد مدل ارائه شده برای مسأله مذکور، مثال زیر مورد بررسی قرار گرفته و نتایج حاصل از حل آن با استفاده از نرم افزار لینگو ۸.۰ ارائه می‌گردد. جواب حاصل از نرم افزار لینگو برای تابع هدف اول، که از نوع حداقل‌سازی است، به صورت بهینه سراسری می باشد. دلیل آن نیز این است که تابع هدف اول ذکر شده در رابطه (۲۱)، درجه دوم بوده و شرایط تحدب را به دلیل همانی بودن ماتریس نگاشت و همچنین خطی بودن محدودیت‌ها دارا می‌باشد. در نتیجه جواب مؤثر حاصل از مدل ترکیبی که در رابطه (۲۵) بیان گریده است، با توجه به مجموعه وزن‌های مختلف (w_1, w_2, w_3)، نیز بهینه سراسری است؛ زیرا سایر توابع خطی بوده و با شرایط ذکر شده، نرم افزار لینگو بهینه سازی توابع را در حالت درجه دوم به طور مناسب انجام می‌دهد.

مثال مورد نظر بدین شرح می‌باشد که ۱۰ نقطه کاندیدا برای مکان‌یابی مراکز توزیع وجود دارد و مدیریت بر اساس تقاضای سالیانه (مقدار ۲۰۰۰ در سال) درصدد انتخاب ۵ مکان، برای احداث مراکز توزیع است، که نقش نمایندگی و انبارهای شرکت را درجهت پاسخگویی به تقاضا ایفا می‌کند. مکان تسهیلات مربوطه باید به گونه‌ای مشخص گردد که علاوه بر داشتن حداکثر فاصله ممکن از یکدیگر در راستای پوشش‌دهی بهتر بازار هدف، بایستی کاراترین نقاط نیز در جهت بهینه‌سازی هزینه‌های سیستم موجودی و تأمین تقاضا، انتخاب شوند.

همچنین، برای هر مکان کاندیدا یک ورودی (عوامل نامطلوبی که درصدد کاهش آن‌ها هستیم) و دو خروجی (عوامل مطلوبی که درصدد افزایش آن‌ها هستیم) به منظور سنجش کارایی در نظر گرفته شده است. هزینه استقرار مرکز توزیع در هر مکان به عنوان ورودی و میزان سودآوری هر مرکز توزیع در هر مکان به عنوان خروجی اول و میزان ضریب دسترسی به مرکز توزیع در هر مکان به عنوان خروجی دوم در این بخش تعریف شده است. با استناد به مرجع [۲۶و۲۷]، فاصله بین مکان‌های کاندیدا به صورت اقلیدسی در جدول ۲ و مقادیر ورودی و خروجی‌های هر مکان کاندیدا (واحد تصمیم‌گیری) در جدول ۳ نمایش داده شده است. سایر پارامترهای مثال عددی نظیر نرخ‌های هزینه‌ای و ظرفیت فروش در هر مکان کاندیدا، شبیه‌سازی گردیده و در جدول ۴ ذکر شده است.

جدول ۲. فواصل بین مکان‌های کاندیدا

مکان کاندیدا	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
۱	۰	۴۷	۷۱	۳۱	۴۶	۸۹	۹۷	۲۹	۶۴	۵۹
۲	۴۷	۰	۴۳	۷۱	۲۷	۴۷	۶۰	۲۳	۷۲	۵۵
۳	۷۱	۴۳	۰	۸۰	۲۶	۲۹	۲۸	۶۱	۵۰	۲۹
۴	۳۱	۷۱	۸۰	۰	۵۸	۱۰۴	۱۰۷	۵۸	۵۱	۵۷
۵	۴۶	۲۷	۲۶	۵۸	۰	۴۶	۵۱	۳۸	۴۶	۲۷
۶	۸۹	۴۷	۲۹	۱۰۴	۴۶	۰	۱۷	۷۰	۷۹	۵۸
۷	۹۷	۶۰	۲۸	۱۰۷	۵۱	۱۷	۰	۸۲	۷۴	۵۵
۸	۲۹	۲۳	۶۱	۵۸	۳۸	۷۰	۸۲	۰	۷۶	۶۳
۹	۶۴	۷۲	۵۰	۵۱	۴۶	۷۹	۷۴	۷۶	۰	۲۱
۱۰	۵۹	۵۵	۲۹	۵۷	۲۷	۵۸	۵۵	۶۳	۲۱	۰

جدول ۳. ورودی و خروجی‌های هر مکان کاندیدا

معیار / مکان	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
ورودی اول	۵۰	۴۰	۸۶	۷۳	۵۱	۷	۸۵	۳۰	۴	۱۰۰
خروجی اول	۶۹	۴۶	۶۱	۱۸	۵۳	۷۳	۹۵	۳۶	۸۷	۵۲
خروجی دوم	۷	۲۷	۶۶	۹۸	۶۳	۵۱	۵۲	۹۹	۸	۱۰

جدول ۴. نرخ‌های هزینه‌ای و فروش در هر مکان کاندیدا

مکان کاندیدا	A_k	S_k	C_k	h_k
۱	۴۰	۳۹۰	۴۳	۲.۲۹
۲	۲۸	۳۵۰	۳۹	۱.۹۶
۳	۲۵	۵۵۰	۴۲	۲.۷۴
۴	۳۹	۴۹۰	۳۰	۱.۵۴
۵	۳۷	۳۷۵	۴۳	۱.۷۵
۶	۲۹	۲۱۰	۴۰	۲.۰۱
۷	۳۲	۵۲۵	۳۷	۰.۹۹
۸	۲۱	۲۷۰	۳۲	۱.۵
۹	۴۱	۱۸۰	۳۸	۱.۸۱
۱۰	۳۳	۶۰۰	۳۵	۱.۹۵

جدول ۵. نتایج حاصل از بهینه سازی مستقل توابع هدف

تابع هدف	نوع مدل و جواب	مقدار بهینه تابع هدف (z_i^*)	نقاط انتخابی
z_1	INLP- Global Optimum	۶۸۱۳۵.۷۵	۱۰-۹-۸-۷-۴
z_2	ILP- Global Optimum	۱۳۴۸	۱۰-۷-۶-۴-۱
z_3	ILP- Global Optimum	۷.۳۰۲۲۲۲	۱۰-۹-۶-۴-۳

جدول ۶. مقادیر تخصیص سالیانه به مراکز توزیع منتخب با اوزان متفاوت

تخصیص سالیانه به $(w_1، w_2، w_3)$	مرکز ۱	توزیع ۱	مرکز ۲	توزیع ۲	مرکز ۳	توزیع ۳	مرکز ۴	توزیع ۴	مرکز ۵	توزیع ۵	مرکز ۶	توزیع ۶	مرکز ۷	توزیع ۷	مرکز ۸	توزیع ۸	مرکز ۹	توزیع ۹	مرکز ۱۰	توزیع ۱۰
(۱،۰،۰)	۰	۰	۰	۰	۰	۴۹۰	۰	۰	۰	۴۹۰	۰	۲۱۰	۰	۵۲۵	۲۷۰	۰	۱۱۵	۰	۶۰۰	۶۰۰
(۰،۱،۰)	۱۷۵	۰	۰	۰	۰	۴۹۰	۰	۰	۰	۴۹۰	۲۱۰	۰	۵۲۵	۰	۰	۰	۰	۰	۶۰۰	۶۰۰
(۰،۰،۱)	۰	۰	۰	۰	۵۲۰	۴۹۰	۰	۰	۰	۴۹۰	۲۱۰	۰	۰	۰	۰	۰	۱۸۰	۰	۶۰۰	۶۰۰
(۰.۵،۰.۵،۰)	۰	۰	۰	۰	۰	۴۹۰	۰	۰	۰	۴۹۰	۱۱۵	۰	۵۲۵	۰	۲۷۰	۰	۰	۰	۶۰۰	۶۰۰
(۰.۵،۰،۰.۵)	۰	۰	۰	۰	۰	۴۹۰	۰	۰	۰	۴۹۰	۲۰۵	۰	۵۲۵	۰	۰	۰	۱۸۰	۰	۶۰۰	۶۰۰
(۰،۰.۵،۰.۵)	۰	۰	۰	۰	۰	۴۹۰	۰	۰	۰	۴۹۰	۲۱۰	۰	۵۲۰	۰	۰	۰	۱۸۰	۰	۶۰۰	۶۰۰
(۰.۵،۰.۲۵،۰.۲۵)						۴۹۰							۵۲۵		۲۷۰		۱۱۵		۶۰۰	۶۰۰
(۰.۲۵،۰.۵،۰.۲۵)	۰	۰	۰	۰	۰	۴۹۰	۰	۰	۰	۴۹۰	۱۱۵	۰	۵۲۵	۰	۲۷۰	۰	۰	۰	۶۰۰	۶۰۰
(۰.۲۵،۰.۲۵،۰.۰.۵)	۰	۰	۰	۰	۰	۴۹۰	۰	۰	۰	۴۹۰	۲۰۵	۰	۵۲۵	۰	۰	۰	۱۸۰	۰	۶۰۰	۶۰۰
(۰.۴،۰.۳،۰.۳)	۰	۰	۰	۰	۰	۴۹۰	۰	۰	۰	۴۹۰	۱۱۵	۰	۵۲۵	۰	۲۷۰	۰	۰	۰	۶۰۰	۶۰۰
(۰.۳،۰.۴،۰.۳)	۰	۰	۰	۰	۰	۴۹۰	۰	۰	۰	۴۹۰	۱۱۵	۰	۵۲۵	۰	۲۷۰	۰	۰	۰	۶۰۰	۶۰۰
(۰.۳،۰.۳،۰.۴)	.	.	.	.	.	۴۹۰	۰	۰	۰	۴۹۰	۲۰۵	۰	۵۲۵	۰	۰	۰	۱۸۰	۰	۶۰۰	۶۰۰
(۰.۳۳،۰.۰.۳۳،۰.۳۴)	۰	۰	۰	۰	۰	۴۹۰	۰	۰	۰	۴۹۰	۱۱۵	۰	۵۲۵	۰	۲۷۰	۰	۰	۰	۶۰۰	۶۰۰

نتایج ذکر شده در جدول ۵، از بهینه‌سازی مستقل هر یک از توابع به دست آمده است. با بررسی این نتایج مشخص می‌گردد از بین تمام نقاط انتخابی، مکان‌های شماره ۴ و ۱۰ تنها نقاطی هستند که توان بهینه‌سازی همزمان سه تابع هدف این مسأله را دارا هستند. به عبارت دیگر با تغییر نوع تابع هدف یا مجموعه اوزان تخصیص یافته به هر یک از توابع هدف در بهینه‌سازی همزمان، منجر به عدم انتخاب هیچ کدام از این مکان‌های کاندیدا نخواهد شد. اگر تصمیم مدیریت، عدم تأمین تمام تقاضای موجود بود، انتخاب این دو مکان می‌توانست راه حل نهایی باشد. اما با توجه به ظرفیت‌های فروش هر یک از مکان‌های کاندیدا و فرض تأمین تمام تقاضا، بایستی انتخاب مکان‌های دیگری نیز انجام گیرد. در همین راستا، انتخاب سایر مکان‌های موردنیاز برای فعال‌سازی مراکز توزیع نیز با تغییر مجموعه اوزان و مطابق با جدول ۶ قابل انجام است. با توجه به جدول ۶ می‌توان گفت که مدل ترکیبی پیشنهادی به دنبال ایجاد یک توازن بین مفهوم کارایی، هزینه و پراکندگی است. برای بررسی عملکرد مدل، مجموعه اوزان مختلفی به توابع هدف تخصیص داده شده است، تا نحوه انتخاب مراکز بر اساس نظرات مختلف مدیریت مشاهده گردد. همان‌طور که مشخص است با افزایش وزن یکی از توابع هدف توسط تصمیم‌گیرنده، مدل ترکیبی سعی می‌کند نظر تصمیم گیرنده را اعمال نماید و جواب‌های حاصل را به جواب بهینه مستقل آن تابع نزدیک گرداند. به طور کلی انتخاب نقاط با توجه به هفت شرط زیر صورت می‌پذیرد:

- ✓ کارایی مراکز انتخابی حداکثر شود،
- ✓ هزینه سیستم موجودی حداقل گردد،
- ✓ پراکندگی مراکز انتخابی حداکثر گردد،
- ✓ نظر مدیریت برآورده شود(مجموعه اوزان توابع هدف)،
- ✓ تأمین تقاضای مشتریان صورت پذیرد،
- ✓ تجاوز از ظرفیت های فروش مراکز کاندیدا صورت نگیرد،
- ✓ مانع از احداث مرکز توزیع اضافه و اعمال هزینه اضافی شود.

از سوی دیگر با توجه به رابطه (۲۶) و (۲۷) می‌توان گفت که مقدار $q_k^{'}$ محاسبه شده در واقع درصدی از تقاضای کل موجود مشتریان است که توسط مرکز k ام پوشش داده می‌شود و تمام تقاضا تأمین می‌گردد:

$$q_k^{'} \le \frac{y_k S_k}{D} \Rightarrow \sum_{k=1}^{n} q_k^{'} \le \sum_{k=1}^{n} \frac{y_k S_k}{D} \overset{\sum_{k=1}^{n} q_k^{'} = 1}{\Rightarrow} D \le \sum_{k=1}^{n} y_k S_k \qquad (۲۶)$$

بر اساس رابطه (۲۶) ملاحظه می‌شود که تا زمانی که تقاضا به طور کامل تأمین گردد، انتخاب مراکز توزیع و تخصیص میزان کالا بر اساس ظرفیت فروش ادامه پیدا می‌کند. بنابراین به ترتیب پس از انتخاب هر مکان، جهت فعال‌سازی مرکز توزیع که توسط بهینه‌سازی توابع هدف ذکر شده صورت گرفته است، تخصیص سالانه میزان کالا به آن مرکز بر اساس حداکثر ظرفیت ممکن و به صورت درصدی از تقاضای سالیانه انجام می‌شود. سپس، تخصیص میزان کالای سالیانه به مرکز بعدی که مورد انتخاب قرار گرفته است، انجام می‌شود. در نتیجه میزان کل کالای تخصیصی به مراکز توزیع برابر با تقاضای سالیانه است و تمام تقاضا تأمین گردیده است:

$$q_k = q_k' D \Rightarrow \sum_{k=1}^{n} q_k = D \sum_{k=1}^{n} q_k' \Rightarrow Q = D \qquad (۲۷)$$

برای مثال، با بررسی سطر آخر جدول ۶ و حالت $(w_1, w_2, w_3) = (۰.۳۴, ۰.۳۳, ۰.۳۳)$، می‌توان بیان کرد که مدل پیشنهادی با توجه به ظرفیت‌های فروش مراکز، قادر است با انتخاب چهار مکان ۲، ۳، ۷، ۱۰ تقاضا مذکور را پوشش دهد. اما از آنجایی که انتخاب چهار مکان، به طور همزمان نمی‌تواند توابع کارایی، پراکندگی(پوشش دهی)، هزینه‌های سیستم موجودی را بهینه نماید، این عمل صورت نگرفته است. در نتیجه مدل مذکور، پنج مکان دیگر یعنی ۴، ۶، ۷، ۸ و۱۰را انتخاب نموده و فعال‌سازی یک مرکز توزیع اضافه را در راستای بهینه‌سازی همه اهداف مدیریت انجام داده است. همچنین نکته حائز اهمیت این است که در تمام مجموعه اوزان مورد بررسی، برخی از نقاط کاندیدا نظیر ۲ و ۵ توسط مدل ترکیبی، مورد انتخاب قرار نگرفته‌اند و علت این امر، عدم دارا بودن شرایط بهینگی این نقاط به دلیل پارامترهای هزینه‌ای و به خصوص ظرفیت فروش و... می‌باشد.

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این تحقیق، با ترکیب یکپارچه مدل تحلیل پوششی داده‌ها در مدل‌های مکان‌یابی-موجودی، تلاش شده است مدلی کاربردی برای تعیین مراکز توزیع کارای زنجیره‌تأمین و تخصیص کالا به این مراکز در یک زنجیره‌تأمین دوسطحی ارائه گردد. مدل ارائه شده با بهره‌گیری از برنامه‌ریزی چندهدفه و دارا بودن سه تابع هدف، سعی در مد نظر قرار دادن ابعاد مختلف مسأله ذکر شده در این تحقیق دارد. از ابعاد اصلی این مسأله که به عنوان توابع مدل ارائه شده در نظر گرفته شده است، می‌توان به مدیریت موجودی و کاهش هزینه‌های سیستم موجودی، افزایش کارایی انتخاب از بین مکان‌های بالقوه برای استقرار مراکز توزیع و همچنین پوشش‌دهی بهتر تقاضای مشتریان با توجه به حداکثرسازی پراکندگی مراکز توزیع اشاره نمود. لازم به ذکر است که افزایش پراکندگی مراکز توزیع با توجه معیاری نظیر پاسخگویی به مشتریان یا ظرفیت فروش، می‌تواند منجر به پوشش‌دهی مناسب تقاضای مناطق مختلف گردد. به بیان دیگر در این تحقیق، علاوه بر انجام همزمان فرآیند ارزیابی، انتخاب و تخصیص کالا به مراکز توزیع، از توجه صددرصدی به مبحث هزینه‌ها جلوگیری نموده و به مفهوم کارایی و حداکثرسازی پراکندگی ارزش داده شده است. در واقع، در نظر گرفتن همزمان اثرگذاری توابع و اهمیت‌دهی به تمامی ابعاد مسأله مطرح شده در این تحقیق، با استفاده از روش تغییر متغیر و یکپارچه‌سازی آن‌ها توسط روش معیار جامع انجام شده است. از زمینه‌های توسعه تحقیق حاضر نیز می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

۱. گسترش سطوح زنجیره تأمین مورد بررسی با در نظر گرفتن تأمین‌کنندگان،
۲. در نظر گرفتن کمبود تقاضا در سیستم توزیع،
۳. بررسی حالت رقابتی در مسأله مکان‌یابی مراکز توزیع با در نظر گرفتن ظرفیت محدود و حالت چند تولیدکننده،
۴. در نظر گرفتن تقاضای احتمالی یا فازی،
۵. توسعه مدل ترکیبی پیشنهادی برای حالت چند محصولی، به کارگیری سایر مدل‌های پراکندگی در مدل ترکیبی و مقایسه تطبیقی نتایج حاصل از آن‌ها.

پی نوشت

1. Chandra
2. Jayaraman & Pirkul
3. Curtin & Church
4. Erkut & Neuman
5. Max-Min-Min
6. Moon & Chaudhry
7. Max-Sum-Min
8. Max-Min-Sum
9. Hub distance
10. Max-Sum-Sum
11. Church & Garfinke
12. Farrel
13. Lee, Ha & Kim
14. Decision Making Unit
15. Klimberg & Ratick
16. Simultaneous Data Envelopment Analysis
17. Just In Time
18. Annual Cost of Production and Transportation
19. Annual Ordering Cost
20. Annual Inventory Holding Cost
21. Fractional
22. Global Optimal
23. Quadratic
24. Decision Maker
25. Fractional programing

مراجع

[1] Jain V, Tiwari MK, Chan F. Evaluation of the supplier performance using an evolutionary fuzzy-based approach, Journal of Manufacturing Technology Management, Vol. 15, No. 8, (2004), pp. 735-744.

[2] Levi DS, Kaminsky P, Levi ES. Designing and managing the supply chain: Concepts, strategies, and case studies, McGraw-Hill, (2003).

[3] Chopra S. Designing the distribution network in a supply chain, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol. 39, No. 2, (2003), pp. 123-140.

[۴] کرباسیان، مهدی؛ مظاهری، علی؛ سجادی، سید مجتبی؛ شیرویه زاد، هادی؛ عابدی، سعید (۱۳۹۳). ارائه مدلی جهت بهینه‌سازی زنجیره تأمین یکپارچه با استفاده از روش برنامه‌ریزی تصادفی چند هدفه، نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، دوره ۲۵، شماره ۲، صص. ۱۸۵-۲۰۴.

[۵] غضنفری، حسین؛ سید حسینی، سید محمد (۱۳۸۷). توسعه مدل بهینه هزینه کل توزیع لجستیک در شرایط یک تولیدکننده و چند انبار توزیع در مدیریت زنجیره تأمین (SCM)، نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، دوره ۱۹، شماره ۱، صص. ۱۱۷-۱۲۲.

[6] Chandra P. Coordination of production and distribution planning, European Journal of Operational Research, Vol. 72, No. 3, (1994), pp. 503–517.

[7] Jayaraman V, Pirkul H. Planning and coordination of production and distribution facilities for multiple commodities, European Journal of Operational Research, Vol. 133, No. 2, (2001), pp. 394-408.

[8] Yao Z, Lee LH, Jaruphongsa W, Tan V, Hui CF. 'Multi - source facility location – allocation and inventory problem, European Journal of Operational Research, Vol. 207, No. 2, (2010), pp. 750-762.

[9] Jabalameli M, Tabrizi BB, Javadi MM. Capacitated Facility location problem with variable coverage radius in distribution system, IJIEPR, Vol. 21, No. 4, (2010), pp. 231-237.

[10] Liao SH, Hsieh CL, Lai PJ. An evolutionary approach for multi-objective optimization of the integrated location – inventory distribution network problem in vendor-managed inventory, Expert Systems with Applications, Vol. 38, No. 6, (2011), pp. 6768-6776.

[11] Tancrez JS, Lange JC, Semal P. A location-inventory model for large three-level supply chains, Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol. 48, No. 2, (2012), pp. 485-502.

[12] Van Wijk ACC, Adan IJ, Van Houtum GJ. Optimal allocation policy for a multi-location inventory system with a quick response warehouse, Operations Research Letters, Vol. 41, No. 3, (2013), pp. 305-310.

[13] Nekooghadirli N, Tavakkoli-Moghaddam R, Ghezavati VR, Javanmard S. Solving a new bi-objective location-routing-inventory problem in a distribution network by meta-heuristics, Computers & Industrial Engineering, Vol. 76, (2014), pp. 204-221.

[14] Ahmadi-Javid A, Hoseinpour P. Incorporating location, inventory and price decisions into a supply chain distribution network design problem, Computers & Operations Research, Vol. 56, (2015), pp. 110–119.

[15] Zanjirani Farahani R, SteadieSeifi M, Asgari N. Multiple criteria facility location problems: A survey, Applied Mathematical Modelling, Vol. 34, No. 7, (2010), pp. 1689–1709.

[16] Curtin KM, Church RL. A Family of Location Models for Multiple-Type Discrete Dispersion, Geographical Analysis, Vol. 38, (2006), pp. 248–270.

[17] Erkut E, Neuman S. Comparison of four models for dispersing facilities, INFOR, Vol. 29, No. 2, (1990), pp. 68-86.

[18] Moon DI, Chaudhry SS. An analysis of network location problems with distance constraints, Management Science, Vol. 30, No. 3, (1984), pp. 290-307.

[19] Church RL, Garfinke RS. Locating an obnoxious facility on a network, Transportation Science, Vol. 12, (1978), pp. 107-118.

[20] Färe RSG, Lovell CK. The Measurements of Efficiency of Production, Boston: Kluwer Nijhoff, (1985).

[21] Farrel MJ. The measurement of productive efficiency, Journal of the royal statistical society: series A, Vol. 120, No. 3, (1957), pp. 253-281.

[22] Lee EK, Ha S, Kim SK. Supplier selection and management system considering relationships in supply chain management, Transactions on Engineering Management, Vol. 48, No. 3, (2001), pp. 307-318.

[23] Klimberg RK, Ratick SJ. Modeling data envelopment analysis (DEA) efficient location/allocation decisions, Computers & Operations Research, Vol. 35, (2008), pp. 457-474.

[24] Miettinen K. Nonlinear Multi-Objective Optimization. Boston, Kluwer Academic Publishers, (1999).

[25] Dantzig GB. Linear Programming and Extensions, Princeton University Press, Ed. 3, (1998).

[۲۶] کرباسیان، مهدی؛ دشتی، مهدی؛ اسدالهی، احمدرضا (۱۳۹۰). مدل ترکیبی تحلیل پوششی داده ها و مکان‌یابی تسهیلات حساس با ملاحظه اصل پراکندگی، علوم و فناوری های پدافند غیر عامل، دوره ۲، شماره ۳، صص. ۱۶۱-۱۶۷.

[۲۷] جبل‌عاملی، محمدسعید؛ شهانقی، کامران؛ حسنوی، رضا؛ نصیری، محمدرضا (۱۳۸۸). ارائه مدل ترکیبی مکان یابی تسهیلات حساس، نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، دوره ۲۰، شماره ۴، صص. ۶۵-۷۶.