International Journal of Industrial Engineering & Production Management (2017)

December 2017, Volume 28, Number 4
Pp 603 - 618

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

A Location-Inventory Model for Perishable Products in Global Supply Chain

Azadeh Mahmoudi, Seyed Mohammad Seyedhosseini* & Mir Saman Pishvaee

Azadeh Mahmoudi, *Graduate Student, University of Science and Technology, Department of Industrial Engineering*
Seyed Mohammad Seyedhosseini, *Professor, University of Science and Technology, Department of Industrial Engineering*
Mir Saman Pishvaee, *Assistant Professor, University of Science and Technology, Department of Industrial Engineering*

Keywords

Global supply chain;
Location;
Inventory;
Perishability

ABSTRACT

Nowadays globalization of trade and emersion of international companies have increased the importance of global supply chain networks. In the other hand, considering the long-term, costly and time consuming effects of network design decisions such as facilities location, the optimum design of global supply chain network is important to decrease the costs and increase the profit of international companies. In this paper a novel location-inventory-allocation model in global supply chain has been developed to maximize the profit of production and distribution centers by considering perishability of products. In addition, this model is designed so that prevents expiration of raw materials and products. To demonstrate the efficiency and applicability of the proposed model, we select the Zarmacaron company as a case study, run the model on it and do sensitivity analysis on main parameters.

© 2017 IUST Publication, IJIEPM Vol. 28, No. 4, All Rights Reserved

نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنـــایع و مدیـــریت تولیـــد

شمـــاره ۴، جلـــد ۲۸، زمستان ۱۳۹۶

صفحـــه ۶۰۴-۶۱۸

ISSN: 2008-4870

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

طراحی مدل مکان‌یابی-موجودی محصولات فسادپذیر در زنجیره تأمین جهانی

آزاده محمودی، سیدمحمد سیدحسینی* و میرسامان پیشوایی

کلمات کلیدی

زنجیره تأمین جهانی،
مکان‌یابی،
موجودی،
فسادپذیری

چکیده:

امروزه جهانی شدن تجارت و پیدایش شرکت‌های جهانی باعث توجه بیشتر به شبکه‌های زنجیره تأمین جهانی شده است. از سوی دیگر با توجه به این که تصمیمات طراحی شبکه از قبیل مکان‌یابی تسهیلات از آن دسته تصمیماتی است که دارای اثرات بلندمدت، پرهزینه و زمان‌بر می‌باشد، طراحی بهینه شبکه زنجیره تأمین جهانی به منظور کاهش هزینه‌ها و افزایش سودآوری شرکت‌های بین‌المللی از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار می‌باشد. در این مقاله یک مدل جدید مکان‌یابی و موجودی برای زنجیره تأمین جهانی به منظور حداکثرسازی سود مراکز تولید و توزیع با درنظرگرفتن فسادپذیری محصولات ارائه شده است. سپس برای نشان دادن کارایی مدل پیشنهادی، شرکت زرماکارون به عنوان مطالعه موردی، مورد بررسی قرار گرفته، مدل بر روی آن اجرا و نتایج و تحلیل حساسیت گزارش شده است.

۱. مقدمه

مدیریت زنجیره تأمین فقط محدود به محیط داخلی نیست و می‌تواند از مرزهای ملی فراتر رود. در آخرین دهه‌های قرن بیستم شاهد گسترش قابل توجهی از زنجیره‌های تأمین در مکان‌های بین‌المللی به‌ویژه در صنایع خودروسازی، رایانه و پوشاک بوده‌ایم [۱]، [۲] و [۳].

در سال‌های اخیر با توجه به رشد فناوری‌های ارتباطی و حمل‌ونقل، جهان کوچک‌تر از سابق بـه نظـر مـی‌رسـد، لـذا تجمـع و فعالیـت شرکت‌ها در شرایط بین‌المللی تبدیل بـه رویـه‌ای معمـولی شـده و شرکت بخـش کـوچکی از مفهـوم کـلان کسـب‌وکـار شـده اسـت. تولیدکنندگان ممکن است در فاصله‌ای بسیار دور از تأمین‌کنندگان و یا مصرف‌کنندگان خود باشند [۴].

تاریخ وصول: ۹۴/۱۱/۱۹

تاریخ تصویب: ۹۶/۷/۱۲

آزاده محمودی، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، **a_mahmoudi@ind.iust.ac.ir**

میرسامان پیشوایی، استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، **pishvaee@iust.ac.ir**

*نویسنده مسئول مقاله: **سیدمحمد سیدحسینی**، استاد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، seyedhosseini@iust.ac.ir

در واقع شرایط محیطی به گونه‌ای شده که شرکت‌های دات-کام و هم‌چنین سازمان‌های با اقتصاد سنتی به فکر لجستیک مشارکتی افتاده‌اند [۵].

زنجیره تأمین جهانی در یک تعریف ساده، زنجیره تأمینی است که اعضای آن شامل تأمین‌کننده، تولیدکننده، توزیع‌کننده و مشتری و ... در بیش از یک کشور مستقر شده‌اند. در واقع جهانی شدن تجارت منجر به پراکندگی گسترده تسهیلات و تجهیزات در زنجیره گردیده است [۶] که این موضوع باعث افزایش اهمیت و نقش طراحی شبکه در زنجیره‌های تأمین جهانی شده است. تصمیمات مربوط به طراحی شبکه زنجیره تأمین از جمله مهم‌ترین تصمیمات استراتژیک در مدیریت زنجیره تأمین می‌باشد که کارایی و اثربخشی زنجیره را برای سال‌های زیادی تحت تأثیر قرار می‌دهد [۷]. طراحی شبکه شامل تصمیماتی برای تعیین محل (مکان‌یابی)، تعداد، سطوح ظرفیت و جریان بین سطوح مختلف زنجیره تأمین می‌باشد [۸].

در طراحی شبکه زنجیره تأمین جهانی، اتخاذ تصمیمات مذکور با درنظرگرفتن پارامترهای جهانی از قبیل نرخ ارز، مالیات، تعرفه های گمرکی، و ... انجام می‌شود. این مسأله که هزینه‌های نیروی انسانی، قوانین دولتی، مالیات و عوارض در محیط‌های بین‌المللی به

سرعت در حال تغییر است باعث افزایش جذابیت بحث مکان‌یابی گردیده است [۹].

از آن‌جایی که تصمیمات طراحی شبکه از آن دسته تصمیماتی است که دارای اثرات بلندمدت، پرهزینه و زمان‌بر می‌باشد، و هم‌چنین وضعیت جهانی به سرعت در حال تغییر امروزه، شرکت‌ها و زنجیره‌های تأمین آن‌ها، به طور مستمر با چالش طراحی شبکه زنجیره تأمین و استراتژی‌های فراهم‌آوری محصول و خدمات موردنظر مشتریان در کمترین هزینه‌ی ممکن در حالی که سود ویژه شرکت‌ها حداکثر گردد، روبرو هستند [۱۰]. از این رو طراحی بهینه شبکه زنجیره تأمین جهانی به منظور کاهش هزینه‌ها و افزایش سودآوری شرکت‌های بین‌المللی از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار می‌باشد. هم‌چنین با توجه به این که تصمیمات تاکتیکی و میان‌مدت مانند توزیع، روش حمل و نقل مناسب، مقدار موجودی نگهداری شده در انبارها و تصمیمات عملیاتی و کوتاه‌مدت مانند مدیریت جریان کالا بین تسهیلات بعد از پیاده‌سازی تصمیمات استراتژیک صورت می‌پذیرند، ساختار شبکه نقش مهمی در اتخاذ این تصمیمات دارد. لذا به منظور اجتناب از زیربهینگی ناشی از تصمیم‌گیری مجزا در سطوح استراتژیک، تاکتیکی و عملیاتی، بهتر است این تصمیمات به صورت یکپارچه در طراحی شبکه لحاظ شوند [۱۱]. از طرفی در دنیای رقابتی امروز، درنظرگرفتن یکپارچه و هم‌زمان تصمیمات استراتژیکی، تاکتیکی و عملیاتی در زنجیره تأمین می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای در کاهش هزینه زنجیره نقش داشته باشد. بنابراین مدل‌هایی که هم‌زمان به این موارد توجه می‌نمایند کاراتر به نظر می‌رسند. در این‌جا، مهم‌ترین مطالعاتی که از سال ۱۹۸۲ تاکنون در زمینه طراحی شبکه زنجیره تأمین جهانی انجام شده‌اند، مورد بررسی قرار می‌گیرند.

تحقیقات اولیه روی مسائل مکان‌یابی جهانی کارخانه، توسط مقالات هودر و جوکر [۱۲] و [۱۳] در سال‌های ۱۹۸۲ و ۱۹۸۵و مقاله هودر و دینسر [۱۴] در سال ۱۹۸۶ پدیدار گردید. هودر و جوکر، یک مدل برنامه‌ریزی درجه دوم عدد صحیح آمیخته برای مسأله مکان‌یابی تسهیلات در سطح بین‌المللی تحت عدم قطعیت نرخ ارز و قیمت ارائه دادند. مدل آن‌ها، به صورت تک دوره‌ای، با درنظرگرفتن پارامترهای جهانی نرخ ارز، تعرفه‌های گمرکی و مالیات ارائه شده است. هدف مدل پیشنهادی توسط آن‌ها، حداکثرسازی سود کل می‌باشد و از رویکرد میانگین-واریانس برای مدل‌سازی مسأله استفاده شده و برای حل این مسأله یک الگوریتم ابتکاری مبتنی بر روش شاخه و کران توسعه داده شده است[۱۳]. هودر و دینسر، در پژوهش خود، مسائل مکان‌یابی کارخانه و تصمیمات تأمین مالی را به طور هم‌زمان در نظر گرفتند و یک مدل تک دوره‌ای برای تعیین بهترین مکان، جریان مواد و الگوهای تأمین مالی توسعه داده‌اند. هدف مدل‌آن‌ها، حداکثرسازی سود پس از کسر مالیات تحت عدم قطعیت نرخ ارز و قیمت بوده است و پارامترهای جهانی در نظر گرفته شده در آن پژوهش، نرخ ارز، مالیات و تعرفه‌های گمرکی بوده است و برای حل آن از دو روش حل، یکی بسته نرم‌افزاری Lindo به همراه روش شاخه و کران و دیگری جستجوی گرادیان به همراه شاخه و کران استفاده شده است [۱۴]. کنل و خوماوالا، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح آمیخته چند دوره‌ای برای حل مسأله مکان‌یابی تسهیلات بین‌المللی، با ظرفیت محدود و نامحدود توسعه دادند که هدف مدل پیشنهادی، حداکثرسازی سود پس از کسر مالیات شامل هزینه‌های سرمایه‌گذاری، ثابت، حمل‌ونقل، کمبود و نگهداری موجودی می‌باشد. مسأله مذکور در فضای قطعی و شامل تعدادی از ویژگی‌های مربوط به زنجیره تأمین جهانی از جمله نرخ ارز، نرخ مالیات، تعرفه‌ها و انگیزه‌های صادرات مستقیم است و برای حل آن از نرم‌افزار Lindo استفاده شده است [۱۵]. سیام، مدلی برای مسأله مکان‌یابی تسهیلات با درنظرگرفتن محدودیت در تعداد کارخانجات باز، محدودیت در تعداد کارخانجات باز در مناطق خاص و دسترسی به تعدادی گزینه‌های ظرفیت در هر مکان ارائه داد. مدل مذکور، با هدف حداقل‌سازی هزینه، تصمیمات مربوط به تعیین مکان تسهیلات، ظرفیت هر تسهیل در هر مکان و مقدار کالای حمل شده بین تسهیل و بازار را مشخص می‌کند و برای حل آن، یک الگوریتم ابتکاری مبتنی بر آزادسازی لاگرانژ ارائه شده است. نکته قابل توجه در پژوهش او، این است که هیچ پارامتر جهانی در نظر گرفته نشده است. مونسون و روسنبلات، در پژوهش خود، تصمیمات مربوط به انتخاب مکان تولید و انتخاب تأمین کننده را به طور هم‌زمان در نظر گرفتند و نکته مهم این که محدودیت محتوای محلی نیز در آن مد نظر قرار گرفته شده است و مسأله در قالب یک مساله برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح آمیخته به صورت تک دوره‌ای و قطعی مدل‌سازی شده است. نقطه ضعف پژوهش آن‌ها، این است که از هیچ پارامتر جهانی در مدل به صراحت استفاده نشده است [۱۶]. بدری، ترکیبی از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و برنامه‌ریزی آرمانی (GP) را برای تصمیمات مکان‌یابی ارائه نموده است. AHP-GP یک رویکرد برنامه‌ریزی به صورت چند هدفه است که به دنبال انتخاب مکان با بالاترین وزن AHP و حداقل سازی انحرافات کل در تابع هدف با توجه به اهداف و مقاصد مختلف است و شامل دو متغیر تصمیم مربوط به احداث کارخانه و مقدار کالای حمل شده از هر کارخانه به مرکز توزیع است [۱۷]. شیو و لین، یک مدل برنامه‌ریزی سلسله مراتبی جدید برای پیکره‌بندی شبکه لجستیک جهانی ارائه داده‌اند. روش پیشنهادی توسط آن‌ها، از ادغام روش تجزیه و تحلیل خوشه‌ای سلسله مراتبی و برنامه‌ریزی عدد صحیح حاصل شده است. تدوین و مدل‌سازی مسأله ارائه شده توسط آن‌ها، شامل مراحل عملیات خوشه‌بندی سلسله مراتبی نقاط تقاضا، تعیین

تعداد و نوع تسهیلات و تعیین مکان تسهیلات می باشد. مدل برنامه‌ریزی چندهدفه پیشنهادی، به طور سیستماتیک هزینه پیکره‌بندی شبکه را حداقل و سود عملیاتی و نرخ رضایت مشتری را حداکثر می‌نماید. در مدل آن‌ها، ریسک تغییر نرخ ارز، ریسک سیاسی، ریسک بلایای طبیعی، ریسک پرسنل و ریسک‌های عملیاتی در نظر گرفته شده است [۱۸]. حمامی و فرین، یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح آمیخته برای حداقل‌سازی هزینه طراحی زنجیره تأمین جهانی هم‌زمان با درنظرگرفتن محدودیت‌های زمان تحویل ارائه نمودند. در پژوهش آن‌ها، یک شبکه زنجیره تأمین چندسطحی با مجموعه‌ای از تأمین‌کنندگان و تسهیلات تولید در نظر گرفته شده است که تسهیلات تولید هم شامل سایت‌های تولید و هم مراکز توزیع می‌باشد. تصمیمات اصلی مدل آن‌ها، شامل مکان‌یابی تسهیل، انتخاب تأمین‌کننده و تعیین موجودی لازم، مقدار محصول خریداری شده از هر تأمین کننده، مقدار کالای تولید شده در هر تسهیل تولید، مقدار کالای حمل شده بین دو تسهیل و بین تسهیل و مشتری می‌باشد[۱۹]. حمامی و فرین در پژوهشی دیگر، یک مدل بهینه‌سازی برای حداکثرسازی سود برای طراحی مجدد زنجیره‌های تأمین جهانی توسعه دادند که این مدل با قیمت‌گذاری انتقال ادغام شده است. مسأله بررسی شده توسط آن‌ها، شامل تعدادی تأمین‌کننده و تعدادی سایت تولید و توزیع جایگزین پراکنده در سطح جهان می‌باشد و با استفاده از مدل ارائه شده توسط آن‌ها، تصمیمات مکان‌یابی/ تغییر مکان فعالیت‌ها، برنامه‌ریزی ظرفیت، انتخاب تأمین‌کنندگان خارجی و تعیین قیمت انتقال. این تصمیمات بر اساس معیارهای اقتصادی (فاکتورهای هزینه) و مالی (مالیات بر درآمد، نرخ ارز) برای حداقل‌سازی سود جهانی شرکت پس از کسر مالیات اتخاذ می‌گردند[۲۰]. جمال‌نیا و همکاران، یک الگوریتم یکپارچه برای برخورد با مسأله مکان‌یابی تسهیلات جهانی پیشنهاد داده‌اند. در پژوهش آن‌ها، مفهوم مجموعه‌های فازی برای برخورد با ماهیت مبهم قضاوت تصمیم‌گیرندگان گنجانده شده است. رویکرد پیشنهادی توسط آن‌ها، شامل دو مرحله است: ۱) مرتب‌سازی مکان‌های جایگزین تسهیل براساس پارامترهای نزدیکی به مشتریان، دسترسی به مواد اولیه، دسترسی به نیروی کار، دسترسی به زیرساخت‌های لازم، مشوق‌های دولتی، نزدیکی به خطوط حمل‌ونقل و جذابیت منطقه با استفاده از روش F-QFD ۲) ترکیب نتایج مرحله‌ی یک با F-GP برای درنظرگرفتن محدودیت منابع و محدودیت‌های عملیاتی در مسأله مکان‌یابی-تخصیص بین المللی [۱۹]

با مطالعه ادبیات موضوع می‌توان دریافت که مدل‌های ارائه شده در این حوزه بسیار ساده و دور از واقعیت به نظر می‌رسند. عدم توجه کافی به پارامترهای مالی جهانی نظیر نرخ ارز، حقوق گمرکی، مالیات، بیمه حمل و نقل بین‌المللی و ... از ضعف‌های عمده ادبیات این حوزه به حساب می‌آید. علاوه بر این در اکثر مقالات این حوزه مدل‌سازی به صورت تک دوره‌ای و تک محصولی در نظر گرفته شده است، در حالی که در واقعیت این‌چنین نیست. از طرف دیگر امروزه، اهمیت کنترل موجودی به عنوان یک مسأله حیاتی در تمامی قسمت‌های اقتصاد، مدیریت زنجیره تامین و غیره آشکار شده است و مشخص است که بکارگیری روش‌های مناسب و کارآمد برای کنترل موجودی نه تنها سبب کاهش هزینه‌ها می‌شود، بلکه باعث جریان روان مواد و محصولات و خدمت از تامین-کنندگان تا مشتریان نهایی در جریان زنجیره تامین می‌شود. هم‌چنین اغلب محققین فرض کرده‌اند که محصولات دارای عمر نامحدود می‌باشند و کیفیت و کاربرد آن‌ها در طول زمان تغییر نمی‌کند. در زنجیره تأمین‌های جهانی به علت زیاد بودن فاصله جغرافیایی بین سطوح زنجیره، بحث‌های نگهداری موجودی به منظور پاسخ‌گویی به موقع به تقاضای مشتریان و هم‌چنین فسادپذیری محصولات بحث بسیار مهمی باشد که در مقالات این حوزه توجه چندانی بدان نشده است. از این رو در این پژوهش به منظور واقعی و کاربردی‌تر نمودن مدل ریاضی پیشنهادی، سعی شده تمامی موارد مذکور در مدل‌سازی در نظر گرفته شود و یک مدل طراحی شبکه برای زنجیره تأمین جهانی ارائه گردد که کیفیت تصمیمات استراتژیک و تاکتیکی اتخاذ شده را به شدت افزایش می‌دهد و نتایج به دست آمده را کاربردی و قابل استفاده در صنایع مختلف می‌نماید. در این مقاله تصمیمات مربوط به نگهداری موجودی مواد اولیه و محصولات در مراکز تولید و توزیع به طور هم‌زمان با تصمیمات مکان‌یابی مراکز توزیع، اتخاذ می‌گردند. نوآوری دیگر این پژوهش نسبت به مطالعات پیشین، درنظرگرفتن مسأله فسادپذیر بودن محصولات و هم‌چنین درنظرگرفتن هم‌زمان تمامی پارامترهای کمی تأثیرگذار در تصمیمات مربوط زنجیره تأمین‌های جهانی شامل نرخ مالیات، نرخ ارز، حقوق وارداتی و بیمه حمل و نقل بین‌المللی در مدل‌سازی می‌باشد. مدل ارائه شده، طوری طراحی شده که محصولات در زمان مناسبشان به دست مشتری برسند و هیچ محصولی فاسد نشود و برای این‌که شرایط مسأله به شرایط دنیای واقعی نزدیک‌تر شود، محدودیت ظرفیت جریان بین مراکز تولید و توزیع نیز لحاظ گردیده است. به طور کلی در این مقاله، تصمیمات مربوط به انتخاب بهترین مکان برای احداث مراکز توزیع، تخصیص مراکز توزیع به مشتریان، سطح موجودی بهینه انواع مواد اولیه و محصولات در هر یک از سطوح زنجیره، تعیین مقدار بهینه تولید و جریان مواد اولیه و محصولات بین سطوح مختلف زنجیره با درنظرگرفتن فسادپذیری آن‌ها با هدف حداکثرسازی سود مراکز تولید و توزیع اتخاذ می‌گردد.

ادامه پژوهش حاضر به ترتیب زیر سازمان یافته است:

در بخش دوم این نوشتار به تشریح مسأله و در بخش سوم به ارائه مدل ریاضی پیشنهادی پرداخته می‌شود. در بخش چهارم پیاده‌سازی و ارزیابی مدل پیشنهادی روی مطالعه موردی و در بخش پنجم، جمع‌بندی و پیشنهادهای آتی ارائه می‌گردد.

۲. تشریح مسأله

شبکه زنجیره تأمین در نظر گرفته شده در این پژوهش، دارای چهار سطح تأمین‌کننده، تولیدکننده، توزیع‌کننده و مشتری (عمده‌فروش) می‌باشد و به دلیل ادغام تصمیمات استراتژیک و تاکتیکی، مدل تحت یک افق برنامه‌ریزی بلندمدت چند دوره‌ای ارائه گردیده است.

در این زنجیره، تأمین‌کنندگان و تولیدکنندگان همگی در یک کشور (کشور پایه) مستقر می‌باشند و مکان آن‌ها از قبل مشخص می‌باشد. مراکز توزیع بالقوه به صورت دو مجموعه مراکز توزیع داخلی (مستقر در همان کشوری که مراکز تولید قرار دارند) و خارجی (مستقر در سایر کشورها) در نظر گرفته شده است و مشتریان در کشورهای خارجی مستقر می‌باشند. به عبارت دیگر مدل‌سازی مسأله برای شبکه صادراتی زنجیره انجام شده است. مراکز تولید قصد دارند، مراکز توزیعی را در کشور خود و یا کشورهای دیگر تحت مالکیت خود احداث نماید به گونه‌ای که سود تسهیلات تحت مالکیت خود (مراکز تولید و توزیع) را بیشینه نمایند. به عبارت دیگر، با توجه به این که مشتریان در کشورهای مختلف پراکنده شده‌اند، تولیدکنندگان به دنبال پاسخ این پرسش هستند که از بین مکان‌های بالقوه احداث مراکز توزیع در کشورهای مختلف، کدام یک با توجه به معیارهای نرخ ارز، مالیات، حقوق و عوارض گمرکی و ...، بهترین مکان برای احداث مراکز توزیع می‌باشند. در ضمن این که به دلیل فسادپذیر بودن محصولات، مسأله به نحوی مدل‌سازی می‌شود که برنامه‌ریزی تولید، توزیع و نگهداری موجودی مواد اولیه و محصولات به گونه‌ای صورت پذیرد که محصولات قبل از اتمام تاریخ انقضا به مشتریان عرضه شوند و در کل هیچ یک از محصولات در سیستم فاسد نگردد.

۳. مدل‌سازی مسأله

در این بخش مسأله تشریح شده در قسمت قبل را به صورت ریاضی مدل‌سازی می‌کنیم.

۳-۱. مفروضات مسأله

با توجه به آن‌چه ارائه گردید فرض‌هایی که برای مدل‌سازی مسأله در نظر گرفته شده‌اند، عبارتند از:

- ✓ زنجیره تأمین، جهانی بوده است و سطوح مختلف زنجیره در بیش از یک کشور پراکنده شده‌اند (سطوح تأمین و تولید در یک کشور، مراکز بالقوه توزیع و مشتریان در کشورهای مختلف مستقر هستند).

لازم به ذکر است که در مدل‌سازی مسأله پارامترهای جهانی نرخ ارز، حقوق و عوارض گمرکی و مالیات و ... در نظر گرفته شده است.

- ✓ تعداد و محل قرارگیری تأمین‌کنندگان، مراکز تولید و مشتریان (عمده‌فروشان) ثابت و از قبل مشخص می‌باشد.
- ✓ تعداد و محل قرارگیری مراکز توزیع از قبل مشخص نمی‌باشد.
- ✓ هر یک از تأمین‌کنندگان در نظر گرفته شده دارای قابلیت عرضه تمام مواد اولیه هستند و هیچ یک از آنها دارای محدودیت تأمین نبوده و قادر به تولید تمام مقدار سفارش داده شده هستند.
- ✓ ظرفیت تسهیلات در سطح تولیدکنندگان محدود می‌باشد.
- ✓ ظرفیت انبار مواد اولیه و محصولات در مراکز تولید و توزیع محدود می‌باشد.
- ✓ مدل ارائه شده چند دوره‌ای و چند محصولی می‌باشد.
- ✓ مراکز مشتری به صورت تک‌منبعی در نظر گرفته شده است. به این معنا که تقاضای هر مرکز مشتری فقط از طریق یک مرکز توزیع پاسخ داده می‌شود.
- ✓ مراکز تولید و مراکز توزیع دارای ذخیره اطمینان هستند.
- ✓ امکان ارسال کالا فقط بین سطوح متوالی زنجیره تأمین وجود دارد.
- ✓ تقاضای مشتریان باید در هر دوره پاسخ داده شود و امکان برآورده‌سازی آن در دوره‌های بعدی وجود ندارد.
- ✓ موجودی مواد اولیه و کالای تولیدشده در مراکز تولید و توزیع از یک دوره به دوره بعد منتقل می‌شود.
- ✓ حقوق و عوارض وارداتی در کشورهای بالقوه احداث مراکز توزیع، براساس ارزش CIF کالا محاسبه می‌گردد. منظور از ارزش CIF کالا مجموع قیمت کالا، هزینه‌های حمل و بیمه حمل و نقل کالا بین دو کشور تولید و توزیع می‌باشد که واردکنندگان کالا، باید درصدی از این ارزش را به عنوان حقوق و عوارض وارداتی به اداره گمرک کشور خود پرداخت نمایند.
- ✓ با توجه به این که صادرات تقریباً در تمامی کشورها معاف از پرداخت حقوق و عوارض صادراتی می‌باشد، در این مدل نیز حقوق و عوارض صادراتی در نظر گرفته نشده است.
- ✓ محصولات فسادپذیر بوده و دارای عمر قفسه‌ای می‌باشند و مدت انقضای هر یک از آن‌ها مضرب صحیحی از طول دوره-ها می‌باشد.
- ✓ سیستم مدیریت انبار محصولات FIFO می‌باشد.

- ✓ با توجه به این که در تجارت و معاملات بین‌المللی، لازم است که تمامی دریافت‌ها و پرداخت‌ها براساس یک ارز بین‌المللی مورد توافق طرفین معامله انجام شود، در این پژوهش نیز تمامی دریافت‌ها و پرداخت‌هایی که بین کشورها انجام می‌شود، بر اساس دلار که ارز بین‌المللی مورد توافق تمام کشورها می‌باشد در نظر گرفته شده است.
- ✓ واحد پول پایه، واحد پول کشور مرکز تولید (شرکت مادر) می‌باشد.
- ✓ هزینه حمل و بیمه در ارسال کالا بین مرکز تولید و مرکز توزیع بر عهده مرکز تولید می‌باشد.

تمامی هزینه‌های حمل و بیمه در ارسال کالا بین مراکز توزیع و مشتریان بر عهده مشتری می‌باشد.

۳-۲. مجموعه‌ها

S: مجموعه نقاط ثابت تأمین کنندگان با اندیس s

I: مجموعه نقاط ثابت تولیدکنندگان با اندیس i

J: مجموعه نقاط بالقوه برای محل قرارگیری مراکز توزیع با اندیس j

J^h: مجموعه نقاط بالقوه برای محل قرارگیری مراکز توزیع داخلی

J^f: مجموعه نقاط بالقوه برای محل قرارگیری مراکز توزیع خارجی؛

$J^h \cup J^f = J \, , J^h \cap J^f = \emptyset$

K: مجموعه نقاط ثابت استقرار مشتریان با اندیس k

P: مجموعه محصولات با اندیس p

E: مجموعه مواد اولیه با اندیس e

T: مجموعه دوره برنامه‌ریزی با اندیس t

۳-۳. پارامترها

TR_i^t نرخ مالیات بر درآمد مرکز تولید i در دوره t. در صورتی که مرکز تولید ضرر کند، نرخ مالیات صفر می‌باشد.

TR_j^t: نرخ مالیات بر درآمد مرکز توزیع j در دوره t. در صورتی که مرکز توزیع ضرر کند، نرخ مالیات صفر می‌باشد.

EX_t: نرخ ارز در دوره t

DR_{jp}^t: تعرفه گمرکی واردات محصول p به کشور مرکز توزیع j در دوره t

D_{kp}^t: مقدار تقاضای مشتری k برای محصول p در دوره t

PP_{sie}^t: قیمت خرید هر واحد ماده اولیه نوع e از تأمین کننده s توسط مرکز تولید i در دوره t به واحد پول پایه

SP_{jp}^t: قیمت فروش محصول نوع p توسط مرکز توزیع $j \epsilon J^f$ به مشتری k در انتهای دوره t به دلار

$SP_{jp}^{\prime t}$: قیمت فروش محصول نوع p توسط مرکز توزیع $j \epsilon J^h$ به مشتری k در انتهای دوره t به واحد پول پایه

PF_{ijp}^t: قیمت فروش محصول نوع p منتقل شده از مرکز تولید i به مرکز توزیع $\boldsymbol{j \epsilon J^f}$ در دوره t به دلار

PI_{ip}^t: قیمت فروش محصول نوع p منتقل شده از مرکز تولید i به مرکز توزیع $\boldsymbol{j \epsilon J^h}$ در دوره t به واحد پول پایه

LP_{ip}^t: حداقل ظرفیت تولید محصول p در مرکز تولید i در دوره t

UP_{ip}^t: حداکثر ظرفیت تولید محصول p در مرکز تولید i در دوره t

$CAP1_j$: حداکثر ظرفیت پردازش در مرکز توزیع j

$CAP1_i$: حداکثر ظرفیت ذخیره‌سازی انبار مواد اولیه در مرکز تولید i (بر حسب حجم)

$CAP2_i$: حداکثر ظرفیت ذخیره‌سازی انبار محصولات در مرکز تولید i (بر حسب حجم)

$CAP2_j$: حداکثر ظرفیت ذخیره‌سازی انبار محصولات در مرکز توزیع j (بر حسب حجم)

LQ_{ij}: حداقل ظرفیت جریان محصولات از مرکز تولید i به مرکز توزیع j

UQ_{ij}: حداکثر ظرفیت جریان محصولات از مرکز تولید i به مرکز توزیع j

$SS_{ie}^{t,[min]}$: ذخیره اطمینان ماده اولیه e در مرکز تولید i در دوره t

$SR_{ip}^{t,[min]}$: ذخیره اطمینان محصول نوع p در مرکز تولید i در دوره t

$SL_{jp}^{t,[min]}$: ذخیره اطمینان محصول نوع p در مرکز توزیع j در دوره t

$PC^t{}_{ip}$: هزینه تولید (تولید، نیروی انسانی و ....) یک واحد محصول p در مرکز تولید i در طول دوره t به واحد پول پایه

FC_j: هزینه ثابت احداث مرکز توزیع $\boldsymbol{j \epsilon J^f}$ به دلار

$FC_j^{\prime}$: هزینه ثابت احداث مرکز توزیع $\boldsymbol{j \epsilon J^h}$ به واحد پول پایه

OC_{jp}^t: هزینه‌های عملیاتی و پردازش محصول p در مرکز توزیع $\boldsymbol{j \epsilon J^f}$ در دوره t به دلار

$OC_{jp}^{\prime t}$: هزینه‌های عملیاتی و پردازش محصول p در مرکز توزیع $\boldsymbol{j \epsilon J^h}$ در دوره t به واحد پول پایه

HC_{ie}^t: هزینه نگهداری هر واحد ماده اولیه نوع e در مرکز تولید i در دوره t به واحد پول پایه

HC_{ip}^t: هزینه نگهداری هر واحد محصول نوع p در مرکز تولید i در دوره t به واحد پول پایه

HC_{jp}^t: هزینه نگهداری هر واحد محصول نوع p در مرکز توزیع $\boldsymbol{j \epsilon J^f}$ در دوره t به دلار

$HC_{jp}^{\prime t}$: هزینه نگهداری هر واحد محصول نوع p در مرکز توزیع $\boldsymbol{j \epsilon J^h}$ در دوره t به واحد پول پایه

TC^t_{sie}: هزینه حمل هر واحد ماده اولیه e از تأمین کننده s به مرکز تولید i در دوره t به واحد پول پایه

TC^t_{ijp}: هزینه حمل هر واحد محصول نوع p از مرکز تولید i به مرکز توزیع $j \epsilon J^f$ به دلار

TC'^t_{ijp}: هزینه حمل هر واحد محصول نوع p از مرکز تولید i به مرکز توزیع $j \epsilon J^h$ در دوره t به واحد پول پایه

IN^t_p: هزینه بیمه حمل و نقل هر واحد محصول p از بندر داخلی مرکز تولید i به بندر داخلی مرکز توزیع $j \epsilon J^f$ در دوره t به دلار

IN'^t_p: هزینه بیمه حمل و نقل هر واحد محصول p از مرکز تولید i به مرکز توزیع $j \epsilon J^h$ در دوره t به واحد پول پایه

ρ_{pe}: ضریب استفاده از ماده اولیه e برای هر واحد محصول نوع p

v_e: ضریب فضای مورد نیاز (حجم هر واحد) برای هر واحد ماده اولیه نوع e

γ_p: ضریب فضای مورد نیاز (حجم هر واحد) برای هر واحد محصول نوع p

ED_p: حداکثر دوره فسادپذیری (عمر قفسه‌ای) محصول p

U_p: حداکثر تعداد دوره‌ای که کالای p قبل از اتمام تاریخ انقضای خود باید به مشتری ارسال شود.

R: تعداد دوره‌های برنامه‌ریزی (شماره آخرین دوره برنامه‌ریزی)

M_1: یک عدد بسیار بزرگ مناسب

۲-۴. متغیرهای تصمیم

الف) متغیرهای باینری

اگر یک مرکز توزیع در محل j احداث گردد. $pdc_j = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$ در غیر اینصورت

اگر مشتری k به مرکز توزیع j دوره t تخصیص یابد. $pdck^t_{jk} = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$ در غیر اینصورت

ب) متغیرهای پیوسته

z^{t+}_i: سود قبل از مالیات مرکز i تولید در دوره t

z^{t-}_i: زیان قبل از مالیات مراکز تولید i در دوره t

z^{t+}_j: سود قبل از مالیات مراکز توزیع j در دوره t

z^{t-}_j: زیان قبل از مالیات مراکز توزیع j در دوره t

q^t_{ip}: مقدار محصول p تولید شده در مرکز تولید i در دوره t

q^t_{sie}: مقدار ماده اولیه e خریداری شده از تأمین کننده s توسط مرکز تولید i در دوره t

x^t_{ijp}: مقدار محصول p منتقل شده از مرکز تولید i به مرکز توزیع j در دوره t

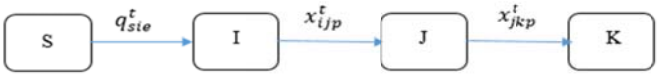
x^t_{jkp}: مقدار محصول p منتقل شده از مرکز توزیع j به مشتری k در دوره t

im^t_{ie}: میزان موجودی ماده اولیه e در مرکز تولید i در دوره t

ir^t_{ip}: میزان موجودی محصول p در مرکز تولید i در دوره t

ik^t_{jp}: میزان موجودی محصول p در مرکز توزیع j در دوره t

با استفاده از نمادهای معرفی شده، ساختار شبکه تشریح شده برای زنجیره تأمین جهانی، به صورتی که در شکل (۳-۱) نمایش داده شده است، قابل ترسیم می‌باشد.



شکل ۳-۱. ساختار شبکه زنجیره تأمین مورد مطالعه

۲-۵. تابع هدف

در این تحقیق به دنبال حداکثرسازی سود پس از کسر مالیات مراکز تولید و توزیع در افق زمانی مورد بررسی (تمام دوره‌ها) می‌باشد که به صورت زیر بیان می‌گردد.

$$Max \quad z = \sum_{t\in T}\sum_{i\in I}\left[(1-TR_i).z_i^{t+} - z_i^{t-}\right] + \sum_{t\in T}\sum_{j\in J}\left[(1-TR_j).z_j^{t+} - z_j^{t-}\right] \qquad (۱)$$

در تابع هدف ارائه شده، عبارت اول بیانگر سود پس از کسر مالیات تولیدکنندگان (سود خالص) و عبارت دوم بیانگر سود پس از کسر مالیات توزیع‌کنندگان در طول افق برنامه‌ریزی می‌باشد. لازم به ذکر است که z_i^{t+} و z_j^{t+} به ترتیب بیانگر سود مرکز تولید i و سود مرکز توزیع j در دوره t و z_i^{t-} و z_j^{t-} به ترتیب بیانگر زیان مرکز تولید i و زیان مرکز توزیع j در دوره t می‌باشند. با توجه به این موضوع که مالیات فقط به سود

تعلق می‌گیرد و به زیان تعلق نمی‌گیرد، در تابع هدف ارائه شده، فقط z_i^{t+} و z_j^{t+} مشمول مالیات گردیده است.

۲-۶. محدودیت‌ها

- **محدودیت سود (زیان) قبل از مالیات در مرکز تولید i در دوره t**

$$z_i^{t+} - z_i^{t-} = \sum_{j\in J^f}\sum_{p\in P} PF_{ijp}^t.x_{ijp}^t.EX_t + \sum_{j\in J^h}\sum_{p\in P} PI_{ijp}^t.x_{ijp}^t - \sum_{s\in S}\sum_{p\in P}(PP_{sie}^t + TC_{sie}^t).q_{sie}^t - \sum_{ee\in E} HC_{ie}^t.(\frac{im_{ie}^t + im_{ie}^{t-1}}{2})$$
$$-\sum_{p\in P} PC_{ip}^t.q_{ip}^t - \sum_{p\in P} HC_{ip}^t.(\frac{ir_{ip}^t + ir_{ip}^{t-1}}{2}) - \sum_{j\in J^l}\sum_{p\in P}(TC_{ijp}^t + IN_p^t).x_{ijp}^t.EX_t - \sum_{j\in J^h}\sum_{p\in P}(TC'^t_{ijp} + IN'^t_p).x_{ijp}^t \quad \forall i\in I,\ t\in T \qquad (۲)$$

عبارات موجود در محدودیت (۲) به ترتیب نشان‌دهنده درآمد حاصل از فروش محصولات به مراکز توزیع خارجی، درآمد حاصل از فروش محصولات به مراکز توزیع داخلی، هزینه خرید مواد اولیه از تأمین‌کنندگان و حمل آن‌ها به مرکز تولید، هزینه نگهداری مواد اولیه در انبار، هزینه تولید محصولات، هزینه نگهداری محصولات در انبار مرکز تولید ، هزینه حمل و بیمه حمل محصولات از مرکز تولید به مراکز توزیع خارجی و هزینه حمل و بیمه حمل محصولات از مرکز تولید به مراکز توزیع داخلی می‌باشند.

- **محدودیت سود (زیان) قبل از مالیات در مراکز توزیع خارجی j^f در دوره t**

$$z_j^{t+} - z_j^{t-} = \sum_{k\in K}\sum_{p\in P} SP_{jkp}^t.x_{jkp}^t.EX_t - FC_j.pdc_j.EX_t - \sum_{i\in I}\sum_{p\in P} PF_{ijp}^t.x_{ijp}^t.EX_t$$
$$-\sum_{i\in I}\sum_{p\in P} DR_{jp}^t.(PF_{ijp}^t + TC_{ijp}^t + IN_p^t).x_{ijp}^t.EX_t - \sum_{i\in I}\sum_{p\in P} OC_{jp}^t.x_{ijp}^t.EX_t$$
$$-\sum_{p\in P} HC_{jp}^t.(\frac{ik_{jp}^t + ik_{jp}^{t-1}}{2}).EX_t \qquad \forall j\in J^f,\ t\in T \qquad (۳)$$

عبارات موجود در محدودیت (۳) به ترتیب درآمد حاصل از فروش محصولات توسط مرکز توزیع خارجی به مشتریان، هزینه احداث مرکز توزیع، هزینه خرید محصولات از مراکز تولید، هزینه مربوط به حق واردات محصولات، هزینه پردازش محصولات و هزینه نگهداری آن‌ها در انبار مرکز توزیع را نشان می‌دهد.

- **محدودیت سود (زیان) قبل از مالیات در مراکز توزیع داخلی j^h در دوره t**

$$z_j^{t+} - z_j^{t-} = \sum_{k\in K}\sum_{p\in P} SP_{jkp}^t.x_{jkp}^t - FC_j.pdc_j - \sum_{i\in I}\sum_{p\in P} PI_{ijp}^t.x_{ijp}^t - \sum_{i\in I}\sum_{p\in P} OC_{jp}^t.x_{ijp}^t$$
$$-\sum_{j\in J} HC_{jp}^t.(\frac{ik_{jp}^t + ik_{jp}^{t-1}}{2}) \qquad \forall j\in J^h,\ t\in T \qquad (۴)$$

عبارات موجود در محدودیت (۴) به ترتیب درآمد حاصل از فروش محصولات توسط مرکز توزیع داخلی به مشتریان، هزینه احداث مرکز توزیع، هزینه خرید محصولات از مراکز تولید، هزینه پردازش محصولات و هزینه نگهداری آن‌ها در انبار مرکز توزیع را نشان می‌دهد.

- **محدودیت‌های احداث و تخصیص مراکز توزیع**

$$\sum_{j\in J} pdck_{jk}^t = 1 \qquad \forall k\in K,\ t\in T \qquad (۵)$$

$$pdck_{jk}^t \le pdc_j \qquad \forall j\in J, k\in K,\ t\in T \qquad (۶)$$

$$pdck_{jk}^t \le \sum_{p\in P} x_{jkp}^t \le pdck_{jk}^t.M_1 \qquad \forall j\in J, k\in K,\ t\in T \qquad (۷)$$

محدودیت (۵)، تضمین می‌کند که هر مشتری به یک مرکز توزیع تخصیص یابد. محدودیت (۶) بیان‌گر این است که در صورتی

می‌توان یک مرکز توزیع را به مشتریان تخصیص داد که آن مرکز توزیع احداث شده باشد. محدودیت (۷) تضمین می‌کند که در صورتی یک مرکز توزیع به یک مشتری تخصیص می‌یابد که از آن مرکز توزیع به آن مشتری جریان کالا وجود داشته باشد یا به عبارت دیگر در صورتی محصولات از یک مرکز توزیع به یک مشتری جریان می‌یابد که آن مرکز توزیع به آن مشتری تخصیص یافته باشد.

- **محدودیت پاسخ‌گویی به تقاضای مشتریان**

$$\sum_{p\in P} x_{jkp}^{t} = D_{kp}^{t} \qquad \forall\ j\in J,\ k\in K,\ t\in T \qquad (۸)$$

محدودیت (۸) بیان می‌کند که تقاضای هر مشتری برای هر محصول در هر دوره باید در همان دوره به طور کامل پاسخ داده شود.

- **محدودیت‌های تعادل موجودی**

محدودیت‌های (۹)، (۱۰) و (۱۱) به ترتیب معادلات تعادل موجودی مواد اولیه در مرکز تولید، موجودی محصول در مرکز تولید و موجودی محصول در مرکز توزیع را نشان می‌دهند.

مقدار ماده اولیه نوع e موجود در مرکز تولید i در دوره t برابر است با:

$$im_{ie}^{t} = im_{ie}^{t-1} + \sum_{s\in S} q_{sie}^{t} - \sum_{p\in P} \rho_{pe}.q_{ip}^{t} \qquad \forall\ i\in I,\ e\in E,\ t\in T \qquad (۹)$$

مقدار محصول نوع p موجود در مرکز تولید i در دوره t برابر است با:

$$ir_{ip}^{t} = ir_{ip}^{t-1} + q_{ip}^{t} - \sum_{j\in J} x_{ijp}^{t} \qquad \forall\ i\in I,\ p\in P,\ t\in T \qquad (۱۰)$$

مقدار محصول نوع p موجود در مرکز توزیع j در دوره t برابر است با:

$$ik_{ie}^{t} = ik_{jp}^{t-1} + \sum_{j\in J} x_{ijp}^{t} - \sum_{k\in K} x_{jkp}^{t} \qquad \forall\ j\in J,\ p\in P,\ t\in T \qquad (۱۱)$$

- **محدودیت‌های ذخیره اطمینان**

محدودیت‌های (۱۲)، (۱۳) و (۱۴) به ترتیب بیان‌گر این هستند که موجودی ماده اولیه در مرکز تولید، موجودی محصول در مرکز تولید و موجودی محصول در مرکز توزیع در هر دوره باید از ذخیره اطمینان تعیین شده برای آن بیشتر باشد.

$$im_{ie}^{t} \geq SS_{ie}^{t,[\min]} \qquad \forall\ i\in I,\ e\in E,\ t\in T \qquad (۱۲)$$

$$ir_{ip}^{t} \geq SR_{ip}^{t,[\min]} \qquad \forall\ i\in I,\ p\in P,\ t\in T \qquad (۱۳)$$

$$ik_{jp}^{t} \geq SL_{jp}^{t,[\min]}.pdc_{j} \qquad \forall\ j\in J,\ p\in P,\ t\in T \qquad (۱۴)$$

- **محدودیت‌های ظرفیت**

محدودیت ظرفیت تولید:

$$LP_{ip}^{t} \leq q_{ip}^{t} \leq UP_{ip}^{t} \qquad \forall\ i\in I,\ p\in P,\ t\in T \qquad (۱۵)$$

محدودیت ظرفیت جریان:

$$LQ_j.pdc_j \le \sum_{p\in P} x_{ijp}^t \le UQ_j.pdc_j \qquad \forall\ i\in I,\ p\in P,\ t\in T \qquad (۱۶)$$

محدودیت (۱۶) تضمین می‌کند که میزان جریان انتقالی از هر مرکز تولید به هر مرکز توزیع در هر دوره باید بین حداقل و حداکثر ظرفیت جریان قرار بگیرد.

محدودیت ظرفیت پردازش:

$$\sum_i \sum_p x_{ijp}^t \le CAP1_j \qquad \forall\ j\in J, t\in T \qquad (۱۷)$$

محدودیت (۱۷) تضمین می‌کند که در هر دوره کل محصولات انتقال یافته از مراکز تولید به مرکز توزیع j از ظرفیت پردازش آن مرکز توزیع کمتر باشد

محدودیت ظرفیت انبار مراکز تولید و توزیع:

$$\sum_{e\in E} im_{ie}^t.\nu_e \le CAP1_i \qquad \forall\ i\in I, t\in T \qquad (۱۸)$$

$$\sum_{e\in E} ir_{ip}^t.\gamma_p \le CAP2_i \qquad \forall\ i\in I, t\in T \qquad (۱۹)$$

$$\sum_{e\in E} ik_{jp}^t.\gamma_p \le CAP2_j \qquad \forall\ j\in J,\ t\in T \qquad (۲۰)$$

محدودیت (۱۸)، (۱۹) و (۲۰) بیانگر این است که حجم مواد اولیه/محصولات موجود در انبار نباید بیش از ظرفیت (حجم) انبار مواد اولیه/محصول باشد.

- **محدودیت‌های فسادپذیری**

$$\sum_{t'=1}^{\min(t+ED_p-U_p,R)} \sum_{p\in P} x_{ijp}^{t'} - \sum_{t''=1}^{t} q_{ip}^{t''} \ge 0 \qquad \forall\ i\in I,\ p\in P, t\ne T \qquad (۲۱)$$

$$\sum_{t'=1}^{\min(t+ED_p-V_p,R)} \sum_{k\in K} x_{jkp}^{t'} - \sum_{t''=1}^{t} \sum_{i\in I} x_{ijp}^{t''} \ge 0 \qquad \forall\ j\in J,\ p\in P, t\ne T \qquad (۲۲)$$

محدودیت (۲۱) تضمین می‌کند که کالای نهایی تولید شده در مرکز تولید حداکثر تا U_p دوره قبل از اتمام دوره مصرف خود، به مراکز توزیع منتقل شود تا امکان انتقال آن در زمان مناسب به مشتری وجود داشته باشد. محدودیت (۲۲) تضمین می‌کند که کالای نهایی منتقل شده به مرکز توزیع حداکثر تا V_p دوره قبل از رسیدن به انتهای دوره عمر خود، به دست مشتری برسد تا امکان استفاده آن در زمان مناسب (قبل از انقضاء) وجود داشته باشد.

با درنظرگرفتن این نکته که سیستم مدیریت انبار محصولات در مراکز تولید و توزیع FIFO می‌باشد، لذا می‌توان نتیجه گرفت که هیچ محصولی در انبارها فاسد نمی‌شود. در واقع سیستم به گونه‌ای برنامه‌ریزی می‌کند که دورریز و از بین رفتن محصول وجود نداشته باشد.

- **محدودیت‌های نوع متغیرها**

در پایان، محدودیت‌های (۲۳) و (۲۴) نوع متغیرهای تصمیم‌گیری را نشان می‌دهند.

$$pdc_j,\ pdck_{jk}^t \in \{0,1\} \qquad \forall i\in I,\ j\in J,\ k\in K,\ t\in T \qquad (۲۳)$$

$$q_{sie}^t, q_{ip}^t, x_{ijp}^t, x_{jkp}^t, im_{ie}^t, ir_{ip}^t, ik_{jp}^t, z_i^{t+},\ z_i^{t-},\ z_j^{t-},\ z_j^{t-} \ge 0 \qquad \forall i\in I,\ j\in J,\ s\in S,\ e\in E,\ p\in P,\ t\in T \qquad (۲۴)$$

۴. پیاده‌سازی و ارزیابی

در این قسمت به منظور اعتبارسنجی و بررسی کاربرد مدل ارائه شده، مدل با استفاده از داده‌های مستخرج از شرکت زرماکارون به عنوان مطالعه موردی پیاده‌سازی شده و نتایج حاصل از مدل، مورد ارزیابی قرار گرفته است. این شرکت مواد اولیه مورد نیاز خود را از ۶ تأمین‌کننده داخلی مستقر در شهرهای تهران، کرج، اصفهان، شیراز، قزوین و تبریز خریداری می‌کند و با انجام فرآیندهای تولید، مواد اولیه را به محصولات نهایی تبدیل می‌کند. محصولات این

شرکت شامل ۴ دسته عمده ماکارونی رشته‌ای، فرمی، آشیانه‌ای و لازانیا می‌باشد. شرکت دارای دو دسته مشتری داخلی (مستقر در ایران) و خارجی (مستقر در سایر کشورها) می‌باشد. مشتریان خارجی در کشورهای آفریقای جنوبی، جیبوتی، امارات، عمان، مالزی، سومالی، اتیوپی، کنیا، تانزانیا، موزامبیک، ماداگاسکار، آنگولا، کنگو، کامرون، چاد، بنین، توگو، غنا، ساحل عاج، گینه، سنگال، نیجر، عراق، افغانستان، بحرین، اردن، یمن، سوریه، لبنان، هند، چین، ترکمنستان، ازبکستان، گرجستان، بلغارستان و آذربایجان مستقر می‌باشند. این مشتریان در واقع عمده‌فروشانی هستند که در کشورهای خود محصولات را به خرده‌فروشان عرضه می‌نمایند. تقاضای مشتریان داخلی توسط مراکز توزیع مستقر در مراکز استان‌های ایران پاسخ‌دهی می‌شود و برای پاسخ‌دهی به مشتریان خارجی، این شرکت تصمیم دارد مراکز توزیعی تحت مالکیت خود در سطح جهان احداث نماید. برای این منظور ۷ مکان بالقوه برای احداث این مراکز توزیع شامل یک مرکز توزیع داخلی (مستقر در ایران) و ۶ مرکز توزیع خارجی در کشورهای آفریقای جنوبی، جیبوتی، امارات، عمان، مالزی، ترکیه در نظر گرفته شده است.

۴-۱. پارامترهای مطالعه موردی

با توجه به حجم زیاد داده‌های مربوط به مطالعه موردی، نمایش تمامی این پارامترها به واسطه محدودیت فضا امکان‌پذیر نمی‌باشد. در نتیجه برخی پارامترهای مسأله در ادامه ارائه شده‌اند. لازم به ذکر است که در تمامی جداول این بخش، i اندیس مرکز تولید، j اندیس مرکز توزیع، k اندیس مشتری، e اندیس ماده اولیه، p اندیس محصول و t اندیس دوره زمانی می‌باشد.

جدول ۴-۱. ابعاد مسأله مورد بررسی

تعداد مواد اولیه	تعداد محصولات	تعداد مشتریان	تعداد مراکز توزیع بالقوه	تعداد مراکز تولید	تعداد تأمین‌کنندگان	تعداد دوره‌های زمانی
۵	۶	۱	۷	۳۶	۴	**۵**

جدول ۴-۲. نرخ مالیات بر سود مراکز

مراکز	نرخ مالیات $t_1 - t_5$
مرکز تولید	۰/۲۵
مرکز توزیع ۱	۰/۲۵
مرکز توزیع ۲	۰
مرکز توزیع ۳	۰
مرکز توزیع ۴	۰/۲۵
مرکز توزیع ۵	۰/۱۸
مرکز توزیع ۶	۰/۳۲
مرکز توزیع ۷	۰/۲۵

جدول ۴-۳. نرخ ارز

t	EX_t
۱	۳۳۰۰
۲	۳۶۰۰
۳	۴۰۰۰
۴	۴۴۰۰
۵	۴۸۰۰

جدول ۴-۴. ظرفیت انبار مراکز توزیع بالقوه بر حسب متر مکعب

شماره مرکز توزیع	ظرفیت مرکز توزیع (متر مکعب) $j_1 - j_7$
۱	۴۰۰

جدول ۴-۵. حداکثر دوره فسادپذیری محصولات

p	ED_p
۱	۲
۲	۲
۳	۲
۴	۲

۴-۲- نتایج حل مدل

با استفاده از داده‌های مطرح شده، مدل طراحی شبکه مورد بررسی، در ابعاد ذکر شده با کدنویسی در نرم‌افزار GAMS و با استفاده از حل‌کننده CPLEX اجرا شد. با حل مدل، مقدار سود کل مراکز تولید و توزیع ۴۲۸۹۷۴۰۰۰۰۰ تومان به دست می‌آید و مراکز توزیع شماره ۲، ۳ و ۵ که به ترتیب کشورهای جیبوتی و امارات و مالزی هستند، برای احداث مرکز توزیع انتخاب می‌شوند. برخی دیگر از نتایج مهم مسأله در ادامه این بخش ارائه می‌شوند.

جدول ۴-۶. مقدار بهینه محصولات منتقل شده از مرکز تولید به مراکز توزیع احداث شده- x_{ijp}^t

	t=۱	t=۲	t=۳	t=۴	t=۵
i=۱ , j=۲ , p=۱	۲۹۳۱۱۲,۶۲۸	۲۵۵۲۰۰,۰۰۰	۲۹۸۶۳۲,۴۰۴	۲۲۱۳۰۹,۹۴۹	۳۰۵۱۸۵,۰۱۹
i=۱ , j=۲ , p=۲	۱۶۵۰۴۶,۶۶۷	۱۹۰۳۳۵,۰۰۰	۱۵۷۱۴۸,۲۶۹	۲۲۴۳۵۰,۰۶۴	۱۵۷۲۸۰,۰۰۰
i=۱ , j=۲ , p=۳	۱۶۳۴۸,۹۷۴	۲۰۹۱۰,۰۰۰	۲۱۱۰۱,۰۲۶	۲۹۳۳۹,۹۸۷	۲۳۱۹۰,۰۱۳
i=۱ , j=۲ , p=۴	۲۵۴۹۱,۷۳۱	۳۳۵۳۵,۰۰۰	۲۳۱۱۸,۳۰۱	۲۵۰۰۰,۰۰۰	۱۴۳۴۴,۹۶۸
j=۱ , j=۳ , p=۱	۱۲۲۵۷۰,۶۴۱	۳۵۷۰۳۰,۰۰۰	۲۹۵۲۲۴,۲۶۳	۳۸۴۶۹۰,۰۵۱	۳۰۱۶۱۵,۰۴۵
i=۱ , j=۳ , p=۲	۳۴۷۴۰,۰۰۰	۹۲۴۶۵,۰۰۰	۱۱۷۸۶۵,۰۶۴	۶۲۶۴۹,۹۳۶	۱۲۹۷۲۰,۰۰۰
i=۱ , j=۳ , p=۳	۱۳۱۰۲,۶۹۲	۲۶۵۳۵,۰۰۰	۲۴۴۰۲,۳۰۸	۱۹۲۶۰,۰۱۳	۲۵۴۰۹,۹۸۷
i=۱ , j=۳ , p=۴	۸۵۲۰,۰۰۰	۱۸۴۵۰,۰۰۰	۲۶۹۵۰,۰۰۰	۲۸۲۰۰,۰۰۰	۳۷۹۵۰,۰۰۰
i=۱ , j=۵ , p=۱	۲۱۰۳۱۶,۷۳۱	۱۳۷۷۰,۰۰۰	۱۳۴۹۳,۳۳۳	۲۰۰۰۰,۰۰۰	۱۹۱۹۹,۹۳۶
i=۱ , j=۵ , p=۲	۸۷۲۱۳,۳۳۳	۴۲۰۰,۰۰۰	۴۳۴۶,۶۶۷	۰	۰
i=۱ , j=۵ , p=۳	۱۹۱۴۸,۳۳۳	۱۱۵۵,۰۰۰	۱۱۸۶,۶۶۷	۰	۰
i=۱ , j=۵ , p=۴	۱۹۱۸۸,۲۶۹	۱۲۱۵,۰۰۰	۱۲۶۶,۶۶۷	۰	۸۰۰,۰۶۴

جدول ۴-۷. موجودی مواد اولیه در مرکز تولید- im_{ir}^t

	t=۱	t=۲	t=۳	t=۴	t=۵
i=۱ ,e=۱	۱۲۶۳۲۸۶,۸۲۲	۲۵۶۲۱۹۴,۲۰۰	۱۷۲۵۰۷۳,۰۹۱	۸۶۲۵۱۱,۰۹۱	۰
i=۱ ,e=۲	۱۵۳۱۷۸,۴۹۰	۱۱۴۵۹۶,۶۹۰	۷۷۱۵۸,۰۳۷	۳۸۵۷۶,۲۳۷	۰
i=۱ ,e=۳	۲۱۷۳۹,۶۷۰	۱۰۷۰۳,۸۷۰	۰	۱۱۰۳۵,۳۸۰	۰
i=۱ ,e=۴	۰	۰	۰	۰	۰
i=۱ ,e=۵	۰	۰	۰	۰	۰

جدول ۴-۸. موجودی محصول در مرکز توزیع- ik_{jp}^{t}

	$t=۱$	$t=۲$	$t=۳$	$t=۴$	$t=۵$
$j=۲ ,p=۱$	۹۹۹۱۲,۶۲۸	۶۰۳۱۲,۶۲۸	۸۹۷۴۵,۰۳۲	۲۱۳۷۴,۹۸۱	۰
$j=۲ ,p=۲$	۴۰۷۵۶,۶۶۷	۶۳۴۲۱,۶۶۷	۴۵۲۲۹,۹۳۶	۸۱۵۶۰,۰۰۰	۰
$j=۲ ,p=۳$	۲۰۶۸,۹۷۴	۴۶۸,۹۷۴	۰	۵۱۶۹,۹۸۷	۰
$j=۲ ,p=۴$	۱۱۲۱۱,۷۳۱	۲۱۴۵۶,۷۳۱	۲۱۲۰۵,۰۳۲	۱۹۰۹۵,۰۳۲	۰
$j=۳ ,p=۱$	۱۵۷۰,۶۴۱	۱۲۰۵۸۰,۶۴۱	۹۷۶۲۴,۹۰۴	۱۷۲۲۶۴,۹۵۵	۰
$j=۳ ,p=۲$	۰	۲۰۷۴۵,۰۰۰	۳۸۱۵۰,۰۶۴	۰	۰
$j=۳ ,p=۳$	۴۵۸۲,۶۹۲	۱۳۴۲۷,۶۹۲	۱۲۹۰۰,۰۰۰	۶۹۲۰,۰۱۳	۰
$j=۳ ,p=۴$	۰	۰	۰	۰	۰
$j=۵ ,p=۱$	۳۲۵۹۶,۷۳۱	۳۷۱۸۶,۷۳۱	۴۰۵۶۰,۰۶۴	۲۴۰,۰۶۴	۰
$j=۵ ,p=۲$	۳۵۸۵۳,۳۳۳	۳۷۲۵۳,۳۳۳	۳۸۳۴۰,۰۰۰	۶۳۸۰,۰۰۰	۰
$j=۵ ,p=۳$	۶۲۷۸,۳۳۳	۶۶۶۳,۳۳۳	۶۹۶۰,۰۰۰	۱۷۴۰,۰۰۰	۰
$j=۵ ,p=۴$	۶۳۱۸,۲۶۹	۶۷۲۳,۲۶۹	۷۰۳۹,۹۳۶	۱۱۱۹,۹۳۶	۰

جدول ۴-۹. موجودی محصول در مرکز تولید- ir_{ip}^{t}

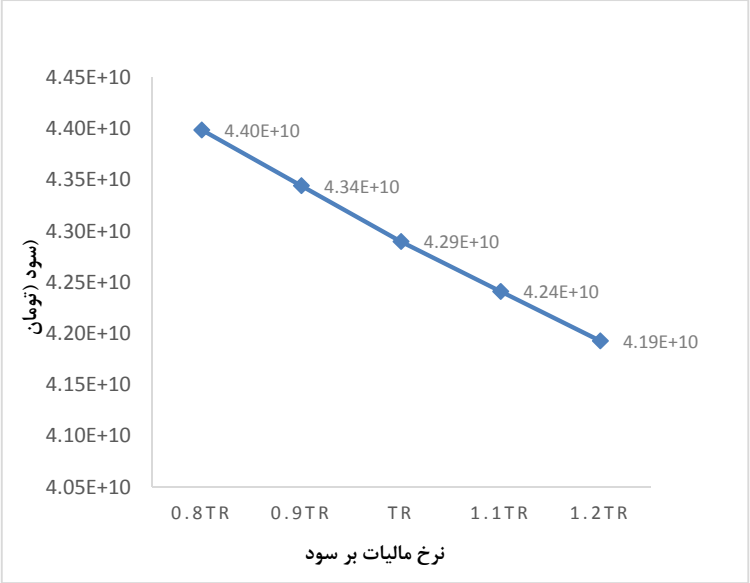
	$t=۱$	$t=۲$	$t=۳$	$t=۴$	$t=۵$
$i=۱ ,p=۱$	۰	۰	۰	۰	۰
$i=۱ ,p=۲$	۰	۰	۰	۰	۰
$i=۱ ,p=۳$	۰	۰	۰	۰	۰
$i=۱ ,p=۴$	۰	۰	۰	۰	۰

۴-۳. تحلیل حساسیت

اکنون پس از ارائه نتایج به منظور صحه‌گذاری و اثبات درستی مدل پیشنهادی، ضروری است بر روی برخی از پارامترهای مدل، تحلیل حساسیت صورت گیرد و اثرات این تغییرات بر نتایج بررسی گردد. در همین راستا تحلیل حساسیت‌های زیر انجام شده است.

الف) تحلیل حساسیت مدل نسبت به پارامتر نرخ مالیات

به منظور بررسی تأثیر تغییرات نرخ مالیات مراکز تولید و توزیع (TR_i^t و TR_j^t) بر تابع هدف، پارامترهای مالیات نسبت به حالت پایه، ۱۰٪ و ۲۰٪ کاهش و افزایش داده شده است و مقادیر تابع هدف سود یکپارچه تحت تأثیر این تغییرات به صورت شکل (۴-۱) ثبت گردیده است. همان‌طور که در شکل (۴-۱) قابل مشاهده است، با افزایش مقدار مالیات بر سود مراکز، میزان تابع هدف کاهش می‌یابد. زیرا با افزایش مالیات، درصد بیشتری از سود به عنوان مالیات از آن کسر می‌گردد و در نتیجه سود پس از کسر مالیات کاهش می‌یابد. هم‌چنین با کاهش مقدار مالیات بر سود، میزان تابع هدف افزایش می‌یابد. زیرا با کاهش مالیات، درصد کمتری از سود به عنوان مالیات از آن کسر می‌گردد و در نتیجه سود پس از کسر مالیات افزایش می‌یابد.

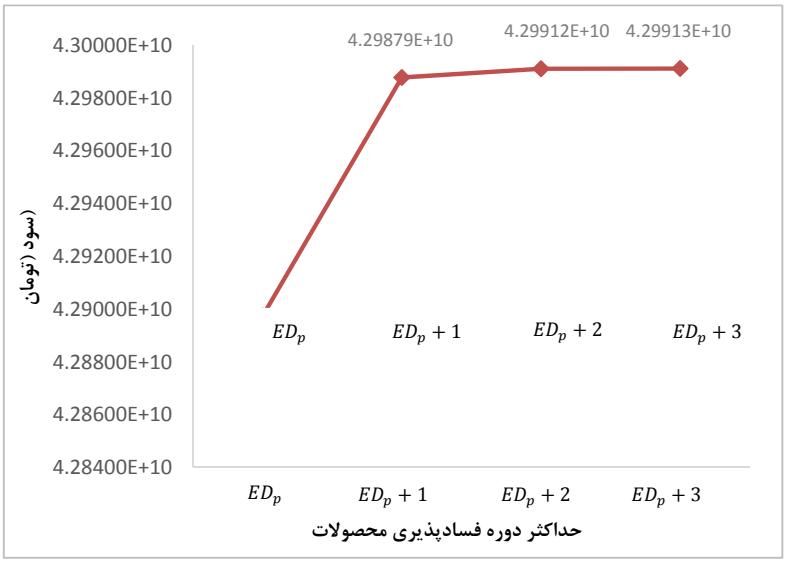


شکل ۴-۱. میزان حساسیت تابع هف نسبت به تغییر پارامتر نرخ مالیات

ب) تحلیل حساسیت مدل نسبت به پارامتر حداکثر دوره فسادپذیری محصولات

به منظور تحلیل حساسیت پارامتر حداکثر دوره فسادپذیری محصولات (ED_p)، تعداد دوره‌های فسادپذیری هر محصول را تا سه دوره افزایش داده و

تابع هدف تحت تأثیر این تغییرات در شکل (۴-۲) نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل (۴-۲) مشاهده می‌گردد، با افزایش حداکثر دوره فسادپذیری نسبت به حالت پایه، سود یکپارچه افزایش می‌یابد. واضح است که با افزایش حداکثر دوره فسادپذیری، دستیابی به جواب‌های شدنی و هم‌چنین امکان نگهداری موجودی در انبار برای تعداد دوره‌های بیشتر میسر می‌گردد. لذا با افزایش ED_p این امکان فراهم می‌گردد که محصولات بیشتری در هر دوره دریافت و برای تعداد دوره‌های بیشتر در انبار نگهداری شود. با توجه به این که در مطالعه موردی بررسی شده، هزینه نگهداری محصولات در انبار بسیار پایین است، با افزایش ED_p، محصولات بیشتری برای تعداد دوره‌های بیشتر در انبار نگهداری شود و در نتیجه باعث افزایش سود می‌گردد.لازم به ذکر است که با کاهش پارامتر حداکثر دوره فسادپذیری محصول، با توجه به شرایط مطالعه موردی شرح داده شده، جواب‌های مدل نشدنی گردیده است.



شکل ۴-۲. میزان حساسیت تابع هدف نسبت به تغییر پارامتر حداکثر دوره فسادپذیری محصولات

۵. جمع‌بندی و پیشنهادات آتی

جهانی شدن تجارت و پیدایش شرکت‌های جهانی باعث توجه بیشتر به شبکه‌های زنجیره تأمین جهانی شده است. از طرف دیگر با توجه به این که تصمیمات طراحی شبکه از جمله مکان‌یابی تسهیلات از آن دسته تصمیماتی است که دارای اثرات بلندمدت، پرهزینه و زمان‌بر می‌باشد، و هم‌چنین درنظرگرفتن وضعیت جهانی به سرعت در حال تغییر امروزه، طراحی بهینه شبکه زنجیره تأمین جهانی به منظور کاهش هزینه‌ها و افزایش سودآوری شرکت‌های بین‌المللی از اهمیت فوق‌العاده‌ای برخوردار می‌باشد.

در این مقاله، یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط با هدف حداکثرسازی سود مراکز تولید و توزیع در زنجیره تأمین جهانی ارائه گردیده است. در این مدل، تصمیمات مربوط به نگهداری موجودی به طور هم‌زمان با تصمیمات مکان‌یابی مراکز توزیع، اتخاذ می‌گردند. نوآوری دیگر این پژوهش نسبت به مطالعات پیشین، درنظرگرفتن فسادپذیری محصولات و هم‌چنین درنظرگرفتن هم‌زمان تمامی پارامترهای کمی تأثیرگذار در تصمیمات مربوط زنجیره تأمین‌های جهانی شامل نرخ مالیات، نرخ ارز، حقوق وارداتی و بیمه حمل و نقل بین‌المللی در مدل‌سازی می‌باشد. مدل ارائه شده، طوری طراحی شده که محصولات در زمان مناسبشان به دست مشتری برسند و هیچ محصولی فاسد نشود و برای این‌که شرایط مسأله به شرایط دنیای واقعی نزدیک‌تر شود، محدودیت ظرفیت جریان بین مراکز تولید و توزیع نیز لحاظ گردیده است. به منظور اعتبارسنجی و بررسی کاربرد مدل ارائه شده، مدل با استفاده از داده‌های مستخرج از شرکت زرماکارون به عنوان مطالعه موردی پیاده‌سازی شد و نتایج حاصل از مدل مورد ارزیابی قرار گرفته است. پس از ارائه نتایج، بر روی دو پارامتر مهم مدل تحلیل حساسیت انجام شده و اثرات این تغییرات بر روی نتایج مشخص گردیده است. در پژوهش‌های آتی به منظور بهبود و توسعه مدل پیشنهادی می‌توان از توابع هدف دیگری همچون حداکثرسازی رضایت مشتریان در کنار حداکثرسازی سود استفاده نمود. هم‌چنین درنظرگرفتن روش‌های حمل و نقل متفاوت بین سطوح زنجیره، مدل‌سازی مسأله تحت عدم قطعیت‌های موجود در دنیای واقعی و درنظرگرفتن شرایط ریسک و تحریم می‌تواند به واقعی و کاربردی‌تر شدن مدل ارائه شده کمک بسیاری نماید.

مراجع

[1] Taylor, D. H. *Global cases in logistics and supply chain management*. Cengage Learning EMEA, 1997.

[2] Dornier, P. P., Ernst, R., Fender, M., & Kouvelis, P. *Global operations and logistics: Text and cases*. John Wiley & Sons, 2008.

[3] Meixell, M. J., & Gargeya, V. B. Global supply chain design: A literature review and critique. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 41, No. 6, pp. 531-550, 2005.

[4] Assaf, M., Bonincontro, C., & Johnsen, S. *Global Sourcing and Purchasing Post 9/11*. J. Ross Publishing, 2005.

[5] Li, P. C., & Lin, B. W. Building global logistics competence with Chinese OEM suppliers. *Technology in Society*, Vol. 28, No. 3, pp. 333-348, 2006.

[6] Syam, S. S. A model for the capacitated p-facility location problem in global environments. *Computers & operations research*, Vol. 24, No. 11, pp. 1005-1016, 1997.

[7] Melo, M. T., Nickel, S., & Saldanha-da-Gama, F. Facility location and supply chain management–A review. *European journal of operational research*, Vol. 196, No. 2, pp. 401-412, 2009.

[8] Ramezani, M., Bashiri, M., & Tavakkoli-Moghaddam, R. A new multi-objective stochastic model for a forward/reverse logistic network design with responsiveness and quality level. *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 37, No. 1, pp. 328-344, 2013.

[9] Tong, H., & Walter, C.K. An empirical study of plant location decisions of foreign manufacturing investors in the United States. *Columbia Journal of World Business*, pp. 66-73, 1980.

[10] Goetschalckx, M., Vidal, C. J., & Dogan, K. Modeling and design of global logistics systems: A review of integrated strategic and tactical models and design algorithms. *European journal of operational research*, Vol. 143, No. 1, pp. 1-18, 2002.

[11] Baghalian, A., Rezapour, S., & Farahani, R. Z. Robust supply chain network design with service level against disruptions and demand

uncertainties: A real-life case. *European Journal of Operational Research*, Vol. 227, No. 1, pp. 199-215, 2013.

[12] Hodder, J. E., & Jucker, J. V. Plant location modeling for the multinational firm. In *Proceedings of the Academy of International Business Conference on the Asia-Pacific Dimension of International Business* pp. 248-258. Honolulu, HI: AIB, 1982.

[13] Hodder, J. E., & Jucker, J. V. International plant location under price and exchange rate uncertainty. *Engineering Costs and Production Economics*, Vol. 9, No. 1, pp. 225-229, 1985.

[14] Hodder, J. E., & Dincer, M. C. A multifactor model for international plant location and financing under uncertainty. *Computers & Operations Research*, Vol. 13, No. 5, pp. 601-609, 1986.

[15] Canel, C., & Khumawala, B. M. A mixed-integer programming approach for the international facilities location problem. *International Journal of Operations & Production Management*, Vol. 16, No. 4, pp. 49-68, 1996.

[16] Munson, C. L., & Rosenblatt, M. J. The impact of local content rules on global sourcing decisions. *Production and Operations Management*, Vol. 6, No. 3, pp. 277-290, 1997.

[17] Badri, M. A. Combining the analytic hierarchy process and goal programming for global facility location-allocation problem. *International Journal of Production Economics*, Vol. 62, No. 3, pp. 237-248, 1999.

[18] Sheu, J. B., & Lin, A. Y. S. Hierarchical facility network planning model for global logistics network configurations. *Applied Mathematical Modelling*, Vol. 36, No. 7, pp. 3053-3066, 2012.

[19] Hammami, R., & Frein, Y. An optimisation model for the design of global multi-echelon supply chains under lead time constraints. *International Journal of Production Research*, Vol. 519, pp. 2760-2775, 2013.

[20] Hammami, R., & Frein, Y. Redesign of global supply chains with integration of transfer pricing: Mathematical modeling and managerial insights. *International Journal of Production Economics*, Vol. 158, pp. 267-277, 2014.

[21] Jamalnia, A., Mahdiraji, H. A., Sadeghi, M. R., Hajiagha, S. H. R., & Feili, A. An integrated fuzzy QFD and fuzzy goal programming approach for global facility location-allocation problem. *International Journal of Information Technology & Decision Making*, Vol. 13, No. 02, pp. 263-290, 2014.