



A Forward/Reverse Supply Chain Network Design Considering the Disruption Probability of Distribution and Collection/Inspection Centers

A. Makui, R. Tavakkoli-Moghaddam, M. Ghomi-Avili

A. Makui, Associate professor of Industrial Eng., Iran University of Science and Technology

R. Tavakkoli-Moghaddam, Professor of Industrial Eng., College of Eng., University of Tehran

M. Ghomi-Avili, MS Graduate Student of Industrial Eng., Iran University of Science and Technology

Keywords

Facility Location,
Forward/Reverse Supply
Chain,
Disruption probability,
Reliability,

ABSTRACT

Delineating of the locations for new facilities and also assigning capacity level for them are the main purposes in network design. Network design is strategic decision in any corporation hence; much capital is needed for implementing it. Therefore, it is expected that those decisions which are made will be useful for a long term. As an illustration, rebuilding a new facility such as distribution center is a very money consuming task. In the real world it is possible that facilities could be disrupted for various reasons such as war, earthquake and etc. and as a result they could not satisfy their customer needs while they are disrupted. The main object of this paper is designing a forward/reverse network with considering the probability of disruption for distribution and collection/inspection centers in a way that transportation and establishing cost for facilities be minimized. Besides, the procedure of serving customer when facilities are disrupted is stated under the title of reliability.

© 2015 IUST Publication, IJIEPM. Vol. 26, No. 1, All Rights Reserved



طراحی شبکه زنجیره تامین رو به جلو/بازگشتی با در نظر گرفتن احتمال از کارافتادگی برای مراکز توزیع و مراکز جمع آوری و بازرسی

احمد ماکوئی، رضا توکلی مقدم و مرتضی قمی اویلی

چکیده:

تصمیمات استراتژیک (تعیین مکان احداث تسهیلات) و تصمیمات تاکتیکی (میزان گردش مواد بین اجزاء شبکه) می باشد. لازم به ذکر است، چگونگی خدمت رسانی به مشتریان در زمان خرابی یک یا چند هدف اصلی در طراحی شبکه مشخص کردن جایگاه های مکان یابی و ظرفیت های مورد نیاز برای تسهیلات جدید می باشد. طراحی شبکه از تصمیمات استراتژیک هر سازمان می باشد. بنابراین مقدار زیادی سرمایه برای اجرای آن نیاز می باشد. پس انتظار می رود تصمیماتی که لحاظ می شوند برای دوره زمانی بلند مدتی قابل استفاده باشند. زیرا مثلاً ساخت مجدد تسهیلاتی مانند مراکز توزیع بسیار هزینه زا می باشد. در دنیای واقعی ممکن است تسهیلات به دلایل گوناگونی مانند جنگ، زلزله و غیره خراب شده و دیگر نتوانند به مشتریان خدمت دهند. هدف این مقاله، طراحی شبکه رو به جلو/بازگشتی با توجه به احتمال خرابی مراکز توزیع و مراکز جمع آوری است به گونه ای که علاوه بر کاهش هزینه های حمل و نقل، هزینه های ناشی از احداث مراکز خراب نشدنی هم حداقل گردد. هدف اصلی مدل ارائه شده مرکز توزیع، تحت عنوان قابلیت اطمینان بیان می شود.

کلمات کلیدی

مکانیابی تسهیلات، زنجیره تامین رو به جلو و بازگشتی، احتمال خرابی، قابلیت اطمینان.

۱. مقدمه

در دنیای واقعی، همواره عوامل غیرمترقبه ای پیش می آیند که ممکن است روی تصمیمات، اقدامات و عملکرد درست یک شخص، سازمان و غیره اثر بگذارند. به طور مثال، همواره شرکتهای تولیدی و خدماتی، با رویکرد عدم قطعیت عواملی، مانند تقاضا مواجه هستند.

تاریخ وصول: ۹۰/۱۰/۱۶

تاریخ تصویب: ۹۱/۱۲/۱۳

*نویسنده مسئول مقاله:

* احمد ماکوئی: دانشیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران؛
amakui@iust.ac.ir
رضا توکلی مقدم: استاد دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده های فنی،
دانشگاه تهران؛ tavakoli@ut.ac.ir
مرتضی قمی اویلی: دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی صنایع، دانشگاه
علم و صنعت ایران؛ morteza.ghomi@yahoo.com

اگرچه این سازمانها، تمام تلاش خود را برای کاهش ریسک انجام می دهند اما بعضی از ریسکها همواره یک سازمان را تهدید می کند. احتمال خرابی تسهیلاتی مانند مراکز توزیع یکی از عواملی است که هر سازمان را تهدید می کند. از آنجا که مسئله طراحی شبکه زنجیره تامین، اثرات طولانی مدتی را روی سایر تصمیمات تاکتیکی و عملیاتی شرکت دارد، از اهمیت بسزایی برخوردار است. در حالت کلاسیک اینگونه مسائل، تعیین مکان تسهیلات و نحوه تخصیص مشتریان به تسهیلات مدنظر بود. با توجه به توضیحات ابتدایی، بسیار محتمل است که هر یک از اجزای یک سیستم دچار نقص و خرابی گردند. در این صورت، تمامی تصمیمات بنیادی مدل های کلاسیک جایابی دچار تغییر می شوند. با توجه به دنیای رقابتی امروز و اهمیت کاهش هزینه ها تا حد ممکن، ضرورت فراوان توسعه مدل های جایابی کارتر با در نظر گرفتن عواملی همچون خرابی مراکز توزیع، بیش از پیش احساس می شود.

در اینجا، مهمترین مطالعاتی که به طور مستقیم و صریح از سال ۲۰۰۳ به بعد در زمینه مسائل مکان یابی و تخصیص تسهیلات با در نظر گرفتن بحث قابلیت اطمینان انجام شده‌اند، مورد بررسی قرار می‌گیرند. اشنایدر [۱] برای نخستین بار و به طور مستقیم، مسائل مکان‌یابی و تخصیص تسهیلات را با در نظر گرفتن بحث قابلیت اطمینان مورد بررسی قرار داد. او در رساله دکتری خود در قالب رویکردی جدید، به مباحث بهینه‌سازی در زنجیره تامین در حالت عدم قطعیت، برای اولین بار، موضوع خرابی و از کار افتادگی تسهیلات را تحت عنوان قابلیت اطمینان تسهیلات در بحث مکان-یابی و تخصیص تسهیلات به طور مستقیم مورد مطالعه قرار داد و دو مسأله از مسائل مکان‌یابی تسهیلات با عنوان مسائل مکان‌یابی تسهیلات با هزینه ثابت و p -میان را با رویکرد مطرح بودن بحث قابلیت اطمینان برای تسهیلات مدنظر برای مکان‌یابی، مدل‌سازی ریاضی نمود. وی مسائل مذکور را به صورت تک‌هدفه و کمینه-سازی بیشینه هزینه خرابی و دو هدفه به صورت کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های عملیاتی (هزینه جابجایی روزانه، زمانیکه کلیه تسهیلات بدون خرابی در حال عملیات می‌باشند) و هزینه‌های انتظارخرابی (هزینه جابجایی مورد انتظار که خرابی‌های تسهیلات را به حساب می‌آورد) مدل‌سازی ریاضی کرده و سپس با استفاده از روش آزادسازی لاگرانژ، حدود بالا و پایین مسأله را بدست آورده و با به کارگیری روش شاخه و کران، جواب بهینه مسأله را تعیین کرده‌اند. آنها همچنین نمودار سعی و خطایی را بر اساس دو نمودار هزینه‌های عملیاتی و هزینه‌های انتظارخرابی ترسیم کرده‌اند و به ازای هزینه‌های مختلف عملیاتی، هزینه‌های انتظارخرابی را محاسبه کرده‌اند تا به این ترتیب نشان دهند که با افزایش مختصری در هزینه‌های عملیاتی می‌توان، قابلیت اطمینان سیستم را به اندازه قابل توجهی افزایش داد. همچنین اشنایدر و همکاران [۲] مسأله کمینه‌سازی حداکثر هزینه مسائل جایابی تسهیلات قابل اعتماد^۱ (MMRFLP) را با هدف کمینه‌سازی بیشینه هزینه مورد مطالعه قرار داده و مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط آن را ارائه کردند. برمن و همکاران [۳]، مسأله p -میان را با در نظر گرفتن بحث قابلیت اطمینان مورد بررسی قرار داده و نشان دادند که با توجه به خاصیت مجانبی، مسأله p -میان در حالت غیر قطعی در حالتی که احتمال از کارافتادگی یا خرابی صفر باشد به سمت مسأله p -میان در حالت قطعی همگرا می‌باشد. آنها همچنین مسأله p -میان در حالت غیر قطعی در بدبینانه‌ترین حالت مورد مطالعه قرار داده و روشهای ابتکاری با حدود بالا و پایین متفاوت برای حل حالت مذکور ارائه کرده‌اند. ژوان [۴] در رساله دکتری خود، مسأله جایابی تسهیلات با ظرفیت نامحدود با هزینه ثابت^۲ (UFLP) را به صورت تک‌سطحی و چندسطحی با در نظر گرفتن تسهیلات ناپایا

¹ - Mini-Max Reliable Facility Location Problem

² - Uncapacitated Fixed Charge Location Problem

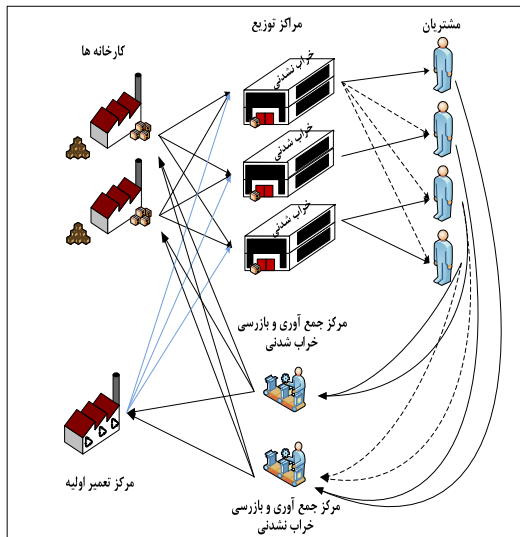
مراکز پرداخته شده است و برای ارزیابی مدل، از دو روش آزادسازی لاگرانژ و الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. نادر آزاد و همکاران [۱۷] به طراحی شبکه زنجیره تامین تحت شرایط وقفه در تسهیلات و حمل و نقل پرداختند. در این مقاله تلاش شده است مکان‌های بهینه برای جابجایی مراکز توزیع و همچنین بهترین طرح تخصیص مشتریان به هر کدام از مراکز توزیع فعال (دچار وقفه نشده) تعیین گردد. از مهمترین ویژگی‌های این مدل می‌توان به امکان خراب شدن جزئی تسهیلات اشاره کرد. یعنی یک مرکز توزیع بتواند از قسمتی از ظرفیت خود جهت تخصیص استفاده کند.

با مطالعه ادبیات موضوع می‌توان دریافت که مدل‌های جابجایی که قابلیت اطمینان سیستم را مورد توجه قرار می‌دهند بسیار اندک می‌باشند. تا پیش از سال ۲۰۰۳، هیچ مطالعه مستقیمی روی مدل‌های جابجایی که قابلیت اطمینان را هم در نظر بگیرد انجام نپذیرفت. در اندک مقالاتی هم که در این سالها این امر مهم را در نظر گرفته‌اند، مدل‌هایشان بسیار ساده و دور از واقعیت به نظر می‌رسد. زیرا عواملی همچون ظرفیت محدود مراکز توزیع، احتمال خرابی متفاوت برای مراکز توزیع از فرضیات مهمی است که در این مدل‌ها نادیده گرفته شده است. همچنین در دنیای رقابتی امروز، یکپارچه و همزمان در نظر گرفتن تصمیمات و هزینه‌های مرتبط با استقرار تسهیلات، موجودی و جابجایی در زنجیره تامین می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای در کاهش هزینه و افزایش سطح سرویس هر یک از نقاط تقاضا نقش داشته باشد.

بنابراین مدل‌هایی که همزمان به این سه عنصر کلیدی توجه می‌نمایند کاراتر به نظر می‌رسند. در این مقاله، سعی شده است شکاف‌های موجود در ادبیات مورد توجه قرار گیرند. از نقاط قوت این مقاله در مقایسه با مقالات مشابه می‌توان به یکپارچه در نظر گرفتن تصمیمات (رو به جلو/بازگشتی)، در نظر گرفتن ظرفیت محدود برای کارخانه‌ها، مراکز توزیع، جمع‌آوری و بازرسی و مراکز تعمیر اولیه و همچنین امکان خرابی مراکز به غیر از مراکز توزیع (مراکز جمع‌آوری و بازرسی) و متفاوت بودن امکان خرابی برای تسهیلات مختلف اشاره کرد. لازم به ذکر است در هیچ کدام از مقالات پیش از این، پایایی سیستم در شبکه رو به جلو/بازگشتی مورد بررسی قرار نگرفته است.

هدف از این مقاله که بر مبنای مقاله‌های ارائه شده توسط اشتایدر و همکاران [۲] و لیم و همکاران [۷] است، ارائه مدلی برای زنجیره تامین رو به جلو/بازگشتی می‌باشد که از دو بعد عملیاتی و استراتژیک به طراحی و برنامه‌ریزی زنجیره می‌پردازد. در این مقاله، چگونگی خدمت‌رسانی به مشتریان در زمان خرابی یک یا چند مرکز توزیع و همچنین نحوه تخصیص مشتریان برای بازگشت کالاهای معیوب در زمان خرابی یک یا چند مرکز توزیع جمع‌آوری تحت عنوان قابلیت اطمینان بیان می‌شود. با توجه به اهمیت

مکانیابی، موجودی، حمل و نقل و فروش از دست رفته با در نظر گرفتن از کار افتادگی‌های تصادفی می‌باشد. مدل بطور همزمان هم مکان هر یک از مراکز توزیع و هم تخصیص مشتریان به هر یک از مراکز توزیع را مشخص می‌نماید. برای حل مدل، نویسندگان از الگوریتم ژنتیک استفاده کرده‌اند. کیو و همکاران [۱۱] نیز مسأله UFLP را در حالت گسسته و با در نظر گرفتن بحث قابلیت اطمینان برای تسهیلات، مورد مطالعه قرار داده و مسأله را با هدف کمینه-سازي هزینه‌های اولیه راه‌اندازی و هزینه‌های انتظاری حمل و نقل مدل‌سازی نموده و یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط برای مسأله اشاره شده ارائه کرده‌اند. آنها همچنین برای مسائل با اندازه کوچک و متوسط یک روش حل بر اساس روش آزادسازی لاگرانژ و برای مسائل با اندازه بزرگ روش حلی بر اساس مدل تقریب پیوسته توسعه داده‌اند. کی شن و همکاران [۱۳] یک مسأله جابجایی-موجودی همزمان با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان برای تسهیلات را معرفی کردند. مسأله آنها به بهینه‌سازی مکان تسهیلات، تخصیص مشتریان و تصمیمات مدیریت موجودی در هنگامی که تسهیلات با احتمال وقفه همراه می‌شوند می‌پردازد. هدف مدل، حداقل سازی جمع هزینه‌های ساخت تسهیلات، هزینه نگهداری موجودی مورد انتظار و تخصیص مشتریان تحت سناریوهای کارکرد سالم و یا خراب تسهیلات می‌باشد. روش حل مدل بر مبنای آزادسازی لاگرانژ معرفی گردید. پنگ و همکاران [۱۴] به طراحی یک شبکه با در نظر گرفتن خرابی برای تسهیلات پرداختند. آنها به معرفی یک مدل عدد صحیح مختلط پرداختند که هدف آن، ایجاد یک موازنه بین حداقل کردن هزینه غیرواقعی (وقتی هیچ وقفه و خرابی رخ نمی‌دهد و همچنین کاهش ریسک وقفه بر مبنای رویکردهای استوار (که هزینه را در سناریوهای مختلف برای خرابی لحاظ می‌کند) می‌باشد. آنها روش فراابتکاری بر مبنای الگوریتم ژنتیک را برای حل مدل خود معرفی کردند. فدریکو لیبراتور و همکاران [۱۵] مقاوم سازی سیستم با ظرفیت محدود را مورد بررسی قرار دادند. آنها مقاوم سازی سیستم با لحاظ کردن این موضوع که منابع محافظت کننده سیستم در برابر عوامل تهدید کننده محدود می‌باشد مورد توجه قرار گرفته است. نوع وقفه و خرابی که در این مقاله لحاظ شده است بدین صورت است که وقفه یک تسهیل می‌تواند روی سایر تسهیلات اثر بگذارد. برای مدل‌سازی مسأله، یک مدل سه سطحی معرفی شده است و یک روش حل دقیق پیشنهاد شده و سپس الگوریتم حل توسط داده‌های مربوط به زمین لرزه سال ۲۰۰۹ که در لاکویلا (شهری در مرکز ایتالیا) رخ داد مورد ارزیابی قرار گرفته است. جبارزاده و همکاران [۱۶] به مدل‌سازی یک مسأله غیرخطی عدد صحیح مختلط پرداختند که هدف از آن، حداکثر کردن سود حاصل در تمام سیستم می‌باشد. در این مدل به طور همزمان به تعداد و جابجایی مراکز توزیع، تخصیص مشتریان به هر کدام از



شکل ۱: ساختار کلی شبکه زنجیره تامین مدل پیشنهادی

موضوع در مسأله طراحی شبکه زنجیره تامین، اهداف کلی زیر مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است:

- تعیین مکان کارخانه‌ها و مراکز توزیع.
- تعیین مکان مراکز جمع‌آوری و مراکز تعمیر اولیه
- نحوه تخصیص مشتریان به مراکز توزیع در تخصیص اولیه و تخصیص پشتیبان آنها.
- نحوه تخصیص کالای برگشتی از طرف مشتریان به مراکز جمع‌آوری در تخصیص اولیه و تخصیص پشتیبان آنها
- میزان محصول ارسالی از هر یک از تسهیلات در شبکه به تسهیل دیگری.

در بخش سوم، مدل پیشنهادی بیان شده و ویژگی‌های آن شرح داده می‌شود. در بخش چهارم، نتایج عددی برای تایید مدل پیشنهادی به همراه تجزیه و تحلیل آن تشریح خواهد شد. در انتهای این مقاله، نتیجه‌گیری و پیشنهادات برای تحقیقات بعدی در قالب بخش پنجم آورده خواهند شد.

۳. مدل سازی مسأله

۳-۱. شرح مسأله

ساختار کلی شبکه زنجیره تامین برای مدل، در شکل ۱ نشان داده شده است. در جهت رو به جلو، محصولات نهایی تولید شده در کارخانه‌ها (مراکز تولید و احیاء اساسی) از طریق مراکز توزیع به مشتریان برای فرستاده می‌شود. در جهت برگشت، محصولات بازگشتی از مشتریان برای بازرسی اولیه به مراکز جمع‌آوری فرستاده می‌شود. پس از بازرسی محصولات بازگشتی، محصولاتی که نیاز به تعمیر اولیه و سطحی دارند به مراکز تعمیر اولیه و محصولاتی که نیاز به تعمیر اساسی دارند به مراکز تولید و احیاء اساسی فرستاده می‌شوند.

در این مدل فرض شده است که مراکز توزیع و مراکز جمع‌آوری خراب می‌شوند و یا اینکه از خدمت‌دهی خارج می‌شوند. پس نحوه تخصیص مراکز توزیع و جمع‌آوری به مشتریان به عنوان تخصیص پشتیبان در هنگامی که تخصیص اولیه به مشتریان از خدمت‌دهی خارج شده است با توجه به هدف کمینه‌کردن هزینه کل (هزینه احداث مراکز خراب‌نشده و هزینه حمل و نقل) اهمیت بسزایی دارد.

۳-۱-۱. برخی از ویژگی‌ها و شرایط مسأله مورد نظر

مسأله یک مدل تک محصولی است. مکان‌های مشتریان ثابت و معلوم می‌باشند. مکان‌های بالقوه برای احداث کارخانه‌ها، مراکز توزیع، جمع‌آوری و مراکز تعمیر ابتدایی معلوم و به صورت گسسته می‌باشند. جریان مواد تنها بین دو سطح متوالی از لایه‌های شبکه می‌تواند برقرار باشد. همچنین ارتباطی بین تسهیلات در یک لایه وجود ندارد. تقاضای مشتریان ثابت و معلوم می‌باشد. ظرفیت انبار و تولیدی مربوط به کارخانه‌ها، ظرفیت مراکز توزیع، مراکز جمع‌آوری و مراکز تعمیر ابتدایی که تاسیس می‌شوند، محدود می‌باشد.

۳-۱-۲. مهمترین تصمیمات اتخاذ شده در مدل

- تعیین مکان کارخانه‌ها و مراکز توزیع، مراکز جمع‌آوری و تعمیر اولیه.
- نحوه تخصیص اولیه و پشتیبان مشتریان به مراکز توزیع و مراکز جمع‌آوری
- میزان محصول ارسالی از هر یک از تسهیلات در شبکه به تسهیل دیگری.

۳-۱-۳. مجموعه‌های تعریف شده در مدل

- (J) مجموعه مکان‌های کاندیدا برای احداث کارخانه‌ها $\forall j \in J$
- (K) مجموعه مکان‌های کاندیدا برای تاسیس مراکز توزیع $\forall k \in K$
- (I) مجموعه مکان‌های کاندیدا برای مراکز جمع‌آوری و بازرسی محصول $\forall i \in I$
- (E) مجموعه مکان‌های ثابت مشتریان $\forall e \in E$
- (L) مجموعه نقاط کاندیدا برای مراکز تعمیر اولیه محصول $\forall l \in L$

۳-۱-۴. پارامترهای تعریف شده در مدل

c_j : هزینه ثابت تاسیس کارخانه j ام.

۴-۱-۳. متغیرهای تصمیم

• متغیرهای پیوسته:

z (BB): میزان تولید در کارخانه z ام;
 z (MMQ): میزان محصول معیوب (محصولی که نیاز مبرم به تعمیر اساسی دارد) که از مرکز جمع آوری i ام به کارخانه z ام فرستاده می شود.
 k (Bjz): میزان محصولی که از کارخانه z ام به مرکز توزیع k ام فرستاده می شود.
 k (QQ): میزان محصولی که بعد از برطرف شدن عیب اولیه در مرکز تعمیر ابتدایی L ام به مرکز توزیع k ام فرستاده می شود.
 i (NTQ): میزان محصولی (محصولی که نیاز به تعمیر سطحی دارد) که از مرکز بازرسی i ام به مرکز تعمیر سطحی L ام فرستاده می شود.

• متغیرهای صفر و یک:

$x_j = \begin{cases} 1 & \text{اگر در مکان } z \text{ ام مرکز تولید و احیاء اساسی تاسیس شود} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$

$y_k^u = \begin{cases} 1 & \text{اگر در مکان } k \text{ ام، مرکز توزیع خراب شدنی تاسیس شود} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$

$y_k^R = \begin{cases} 1 & \text{اگر در مکان } k \text{ ام، مرکز توزیع خراب نشدنی تاسیس شود} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$

$w_i^u = \begin{cases} 1 & \text{اگر در مکان } i \text{ ام، مرکز جمع آوری خراب شدنی تاسیس شود} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$

$w_i^R = \begin{cases} 1 & \text{اگر در مکان } i \text{ ام، مرکز جمع آوری خراب نشدنی تاسیس شود} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$

$z_l = \begin{cases} 1 & \text{اگر در مکان } L \text{ ام مرکز تعمیر اولیه تاسیس شود} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$

$T.p = \begin{cases} 1 & \text{اگر تقاضای مشتری } e \text{ ام به مرکز توزیع } k \text{ ام به عنوان تخصیص اولیه اختصاص یابد.} \\ 0 & \end{cases}$

f_k^U : هزینه ثابت تاسیس مرکز توزیع k ام، اگر مرکز توزیع k ام نامطمئن و یا خراب شدنی باشد.

f_k^R : هزینه ثابت تاسیس مرکز توزیع k ام، اگر مرکز توزیع k ام مطمئن و خراب نشدنی باشد.

g_i^U : هزینه ثابت تاسیس مرکز جمع آوری و بازرسی محصول، اگر مرکز i ام، نامطمئن و یا خراب شدنی باشد.

g_i^R : هزینه ثابت تاسیس مرکز جمع آوری و بازرسی محصول، اگر مرکز i ام، مطمئن و خراب نشدنی باشد.

s_l : هزینه ثابت تاسیس مرکز تعمیر سطحی L ام.

p_z : هزینه تولید در مرکز تولید z ام.

z (ppp): هزینه تعمیر اساسی در مرکز تولید z ام.

i (pq): هزینه بازرسی محصول در مرکز بازرسی i ام.

i (pp): هزینه تعمیر سطحی و ابتدایی در مرکز تعمیر L ام.

r_e : نرخ بازگشتی از مشتری e ام.

i (rr): متوسط کسر محصولاتی که نیاز به تعمیر سطحی دارند.

z (cap): ظرفیت انبار مرکز تولید z ام برای دریافت محصولات معیوب.

z (tolid): ظرفیت تولید مرکز تولید z ام.

k (vol): ظرفیت مرکز توزیع k ام برای دریافت محصول از مراکز تولید و مراکز تعمیر ابتدایی.

i (capim): ظرفیت مرکز جمع آوری و بازرسی i ام.

i (caplm): ظرفیت مرکز تعمیر ابتدایی L ام.

h_{jk} : هزینه حمل و نقل از کارخانه z ام به مرکز توزیع k ام.

h_{ke}^p : هزینه حمل و نقل از مرکز توزیع k ام به مشتری e ام، اگر مرکز توزیع واقع در k برای مشتری e یک مرکز تخصیص اولیه باشد.

h_{ke}^B : هزینه حمل و نقل از مرکز توزیع k ام به مشتری e ام، اگر مرکز توزیع واقع در k برای مشتری e یک مرکز تخصیص پشتیبان باشد.

e_i^p (hei): هزینه حمل و نقل از مشتری e ام به مرکز جمع آوری i ام، اگر مرکز جمع آوری واقع در مکان i برای مشتری e یک مرکز تخصیص اولیه باشد.

e_i^B (hei): هزینه حمل و نقل از مشتری e ام به مرکز جمع آوری i ام، اگر مرکز جمع آوری واقع در مکان i برای مشتری e یک مرکز تخصیص پشتیبان باشد.

i (hm): هزینه حمل و نقل از مرکز جمع آوری i ام به مرکز تعمیر سطحی L ام.

i (hms): هزینه حمل و نقل از مرکز جمع آوری i ام به مرکز تعمیر اساسی z ام.

q_k : احتمال خرابی مرکز توزیع k ام.

i (qsq): احتمال خرابی مرکز جمع آوری i ام.

d_e : تقاضای مشتری e ام.

در غیر اینصورت

$$T_{ke}^B = \begin{cases} 1 & \text{اگر تقاضای مشتری e ام به مرکز توزیع k ام به عنوان تخصیص پشتیبان اختصاص یابد.} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

$$T_{ke}^S = \begin{cases} 1 & \text{اگر تقاضای مشتری e ام به مرکز توزیع k ام هم به عنوان تخصیص اولیه و هم به عنوان تخصیص پشتیبان اختصاص یابد.} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

$$u_{ei}^p = \begin{cases} 1 & \text{اگر محصول برگشتی مشتری e ام به مرکز توزیع ام به عنوان تخصیص اولیه اختصاص یابد.} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

$$u_{ei}^B = \begin{cases} 1 & \text{اگر محصول برگشتی مشتری e ام به مرکز توزیع ام به عنوان تخصیص اولیه اختصاص یابد.} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

$$u_{ei}^S = \begin{cases} 1 & \text{اگر محصول برگشتی مشتری e ام به مرکز توزیع ام هم به عنوان تخصیص اولیه و هم به عنوان تخصیص پشتیبان اختصاص یابد.} \\ 0 & \text{در غیر اینصورت} \end{cases}$$

می‌کند. بخش هفتم تا دهم تابع هدف، به ترتیب هزینه تولید محصولات در کارخانه‌ها، هزینه بازرسی محصولات بازگشتی در مراکز جمع‌آوری، هزینه تعمیر سطحی در مراکز تعمیر و هزینه تعمیر اساسی در مراکز تولید و احیاء اساسی (کارخانه‌ها) را محاسبه می‌کند. بخش یازدهم تا هجدهم تابع هدف، هزینه حمل و نقل محصولات را محاسبه می‌کند. بخش نوزدهم و بیستم تابع هدف، به ترتیب هزینه حمل و نقل اضافی از مراکز توزیع به مشتریان و همچنین هزینه حمل و نقل اضافی از مشتریان به مراکز جمع‌آوری را محاسبه می‌کند. (چون اگر یک مرکز توزیع و یا یک مرکز جمع‌آوری، هم به عنوان تخصیص اولیه و هم به عنوان تخصیص پشتیبان به یک مشتری اختصاص یابد این هزینه اضافی باید از تابع هدف کسر شود.)

۵-۳-۱. محدودیتها

$$\sum_i (MMQ)_{ij} \leq (cap)_{jx_j} \quad \forall j \quad (2)$$

$$\sum_i (MMQ)_{ij} + (BB)_j = \sum_k B_{jk} \quad \forall j \quad (3)$$

$$\sum_k B_{jk} \leq (tolid)_{jx_j} \quad \forall j \quad (4)$$

$$\sum_j B_{jk} + \sum_l (QQ)_{lk} \leq (vol)_k (y_k^u + y_k^R) \quad \forall k \quad (5)$$

$$\sum_j B_{jk} + \sum_l (QQ)_{lk} \geq \sum_e d_e (T_{ke}^p + T_{ke}^B - T_{ke}^S) \quad \forall k \quad (6)$$

$$\sum_e r_e d_e (u_{ei}^p + u_{ei}^B - u_{ei}^S) = \sum_l (NTQ)_{il} + \sum_j (MMQ)_{ij} \quad \forall i \quad (7)$$

$$\sum_e (rr)_i r_e d_e (u_{ei}^p + u_{ei}^B - u_{ei}^S) = \sum_l (NTQ)_{il} \quad \forall i \quad (8)$$

$$\sum_e (1 - (rr)_i) r_e d_e (u_{ei}^p + u_{ei}^B - u_{ei}^S) = \sum_j (MMQ)_{ij} \quad \forall i \quad (9)$$

$$\sum_e r_e d_e (u_{ei}^p + u_{ei}^B - u_{ei}^S) \leq (capIM)_i (w_i^u + w_i^R) \quad \forall i \quad (10)$$

$$\sum_i (NTQ)_{il} \leq (capIM)_{lz_l} \quad \forall l \quad (11)$$

$$\sum_i (NTQ)_{il} = \sum_k (QQ)_{lk} \quad \forall l \quad (12)$$

۴-۳-۱. تابع هدف مسأله

$$\begin{aligned} \min & \sum_j c_j x_j + \sum_k f_k^u y_k^u + \sum_k f_k^R y_k^R + \\ & \sum_i g_i^u w_i^u + \sum_i g_i^R w_i^R + \sum_l s_l z_l + \sum_j p_j (BB)_j + \\ & \sum_e \sum_i (pq)_i r_e d_e (u_{ei}^p + u_{ei}^B - u_{ei}^S) + \\ & \sum_i \sum_l (pp)_i (NTQ)_{il} + \sum_i \sum_j (ppp)_j (MMQ)_{ij} + \\ & \sum_j \sum_k h_{jk} B_{jk} + \sum_k \sum_e (1 - q_k) d_e h_{ke}^p T_{ke}^p + \\ & \sum_k \sum_e q_k d_e h_{ke}^B T_{ke}^B + \\ & \sum_e \sum_i (1 - (qsq)_i) r_e d_e (hei)_{ei}^p u_{ei}^p + \\ & \sum_e \sum_i (qsq)_i r_e d_e (hei)_{ei}^B u_{ei}^B + \\ & \sum_i \sum_l (hm)_{il} (NTQ)_{il} + \\ & \sum_i \sum_j (hms)_{ij} (MMQ)_{ij} + \sum_l \sum_k (hll)_{lk} (QQ)_{lk} - \\ & \sum_k \sum_e q_k d_e (h_{ke}^B - h_{ke}^p) T_{ke}^S - \\ & \sum_e \sum_i (qsq)_i r_e d_e ((hei)_{ei}^B - (hei)_{ei}^p) u_{ei}^S \end{aligned} \quad (1)$$

بخش اول تا ششم تابع هدف، به ترتیب هزینه ثابت تاسیس کارخانه‌ها، مراکز توزیع خراب شدنی و خراب نشدنی، مراکز جمع‌آوری خراب شدنی و خراب نشدنی و مراکز تعمیر اولیه را محاسبه

مشتریان به مرکز جمع آوری i ام فرستاده می شود با حاصل جمع محصول معیوبی که به مرکز تعمیر اولیه و محصول معیوبی که به مرکز تولید و احیاء اساسی فرستاده می شود برابر است. محدودیت (۸) بیان می دارد: میزان کل محصولاتی که نیاز به تعمیر اساسی دارند (به مراکز تعمیر ابتدایی فرستاده می شوند) برابر است با متوسط کسر محصولاتی که پس از بازرسی در مرکز جمع آوری و بازرسی i ام، باید نسبت به رفع عیب جزئی آنها اقدام صورت گیرد. محدودیت (۹) نشان می دهد: میزان کل محصول ارسالی به مرکز تولید و احیاء اساسی (محصولاتی که نیاز مبرم به تعمیر اساسی دارند) برابر است با متوسط کسر محصولاتی که پس از بازرسی در مرکز جمع آوری i ام، باید نسبت به رفع عیب اساسی آنها اقدام صورت گیرد. محدودیت (۱۰) نشان می دهد که: کل میزان ارسالی محصولات معیوب توسط مشتریان به مرکز جمع آوری i ام نمی تواند بیش تر از ظرفیت آن مرکز جمع آوری باشد. محدودیت (۱۱) بیان می دارد: کل محصولات معیوب ارسالی از مرکز جمع آوری به هر مرکز تعمیر ابتدایی نمی تواند بیش تر از ظرفیت آن مرکز تعمیر باشد. محدودیت (۱۲) نشان می دهد: کل میزان محصول معیوب ورودی به مرکز تعمیر با کل محصول سالم خروجی از همان مرکز برابر است.

محدودیت (۱۳) به ترتیب از چپ به راست نشان می دهد: هر مشتری در تخصیص اولیه به تنها یک مرکز توزیع و در تخصیص پشتیبان خود نیز تنها به یک مرکز توزیع اختصاص می یابد. محدودیت (۱۴) این الزام را به وجود می آورد که اگر هر مشتری هم در تخصیص اولیه و هم در تخصیص پشتیبان به یک مرکز توزیع یکسان اختصاص یافت، باید هزینه های مربوط به حمل و نقل اضافی از تابع هدف کسر شود. محدودیت (۱۵) به ترتیب از چپ به راست نشان می دهد که: هر مشتری در تخصیص اولیه خود تنها به مرکز توزیعی می تواند اختصاص یابد که در آن مکان یک مرکز توزیع خراب شدنی و یا خراب نشدنی احداث شده باشد. و هر مشتری در تخصیص پشتیبان خود تنها به مرکز توزیعی می تواند اختصاص یابد که در آن مکان، یک مرکز توزیع خراب نشدنی احداث شده باشد. محدودیت (۱۶) این الزام را به وجود می آورد که در مکان k ام حداکثر یک مرکز توزیع خراب شدنی و یا نشدنی می تواند احداث شود. محدودیت (۱۷) نشان می دهد: از آنجا که مشتریان در تخصیص پشتیبان خود حتما به یک مرکز توزیع خراب نشدنی اختصاص می یابند و به دلیل آنکه در تخصیص اولیه هم می توانند به مرکز توزیع خراب نشدنی اختصاص یابند پس تعداد مراکز توزیع خراب نشدنی حداقل ۱ می باشد. محدودیت (۱۸) این الزام را به وجود می آورد که هر مشتری محصولات معیوب خود را در هر دو سطح اولیه و پشتیبان تنها به یک مرکز جمع آوری برگشت دهد. محدودیت (۱۹) این الزام را به وجود می آورد که اگر هر مشتری

$$\sum_k T_{ke}^p = 1, \quad \sum_k T_{ke}^b = 1 \quad \forall e \quad (13)$$

$$T_{ke}^s \leq T_{ke}^p, \quad T_{ke}^s \leq T_{ke}^b \quad \forall k, e \quad (14)$$

$$T_{ke}^p \leq (y_k^u + y_k^r), \quad T_{ke}^b \leq y_k^r \quad \forall k, e \quad (15)$$

$$(y_k^u + y_k^r) \leq 1 \quad \forall k \quad (16)$$

$$\sum_k y_k^r \geq 1 \quad (17)$$

$$\sum_i r_e u_{ei}^p = r_e, \quad \sum_i r_e u_{ei}^b = r_e \quad \forall e \quad (18)$$

$$u_{ei}^s \leq u_{ei}^p, \quad u_{ei}^s \leq u_{ei}^b \quad \forall e, i \quad (19)$$

$$u_{ei}^p \leq (w_i^u + w_i^r), \quad u_{ei}^b \leq w_i^r \quad \forall e, i \quad (20)$$

$$\sum_i w_i^r \geq 1 \quad (21)$$

$$w_i^u + w_i^r \leq 1 \quad \forall i \quad (22)$$

$$(BB)_j, (MMQ)_{ij}, B_{jkl}, (QQ)_{lk}, (NTQ)_{il} \geq 0 \quad \forall i, j, k, l \quad (23)$$

$$x_j, y_k^u, y_k^r, w_i^u, w_i^r, T_{ke}^p, T_{ke}^b, T_{ke}^s, u_{ei}^p, u_{ei}^b, u_{ei}^s, z_l \in [0,1] \quad \forall i, j, k, l \quad (24)$$

محدودیت (۲) بیان می دارد: کل میزان محصولی که برای تعمیر اساسی به مرکز تولید و احیاء بازگردانده می شود، نمی تواند بیش تر از ظرفیت انبار مرکز تولید و احیاء برای کالاهای برگشتی باشد. محدودیت (۳) بیان می دارد که کل میزان محصولی که بعد از بازگشت به مرکز j ام، تعمیر اساسی شده اند به اضافه کل محصولات تولیدی در مرکز j ام برابر است با حداکثر میزان محصول خروجی از مرکز j ام. محدودیت (۴) نشان می دهد که کل میزان محصول ارسالی از کارخانه j ام به مراکز توزیع نمی تواند بیش تر از ظرفیت تولیدی همان مرکز تولید باشد. محدودیت (۵) بیان می دارد که میزان محصول ارسالی از مراکز تولید و مراکز تعمیر ابتدایی به مرکز توزیع k ام (خراب شدنی و یا نشدنی) حداکثر به میزان ظرفیت آن مرکز توزیع می باشد. محدودیت (۶) نشان می دهد تمامی تقاضاهایی که از مرکز توزیع k ام برآورده می شوند نمی توانند بیشتر از جریان ورودی به همان مرکز توزیع باشند (هر مشتری تمامی تقاضای خود در سطح اولیه و همچنین در سطح پشتیبان را تنها از یک مرکز توزیع دریافت می دارد). محدودیت (۷) نشان می دهد: میزان محصول معیوب که از طرف

در جدول شماره ۱، نوع مثال و تعداد مراکز بالقوه و ثابت نشان داده شده است.

جدول ۱: اندازه‌های مختلف برای حل مسأله

| نام مرکز | نوع مثال | کوچک | متوسط | بزرگ |
|----------|---|------|-------|------|
| | تعداد مکان بالقوه برای تاسیس کارخانه | ۳ | ۴ | ۵ |
| | تعداد مکان بالقوه برای تاسیس مراکز توزیع | ۳ | ۴ | ۲۰ |
| | تعداد مکان بالقوه برای تاسیس مراکز جمع‌آوری | ۳ | ۱۰ | ۲۰ |
| | تعداد مکان بالقوه برای تاسیس مراکز تعمیر | ۳ | ۸ | ۵ |
| | تعداد مشتریان | ۳ | ۱۰ | ۲۰ |

مقادیری که برای پارامترهای تقاضا، مختصات جغرافیایی نقاط (طول و عرض جغرافیایی نقاط کانیدا و نقاط تقاضا) برای این مدل مورد استفاده قرار گرفتند از مجموعه داده‌هایی است که توسط اشنایدر^۳ فراهم شده‌اند. همچنین سایر پارامترهایی که به مدل پیشنهادی، اضافه شده‌اند از مقاله‌های اشنایدر و همکاران [۲]، لیم و همکاران [۶] و پیشوایی و همکاران [۱۲] استخراج شده‌اند. احتمال وقفه و یا رخداد خرابی مراکز توزیع از یکدیگر مستقل فرض شده و در بازه (۰.۰۷۵ و ۰.۰۲۵) به طور یکنواخت انتخاب شده‌اند. هزینه تاسیس مراکز نامطمئن و خراب شدنی، به صورت حاصل جمع هزینه ثابت و هزینه متغیر که تابعی از تقاضا در هر یک از نقاط کانیدا می‌باشد، محاسبه شده است. یعنی:

$$f_k^u = 500000 + 1.7 d_k \quad (25)$$

هزینه تاسیس مراکز نامطمئن و خراب شدنی مبتنی بر احتمال خرابی معرفی شده است:

$$\delta = (f_k^R - f_k^u) = 5000000 q_k \quad (26)$$

در اینجا، برای هزینه تاسیس مراکز نامطمئن و خراب شدنی داریم:

$$f_k^R = f_k^u + 5000000 q_k \quad (27)$$

بنابراین هر چه یک مکان با احتمال خرابی بیشتری مواجه باشد، برای اینکه آن مکان را بتوان با قابلیت اطمینان بیشتری ساخت، باید هزینه بیشتری را صرف احداث آن نمود.

فاصله بین دو مکان، با استفاده از فاصله اقلیدسی محاسبه شده است و برای بدست آوردن هزینه حمل و نقل در عدد ثابت ۱۰۰۰ ضرب شده است. همچنین برای لحاظ کردن هزینه حمل و نقل بیشتر برای تخصیص پشتیبان، رابطه زیر مدنظر قرار گرفته است:

$$h_{ke}^B = 1.25 h_{ke}^P \quad (28)$$

مقادیر مربوط به دیگر پارامترهای این مدل، در قالب جدول ۲

هم در تخصیص اولیه و هم در تخصیص پشتیبان به یک مرکز جمع‌آوری یکسان اختصاص یافت، باید هزینه‌های مربوط به حمل و نقل اضافی از تابع هدف کسر شود. محدودیت (۲۰) از چپ به راست نشان می‌دهد که: هر مشتری محصولات معیوب خود را در تخصیص اولیه تنها به مکانی می‌تواند برگشت دهد که در آن مکان، یک مرکز جمع‌آوری خراب شدنی و یا خراب نشدنی احداث شده باشد. و هر مشتری در تخصیص پشتیبان خود تنها به مرکزی می‌تواند محصولات معیوب خود را بازگشت دهد که در آن مکان، یک مرکز جمع‌آوری خراب نشدنی احداث شده باشد. محدودیت (۲۱) نشان می‌دهد: از آنجا که هر مشتری محصولات معیوب خود را در تخصیص پشتیبان به یک مرکز جمع‌آوری خراب نشدنی اختصاص می‌دهد و در تخصیص اولیه خود نیز می‌تواند به یک مرکز جمع‌آوری خراب نشدنی اختصاص یابد، پس حداقل یک مرکز جمع‌آوری خراب نشدنی باید احداث شود. محدودیت (۲۲) نشان می‌دهد در مکان i ام، حداکثر یک مرکز جمع‌آوری خراب شدنی و یا خراب نشدنی می‌تواند قرار گیرد. محدودیت (۲۳) غیر منفی بودن متغیرهای انتقال جریان محصولات بین تسهیلات را نشان می‌دهد. محدودیت (۲۴) مربوط به تعریف متغیرهای صفر و یک می‌باشد.

۴. اعتبار مدل، مثالهای عددی و نتایج آن

۴-۱. اعتبار مدل

در این بخش، ابتدا برای اطمینان از صحت مدل، مسأله‌ای در ابعاد بسیار کوچک طراحی شده است. پارامترهایی که برای این مسأله بیان شدند به گونه‌ای انتخاب شدند که جواب مسأله بدون استفاده از نرم‌افزارهای مرتبط مشخص باشد. بدین صورت که، هزینه احداث مراکز توزیع و مرکز جمع‌آوری و بازرسی خراب نشدنی بسیار ناچیز می‌باشد، هزینه حمل و نقل زمانی که یک مشتری از یک مرکز توزیع در سطح پشتیبان خدمت می‌گیرد تفاوتی با زمانی که از سطح اولیه می‌گیرد نداشته باشد. پیش از حل کاملاً مشخص است که بهتر است تنها یک مرکز توزیع خراب نشدنی داشته باشیم زیرا با این کار، همه مشتریان تمامی نیاز خود را در همان سطح اول از مرکز توزیع دریافت می‌کنند و سیستم دیگر متحمل هزینه اضافی حمل و نقل به جهت تخصیص مشتریان به مراکز توزیع در سطوح پشتیبان نمی‌گردد. همچنین این مسأله کوچک توسط نرم افزار Gams و با استفاده از حلگر Cplex حل شده و نتایج حاصل از آن با نتایج مورد انتظار برابری کرده است.

۴-۲. حل مدل در اندازه‌های مختلف

در این قسمت، مثالهایی در اندازه‌های کوچک، متوسط و بزرگ برای نشان دادن کاربردی بودن مدل بیان می‌گردد که به طور کلی

³ - <http://www.lehigh.edu/~lus2>

جدول ۳: نتایج کلی مثال‌های عددی

| شماره مثال | مقدار تابع هدف | زمان حل (ثانیه) |
|------------|----------------|-----------------|
| ۱ | ۳۴۲۷۳۰۰۰۰ | ۳.۱۴۵ |
| ۲ | ۱۶۱۶۹۰۰۰۰۰ | ۵.۱۲۶ |
| ۳ | ۲۱۹۷۸۰۰۰۰ | ۹.۲۵۷۹ |

۵. نتیجه گیری و پیشنهادات آتی

در مدل‌های کلاسیک جایابی تسهیلات در زنجیره‌های توزیع، کمتر به خرابی مراکز توزیع توجه شده است و عموماً تسهیلات به گونه‌ای مکان‌یابی می‌شدند که گویی هیچ‌گاه دچار نقص و خرابی نمی‌شوند ولی در دنیای واقعی، همواره تسهیلات در معرض خرابی قرار دارند. که این امر موجب شد در مدل پیشنهادی، خرابی مراکز توزیع و مراکز جمع‌آوری و بازرسی مورد بررسی قرار گیرد. در ادبیات موارد اندکی که برای تسهیلات، احتمال بروز خرابی در نظر گرفته شده است، فرض شده که تمامی تسهیلات با احتمال یکسان دچار اختلال می‌شوند اما در دنیای واقع هر کدام از تسهیلات با احتمال-های مختلف دچار اختلال می‌شوند که در این مقاله سعی شده است این امر مهم لحاظ گردد. از آنجا که زنجیره تامین اغلب به صورت چند سطحی تعریف می‌شود، لذا در نظر گرفتن قابلیت اطمینان برای بیش از یک سطح می‌تواند مد نظر قرار گیرد که در این مقاله برای اولین بار به آن پرداخته شده است. در این مقاله، با در نظر داشتن انواع ویژگی‌ها و شرایط دنیای واقعی همچون یکپارچه‌سازی شبکه، مدنظر قرار دادن ظرفیت محدود برای مراکز، مدل برنامه‌ریزی ریاضی معرفی گردید. و سپس مدل ریاضی حل شده و نتایج آن مورد بررسی قرار گرفت. از جمله مسیرهای آتی برای این تحقیق می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

- تا به حال به نوع تابع توزیع احتمال از کار افتادگی تسهیل هیچ گونه اشاره‌ای نشده است و همه تحقیقات برای سادگی تحقیق یک احتمال ثابت را در نظر گرفته‌اند.
 - برای حل مدل ریاضی مسأله، الگوی جستجوی روشهای فراابتکاری بر اساس اصول روشهای پیشرفته تلفیقی پایه-گذاری گردد.
 - با توجه به شرایط در دنیای واقعی، اهداف مختلف که عموماً در تعارض با یکدیگر هستند شناسایی و مساله به صورت چند هدفه مدل گردد.
- برای بهینه‌سازی همزمان تابعهای هدف، از روش نوین برنامه‌ریزی آرمانی و یا روش تابع مطلوبیت استفاده گردد.

نمایش داده شده است. لازم به ذکر است مقادیر این پارامترها از مقاله پیشوایی و همکاران [۱۲] استخراج شده است. اطلاعات مربوط به نتایج کلی مثالهای عددی در قالب جدول ۳ و نتایج کامل مربوط به مثال در اندازه بزرگ برای نمونه در صفحه بعد آورده شده است. لازم به ذکر است که محاسبات مربوطه در نرم افزار Gams و با استفاده از حلگر Cplex و در کامپیوتر شخصی و با مشخصات Quad core intel core i7 و با 4.00 GB RAM انجام پذیرفته است.

جدول ۲: مقادیر مربوط به پارامترهای مدل

| پارامتر | مقدار |
|---|--------------------------------|
| هزینه احداث مراکز جمع آوری نامطمئن | $g_i^u = 100000 + 1.4 d_k$ |
| هزینه احداث مراکز جمع آوری مطمئن | $g_i^R = g_i^u + 5000000 qq_i$ |
| هزینه احداث مرکز تعمیر اولیه | $s_l = 300000 + 1.6 d_k$ |
| هزینه بازرسی در مرکز جمع آوری | Uniform(1.5,3) |
| هزینه تعمیر سطحی | Uniform(4.5,9) |
| هزینه تعمیر اساسی | Uniform(12,27) |
| ظرفیت انبار کارخانه | Uniform(3000,4000) |
| ظرفیت مرکز جمع آوری | Uniform(1000,1500) |
| ظرفیت مرکز تعمیر | Uniform(600,1300) |
| احتمال خرابی مرکز جمع آوری | Uniform(0.0025,0.0075) |
| نرخ بازگشتی محصول از مشتری | Uniform(0.3,0.5) |
| متوسط کسر محصولاتی که به مرکز تعمیر سطحی فرستاده می‌شوند. | ۰.۲ |

| مقدار تابع هدف | متغیرهای پیوسته | | | | متغیرهای تخصیص | | | | | | متغیرهای صفر و یک | | | | شماره مثال |
|----------------------|-------------------------|-------------|--------------------|-------------|-------------------------------------|--------------|----------------|-------------------------------------|--------------|----------------|-------------------------|---------|----------------------|---------|------------|
| | مقدار جریان بین تسهیلات | | | | تخصیص مشتری به مرکز جمع آوری | | | تخصیص مشتری به مرکز توزیع | | | مرکز جمع آوری تاسیس شده | | مرکز توزیع تاسیس شده | | |
| | | | | | هم در سطح اولیه و هم در سطح پشتیبان | در سطح اولیه | در سطح پشتیبان | هم در سطح اولیه و هم در سطح پشتیبان | در سطح اولیه | در سطح پشتیبان | مطمئن | نامطمئن | مطمئن | نامطمئن | |
| ۰۰۰۰۷۸۶۱۱ | | | | | ۱-۱۸ | ۱۳ | ۴۴ | ۴۱ | ۱۱ | ۳ | ۱۸ | ۱ | ۴ | ۱ | ۴ |
| | (۱۴)=۱۸۸۹۷ | (۳۱)=۳۱۹۸۷۰ | (۱۳)=۴۰۷۲۴ | (۴۱)=۲۷۰۱۳۰ | ۲-۱۸ | ۲-۱۳ | ۴-۱۱ | ۴۲ | ۱-۱۸ | | | ۳ | | ۲ | |
| | (۳۴)=۱۳۷۰۴۰۲ | | (۳۳)=۳۴۰۳۵۰ | (۴۲)=۲۴۰ | ۳-۱۸ | ۳۴ | | ۴۳ | ۲۲ | | | ۴ | | ۳ | |
| | (۴۴)=۶۳۰۰۳۶ | | (۴۳)=۱۵۰۷۵۹ | (۴۳)=۱۷۰ | ۴-۱۸ | ۴-۱۰ | | ۴۴ | ۲-۱۳ | | | ۱۰ | | ۶ | |
| | -۴)=۱۸۰۰۲۵۲ (۱۰ | | (۱۰-۳)=۴۵۰۰۶۳ | (۴۴)=۱۸۸۶ | ۵-۱۸ | ۵-۱۳ | | ۴۵ | ۳۳ | | | ۱۳ | | ۷ | |
| | -۴)=۲۴۰۰۱۵۲ (۱۲ | | (۱۳-۳)=۶۰۰۰۳۸ | (۴۶)=۲۵۸ | ۶-۱۸ | ۶-۱۰ | | ۴۶ | ۴۴ | | | | | ۱۹ | |
| | -۴)=۶۳۹۰۷۴۰ (۱۸ | | (۳)=۱۵۹۰۹۳۵ (۱۸ | (۴۷)=۳۰۵ | ۷-۱۸ | ۷-۱۳ | | ۴۷ | ۴-۱۱ | | | | | | |
| | | | | | ۸-۱۸ | ۸-۱۳ | | ۴۸ | ۶۶ | | | | | | |
| | | | | | ۹-۱۸ | ۹-۱۳ | | ۴۹ | ۶-۱۵ | | | | | | |
| | | | | | ۱۰-۱۸ | ۱۰-۱۳ | | ۴-۱۰ | ۶-۱۶ | | | | | | |
| | | | | | ۱۱-۱۸ | ۱۱-۱۰ | | ۴-۱۱ | ۶-۲۰ | | | | | | |
| | | | | | ۱۲-۱۸ | ۱۲-۱۳ | | ۴-۱۲ | ۷۷ | | | | | | |
| | | | | | ۱۱۳-۱۸ | ۱۳-۱۳ | | ۴-۱۳ | ۷۸ | | | | | | |
| | | | | | ۱۴-۱۸ | ۱۴-۱۰ | | ۴-۱۴ | ۷-۱۴ | | | | | | |
| | | | | | ۱۵-۱۸ | ۱۵-۱۰ | | ۴-۱۵ | ۷-۱۷ | | | | | | |
| | | | | | ۱۶-۱۸ | ۱۶-۱۰ | | ۴-۱۶ | ۱۹-۵ | | | | | | |
| | | | | | ۱۷-۱۸ | ۱۷-۱۰ | | ۴-۱۷ | ۱۹-۹ | | | | | | |
| | | | | | ۱۸-۱۸ | ۱۸-۱۰ | | ۴-۱۸ | ۱۹-۱۲ | | | | | | |
| | | | | | ۱۹-۱۸ | ۱۹-۱۰ | | ۴-۱۹ | ۱۹-۱۹ | | | | | | |
| | | | | ۲۰-۱۸ | ۲۰-۱۰ | | ۴-۲۰ | | | | | | | | |

- [4] Zhan, R.L., Models and algorithms for reliable facility location problems and system reliability optimization. Ph.D. dissertation, 2007, UNIVERSITY OF FLORIDA.
- [5] Zhan, R.L., Z.J.M. Shen, and M.S. Daskin, System reliability with location-specific failure probabilities. Working paper, 2007. Department of Industrial Engineering and Operations Research, University of California at Berkeley.
- [6] Cui, T., Y. Ouyang, and Z.J.M. Shen, Reliable facility location design under the risk of disruptions. Operations Research, 2010. 58(4-Part-1): p. 998-1011.
- [7] Lim, M., Daskin, M.S., A. Bassamboo, S. Chopra, Facility location decisions in supply chain networks with random disruption and imperfect information. Working paper, Department of Business Administration, University of Illinois., 2009.

مراجع

- [1] Snyder, L.V., Supply chain robustness and reliability: Models and algorithms (PHD Thesis), Dept. of Industrial Engineering and Management Sciences. 2003, Northwestern University: Evanston, IL.
- [2] Snyder, L.V., Scaparra, M.P. and M.S. Daskin, Church, R.L., Planning for disruptions in supply chain networks. Tutorials in Operations Research: Models, Methods, and Applications for Innovative Decision Making, 2006. ISBN: 13 978-1-877640-20-9(DOI 10.1287 / educ.1063.0025): p. 234-257.
- [3] Berman, O., D. Krass, and M.B.C. Menezes, Facility reliability issues in network p-median problems: Strategic centralization and co-location effects. Operations Research, 2007. 55(2): p. 332.

- [8] Gade, D. and E. Pohl, Sample average approximation applied to the capacitated-facilities location problem with unreliable facilities. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability, 2009. 223(4): p. 259-269.
- [9] The uncertainty evaluation method of supply chain reliability. Xin Miao, bo yo, Bao Xi. 2009, Transport.
- [10] An integrated model for location-inventory problem with disruptions. Aryanezhad, Mir bahador. 2009, Decision Science.
- [11] Reliable facility location design under the risk disruptions. Cui. Tingting, Shen Zuo-Jun. 2010, Computers & Operation Research.
- [12] Pishvae, M.S., Rabbani, M., and Torabi, S.A., "A robust optimization approach to closed-loop supply chain network design under uncertainty", Appl. Math. Modeling (2010).
- [13] Qi Chen, Xiaopeng Li, Yanfeng Ouyang "Joint inventory-location problem under the risk of probabilistic facility disruptions" Transportation Research Part B 45 (2011) 991-1003.
- [14] Peng, P., Snyder, L.V., Lim, A., Liu, Z., Reliable logistics networks design with facility disruptions" Transportation Research Part B 45 (2011) 1190-1211.
- [15] Federico Liberatore, Maria P. Scaparra, Mark S. Daskin "Hedging against disruptions with ripple effects in location analysis" Omega 40 (2012) 21-30.
- [16] Armin Jabbarzadeh, Seyed Gholamreza Jalali Naini, Hamid Davoudpour, and Nader Azad, "Designing a Supply Chain Network under the Risk of Disruptions" Hindawi Publishing Corporation Mathematical Problems in Engineering, Volume 2012, Article ID 234324, 23 pages.
- [17] Nader Azad · Georgios K.D. Saharidis, Hamid Davoudpour, Hooman Malekly, Seyed Alireza Yektamaram, "Strategies for protecting supply chain networks against facility and transportation disruptions: an improved Benders decomposition approach" Springer Science+Business Media, LLC 2012.