

A Bi-Objective Robust Model for Location-Routing and Capacity Sharing in Districting Regions under Uncertainty

Ramin Saedinia

PhD Candidate in Industrial Engineering, Faculty of Industrial and Mechanical Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

Behnam Vahdani*

Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial and Mechanical Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

Farhad Etebari

Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial and Mechanical Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

Behroz Afshar Najafi

Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial and Mechanical Engineering, Qazvin Branch, Islamic Azad University, Qazvin, Iran

Abstract

One of the most important approaches that can lead to the creation of various advantages for enterprises is the districting regions into the service offering locations and the demand units, which causes the increase in level of customers' access to get the service. On the other hand, if vehicle routing is carried out in districting regions in order to deliver products to customers, the planning of customer service can be improved. However, in none of the research conducted in the area of design supply chain, vehicle routing in districting regions has been not investigated. Therefore, in the current study, a bi-objective mathematical model is presented to simultaneously focus on districting regions, facility location-allocation, service sharing, intra-district service transfer and vehicle routing. The first objective function minimizes the total cost of designing the CLSC network, which includes costs of opening facility and vehicle routing. The second objective function minimizes the maximum volume of surplus demand from service providers in order to achieve an appropriate balance in demand volume across all regions. Moreover, a robust optimization approach is used to take into account uncertainty in some parameters of the proposed model. In addition, the validity of the proposed mathematical model and the proposed solution has been investigated on a real case in the oil and gas industry.

Keywords: Location-Routing; Districting Regions; Capacity Sharing; Robust Optimization.

* Corresponding Author: b.vahdani@gmail.com

How to Cite: Saedinia, R., Vahdani, B., Etebari, A. and Afshar, N, G (2021). A Bi-Objective Robust Model for Location-Routing and Capacity Sharing in Districting Regions under Uncertainty, *Industrial Management Studies*, Vol.19 No 60, Spring 2021

یک مدل استوار دو هدفه برای مکان‌یابی - مسیریابی و اشتراک‌گذاری ظرفیت در مناطق ناحیه‌بندی شده تحت شرایط عدم قطعیت

رامین ساعدی نیا

دانشجوی دکتری مهندسی صنایع، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی مکانیک، گروه مهندسی صنایع، قزوین، ایران

بهنام وحدانی*

استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، گروه مهندسی صنایع، قزوین، ایران

فرهاد اعتباری

استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، گروه مهندسی صنایع، قزوین، ایران

بهروز افشارنجفی

دانشیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد قزوین، دانشکده مهندسی صنایع و مکانیک، گروه مهندسی صنایع، قزوین، ایران

چکیده:

یکی از مهمترین رویکردها که منجر به ایجاد مزیت‌های متنوعی برای بنگاه‌های اقتصادی می‌باشد، ناحیه بندی مناطق به مکان‌های سرویس دهی و واحدهای متقاضی می‌باشد که باعث افزایش سطح دسترسی مشتریان جهت دریافت خدمت می‌باشد. به طوری که می‌تواند در طراحی مجدد و ناحیه بندی مجدد شرکت‌ها نیز مورد استفاده قرار گیرد. از طرف دیگر مسیریابی وسایل حمل و نقل جهت ارائه محصولات به مشتریان در صورتی که در مناطق ناحیه بندی شده انجام پذیر می‌تواند منجر به برنامه ریزی هر چه بهتر در سرویس دهی به مشتریان گردد. با این حال در هیچ یک از تحقیقات انجام گرفته شده در حوزه طراحی شبکه زنجیره تامین، مسیریابی وسایل حمل و نقل در نواحی طبقه بندی شده مورد بررسی قرار گرفته نشده است. از اینرو در این تحقیق یک مدل ریاضی دو هدفه ارائه شده است تا بصورت همزمان ناحیه بندی مناطق، مکانیابی-تخصیص تسهیلات، اشتراک گذاری خدمت و انتقال خدمت درون منطقه ای و مسیریابی وسایل حمل و نقل به صورت توأمان انجام پذیرد. تابع هدف اول به دنبال کمینه نموده مجموع هزینه‌های شبکه زنجیره تامین می‌باشد. تابع هدف دوم به دنبال حداقل نمودن حداکثر حجم تقاضای مازاد سرویس دهنده‌ها می‌باشد. همچنین رویکرد بهینه سازی استوار به منظور لحاظ نمودن عدم قطعیت در برخی از پارامترهای مدل ارائه شده بکار گرفته شده است. به علاوه یک مطالعه موردی در صنعت نفت و گاز مورد بررسی قرار گرفته شده است.

کلیدواژه‌ها: مکان‌یابی-مسیریابی، ناحیه‌بندی، به اشتراک گذاری ظرفیت، بهینه‌سازی استوار

* نویسنده مسئول: b.vahdani@gmail.com

مقدمه

امروزه با افزایش رقابت میان شرکت‌های تجاری، سرویس دهی مناسب به مشتریان یکی از ارکان اصلی در برنامه ریزی آنها می‌باشد. یکی از ابزارهای دستیابی به این مهم برنامه ریزی لجستیکی به منظور عدم مواجهه با کمبود کالا در مراکز توزیع و ایجاد یک تعادل مناسب میان عرضه و تقاضا محصولات در هر یک از این مراکز می‌باشد (Vahdani and Mohammadi., 2015). در دنیای واقعی و در هر یک از دپارتمان‌های فروش شرکت‌ها، ناحیه بندی مشتریان به منظور ایجاد یک بالانس میان عرضه و تقاضا امری ضروری می‌باشد، به طوریکه با توجه به حجم تقاضای پیش بینی شده مشتریان در منطق مختلف ناحیه بندی شده و با توجه به تقسیم بندی انجام گرفته توزیع محصولات تولیدی در بین آنها انجام می‌پذیرد (Dutta et al., 2015). مشخصا این برنامه ریزی سخت می‌شود اگر ملاحظات مربوط به زنجیره معکوس نیز در آن گنجانده شود. از طرف در بیشتر تحقیقات انجام شده در ادبیات موضوع که تصمیمات مکان یابی و مکان یابی-مسیریابی را در نظر گرفته اند، مدل‌های به گونه ای ارائه شده اند که با افزایش حجم تقاضا تسهیلات بیشتری در جهت خدمت رسانی به این تقاضاها در صورت عدم وجود ظرفیت در تسهیلات موجود بازگشایی شوند. در حالی که این امر بسیار هزینه بر بوده و عملا در دنیای واقعی امکان پذیر نمی‌باشد (Saedidnia, 2019). از اینرو شرکت‌ها به دنبال آن هستند تا از طریق به اشتراک گذاری خدمات از طریق توزیع کنندگان خود این معضل را پوشش دهند. از اینرو با در نظر گرفتن ناحیه بندی مشتریان و به اشتراک گذاری خدمات در بین توزیع کنندگان شرایط به مراتب بهتری جهت افزایش کارایی زنجیره تامین ایجاد می‌گردد. مشخص است در صورتی که ملاحظات مربوط به مسیریابی وسایل حمل و نقل به منظور ارائه سرویس در بین مناطق ناحیه بندی شده مشتریان مدنظر قرار گیرد، این کارایی می‌تواند به مراتب افزایش یافته و علاوه بر ارائه سرویس هر چه بهتر به مشتریان و کاهش ظرفیت اتلاف شده توزیع کنندگان برنامه ریزی جهت نحوه و مسیر ارائه خدمات به مشتریان نیز مشخص گردد.

در واقع یکی از موضوعات بسیار مهم در برنامه ریزی سرویس دهی به مشتریان یا تسهیلات موجود در شبکه‌های زنجیره تامین که تاثیر قابل توجهی بر روی کیفیت سرویس دهی دارد، وجود تقاضایی بیش از ظرفیت سرویس دهندگان می‌باشد. به طوریکه می‌توان عنوان داشت در شرایط مورد اشاره این سرویس دهندگان با کمبود ظرفیت جهت پاسخگویی به تقاضا مواجه می‌گردند. این کمبود عموماً بدین علت رخ می‌دهد که به طور معمول سرویس دهندگان ظرفیت پایینی را جهت ارائه خدمت به مشتریان برای خود در نظر می‌گیرند. که این موضوع متأثر از شرایط نامناسب و رکود اقتصادی می‌باشد (Saedidnia, 2019; Ahmadzadeh and Vahdani, 2017). همچنین از آنجایی که امکان افزایش ظرفیت توسط سرویس دهندگان در طول افق برنامه ریزی به سادگی امکان پذیر نمی‌باشد، نیاز به استفاده از رویکردهای موثر جایگزین امری ضروری می‌باشد. یکی از این رویکردهای موثر استفاده از مدل اختلاف مکانی^۱ می‌باشد (Ko et al., 2015). لازم به ذکر است به منظور بکارگیری مدل اختلاف مکانی می‌بایستی تنظیم ظرفیت و ناحیه بندی مجدد انجام پذیرد.

منظور از ناحیه بندی در واقع خوشه بندی مناطق مشتریان به مکان‌های سرویس دهی و واحدهای تقاضا می‌باشد. این ناحیه بندی اهمیت زیادی در افزایش سطح دسترسی مشتریان به خدمات مورد نیاز آنها دارد، چراکه ناحیه بندی باعث می‌گردد واحدهای تحت مسئولیت هر خدمت دهنده مشخص شده و همچنین سطح تقاضای هر ناحیه نیز به طبع آن معین گردد. یکی دیگر از مزیت‌های ناحیه بندی که از طریق آن می‌توان حجم تقاضای مناطق را بالانس نمود، انتقال خدمات داخل منطقه ای^۲ می‌باشد. بدین صورت که با بکارگیری این رویکرد می‌توان مدیریت موثری بر چگونگی به اشتراک گذاری ظرفیت سرویس دهندگان داخل مناطق ایجاد نمود (ساعدی نیا، ۲۰۱۹). بدین صورت که سرویس دهندگان مناطقی که دارای ظرفیت اضافی سرویس دهی می‌باشند از طریق انتقال این ظرفیت اضافی به سرویس دهندگان دارای اضافه تقاضا می‌توانند بالانس مناسبی از حجم

1. Spatial disparity model

2. Intra-district service transfer

تقاضا و سطح سرویس دهی به مشتریان ایجاد نمایند. لازم به ذکر است لازمه ایجاد یک بالانس مناسب از حجم تقاضا بین مناطق مختلف، ایجاد یک تعادل مناسب از تقاضا و سرویس دهی در هر منطقه می باشد. پر واضح است این انتقال یکپارچه سرویس براحتی مدل سازی نمی گردد چراکه انتقال سرویس نباید بین تسهیلاتی که هر دوی آنها سرویس اضافی دارند صورت گیرد همچنین نباید بین تسهیلاتی که میزان تقاضای زیادی دارند انجام شود و حتی امکان دارد قسمتی از خدمت منتقل شده طی انتقالات هدر رود. لذا جهت مدل سازی این شرایط حالت‌های مختلفی از انتقالات که پیچیدگی بالایی دارند باید در نظر گرفته شود (Ko et al., 2015).

مسیریابی وسایل حمل و نقل یکی از مهمترین مسائلی می باشد که توسط محقق مختلفی مورد توجه قرار گرفته است به طوریکه در آن نحوه و ترتیب سرویس دهی به مشتریان مشخص می گردد. همچنین نوع و تعداد وسایل حمل و نقل از دیگر موضوعاتی است که می توان با حل این مسئله بدان دست یافت. با این حال در تمامی تحقیقات انجام شده در ادبیات موضوع مناطق مشتریان به صورت کلاسیک بوده و ناحیه بندی انجام نشده است. همچنین در مدل‌های مکان یابی مسیریابی نیز مناطق مشتریان به صورت کلاسیک در نظر گرفته شده است. این در حالی است که ناحیه بندی مناطق مشتریان به منظور ارائه سرویس از طریق مسیریابی در بسیاری از شرکت‌ها در عمل استفاده می شود از اینرو لحاظ ملاحظات ناحیه بندی مشتریان و مسیریابی وسایل حمل و نقل می تواند به صورت توامان این شکاف تحقیقاتی را پوشش دهد (Schiffer et al., 2019).

از سوی دیگر یکی از چالش‌های جدیدی که محققین در برنامه ریزی و طراحی شبکه‌های زنجیره تامین با آن مواجه هستند وجود عدم قطعیت می باشد. برخی از این عدم قطعیت‌ها عملکرد اعضاء زنجیره تامین مانند تامین کنندگان، سازندگان و یا غیره را تحت تاثیر قرار می دهند که اصطلاحاً به این نوع از عدم قطعیت، عدم قطعیت‌های محیطی اطلاق می شود (Niakan et al., 2015, Vahdani et al., 2012a,b; Vahdani et al., 2013a,b; Mohammadi et al., 2014). دسته دیگری از عدم قطعیت‌ها وجود دارد که فرایندهای موجود در زنجیره تامین نظیر تولید، توزیع و غیره را تحت تاثیر

قرار می‌دهند که اصلاحاً به آنها عدم قطعیت‌های سیستمی گفته می‌شود. مشخصاً وجود چنین عدم قطعیت‌هایی می‌تواند تصمیمات مورد نیاز زنجیره تامین را در تمام سطوح تصمیم‌گیری تحت الشعاع قرار داده و بر کیفیت آنها تاثیر گذارد (Vahdani and Naderi-Beni, 2014; Vahdani et al., 2011, 2014). با توجه به موارد مورد اشاره محققین در تحقیقات اخیر سعی در لحاظ نمودن این نوع عدم قطعیت‌ها از طریق بکارگیری روش‌های برنامه ریزی عدم قطعیت در برنامه ریزی و طراحی‌های خود داشته‌اند. یکی از روش‌های موثر به منظور در نظر گرفتن این عدم قطعیت‌ها استفاده از روش بهینه‌سازی استوار می‌باشد. چراکه با پیاده‌سازی این روش می‌توان وضعیت سیستم در اثر بروز بدترین شرایط ممکن در ارتباط با عدم قطعیت‌ها را، مورد بررسی قرار داد و تصمیمات مناسبی را اتخاذ نمود (Vahdani et al., 2018; Mousavi and Vahdani, 2017).

با بررسی ادبیات موضوع در زمینه طراحی شبکه زنجیره تامین هم در حالت کلاسیک و هم در حالت حلقه بسته می‌توان مشاهده نمود تا به حال در هیچ تحقیقی ملاحظات مرتبط با ناحیه بندی مناطق به مکان‌های سرویس دهی و واحدهای متقاضی، مکانیابی-تخصیص تسهیلات، اشتراک گذاری خدمت، انتقال خدمت درون منطقه ای و مسیریابی وسایل حمل و نقل به طور همزمان در نظر گرفته نشده است. از اینرو در این تحقیق به منظور منظور پوشش شکاف تحقیق شناسایی شده یک مدل ریاضی دو هدفه ارائه شده است. هدف اول که جزء اهداف متداول در طراحی شبکه‌های زنجیره تامین می‌باشد به کمینه نمودن هزینه‌های شبکه زنجیره تامین حلقه بسته شامل هزینه‌های ثابت بازگشایی و هزینه‌های مسیریابی حمل و نقل می‌پردازد. تابع هدف دوم در نظر گرفته شده به حداقل نمودن حداکثر حجم تقاضای مازاد سرویس دهنده‌ها می‌پردازد تا از این طریق تعادل مناسبی بین حجم تقاضا در میان مناطق مختلف ایجاد گردد. در مدل ارائه شده تصمیمات متعددی شامل مکان‌یابی تسهیلات، مسیریابی وسایل حمل و نقل، تخصیص تسهیلات به یکدیگر، میزان جریان‌ات بین تسهیلات مختلف، تقسیم بندی مناطق، سطح ظرفیت هر یک از تسهیلات، انتخاب سرویس دهندگان در هر یک از مناطق، تعیین سینک در هر یک از

مناطق، اشتراک گذاری سرویس دهندگان و تعادل در شبکه اتخاذ می‌گردد. همچنین به منظور در نظر گیری عدم قطعیت‌های موجود در برنامه ریزی و طراحی شبکه زنجیره تامین از رویکرد بهینه سازی استوار استفاده شده است. به علاوه از آنجایی که مدل ارائه شده دارای ملاحظات متعددی می‌باشد به منظور نمایش کاربردی بودن تحقیق حاضر یک مطالعه موردی واقعی در صنعت بنزین در نظر گرفته شده است و نتایج اجرای مدل هم در حالت قطعی و هم در حالت عدم قطعیت مورد بحث و بررسی قرار گرفته است.

در بخش ۲ مرور ادبیات مختصری ارائه خواهد شد. تعریف مسئله و مدل ریاضی در بخش ۳ ارائه شده است. روش حل در بخش ۴ تشریح شده است و در بخش ۵ یک مطالعه موردی و آنالیز نتایج بدست آمده از آن بررسی شده است. در بخش ۶ نتیجه گیری و پیشنهادات آتی ارائه شده است.

مرور ادبیات

در ارتباط با پژوهش‌های انجام گرفته شده در زمینه طراحی شبکه‌های زنجیره تامین معکوس و حلقه بسته، مقالات مروری متعددی ارائه شده است که محققین به منظور آشنایی با مطالعات انجام شده در این حوزه می‌توانند به آنها مراجعه نمایند (Souza, 2013; Agrawal et al., 2015; Govindan et al., 2015; Govindan et al., 2017). در این قسمت مرور مختصری بر دو حوزه تقسیم بندی^۱/تقسیم بندی مجدد و طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته تحت شرایط عدم قطعیت انجام شده است. در رابطه با تحقیقات جدید انجام شده در زمینه تقسیم بندی/تقسیم بندی مجدد می‌توان به برخی موارد ذیل اشاره نمود. (Duque et al., 2011) سه مدل برنامه ریزی عدد صحیح برای مسئله p-regions ارائه نمودند. این مسئله به منظور خوشه بندی تعدادی از مناطق^۲ کوچک به p منطقه پیوسته فضایی^۳ ارائه شده است. هر یک از مدل‌های ارائه شده ضمن حفظ پیوستگی، مجموع اختلافات بین تمام جفت محدوده‌ها^۴ را در هر منطقه به

-
1. Districting
 2. Areas
 3. p spatially contiguous regions
 4. all pairs of areas

حداقل می‌رساند. (Duque et al., (2012) یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح برای مسئله max-p-regions را معرفی نمود. این مسئله به منظور خوشه بندی^۱ مناطق جغرافیایی به حداکثر تعداد مناطق همگن^۲ ارائه گردید. به طوریکه معیار فضای گسترده منطقه ای^۳ نمی‌توانست از یک حداقل مقدار مشخص شده از قبل کمتر باشد. همچنین آنها یک الگوریتم ابتکاری برای حل مدل توسعه داده شده ارائه نمودند. (Li et al., (2014) یک مدل برنامه ریزی برای مسئله p-Compact-regions ارائه نمودند. این مسئله به منظور ادغام کردن تعدادی از واحدهای فضایی اتمی^۴ و تبدیل آنها به p-Compact-regions می‌باشد که به صورت پیوسته مستقر هستند. به علاوه آنها یک الگوریتم ابتکاری به منظور حل مدل ارائه شده در ابعاد بزرگ ارائه نمودند.

(Kim et al., (2015) یک مدل برنامه ریزی ریاضی برای مسئله p-functional regions ارائه نمودند. این مسئله به منظور فائق آمدن بر مسئله منطقه بندی ارائه شده به طوریکه ملاحظات مربوط به جریان‌های جغرافیایی^۵ نیز در آن لحاظ شده بود. همچنین آنها به منظور حل مدل ارائه شده یک الگوریتم ابتکاری به نام رویکرد کاهش هدف تحلیلی^۶ را ارائه نمودند. یکی دیگر از موضوعات مهم در مسائل منطقه بندی و مکان‌یابی - تخصیص ایجاد بالانس در سطح سرویس دهی به مناطق می‌باشد. در این ارتباط Ko et al., (2015) یک مدل برنامه ریزی ریاضی به منظور منطقه بندی مجدد مناطق سرویس دهی، تخصیص منابع به سرویس دهندگان هر منطقه و به اشتراک گذاری خدمات مابین سرویس دهندگان هر منطقه، ارائه گردید. همچنین به منظور حل مدل ارائه شده یک روش ابتکاری مبتنی بر روش شبیه سازی تبرید^۷ توسعه داده شد. (Bruni et al., (2016) یک مدل برنامه ریزی ریاضی به منظور طراحی یک شبکه پیوند^۸ ارائه نمودند. در مدل ارائه

-
1. clustering
 2. homogeneous regions
 3. spatially extensive regional criterion
 4. atomic spatial units
 5. geographic flows
 6. analytical target reduction approach
 7. Simulated annealing
 8. Transplant network

شده علاوه بر تصمیمات مکان یابی-تخصیص دو فاکتور مهم شامل زمان فرایند پیوند و توزیع فضایی^۱ مناسب مراکز پیوند مد نظر قرار گرفته شده است. بکارگیری این رویکرد باعث افزایش اثر بخشی سیستم طراحی شده گردید.

در رابطه با تحقیقات جدید انجام شده در طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته در شرایط عدم قطعیت می توان به برخی موارد ذیل اشاره نمود. (Khatami et al., 2015). یک مدل برنامه ریزی ریاضی به منظور ریاضی طراحی یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته ارائه نمودند. آنها در این تحقیق فرض نموده اند که زنجیره تامین رو به جلو^۲ وجود دارد و به دنبال اضافه نمودن زنجیره تامین معکوس^۳ به آن می باشند. همچنین به بازطراحی^۴ زنجیره تامین رو به جلو به صورت توامان نیز پرداخته شده است. تابع هدف در نظر گرفته شده در این تحقیق به کمینه نمودن مجموع هزینه های مکان یابی، تخصیص، حمل و نقل، موجودی و انهدام ضایعات می پردازد. همچنین تقاضا محصولات و میزان محصولات بازگشتی از مشتریان به صورت تصادفی^۵ در نظر گرفته شده است. به علاوه یک الگوریتم تجزیه بندرز^۶ برای حل مدل ارائه شده توسعه داده شده است.

Keyvanshokoo et al., (2016) یک مدل برنامه ریزی خطی عدد صحیح مختلط^۷ برای طراحی یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته ارائه نمودند. تابع هدف در نظر گرفته شده در این تحقیق به بیشینه سازی سود می پردازد. در این تحقیق به منظور پوشش تقاضای مشتریان و میزان جمع آوری محصولات بازگشتی از آنها یک انعطاف پذیری در نظر گرفته شده است که این انعطاف پذیری وابسته به سیاست های شرکت تعیین می گردد. در مدل ارائه شده به منظور در نظر گرفتن عدم قطعیت رویکردهای مختلفی در نظر گرفته شده است بدین صورت که برای هزینه های حمل و نقل سناریوهای تصادفی و برای تقاضا

-
1. spatial distribution
 2. Forward supply chain
 3. Reverse supply chain
 4. Redesign
 5. Stochastic
 6. Benders' decomposition
 7. Mixed integer linear programming model

و نرخ بازگشت محصولات از مجموعه‌های عدم قطعیت چند وجهی^۱ استفاده شده است. به علاوه یک الگوریتم تجزیه بندرز تصادفی برای حل مدل ارائه شده توسعه داده شده است. (Talaei et al., (2016) یک مدل برنامه ریزی ریاضی دو هدفه برای طراحی یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته چند محصولی سبز^۲ ارائه نمودند. تابع هدف اول در نظر گرفته شده به کمینه سازی مجموع هزینه‌های بازگشایی تسهیلات، خرید، حمل و نقل، جمع آوری و بازیافت می‌پردازد. تابع هدف دوم به کمینه سازی مجموع گازهای گلخانه ای حاصل از حمل و نقل وسایل نقلیه و بازگشایی تسهیلات می‌پردازد. همچنین در مدل ارائه شده هزینه‌های حمل و نقل و تقاضا به صورت غیر قطعی در نظر گرفته شده است از اینرو یک رویکرد ترکیبی متشکل از برنامه ریزی فازی و بهینه سازی استوار برای فائق آمدن بر آن استفاده شده است. به علاوه روش محدودیت اپسیلون نیز برای حل مدل ارائه شده بکار گرفته شده است. (Jeihoonian et al., (2017) یک مدل برنامه ریزی دو سطحی تصادفی^۳ برای طراحی یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته ارائه نمودند. در مدل ارائه شده در قسمت زنجیره تامین معکوس انواع مختلفی از روش‌های بازسازی محصولات در نظر گرفته شده است. این گزینه‌های مختلف بازسازی به دلیل عدم قطعیت موجود در کیفیت محصولات بازگشتی در نظر گرفته شده اند. تابع هدف در نظر گرفته شده در این تحقیق به بیشینه سازی درآمد زنجیره تامین مورد بررسی می‌پردازد. سپس یک الگوریتم L شکل^۴ ارتقاء یافته به همراه محدودیت‌های جایگزینی^۵ و برش‌های بهینه ای پارتو^۶ برای حل مدل توسعه داده شده ارائه نمودند.

Tosarkani and Amin (2018) یک مدل برنامه ریزی ریاضی دو هدفه به منظور طراحی یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته ارائه نمودند. تابع هدف اول به بیشینه سازی سود زنجیره تامین می‌پردازد. تابع هدف دوم به بیشینه سازی فاکتورهای کیفی

-
1. Polyhedral uncertainty sets
 2. multi-product green closed-loop supply chain network
 3. To –stage stochastic
 4. L-shaped algorithm enhanced
 5. surrogate constraints
 6. Pareto-optimal cuts

مرتبط با ملاحظات زیست محیطی می‌پردازد. لازم به ذکر است این فاکتورها بر اساس یک فرایند شبکه‌ای تحلیلی استخراج شده است. همچنین تمامی پارامترها مدل ریاضی توسعه داده شده به صورت فازی در نظر گرفته شده‌اند. به علاوه روش محدودیت اسپیلون نیز برای حل مدل ارائه شده بکار گرفته شده است. (Zeballos et al., 2018) یک مدل برنامه ریزی دو سطحی تصادفی^۱ برای طراحی یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته ارائه نمودند. عدم قطعیت در نظر گرفته شده در این تحقیق مرتبط با میزان و کیفیت محصولات برگشتی از مشتریان می‌باشد. همچنین در مدل ارائه شده دو گروه از مشتریان در نظر گرفته شده است که گروه اول متقاضی محصولات جدید می‌باشند و گروه دوم متقاضی محصولات بازسازی شده هستند. همچنین در این تحقیق به منظور مدیریت ریسک پارامترهای حیاتی که دارای عدم قطعیت می‌باشند از رویکرد ارزش شرطی در معرض خطر^۲ استفاده شده است. (Haddadsisakht and Ryan 2018) یک مدل برنامه ریزی ریاضی سه سطحی برای طراحی یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته ارائه نمودند. در مدل ارائه شده مالیات حاصل از کربن متصاعد شده از وسایل حمل و نقل نیز در نظر گرفته شده است. از اینرو تابع هدف به کمینه سازی مجموع‌های زنجیره تامین و مالیات مورد اشاره می‌پردازد. در مدل ارائه شد تقاضا، نرخ بازگشت محصولات و نرخ مالیات به صورت تصادفی در نظر گرفته شده‌اند. به علاوه یک الگوریتم تجزیه بندرز^۳ برای حل مدل ارائه شده توسعه داده شده است. دهقان و همکاران (۲۰۱۸) یک مدل زنجیره تامین حلقه بسته با در نظر گرفتن عدم قطعیت ترکیبی ارائه نمودند. مدل ارائه شده به صورت چند محصولی و چند دوره‌های می‌باشد که در صنعت روغن خوراکی مورد بررسی قرار گرفته است. در مدل ارائه شده به منظور در نظر گرفتن عدم قطعیت از روش‌های عدم قطعیت بر گرفته شده از برنامه ریزی فازی، پایدار و تصادفی بهره گرفته شده است. (Vahdani and Ahmadzadeh 2019) یک مدل ریاضی به منظور طراحی یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته با در نظر گرفتن تصادفی بودن تقاضا و مدت زمان تحویل

1. To –stage stochastic
 2. conditional value at risk
 3. Benders' decomposition

ارائه نمودند. مدل ارائه شده برای صنعت ICT در ایران توسعه داده شده است. همچنین آنها به منظور حل مدل فوق از الگوریتم‌های فار ابتکاری نیز استفاده نموده اند. Saeidinia et al., (2019) یک مدل بهینه سازی دو هدفه بدون در نظر گرفتن تصمیمات مسیریابی به منظور مکان یابی تسهیلات، تقسیم بندی مناطق و به اشتراک گذاری سرویس دهندگان و تعادل در یک زنجیره تامین حلقه بسته ارائه نمودند. به علاوه به منظور در نظر گرفتن عدم قطعیت موجود در پارامترها از رویکردهای برنامه ریزی عدم قطعیت بهره گرفته اند. Zhen et al., (2019) یک مدل برنامه ریزی ریاضی دو هدفه برای طراحی یک شبکه زنجیره تامین حلقه بسته ارائه نمودند. در مدل ارائه شده ملاحظات زیست محیطی در نظر گرفته شده است و برای حل مدل از روش لاگرانژ بهره گرفته شده است. همچنین تقاضا در مدل ارائه شده به صورت تصادفی فرض شده است. با توجه به موارد بر شمرده شده نوآوری این تحقیق نسبت به سایر تحقیقات در نظر گرفته شده در ادبیات موضوع به شرح ذیل می باشد:

- ارائه یک چهارچوب یکپارچه به منظور منطقه بندی نواحی و مسیریابی وسایل حمل و نقل
- در نظر گرفتن تصمیمات مرتبط با اشتراک گذاری خدمت و انتقال خدمت درون منطقه ای و مسیریابی وسایل حمل و نقل به منظور برنامه ریزی هر چه بهتر خدمات لجستیکی.
- در نظر گرفتن مسیریابی بین نواحی مختلف منطقه ای به منظور افزایش کارایی فرایند توزیع محصولات.
- در نظر گرفتن عدم قطعیت در مسئله مورد بررسی و بکارگیری یک مطالعه موردی به منظور نمایش صحت و درستی مدل و روش حل ارائه شده.

تعرف مسئله و مدل ریاضی

در این تحقیق شبکه زنجیره تامین حلقه بسته در نظر گرفته شده است یک شبکه چند سطحی^۱ می‌باشد. اعضاء زنجیره تامین رو به جلوی این شبکه شامل تامین کنندگان، تولید کنندگان/توزیع کنندگان و مناطق مشتریان می‌باشد. همچنین اعضاء زنجیره تامین معکوس آن شامل مناطق مشتریان، مراکز جمع آوری/بازیافت و مراکز انهدام می‌باشد. در زنجیره تامین رو به جلو تامین کنندگان نیازمندهای تولید کنندگان را تهیه می‌نمایند. تولید کنندگان نیز پس از تولید، بر اساس تقاضای مشتریان فرایند توزیع محصولات را به انجام می‌رسانند. با این حال تعدادی از محصولات دریافت شده توسط مشتریان به علل مختلف ممکن توسط آنها برگشت داده شود در این حالت مراکز جمع آوری/بازیافت پس از جمع آوری این محصولات و انجام بازرسی‌های مربوطه تصمیم به بازیافت و انهدام محصولات برگشت داده شده می‌گیرند. در صورت بازیافت مواد بازیافت شده برای تامین کنندگان ارسال می‌شود و در صورت عدم امکان بازیافت این محصولات برای مراکز انهدام ارسال می‌گردند. در مناطق مشتریان تعدادی واحد مکانی وجود دارد که تعدادی از آنها واحدهای مکانی تقاضا و تعدادی از آنها واحدهای مکانی سرویس دهنده جهت ارائه سرویس به واحدهای متقاضی می‌باشند.

در مدل ارائه شده تصمیمات متعددی شامل مکان یابی تسهیلات، تخصیص آنها به یکدیگر، میزان جریانات بین تسهیلات مختلف، تقسیم بندی مناطق، مسیریابی وسایل حمل و نقل در مناطق ناحیه بندی شده مشتریان، سطح ظرفیت هر یک از تسهیلات، انتخاب سرویس دهندگان در هر یک از مناطق، تعیین سینک در هر یک از مناطق، اشتراک گذاری سرویس دهندگان و تعادل در شبکه اتخاذ می‌گردد. در مدل ارائه شده هدف از تقسیم بندی منطقی به معنی خوشه بندی مناطق مشتریان به مکان‌های سرویس دهی و واحدهای تقاضا می‌باشد. این ناحیه بندی باعث افزایش سطح دسترسی مشتریان به خدمات مورد نیاز آنها می‌گردد، چراکه این ناحیه بندی باعث می‌گردد واحدهای تحت مسئولیت هر خدمت دهنده مشخص شده و همچنین سطح تقاضای هر ناحیه نیز به طبع آن معین

گردد. یکی دیگر از مزایای مدل ارائه شده در نظر گرفتن انتقال خدمات داخل منطقه ای می باشد. این رویکرد منجر به ایجاد مدیریت موثر بر چگونگی به اشتراک گذاری ظرفیت سرویس دهندگان داخل مناطق میگردد. بدین صورت که سرویس دهندگان مناطقی که دارای ظرفیت اضافی سرویس دهی می باشند از طریق انتقال این ظرفیت اضافی به سرویس دهندگان دارای اضافه تقاضا، بالانس مناسبی از حجم تقاضا و سطح سرویس دهی به مشتریان را ایجاد می نمایند. لازم به ذکر است لازمه ایجاد یک بالانس مناسب از حجم تقاضا بین مناطق مختلف، ایجاد یک تعادل مناسب از تقاضا و سرویس دهی در هر منطقه می باشد. لازم به توضیح است به منظور دستیابی به این هدف انتقال سرویس نباید بین تسهیلاتی که هر دوی آنها سرویس اضافی دارند صورت گیرد همچنین نباید بین تسهیلاتی که میزان تقاضای زیادی دارند انجام شود. همچنین ممکن است قسمتی از خدمت منتقل شده طی انتقالات هدر رود. لذا جهت مدل سازی این شرایط حالت‌های مختلفی از انتقالات که پیچیدگی بالایی دارند در مدل ارائه شده مدنظر قرار گرفته شده است.

اندیس‌ها، مجموعه‌ها و پارامترها

$i \in I$	I : مجموعه مکانهای بالقوه مرکز تامین
$j \in J$	J : مجموعه مکانهای بالقوه مرکز توزیع / تولید
$k \in K$	K : مکانهای ثابت از مناطق مشتری متشکل از واحدهای مکانی
$a, \acute{a} \in V$	V : مجموعه همه واحدهای مکانی
A	A : مجموعه ای از واحدهای مکانی تقاضا در مناطق مشتری
$S, \acute{S} \in V$	S : مجموعه ای از واحدهای مکانی سرویس دهنده در مناطق مشتری
$m \in M$	M : مجموعه مکانهای بالقوه مرکز انهدام
N	N : مجموعه ای از سطوح ظرفیت در دسترس برای تسهیلات
$l \in L$	l : مجموعه مکانهای بالقوه جمع آوری/باز یافت
$e \in E$	e : مجموعه وسایل نقلیه
d_a	d_a : تقاضای واحد مکانی a
r_{ak}	r_{ak} : نرخ بازگشت کالای استفاده شده از واحد مکانی a تخصیص یافته به منطقه k

SA : متوسط کسر انهدام

f_i^n : هزینه ثابت باز کردن مرکز تامین i با سطح ظرفیت n

o_j^n : هزینه ثابت باز کردن مرکز تولید/ توزیع j با سطح ظرفیت n

h_l^n : هزینه ثابت باز کردن مرکز جمع آوری/باز یافت l با سطح ظرفیت n

ca_m^n : هزینه ثابت باز کردن مرکز انهدام m با سطح ظرفیت n

cx_{ij} : هزینه حمل و نقل هر واحد کالا از مرکز تامین i به مرکز تولید / توزیع j

cu_{jk} : هزینه حمل هر واحد کالا از مرکز تولید/توزیع j به منطقه مشتری k

cq_{kl} : هزینه حمل هر واحد کالا از منطقه مشتری k به مرکز جمع آوری/باز یافت l

cp_{li} : هزینه حمل هر واحد از کالای قابل مصرف از مرکز جمع آوری/باز یافت l به مرکز تامین i

ct_{lm} : هزینه حمل هر واحد کالا زائد از مرکز جمع آوری/باز یافت l به مرکز انهدام m

ceu_{sak} : هزینه حمل هر واحد کالا از سرویس دهنده در واحد مکانی s به مشتری در واحد مکانی a در منطقه k

$cv_{s\&k}$: هزینه انتقال هر واحد کالا بین سرویس دهنده‌ها در منطقه k

caw_i^n : ظرفیت با سطح n برای مرکز تامین i

cay_j^n : ظرفیت با سطح n برای مرکز تولید/توزیع j

caz_l^n : ظرفیت با سطح n برای مرکز جمع آوری/باز یافت l

cav_m^n : ظرفیت با سطح n برای مرکز انهدام m

car_i^n : ظرفیت ذخیره با سطح n برای مرکز تامین i

OQ_e : ظرفیت وسایل نقلیه

β : عدد بزرگ $\beta \geq s * \sum_{k \in K} r_{ak} d_a$

$L2$: ظرفیت کل سرویس دهنده‌ها

g_s^{max} : حداکثر عرضه سرویس در تسهیل واقع در واحد مکانی s

μ : نرخ اضافه بار مجاز برای هر منطقه

γ : نرخ از دست دادن سرویس در انتقال آن

متغیرهای تصمیم

<p>x_{ij}: مقدار محصول منتقل شده از مرکز تامین i به مرکز تولید/توزیع j</p> <p>u_{jk}: مقدار محصول منتقل شده از مرکز تولید/توزیع j به منطقه مشتری k</p> <p>Q_{kl}: مقدار محصول بازگشتی منتقل شده از منطقه مشتری k به مرکز جمع آوری/باز یافت l</p> <p>p_{li}: مقدار محصول قابل باز یافت منتقل شده از مرکز جمع آوری/باز یافت l به مرکز تامین i</p> <p>T_{lm}: مقدار محصول زائد منتقل شده از مرکز جمع آوری/باز یافت l به مرکز انهدام m</p> <p>xA_{ak}: مقدار a اگر واحد مکانی a به منطقه k تخصیص داده شود؛ در غیر اینصورت صفر</p> <p>yr_{sae}^k: مقدار یک میگیرد اگر در منطقه k واحد مکانی s قبل از واحد a در مسیر وسیله e قرار گیرد، در غیر اینصورت صفر</p> <p>zk_{se}^k: مقدار یک میگیرد اگر واحد مکانی s در مسیر وسیله e در منطقه k قرار گیرد، در غیر اینصورت صفر</p> <p>eu_{as}^k: مقدار a اگر s یک سرویس دهنده باشد و به واحد مکانی a در منطقه k خدمت ارائه دهد، در غیر اینصورت صفر</p> <p>g_s^k: عرضه خدمات از واحد s در منطقه k که بزرگتر از صفر است</p> <p>b_s^k: تعادل شبکه خدمات در تسهیل سرویس دهی در واحد مکانی s در داخل منطقه k قبل از انتقال سرویس؛ عدد حقیقی که بعنوان عرضه خود تسهیلات منهای تقاضای اختصاص داده شده به طور مستقیم، تعریف شده است</p> <p>b_s^{k+}: بخش مثبت تعادل شبکه سرویس دهی $\max\{b_s^k, 0\}$</p> <p>b_s^{k-}: بخش منفی تعادل شبکه سرویس دهی $\min\{0, b_s^k\}$</p> <p>yb_s^k: متغیر وابسته تعادل شبکه خدمات است که مقدار a میگیرد اگر b_s^k مثبت باشد</p> <p>c_{ss}^k: انتقال خدمات از مرکز ارائه خدمات در واحد مکانی s به واحد مکانی s در منطقه k؛ عدد حقیقی برای خدمات خروجی مثبت و دریافتی منفی تعریف شده است</p> <p>c_{ss}^{k+}: بخش مثبت از انتقال خدمات</p> <p>c_{ss}^{k-}: بخش منفی از انتقال خدمات</p> <p>zm_s^k: اضافه بار خالص در تسهیل سرویس دهی در واحد مکانی s در منطقه k بعد از انتقال سرویس</p> <p>w_i^n: مقدار a اگر مرکز تامین با سطح ظرفیت n در مکان i باز باشد؛ در غیر اینصورت صفر</p> <p>y_j^n: مقدار a اگر مرکز تولید/توزیع با سطح ظرفیت n در مکان j باز باشد؛ در غیر اینصورت صفر</p> <p>Z_l^n: مقدار a اگر مرکز جمع آوری/باز یافت با سطح ظرفیت n در مکان l باز شود؛ در غیر اینصورت صفر</p> <p>v_m^n: مقدار a اگر مرکز انهدام با سطح ظرفیت n در مکان m باز شود؛ در غیر اینصورت صفر</p>

مدل ریاضی

$$\begin{aligned} \min w_1 = & \sum_{i \in I} \sum_{n \in N} f_i^n w_i^n + \sum_{j \in J} \sum_{n \in N} o_j^n y_j^n + \sum_{m \in M} \sum_{n \in N} h_m^n z_m^n \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{n \in N} ca_m^n v_m^n + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} cx_{ij} x_{ij} + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} cu_{jk} u_{jk} \\ & + \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} cq_{kl} Q_{kl} + \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} ct_{lm} T_{lm} + \sum_{l \in L} \sum_{i \in I} cp_{li} p_{li} \\ & + \sum_{a \in A} \sum_{s \in S} \sum_{k \in K} \sum_{v \in V} ceu_{sakv} d_a \gamma_{sav}^k + \sum_{s \in S} \sum_{\substack{\acute{s} \in S \\ s \neq \acute{s}}} \sum_{k \in K} cv_{s\acute{s}k} c_{s\acute{s}}^k \end{aligned} \quad (1)$$

$$\min w_2 = \max z m_s^k \quad \forall s \in S, k \in K \quad (2)$$

S.t.:

$$\sum_{j \in J} u_{jk} = \sum_{s \in S} g_s^k \quad \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{a \in A} d_a x A_a^k \leq (1 + \mu) \sum_{s \in S} g_s^k \quad \forall k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} = \sum_{k \in K} u_{jk} \quad \forall j \in J \quad (5)$$

$$\sum_{m \in M} T_{lm} = sa \sum_{k \in K} Q_{kl} \quad \forall l \in L \quad (6)$$

$$\sum_{i \in I} p_{li} = (1 - sa) \sum_{k \in K} Q_{kl} \quad \forall l \in L \quad (7)$$

$$\sum_{l \in L} Q_{kl} = \sum_{a \in A} r_{ak} d_a x A_a^k \quad \forall k \in K \quad (8)$$

$$\sum_{j \in J} x_{ij} \leq \sum_{n \in N} w_i^n caw_i^n \quad \forall i \in I \quad (9)$$

$$\sum_{l \in L} p_{li} \leq \sum_{n \in N} w_i^n car_i^n \quad \forall i \in I \quad (10)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \leq \sum_{n \in N} y_j^n cay_j^n \quad \forall j \in J \quad (11)$$

$$\sum_{k \in K} u_{jk} \leq \sum_{n \in N} y_j^n cay_j^n \quad \forall j \in J \quad (12)$$

$$\sum_{k \in K} Q_{kl} \leq \sum_{n \in N} z_l^n caz_l^n \quad \forall l \in L \quad (13)$$

$$\sum_{l \in L} T_{lm} \leq \sum_{n \in N} v_m^n cav_m^n \quad \forall m \in M \quad (14)$$

$$\sum_{m \in M} T_{lm} + \sum_{i \in I} p_{li} \leq \sum_{n \in N} z_l^n caz_l^n \quad \forall l \in L \quad (15)$$

$$\sum_{l \in L} p_{li} \leq \beta \sum_{j \in J} x_{ij} \quad \forall i \in I \quad (16)$$

$$\sum_{n \in N} w_i^n \leq 1 \quad \forall i \in I \quad (17)$$

$$\sum_{n \in N} y_j^n \leq 1 \quad \forall j \in J \quad (18)$$

$$\sum_{n \in N} z_l^n \leq 1 \quad \forall l \in L \quad (19)$$

$$\sum_{n \in N} v_m^n \leq 1 \quad \forall m \in M \quad (20)$$

$$\sum_{k \in K} xA_a^k = 1 \quad \forall a \in A \quad (21)$$

$$\sum_{a \in A} xA_a^k \geq 1 \quad \forall k \in K \quad (22)$$

$$\sum_{k \in K} xA_s^k = 1 \quad \forall s \in S \quad (23)$$

$$\sum_{s \in S} xA_s^k \geq 1 \quad \forall k \in K \quad (24)$$

$$\sum_{s \in S} eu_{as}^k = xA_a^k \quad \forall a \in A, k \in K \quad (25)$$

$$eu_{as}^k \leq xA_s^k \quad \forall a \in A, s \in S, k \in K \quad (26)$$

$$xA_s^k \geq zk_{sv}^k \quad \forall s \in S, k \in K, v \in V \quad (27)$$

$$eu_{as}^k \geq yr_{sav}^k \quad \forall s \in S, a \in A, k \in K, v \in V \quad (28)$$

$$zk_{sv}^k \geq yr_{sav}^k \quad \forall s \in E, a \in A; a \neq s, k \in K, v \in V \quad (29)$$

$$\sum_{s \in E} \sum_{k \in K} yr_{sav}^k \leq 1 \quad \forall a \in A, v \in V \quad (30)$$

$$\sum_{s \in E} \sum_{k \in K} \sum_{v \in V} yr_{sav}^k = 1 \quad \forall a \in A \quad (31)$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{a \in A} \sum_{k \in K} yr_{sav}^k \leq 1 \quad \forall v \in V \quad (32)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{v \in V} yr_{sav}^k \leq 1 \quad \forall s, a \in E; s \neq a \quad (33)$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{k \in K} z k_{sv}^k = 1 \quad \forall v \in V \quad (34)$$

$$u u_{sv}^k - u u_{av}^k + n y r_{sav}^k \leq n - 1 \quad \forall s, a \in A, k \in K, v \in V \quad (35)$$

$$\sum_{a \in E} y r_{sav}^k - \sum_{a \in E} y r_{asv}^k = 0 \quad \forall s \in E, k \in K, v \in V \quad (36)$$

$$\sum_{s \in E} \sum_{a \in A} d_a y r_{sav}^k \leq C Q_v \quad \forall k \in K, v \in V \quad (37)$$

$$g_s^k \leq g_s^{\max} x A_s^k \quad \forall s \in S, k \in K \quad (38)$$

$$\sum_{s \in S} \sum_{k \in K} g_s^k \leq L 2 \quad (39)$$

$$c_{s\acute{s}}^k + c_{\acute{s}s}^k = 0 \quad \forall s, \acute{s} \in S, k \in K, s \neq \acute{s} \quad (40)$$

$$c_{ss}^k = 0 \quad \forall s \in S, k \in K \quad (41)$$

$$c_{s\acute{s}}^{k+} \geq c_{\acute{s}s}^k \quad \forall s, \acute{s} \in S, k \in K, s \neq \acute{s} \quad (42)$$

$$c_{s\acute{s}}^{k-} \leq c_{\acute{s}s}^k \quad \forall s, \acute{s} \in S, k \in K, s \neq \acute{s} \quad (43)$$

$$b_s^k = g_s^k - \sum_{a \in A} d_a e u_{as}^k \quad \forall s \in S, k \in K \quad (44)$$

$$z m_s^k = -b_s^k - (1 - \gamma) \sum_{\substack{\acute{s} \in S \\ \acute{s} \neq s}} c_{\acute{s}s}^k \quad \forall s \in S, k \in K \quad (45)$$

$$b_s^{k+} \geq b_s^k \quad \forall s \in S, k \in K \quad (46)$$

$$b_s^{k-} \leq b_s^k \quad \forall s \in S, k \in K \quad (47)$$

$$b_s^{k+} \leq L2 \cdot yb_s^k \quad \forall s \in S, k \in K \quad (48)$$

$$b_s^{k-} \geq L2 \cdot (yb_s^k - 1) \quad \forall s \in S, k \in K \quad (49)$$

$$b_s^{k+} = b_s^k - b_s^{k-} \quad \forall s \in S, k \in K \quad (50)$$

$$\sum_{\substack{\acute{s} \in S \\ \acute{s} \neq s}} c_{s\acute{s}}^{k+} \leq b_s^{k+} \quad \forall s \in S, k \in K \quad (51)$$

$$b_s^{k+} \geq c_{s\acute{s}}^{k+} \quad \forall s, \acute{s} \in S, k \in K, s \neq \acute{s} \quad (52)$$

$$b_s^{k-} \leq c_{s\acute{s}}^{k-} \quad \forall s, \acute{s} \in S, k \in K, s \neq \acute{s} \quad (53)$$

$$c_{s\acute{s}}^{k+} \leq xA_s^k g_s^{max} \quad \forall s, \acute{s} \in S, k \in K, s \neq \acute{s} \quad (54)$$

$$b_s^k, c_{s\acute{s}}^k, zm_s^k \in R \quad (55)$$

$$x_{ij}, u_{jk}, Q_{kl}, T_{lm}, p_{li}, b_s^{k+}, c_{s\acute{s}}^{k+}, g_s^k \geq 0 \quad (56)$$

$$b_s^{k-}, c_{s\acute{s}}^{k-} \leq 0 \quad (57)$$

$$w_i^n, y_j^n, z_l^n, v_m^n, xA_a^k, yb_s^k, eu_{as}^k, yr_{sae}^k, zk_{se}^k \in \{0,1\} \quad (58)$$

تابع هدف (1) به کمینه سازی مجموع هزینه‌های زنجیره تامین حلقه بسته می‌پردازد. عبارت اول هزینه‌های آماده سازی تامین کنندگان را برای تامین نیاز مشتریان نشان می‌دهد. عبارت‌های دو تا چهارم به ترتیب مجموع هزینه‌های بازگشایی تسهیلات تولیدی/مراکز توزیع، مراکز جمع آوری/مراکز بازسازی و مراکز انهدام را محاسبه می‌نماید. عبارت‌های پنجم تا یازدهم مجموع هزینه‌های حمل و نقل را محاسبه می‌نماید. بدین صورت که عبارت پنجم تا نهم هزینه‌های حمل و نقل را بین تسهیلات در نظر می‌گیرد. عبارت دهم هزینه‌های وسایل حمل و نقل را بین تسهیلات سرویس دهنده و

مکان‌های در خواست کننده تقاضا محاسبه می‌نماید. عبارت یازدهم هزینه‌های جابجایی محصولات را بین سرویس دهندگان محاسبه می‌نماید. همچنین تابع هدف (2) حداکثر اضافه تقاضای تسهیلات سرویس دهنده را حداقل می‌کند. محدودیت (3) نشان می‌دهد که مقدار محصول منتقل شده از مراکز توزیع به هر منطقه مشتری برابر با مقدار عرضه همه تسهیلات سرویس دهی در آن منطقه می‌باشد. محدودیت (4) تقاضای کل همه واحدهای مکانی در هر منطقه توسط مجموع عرضه ی تسهیلات سرویس دهی در نرخ اضافه بار مجاز اگر اضافه بار داشته باشد برآورد می‌شود

محدودیت‌های (5) تا (8) بالانس جریان بین تامین کنندگان، تسهیلات تولیدی/مراکز توزیع، مناطق مشتریان، مراکز جمع آوری/مراکز بازسازی و مراکز انهدام را نشان می‌دهد. محدودیت هشتم تضمین میکند محصولات بازگشتی از تمام واحدهای هر منطقه مشتری جمع آوری می‌شود. محدودیت‌های (9) تا (16) محدودیت‌های ظرفیت تسهیلات را بیان می‌دارد. همچنین محدودیت‌های (9) و (10) تضمین می‌نماید تا تامین کننده ای مراحل آماده سازی^۱ را انجام نداده باشد امکان تامین نیازمندیهای تسهیلات تولیدی/مراکز توزیع و دریافت محصولات بازسازی شده را از مراکز جمع آوری/مراکز بازسازی ندارد. همچنین محدودیت‌ها (11) تا (15) تضمین می‌نماید جریانات بین تسهیلات در صورتی امکان پذیر می‌باشد که تسهیلات مربوطه بازگشایی شده باشند. به عبارت دیگر فرایندهای تولید/توزیع، جمع آوری/بازسازی، انهدام در صورتی انجام می‌پذیرد که تسهیلات مور نیاز برای انجام این فرایندها بازگشایی شده باشند.

محدودیت‌های (17) تا (20) تضمین می‌نمایند تامین کنندگان و تسهیلات تولیدی/مراکز توزیع، مراکز جمع آوری/مراکز بازسازی و مراکز انهدام می‌توانند حداکثر یکی از سطوح ظرفیت را برای انجام فرایندهای خود اختیار نمایند. محدودیت (21) تضمین میکند هر واحد مکانی فقط به یک منطقه مشتری تخصیص پیدا کند. محدودیت (22) تضمین می‌کند در هر منطقه مشتری حداقل یک واحد مکانی وجود داشته باشد. محدودیت (23) تضمین می‌کند در هر منطقه حداقل یک تسهیل سرویس دهی وجود دارد. محدودیت

(24) بیان می‌دارد هر تسهیل سرویس دهی فقط به یک منطقه تخصیص داده می‌شود. محدودیت (25) هر واحد مکانی در هر منطقه فقط و فقط با یک تسهیل سرویس دهی تامین می‌شود. محدودیت (26) بیان می‌دارد تسهیل سرویس دهنده اختصاص می‌یابد به منطقه ای که با واحد مکانی اش همخوانی داشته باشد. محدودیت‌های (27) و (28) اطمینان می‌دهند که فقط تسهیل سرویس دهی ایجاد شده می‌تواند خدمت ارائه دهند. محدودیت (29) تضمین می‌کند هر وسیله می‌تواند از طریق اتصال (a, s) سفر کند اگر و فقط اگر s در منطقه k در مسیر وسیله باشد. محدودیت (30) تضمین می‌کند هر وسیله به هر واحد مکانی حداکثر یکبار خدمت ارائه می‌دهد. محدودیت (31) تضمین می‌کند هر واحد مکانی فقط یکبار ملاقات می‌شود. محدودیت (32) تضمین می‌کند هر وسیله حداکثر از یک تسهیل سرویس دهی ارسال می‌شود. محدودیت (33) تضمین می‌کند برای هر مسیر حداکثر یک وسیله انتخاب می‌شود.

محدودیت (34) تضمین می‌کند هر وسیله فقط به یک تسهیل سرویس دهی تخصیص داده می‌شود. محدودیت (35) حذف زیر تور را تضمین می‌نماید. محدودیت (36) حفظ جریان را تضمین می‌نماید. محدودیت (37) بیانگر ظرفیت وسایل نقلیه می‌باشد. محدودیت (38) تضمین می‌نماید مقدار عرضه شده از هر سرویس دهنده از ماکزیمم ظرفیت عرضه سرویس دهنده تجاوز نمی‌کند. محدودیت (39) نشان می‌دهد که عرضه کل همه سرویس دهنده‌ها نباید از حد کلی عرضه تجاوز کند. محدودیت (40) نشان می‌دهد که انتقالات سرویس میان دو تسهیل علامت درستی داشته باشد. محدودیت (41) از انتقال سرویس از یک تسهیل به خودش جلوگیری می‌کند. محدودیت‌های (42) و (43) تضمین می‌کنند که C_{SS}^{k+} و C_{SS}^{k-} ارائه دهنده انتقالات سرویس ورودی و خروجی هستند. محدودیت (44) تعادل خالص عرضه سرویس در هر تسهیل سرویس دهی قبل از انتقال به تسهیلات دیگر را نشان می‌دهد. محدودیت (45) اضافه بار در یک تسهیل با استفاده از تعادل خالص و انتقال کلی سرویس به این تسهیل با توجه به میزان از دست دادن سرویس در طول انتقال را نشان می‌دهد.

محدودیت‌های (46) و (47) تضمین می‌کنند که b_s^{k+} و b_s^{k-} علامت درستی با توجه به مقدار b_s^k داشته باشند. محدودیت‌های (48) و (49) نشان می‌دهند که فقط یکی از b_s^{k+} و b_s^{k-} می‌تواند غیر صفر باشند. محدودیت (50) مقدار b_s^{k+} استفاده شده در محدودیت بعد را مشخص می‌کند برای تعیین حد بالا برای انتقال سرویس. محدودیت (51) تضمین می‌کند مجموع سرویس‌های منتقل شده به تسهیلات دیگر از هر تسهیل نباید از حداکثر عرضه قابل انتقال آن تسهیل تجاوز کند. محدودیت (52) تضمین می‌کند انتقال سرویس فقط از تسهیلات با عرضه اضافی انجام گیرد. محدودیت (53) انتقال ورودی سرویس را به تسهیلات سرویس دهی با عرضه اضافی منحصر می‌کند. محدودیت (54) از انتقال سرویس در طول مناطق جلوگیری می‌کند. محدودیت‌های (55) تا (58) نوع متغیرهای تصمیم را مشخص می‌نمایند.

مدل ریاضی معادل استوار - عدم قطعیت بازه ای^۱

به منظور ارائه مدل استوار معادل مدل ریاضی ارائه شده در بخش قبلی، پارامترهای متعددی از قبیل نرخ بازگشت محصولات، هزینه آماده سازی تامین کنندگان، هزینه‌های بازگشایی تسهیلات، هزینه‌های حمل و نقل و حداکثر ظرفیت سرویس دهی دارای عدم قطعیت فرض شده است در یک جعبه (بازه) بسته محدود شده و مشخص تغییر پیدا می‌کند (Ben-Tal et al., 2009). حالت عمومی این بازه می‌تواند به صورت زیر تعریف شود:

$$u_{Box} = \{v \in \mathbb{R}^n : |v_t - \bar{v}_t| \leq \rho G_t, t = 1, 2, \dots, n\},$$

(59)

که در آن \bar{v}_t مقدار نرمال^۲ v_t می‌باشد که t امین پارامتر بردار v می‌باشد. به علاوه G_t یک مقدار مثبت می‌باشد که معرف مقیاس عدم قطعیت^۳ است، به طور مشابه ρ که عددی مثبت می‌باشد معرف سطح عدم قطعیت^۴ می‌باشد. با توجه به تعاریف ارائه شده، مدل

-
1. Box Uncertainty
 2. Normal value
 3. Uncertainty scale
 4. Uncertainty level

استوار معادل با در نظر گرفتن پارامترهای دارای عدم قطعیت برشمرده شده به صورت زیر می‌باشد. لازم به توضیح است در این قسمت فقط قسمت‌های تغییر کرده محدودیت‌ها با بکارگیری مدل استوار ارائه می‌گردد:

$$\min w_1 \tag{60}$$

$$\min w_2 = \max z m_s^k \quad \forall s \in S, k \in K \tag{61}$$

S.t.:

$$\begin{aligned} & \sum_{i \in I} \sum_{n \in N} (\bar{f}_i^n w_i^n + \eta_{in}^f) \\ & + \sum_{j \in J} \sum_{n \in N} (\bar{o}_j^n y_j^n + \eta_{jn}^o) + \sum_{l \in L} \sum_{n \in N} (\bar{h}_l^n z_l^n + \eta_{ln}^h) \\ & + \sum_{m \in M} \sum_{n \in N} (\bar{c}a_{mn} v_m^n + \eta_{mn}^{ca}) \\ & + \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} (\bar{c}x_{ij} x_{ij} + \eta_{ij}^{cx}) + \sum_{j \in J} \sum_{k \in K} (\bar{c}u_{jk} u_{jk} + \eta_{jk}^{cu}) \\ & + \sum_{k \in K} \sum_{l \in L} (\bar{c}q_{kl} Q_{kl} + \eta_{kl}^{cq}) \\ & + \sum_{l \in L} \sum_{m \in M} (\bar{c}t_{lm} T_{lm} + \eta_{lm}^{ct}) + \sum_{l \in L} \sum_{i \in I} (\bar{c}p_{li} p_{li} + \eta_{li}^{cp}) \\ & + \sum_{a \in A} \sum_{s \in S} \sum_{k \in K} \sum_{e \in E} d_a (\bar{c}e u_{sake} y_{sae}^k + \eta_{sake}^{ceu}) \\ & + \sum_{s \in S} \sum_{s' \in S} \sum_{k \in K} (\bar{c}v_{s'sk} c_{s'sk} + \eta_{s'sk}^{cv}) \leq w_1 \end{aligned} \tag{62}$$

$$\sum_{l \in L} Q_{kl} \geq \sum_{a \in A} \bar{r}_{ak} (1 + \rho_r) d_a x A_{ak} \quad \forall k \in K \tag{63}$$

$$\sum_{l \in L} Q_{kl} \leq \sum_{a \in A} \bar{r}_{ak} (1 - \rho_r) d_a x A_{ak} \quad \forall k \in K \tag{64}$$

$$g_s^k \leq (\overline{g_s^{max}} - \rho_{g^{max}} G_s^{g^{max}}) x A_s^k \quad \forall s \in S, k \in K \quad (65)$$

$$c_{s\acute{s}}^{k+} \leq (\overline{g_s^{max}} - \rho_{g^{max}} G_s^{g^{max}}) x A_s^k \quad \forall s, \acute{s} \in S, k \in K, s \neq \acute{s} \quad (66)$$

$$\rho_f G_{in}^f w_i^n \leq \eta_{in}^f \quad \forall i, n \quad (67)$$

$$\rho_f G_{in}^f w_i^n \geq -\eta_{in}^f \quad \forall i, n \quad (68)$$

$$\rho_o G_{jn}^o y_j^n \leq \eta_{jn}^o \quad \forall j, n \quad (69)$$

$$\rho_o G_{jn}^o y_j^n \geq -\eta_{jn}^o \quad \forall j, n \quad (70)$$

$$\rho_h G_{ln}^h z_l^n \leq \eta_{ln}^h \quad \forall l, n \quad (71)$$

$$\rho_h G_{ln}^h z_l^n \geq -\eta_{ln}^h \quad \forall l, n \quad (72)$$

$$\rho_{ca} G_{mn}^{ca} v_m^n \leq \eta_{mn}^{ca} \quad \forall m, n \quad (73)$$

$$\rho_{ca} G_{mn}^{ca} v_m^n \geq -\eta_{mn}^{ca} \quad \forall m, n \quad (74)$$

$$\rho_{cx} G_{ij}^{cx} x_{ij} \leq \eta_{ij}^{cx} \quad \forall i, j \quad (75)$$

$$\rho_{cx} G_{ij}^{cx} x_{ij} \geq -\eta_{ij}^{cx} \quad \forall i, j \quad (76)$$

$$\rho_{cu} G_{jk}^{cu} u_{jk} \leq \eta_{jk}^{cu} \quad \forall j, k \quad (77)$$

$$\rho_{cu} G_{jk}^{cu} u_{jk} \geq -\eta_{jk}^{cu} \quad \forall j, k \quad (78)$$

$$\rho_{cq} G_{kl}^{cq} Q_{kl} \leq \eta_{kl}^{cq} \quad \forall k, l \quad (79)$$

$$\rho_{cq} G_{kl}^{cq} Q_{kl} \geq -\eta_{kl}^{cq} \quad \forall k, l \quad (80)$$

$$\rho_{ct} G_{lm}^{ct} T_{lm} \leq \eta_{lm}^{ct} \quad \forall l, m$$

$$\rho_{ct} G_{lm}^{ct} T_{lm} \geq -\eta_{lm}^{ct} \quad \forall l, m \quad (81)$$

$$\rho_{cp} G_{li}^{cp} p_{li} \leq \eta_{li}^{cp} \quad \forall l, i \quad (82)$$

$$\rho_{cp} G_{li}^{cp} p_{li} \geq -\eta_{li}^{cp} \quad \forall l, i \quad (83)$$

$$\rho_{ceu} G_{sake}^{ceu} yr_{sake} \leq \eta_{sake}^{ceu} \quad \forall s, a, k, e \quad (84)$$

$$\rho_{ceu} G_{sake}^{ceu} yr_{sake} \geq -\eta_{sake}^{ceu} \quad \forall s, a, k, e \quad (85)$$

$$\rho_{cv} G_{s'sk}^{cv} c_{s'sk} \leq \eta_{s'sk}^{cv} \quad \forall s, s', k \quad s \neq s' \quad (86)$$

$$\rho_{cv} G_{s'sk}^{cv} c_{s'sk} \geq -\eta_{s'sk}^{cv} \quad \forall s, s', k \quad s \neq s' \quad (87)$$

$$\rho_{cv} G_{s'sk}^{cv} c_{s'sk} \geq -\eta_{s'sk}^{cv} \quad \forall s, s', k \quad s \neq s' \quad (88)$$

$$b_s^k, v_{s's}^k, z m_s^k \in R \quad (89)$$

$$x_{ij}, u_{jk}, Q_{kl}, T_{lm}, p_{li}, b_s^{k+}, c_{s's}^{k+}, g_s^k, \eta_{in}^f, \eta_{jn}^o, \eta_{ln}^h, \eta_{mn}^{ca}, \eta_{ij}^{cx}, \eta_{jk}^{cu}, \eta_{kl}^{cq}, \eta_{lm}^{ct}, \eta_{li}^{cp}, \eta_{sake}^{ceu}, \eta_{s'sk}^{cv} \geq 0 \quad (90)$$

$$b_s^{k-}, c_{s's}^{k-} \leq 0 \quad (91)$$

$$w_i^n, y_i^n, z_i^n, v_m^n, x A_a^k, y b_s^k, e u_{as}^k, y r_{sae}^k, z k_{se}^k \in \{0, 1\} \quad (92)$$

روش حل مبتنی بر رویکرد فازی

رویکردهای مختلفی برای حل مدل‌های چند هدفه برنامه ریزی ریاضی در تحقیقات گذشته ارائه شده است. از میان این روش‌ها رویکردهای برنامه ریزی فازی کاربرد گسترده‌ای پیدا نموده اند. یکی از مهمترین دلایلی که کاربرد این رویکردها را گسترش داده است، توانایی در نظر گرفتن سطح برآورده‌سازی هر یک از توابع هدف توسط این روش‌ها می‌باشد. در این تحقیق برای حل مدل ارائه شده یک رویکرد حل فازی برگرفته

شده از ترابی و هسینی (۲۰۰۸) و روش‌های تشریح شده در بخش‌های قبلی ارائه شده است. گام‌های رویکرد حل ترکیبی ارائه شده به صورت خلاصه به شرح زیر می‌باشد:

گام اول: تعیین پارامترها و متغیرهای دارای عدم قطعیت و لحاظ نمودن توابع توزیع مورد نیاز جهت استفاده در مدل ارائه شده.

گام دوم: فرمول بندی مدل ارائه شده با توجه به پارامترهای تعریف شده در گام قبلی.

گام سوم: تبدیل محدودیت‌های صاف به محدودیت‌های معادل قطعی با بکارگیری رویکرد مورد اشاره در بخش قبلی.

گام چهارم: تبدیل مدل استوار به مدل قطعی معادل با بکارگیری رویکرد مورد اشاره در بخش قبلی.

گام پنجم: تعیین جواب ایده ال مثبت و جواب ایده ال منفی به ازای α برای هر تابع هدف، که در آن α سطح شدنی بودن می‌باشد. به منظور محاسبه جواب ایده ال مثبت و منفی، یعنی $(\mathcal{W}_1^{PIS}, x_1^{PIS})$ و $(\mathcal{W}_2^{PIS}, x_2^{PIS})$ هر کدام از مدل‌های قطعی برای هر یک از توابع هدف به صورت مجزا حل می‌گردد و جواب ایده ال مثبت بدست می‌آید و سپس جواب ایده ال منفی به صورت زیر تخمین زده می‌شود:

$$\mathcal{W}_1^{NIS} = \mathcal{W}_1(x_2^{PIS}), \mathcal{W}_2^{NIS} = \mathcal{W}_2(x_1^{PIS}), \quad (93)$$

گام ششم: تعیین یک تابع عضویت خطی برای هر تابع هدف به صورت زیر:

$$\mu_1(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } \mathcal{W}_1 < \mathcal{W}_1^{PIS} \\ \frac{\mathcal{W}_1^{NIS} - \mathcal{W}_1}{\mathcal{W}_1^{NIS} - \mathcal{W}_1^{PIS}} & \text{if } \mathcal{W}_1^{PIS} \leq \mathcal{W}_1 \leq \mathcal{W}_1^{NIS} \\ 0 & \text{if } \mathcal{W}_1 > \mathcal{W}_1^{NIS} \end{cases}$$

(94)

$$\mu_2(x) = \begin{cases} 1 & \text{if } w_2 < w_2^{PIS} \\ \frac{w_2^{NIS} - w_2}{w_2^{NIS} - w_2^{PIS}} & \text{if } w_2^{PIS} \leq w_2 \leq w_2^{NIS} \\ 0 & \text{if } w_2 > w_2^{NIS} \end{cases}$$

(95)

در حقیقت، $\mu_h(x)$ نمایش دهنده درجه رضایت مندی تابع هدف h ام می‌باشد. **گام هفتم:** تبدیل مدل‌های قطعی برنامه ریزی مختلط عدد صحیح به یک مدل تک هدفه برنامه ریزی مختلط عدد صحیح با استفاده از تابع ادغامی که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\max \lambda(x) = \psi \lambda_0 + (1 - \psi) \sum_h \phi_h \mu_h(x)$$

(96)

s.t.

$$\lambda_0 \leq \mu_h(x), \quad h = 1, 2$$

(97)

$$x \in F(x), \quad \lambda_0 \text{ and } \lambda \in [0, 1]$$

(98)

گام هشتم: تعیین مقادیر پارامترهای ρ ، θ_h و ψ و حل مدل‌های تک هدفه ایجاد شده در گام قبلی. در صورتی که جواب‌های حاصل برای تصمیم گیرندگان رضایت بخش باشد، متوقف شده و در غیر اینصورت به منظور دستیابی به جواب‌های جدید، مقادیر پارامترهای ψ و ρ و در صورت نیاز θ_h را تغییر می‌دهیم.

نتایج محاسباتی

توضیحات مطالعه موردی

در دنیای امروز آلودگی‌های زیست محیطی بعنوان عامل اصلی ابتلا به بسیاری از بیماریها از جمله بیماریهای سرطان را معرفی شده است. بر اساس تحقیقات انجام شده از سوی مرکز تحقیقات سرطان، بنزن و مواد آروماتیک از جمله ترکیباتی است که در فهرست خطرناک ترین مواد سرطانی قرار دارد و همچنین از مهمترین عوامل ایجاد آلودگی هوا در کلانشهرها هستند. از این رو سازمان حفاظت محیط زیست با هدف کاهش آلودگی هوا و حفظ سلامت مردم اصلاح سوخت توزیعی در کشور و توزیع سوخت استاندارد یورو ۴ را در دستور کار خود قرار داده است. در این مطالعه، دو پالایشگاه شازند اراک و ستاره خلیج فارس که از مهمترین طرح‌های بهینه سازی بنزین در کشور می‌باشند، بعنوان پالایشگاههای کاندید برای بازگشایی در نظر گرفته شده است و همچنین توزیع بنزین یورو ۴ در سه منطقه تهران، مشهد (خراسان رضوی) و بندرعباس مورد هدف قرار داده شده است، که از جمله شهرهایی هستند که در مراحل اولیه بهینه سازی سوخت، بنزین یورو ۴ دریافت نمودند و در این مطالعه نیز مورد هدف قرار داده ایم، همچنین تعدادی جایگاه بنزین در هریک از مناطق به عنوان واحدهای منتخب در نظر گرفته شده اند. برای سرویس دهی در این مناطق شرکتهای پخش فرآورده‌های نفتی که دارای انبارهای ذخیره سازی بنزین می‌باشند بعنوان تسهیلات سرویس دهی انتخاب می‌شوند که کار توزیع بنزین به جایگاههای (واحدهای مکانی) تحت پوشش خود توسط وسایل نقلیه با ظرفیت مناسب را برعهده خواهند داشت. بطور کلی فرآیند سوخت رسانی به اینصورت است که بنزین از طریق خطوط لوله به هر منطقه منتقل می‌شود و در مخازن ذخیره سازی هر منطقه ذخیره می‌شود و سپس به جایگاههای بنزین توسط وسایل نقلیه منتقل می‌شود. از آنجائیکه برای تولید بنزین، پالایشگاه‌های تولید کننده نیاز به خوراک اصلی خواهند داشت به همین منظور دو میدان نفتی مسجد سلیمان و پارس جنوبی که از میداین اصلی نفتی هستند در مطالعه خود مدنظر قرار داده ایم. به جهت آنکه سالانه مقادیر زیادی لجن در مخازن ذخیره

سازی فرآورده‌های نفتی تولید می‌شود، برای حفظ سلامت محیط زیست این مواد از بخشها و مناطق مختلف جمع آوری می‌شوند و معمولاً در یک محل نگهداری می‌شوند تا در فرصت مناسب نسبت به تصفیه و بازیافت مواد قابل مصرف اقدام لازم صورت گرفته و مواد جامد نیز قابل دفع به محیط زیست گردند. در این مورد مطالعاتی ما دو حوضچه ذخیره لجن فرآورده‌های نفتی در بندرعباس و اهواز را بعنوان مراکز کاندید برای بازیافت و تصفیه در نظر گرفته ایم. اطلاعات مربوط به ظرفیت تولید و هزینه پالایشگاهها و تامین کننده‌ها و... در جدول‌های ۱ تا ۳ نشان داده شده است. بنزین مورد تقاضای روزانه هر جایگاه در هر منطقه در جدول ۴ مشاهده خواهد شد.

جدول ۱. پارامترهای مراکز کاندید تامین کننده

مراکز کاندید تامین کننده (i)	هزینه f_i^n (یورو)	ظرفیت تامین برای سه منطقه caw_i^n (لیتر در روز)
میدان نفتی پارس جنوبی	250000×10^3	300000
میدان نفتی مسجد سلیمان	300000×10^3	280000

جدول ۲. پارامترهای مراکز توزیع کاندید

مراکز کاندید تولید/توزیع (j)	هزینه o_j^n (یورو)	ظرفیت برای سه منطقه cay_j^n (لیتر در روز)
پالایشگاه ستاره خلیج فارس	100000×10^3	110000
پالایشگاه شازند	90000×10^3	100000

جدول ۳. پارامترهای مراکز کاندید جمع آوری و بازیافت

مراکز کاندید جمع آوری و بازیافت	هزینه h_i^n (یورو)	ظرفیت caz_i^n (لیتر در روز)
حوضچه بندرعباس	30000×10^3	100000
حوضچه اهواز	25000×10^3	80000

جدول ۴. پارمتر مناطق تقاضا

واحد‌های تقاضا	تقاضا d_a (لیتر در روز)
جایگاه باغ فیض	20000
جایگاه استقلال	5000
جایگاه آریا فر	10000
جایگاه کیانشهر	5000
جایگاه میرداماد	20000
جایگاه ۱۵۷	5000
جایگاه خاوران	10000
جایگاه عبدالمطلب	10000
جایگاه پیروزی	5000
جایگاه بهار	10000
جایگاه معلم	5000
جایگاه جمهوری	5000
جایگاه هفده شهریور	10000
جایگاه سپهر	20000
جایگاه پامرو	5000
جایگاه آرامش	5000

در این مطالعه، مساله مورد بررسی در دو حالت قطعی و غیر قطعی با استفاده از رویکرد حل TH توسط نرم افزار گمز نسخه (23.6) حل شده است. در این روش حل اهمیت توابع هدف به ترتیب $(\theta = 0.6, 0.4)$ در نظر گرفته شده است و همچنین ضریب جریمه $(\varphi = 0.5)$ می باشد. شکل ۱ حل مساله در حالت قطعی را نمایش می دهد. همانطور که ملاحظه می شود میدان نفتی پارس جنوبی بعنوان تامین کننده خوراک اصلی پالایشگاهها انتخاب شده است و هردو پالایشگاه شازند و ستاره خلیج فارس نیز برای تولید و توزیع بنزین یورو ۴ انتخاب شده اند. منطقه خراسان رضوی از طریق پالایشگاههای شازند و ستاره خلیج فارس تامین می شوند، بندرعباس از پالایشگاه ستاره خلیج فارس و تهران تنها از طریق پالایشگاه شازند تامین می شود. لجن موجود در مخازن سرویس دهنده های مناطق به حوضچه بندرعباس انتقال و پس از تصفیه مواد خام قابل مصرف به پارس جنوبی منتقل و مواد غیر قابل مصرف در دشت های عسلویه دفع می شود.

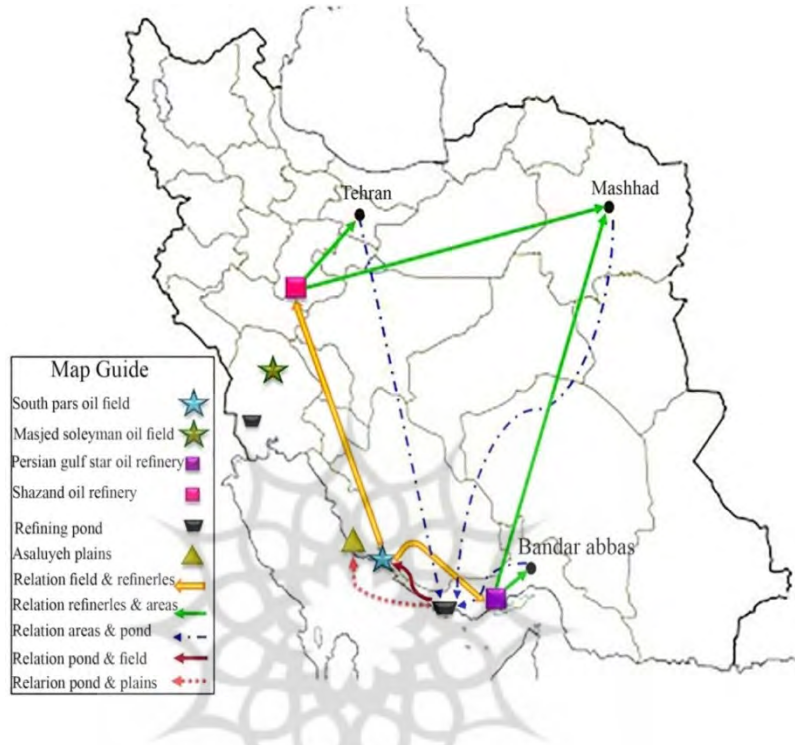
همانطور که در شکل ۲ ملاحظه می شود دو انبار ذخیره سازی بنزین کوچک در شمال شرق تهران و کن در شمال غرب تهران بعنوان سرویس دهنده ایجاد شده اند، و وسایل نقلیه ی متناسب با تقاضای جایگاهها به هر سرویس دهنده تخصیص داده شده است که مسیر هر کدام از وسایل نقلیه با رنگهای مختلف در شکل نشان داده شده است. وسیله ۴ به انبار کن تخصیص داده شده است که عملیات سوخت رسانی به جایگاههای (باغ فیض، استقلال، کیانشهر و آریا فر) را بر عهده دارد و همچنین وسیله نقلیه ۲ به انبار کوچک تخصیص یافته و تامین بنزین جایگاههای (میرداماد، خاوران و جایگاه ۱۵۷) را بر عهده دارد. در منطقه بندرعباس فقط انبار شرکت پخش فرآورده های نفتی رجایی بعنوان سرویس دهنده در نظر گرفته شده است و وسیله نقلیه ۱ به این تسهیل اختصاص یافته است که تامین بنزین سه جایگاه منتخب در این منطقه را بر عهده دارد، مسیر وسیله نقلیه در شکل ۳ بخوبی نشان داده شده است. در منطقه خراسان رضوی انبار شرکت پخش فرآورده های نفتی کند و بعنوان سرویس دهنده انتخاب شده است و وسیله ۳ و ۵ به آن تخصیص یافته است مسیر هر کدام از وسایل نقلیه با رنگهای مختلف در شکل ۴ نشان داده شده است. وسیله ۵ تامین

بنزین جایگاههای (جمهوری، هفده شهریور و بهار) را برعهده دارد و وسیله ۳ تامین بنزین جایگاههای (عبدالمطلب، معلم و پیروزی) را برعهده دارد.

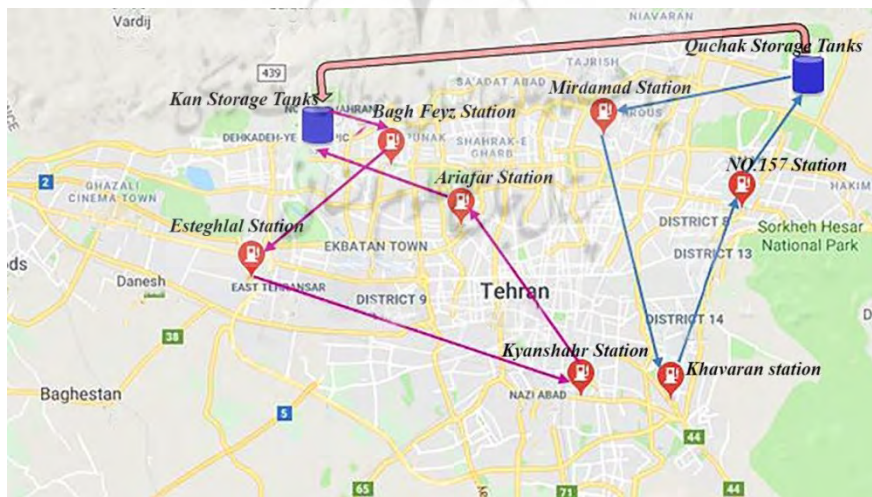
با توجه به اینکه در این مساله اضافه بار موجود در تسهیلات سرویس دهنده‌ها باید مینیمم شود، در تسهیل سرویس دهی کن در شمال غرب تهران روزانه میزان 35000 لیتر بین جایگاههای مورد نظر در این مطالعه عرضه می‌شود که از تقاضای تخصیص داده شده به این تسهیل کمتر است و بخش منفی تعادل در این تسهیل 15000 لیتر می‌باشد. از آنجاییکه تسهیل سرویس دهی قوچک در شمال شرق تهران دارای عرضه اضافی می‌باشد و اشتراک گذاری فقط بین سرویس دهنده‌های داخل هر منطقه مجاز است لذا میزان 14137.74 لیتر از این مقدار توسط تسهیل سرویس دهی قوچک که در منطقه تهران می‌باشد تامین و به تسهیل سرویس دهی کن منتقل می‌شود. در نهایت مقدار هزینه کل بدست آمده 469374658.74 و اضافه بار بدست آمده 2276.034 می‌باشد زمان حل 374 ثانیه در حالت قطعی می‌باشد.

شکل ۵ حل مساله در حالت غیر قطعی با سطح عدم قطعیت 0.2 را نمایش می‌دهد. در این حالت بنزین منطقه خراسان رضوی فقط توسط پالایشگاه ستاره خلیج فارس تامین می‌شود، منطقه تهران از طریق پالایشگاههای شازند و ستاره خلیج فارس تامین می‌شود و بندرعباس توسط پالایشگاه ستاره خلیج فارس تامین می‌شود. در شکل‌های ۶-۸ به ترتیب عملیات سوخت رسانی به مناطق تهران، بندرعباس و مشهد نمایش داده شده است. وسایل نقلیه و جایگاههای تخصیص یافته به هر تسهیل سرویس دهی در هر منطقه و همچنین مسیر هر وسیله نقلیه بخوبی نشان داده شده است. از آنجاییکه در حالت غیر قطعی میزان عرضه بنزین در تسهیل سرویس دهی قوچک 32000 می‌باشد و تقاضای تخصیص داده شده به آن زیادتر است بخش منفی تعادل در این تسهیل 23000 می‌باشد، که میزان 11622.99 لیتر از تسهیل سرویس دهی کن در شمال غرب تهران به تسهیل سرویس دهی قوچک در شمال شرق تهران منتقل می‌شود. مقدار هزینه کل بدست آمده در حالت غیر قطعی 624192641.54 و اضافه بار 12539.30 می‌باشد و زمان حل 468 ثانیه می‌باشد.

شکل ۱. مساله کلی در حالت قطعی



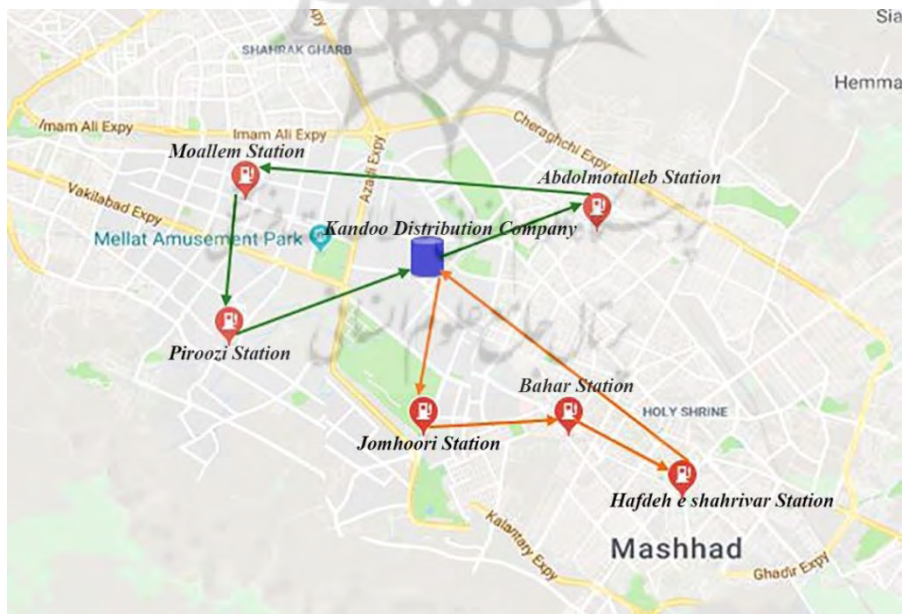
شکل ۲. مسیر وسایل نقلیه و انتقال بنزین به جایگاه‌های منطقه تهران در حالت قطعی



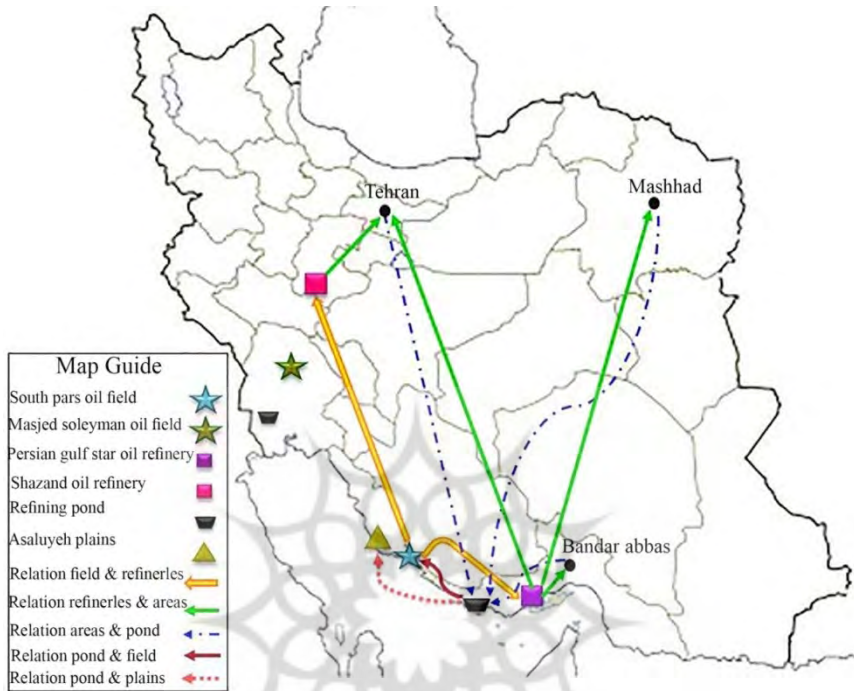
شکل ۳. مسیر وسایل نقلیه و انتقال بنزین به جایگاه‌های منطقه بندرعباس در حالت قطعی



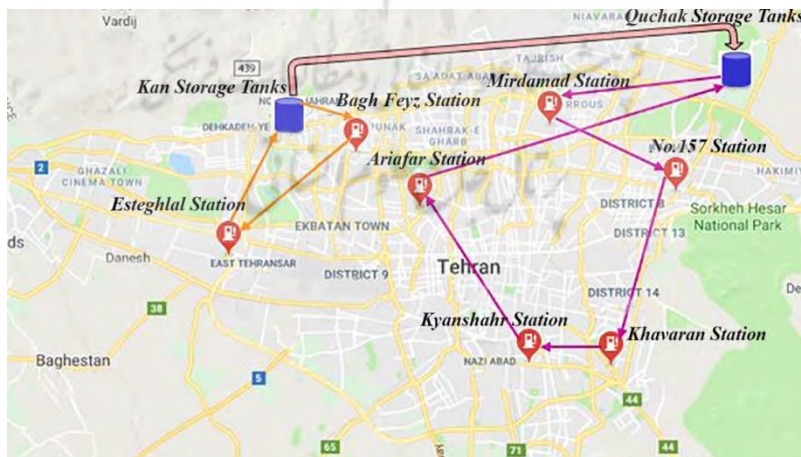
شکل ۴. مسیر وسایل نقلیه و انتقال بنزین به جایگاه‌های منطقه خراسان رضوی در حالت قطعی



شکل ۵. مساله کلي در حالت غير قطعي



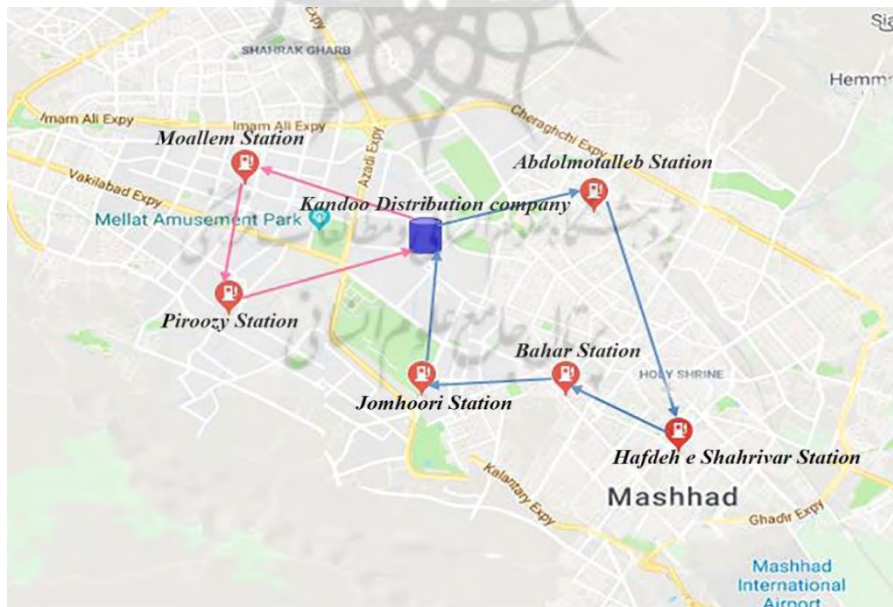
شکل ۶. مسير وسايل نقليه و انتقال بنزين به جاياگاههاي تهران در غير قطعي



شکل ۷. مسیر وسایل نقلیه و انتقال بنزین به جایگاه‌های بندرعباس در حالت غیر قطعی



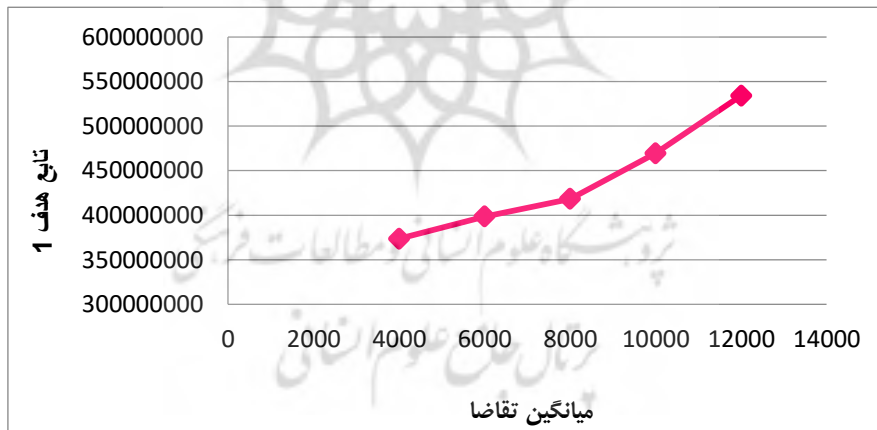
شکل ۸. مسیر وسایل نقلیه و انتقال بنزین به جایگاه‌های خراسان رضوی در حالت غیر قطعی



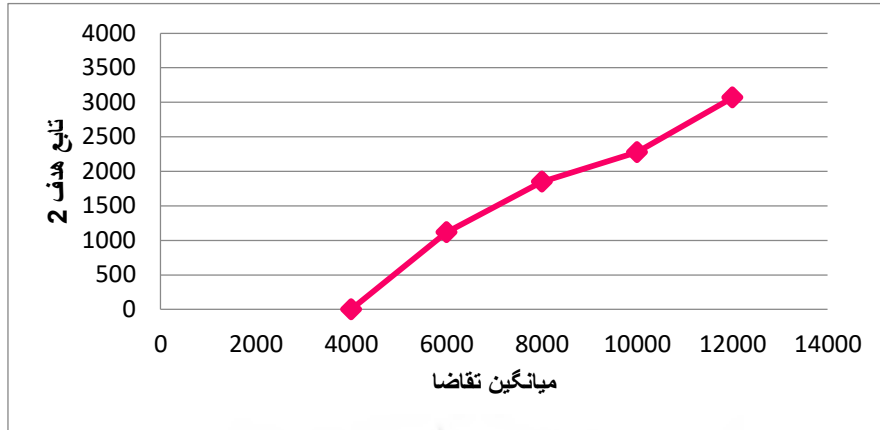
تحلیل حساسیت

با توجه به اهداف در نظر گرفته شده در مدل پیشنهادی، می‌توان تحلیل حساسیت پارامترها را نسبت به تغییر در مقدار آنها بر روی توابع هدف را بررسی نمود. پارامتر d_a (مقدار تقاضای هر واحد مکانی) و پارامتر g_a^{max} (حداکثر عرضه سرویس در هر تسهیل) برای تحلیل حساسیت در نظر گرفته شده است. شکل‌های ۹ تا ۱۱ روند تغییر توابع هدف را نسبت به تغییر پارامترها را نشان می‌دهند. همانطور که ملاحظه می‌شود با افزایش مقدار تقاضای هر واحد مکانی تابع هدف هزینه نیز افزایش می‌یابد و تابع هدف دوم نیز افزایش پیدا کرده است. با توجه به شکل ۱۱ می‌توان مشاهده کرد که با افزایش پارامتر g_a^{max} مقدار تابع هدف دوم کاهش می‌یابد و بهتر می‌شود. حال آنکه این پارامتر بر روی تابع هدف هزینه بدون تاثیر می‌باشد. همچنین این مساله در حالت غیر قطعی در سطوح مختلف عدم قطعیت مورد بررسی قرار گرفته است. همانطور که در شکل‌های ۱۲ تا ۱۳ مشاهده می‌گردد با افزایش سطح عدم قطعیت هر دو تابع هدف افزایش پیدا کرده و بدتر می‌شوند. لازم به ذکر است که به ازای مقادیر بالاتر از ۰.۳ برای سطوح عدم قطعیت مدل دارای جواب نمی‌باشد. همچنین به منظور نمایش تضاد دو تابع هدف نمودار پارتو در شکل ۱۴ ارائه شده است.

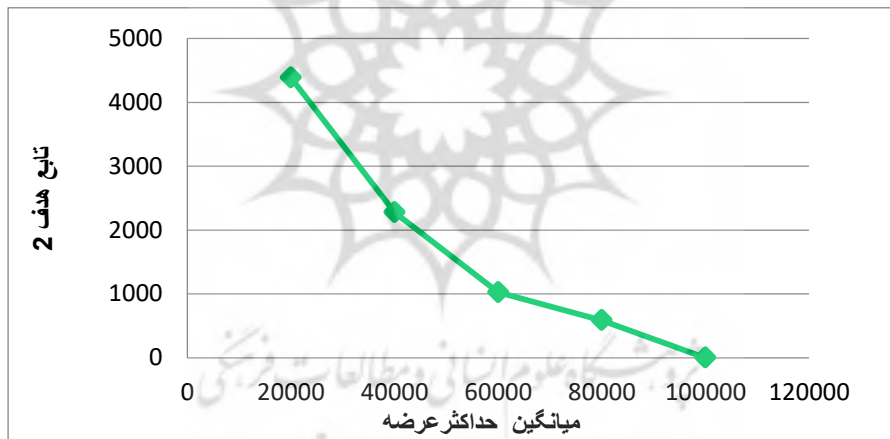
شکل ۹. نمودار میانگین تقاضا و تابع هدف ۱



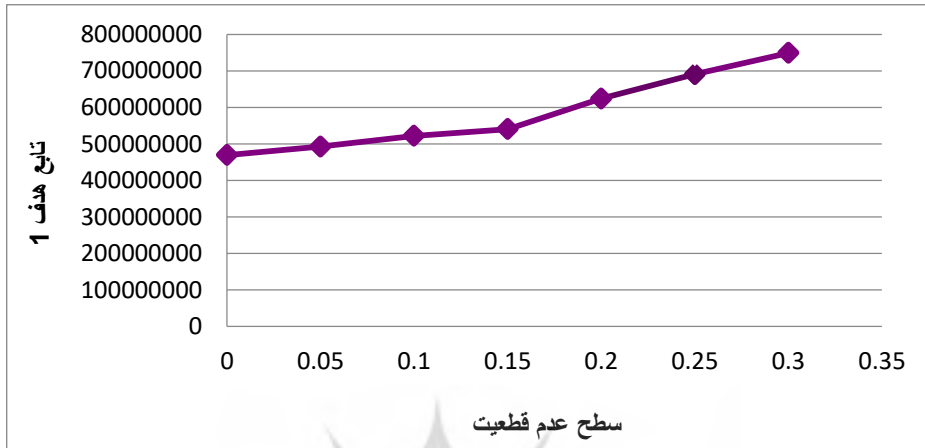
شکل ۱۰. نمودار میانگین تقاضا و تابع هدف ۲



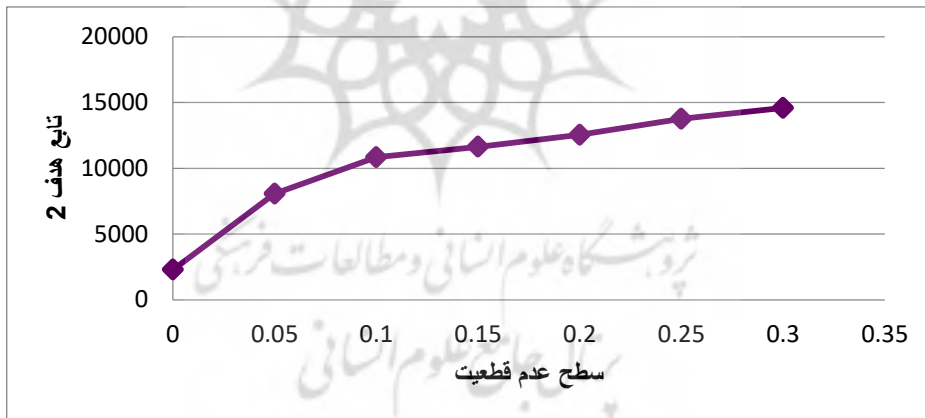
شکل ۱۱. نمودار میانگین حداکثر عرضه تسهیل و تابع هدف ۲



شکل ۱۲. نمودار سطح عدم قطعیت و تابع هدف ۱



شکل ۱۳. نمودار سطح عدم قطعیت و تابع هدف ۲



شکل ۱۴. نمودار پارتو برای مسئله مورد بررسی



نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

در این تحقیق یک مدل ریاضی دو هدفه به منظور ایجاد یک چهارچوب یکپارچه جهت طراحی شبکه زنجیره تامین حلقه بسته و ملاحظات مرتبط با ناحیه بندی مجدد مناطق، اشتراک گذاری خدمت و انتقال خدمت درون منطقه ای و مسیریابی وسایل حمل و نقل ارائه گردید. در مدل ارائه شده تصمیمات متعددی شامل مکان یابی تسهیلات، تخصیص آنها به یکدیگر، میزان جریانات بین تسهیلات مختلف، تقسیم بندی مناطق، سطح ظرفیت هر یک از تسهیلات، انتخاب سرویس دهندگان در هر یک از مناطق، مسیریابی وسایل حمل نقل از سرویس دهندگان به مشتریان در مناطق ناحیه بندی شده، اشتراک گذاری سرویس دهندگان و تعادل در شبکه اتخاذ می گردید. تابع هدف اول در نظر گرفته شده در این تحقیق به کمینه نمودن مجموع هزینه‌های شبکه زنجیره تامین شامل هزینه‌های بازگشایی تسهیلات و مسیریابی وسایل حمل و نقل می‌پرداخت. همچنین تابع هدف دوم به حداقل نمودن حداکثر حجم تقاضای مازاد سرویس دهنده‌ها می‌پرداخت تا از این طریق تعادل مناسبی بین حجم تقاضا در میان مناطق مختلف ایجاد گردد. همچنین رویکرد بهینه سازی استوار به منظور لحاظ نمودن عدم قطعیت در برخی از پارامترهای مدل ارائه شده بکار گرفته شده است. در انتها یک مطالعه موردی واقعی به منظور نمایش صحت، درستی

و کاربردی بودن مدل و روش حل ارائه شده مورد بحث و بررسی قرار گرفت. به منظور توسعه تحقیق حضار زمینه‌های تحقیقاتی مختلف را می‌توان پیشنهاد نمود. به عنوان مثال ملاحظات مرتبط با پایدار و سبز بودن را در ارتباط با سرویس دهندگان و سایر اعضا زنجیره تامین لحاظ نمود، همچنین توسعه روش‌های ابتکاری و فراابتکاری به منظور حل مدل در ابعاد بزرگ از دیگر زمینه‌های تحقیقات آتی می‌باشد. یکی دیگر از موضوعات جذاب برای تحقیقات آتی در نظر گرفتن همبستگی تقاضا میان نواحی مختلف می‌باشد. لحاظ کردن سایر معیارهای تاثیر گذار در منطقه بندی نواحی علاوه بر اهداف در نظر گرفته شده در این تحقیق می‌تواند از دیگر جنبه‌های مورد توجه برای تحقیقات آتی باشد.

ORCID

Behnam Vahdani

 <https://orcid.org/0000-0001-9850-2698>

Farhad Etebari

 <https://orcid.org/0000-0002-7204-282X>

Behroz Afshar Najafi

 <http://orcid.org/0000-0002-3391-8411>

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

References

- Agrawal, S., Singh, R.K. and Murtaza, Q., 2015. A literature review and perspectives in reverse logistics. Resources, *Conservation and Recycling*, 97, pp.76-92.
- Ahmadzadeh, E. and Vahdani, B., 2017. A location-inventory-pricing model in a closed loop supply chain network with correlated demands and shortages under a periodic review system. *Computers & Chemical Engineering*, 101, pp.148-166.
- Ben-Tal, A. and Nemirovski, A., 1999. Robust solutions of uncertain linear programs. *Operations research letters*, 25(1), pp.1-13.
- Ben-Tal, A., El Ghaoui, L. and Nemirovski, A., 2009. Robust optimization. Princeton University Press.
- Bruni, M.E., Conforti, D., Sicilia, N. and Trotta, S., 2006. A new organ transplantation location-allocation policy: a case study of Italy. *Health Care Management Science*, 9(2), pp.125-142.
- Dai, Z. and Zheng, X., 2015. Design of close-loop supply chain network under uncertainty using hybrid genetic algorithm: A fuzzy and chance-constrained programming model. *Computers & Industrial Engineering*, 88, pp.444-457.
- Dehghan, E., Nikabadi, M.S., Amiri, M. and Jabbarzadeh, A., 2018. Hybrid robust, stochastic and possibilistic programming for closed-loop supply chain network design. *Computers & Industrial Engineering*, 123, pp.220-231.
- Duque, J.C., Church, R.L. and Middleton, R.S., 2011. The p-Regions Problem. p-区域问题. *Geographical Analysis*, 43(1), pp.104-126.
- Duque, J.C., Anselin, L. and Rey, S.J., 2012. The max-p-regions problem. *Journal of Regional Science*, 52(3), pp.397-419.
- Govindan, K., Soleimani, H. and Kannan, D., 2015. Reverse logistics and closed-loop supply chain: A comprehensive review to explore the future. *European Journal of Operational Research*, 240(3), pp.603-626.
- Govindan, K. and Soleimani, H., 2017. A review of reverse logistics and closed-loop supply chains: a Journal of Cleaner Production focus. *Journal of Cleaner Production*, 142, pp.371-384.
- Haddadsisakht, A. and Ryan, S.M., 2018. Closed-loop supply chain network design with multiple transportation modes under

- stochastic demand and uncertain carbon tax. *International Journal of Production Economics*, 195, pp.118-131.
- Islam, S. and Roy, T.K., 2006. A new fuzzy multi-objective programming: Entropy based geometric programming and its application of transportation problems. *European Journal of Operational Research*, 173(2), pp.387-404.
- Jasmand, C., Blazevic, V. and de Ruyter, K., 2012. Generating sales while providing service: A study of customer service representatives' ambidextrous behavior. *Journal of Marketing*, 76(1), pp.20-37.
- Jeihoonian, M., Zanjani, M.K. and Gendreau, M., 2017. Closed-loop supply chain network design under uncertain quality status: Case of durable products. *International Journal of Production Economics*, 183, pp.470-486.
- Kalaitzidou, M.A., Longinidis, P. and Georgiadis, M.C., 2015. Optimal design of closed-loop supply chain networks with multifunctional nodes. *Computers & Chemical Engineering*, 80, pp.73-91.
- Keyvanshokoh, E., Ryan, S.M. and Kabir, E., 2016. Hybrid robust and stochastic optimization for closed-loop supply chain network design using accelerated Benders decomposition. *European Journal of Operational Research*, 249(1), pp.76-92.
- Khatami, M., Mahootchi, M. and Farahani, R.Z., 2015. Benders' decomposition for concurrent redesign of forward and closed-loop supply chain network with demand and return uncertainties. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 79, pp.1-21.
- Kim, H., Chun, Y. and Kim, K., 2015. Delimitation of Functional Regions Using ap-Regions Problem Approach. *International Regional Science Review*, 38(3), pp.235-263.
- Ko, J., Nazarian, E., Nam, Y. and Guo, Y., 2015. Integrated redistricting, location-allocation and service sharing with intra-district service transfer to reduce demand overload and its disparity. *Computers, Environment and Urban Systems*, 54, pp.132-143.

- Lai, Y.J. and Hwang, C.L., 1993. Possibilistic linear programming for managing interest rate risk. *Fuzzy Sets and Systems*, 54(2), pp.135-146.
- Li, X.Q., Zhang, B. and Li, H., 2006. Computing efficient solutions to fuzzy multiple objective linear programming problems. *Fuzzy sets and systems*, 157(10), pp.1328-1332.
- Li, W., Church, R.L. and Goodchild, M.F., 2014. The p-compact-regions problem. *Geographical Analysis*, 46(3), pp.250-273.
- Mahapatra, G.S. and Roy, T.K., 2006. Fuzzy multi-objective mathematical programming on reliability optimization model. *Applied Mathematics and Computation*, 174(1), pp.643-659.
- Mohammadi, M., Dehbari, S. and Vahdani, B., 2014. Design of a bi-objective reliable healthcare network with finite capacity queue under service covering uncertainty. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 72, pp.15-41.
- Mousavi, S.M. and Vahdani, B., 2017. A robust approach to multiple vehicle location-routing problems with time windows for optimization of cross-docking under uncertainty. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 32(1), pp.49-62.
- Niakan, F., Vahdani, B. and Mohammadi, M., 2015. A multi-objective optimization model for hub network design under uncertainty: An inexact rough-interval fuzzy approach. *Engineering Optimization*, 47(12), pp.1670-1688.
- Saedinia, R., Vahdani, B., Etebari, F. and Nadjafi, B.A., 2019. Robust gasoline closed loop supply chain design with redistricting, service sharing and intra-district service transfer. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 123, pp.121-141.
- Selim, H. and Ozkarahan, I., 2008. A supply chain distribution network design model: an interactive fuzzy goal programming-based solution approach. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 36(3-4), pp.401-418.
- Schiffer, M., Schneider, M., Walther, G. and Laporte, G., 2019. Vehicle Routing and Location Routing with Intermediate Stops: A Review. *Transportation Science*.
- Souza, G.C., 2013. Closed-loop supply chains: a critical review, and future research. *Decision Sciences*, 44(1), pp.7-38.
- Talaei, M., Moghaddam, B.F., Pishvae, M.S., Bozorgi-Amiri, A. and Gholamnejad, S., 2016. A robust fuzzy optimization model for

- carbon-efficient closed-loop supply chain network design problem: a numerical illustration in electronics industry. *Journal of Cleaner Production*, 113, pp.662-673.
- Torabi, S.A. and Hassini, E., 2008. An interactive possibilistic programming approach for multiple objective supply chain master planning. *Fuzzy sets and systems*, 159(2), pp.193-214.
- Tosarkani, B.M. and Amin, S.H., 2018. A possibilistic solution to configure a battery closed-loop supply chain: Multi-objective approach. *Expert Systems with Applications*, 92, pp.12-26.
- Vahdani, B., Tavakkoli-Moghaddam, R., Jolai, F. and Baboli, A., 2013a. Reliable design of a closed loop supply chain network under uncertainty: An interval fuzzy possibilistic chance-constrained model. *Engineering Optimization*, 45(6), pp.745-765.
- Vahdani, B. and Mohammadi, M., 2015. A bi-objective interval-stochastic robust optimization model for designing closed loop supply chain network with multi-priority queuing system. *International Journal of Production Economics*, 170, pp.67-87.
- Vahdani, B. and Ahmadzadeh, E., 2019. Designing a realistic ICT closed loop supply chain network with integrated decisions under uncertain demand and lead time. *Knowledge-Based Systems*.
- Vahdani, B., Tavakkoli-Moghaddam, R., Modarres, M. and Baboli, A., 2012a. Reliable design of a forward/reverse logistics network under uncertainty: a robust-M/M/c queuing model. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 48(6), pp.1152-1168.
- Vahdani, B., Tavakkoli-Moghaddam, R. and Jolai, F., 2013b. Reliable design of a logistics network under uncertainty: A fuzzy possibilistic-queuing model. *Applied Mathematical Modelling*, 37(5), pp.3254-3268.
- Vahdani, B., Razmi, J. and Tavakkoli-Moghaddam, R., 2012b. Fuzzy possibilistic modeling for closed loop recycling collection networks. *Environmental Modeling & Assessment*, 17(6), pp.623-637.
- Vahdani, B., Zandieh, M. and Roshanaei, V., 2011. A hybrid multi-stage predictive model for supply chain network collapse recovery analysis: a practical framework for effective supply chain network continuity management. *International Journal of Production Research*, 49(7), pp.2035-2060.

- Mohammadi, M., Dehbari, S. and Vahdani, B., 2014. Design of a bi-objective reliable healthcare network with finite capacity queue under service covering uncertainty. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 72, pp.15-41.
- Vahdani, B., Soltani, M., Yazdani, M. and Mousavi, S.M., 2017. A three level joint location-inventory problem with correlated demand, shortages and periodic review system: Robust meta-heuristics. *Computers & Industrial Engineering*, 109, pp.113-129.
- Vahdani, B., Veysmoradi, D., Noori, F. and Mansour, F., 2018. Two-stage multi-objective location-routing-inventory model for humanitarian logistics network design under uncertainty. *International journal of disaster risk reduction*, 27, pp.290-306.
- Vahdani, B. and Naderi-Beni, M., 2014. A mathematical programming model for recycling network design under uncertainty: an interval-stochastic robust optimization model. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 73(5-8), pp.1057-1071.
- Werners, B.M., 1988. Aggregation models in mathematical programming. In *Mathematical models for decision support*(pp. 295-305). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Yang, L., Jiang, Y. and Jiang, S., 2003, December. A probabilistic preemptive scheme for providing service differentiation in OBS networks. In *Global Telecommunications Conference, 2003. GLOBECOM'03. IEEE (Vol. 5, pp. 2689-2693)*. IEEE.
- Zeballos, L.J., Méndez, C.A., Barbosa-Povoa, A.P. and Novais, A.Q., 2014. Multi-period design and planning of closed-loop supply chains with uncertain supply and demand. *Computers & Chemical Engineering*, 66, pp.151-164.
- Zeballos, L.J., Méndez, C.A. and Barbosa-Povoa, A.P., 2018. Integrating decisions of product and closed-loop supply chain design under uncertain return flows. *Computers & Chemical Engineering*, 112, pp.211-238.
- Zimmermann, H.J., 1978. Fuzzy programming and linear programming with several objective functions. *Fuzzy sets and systems*, 1(1), pp.45-55.
- Zhen, L., Huang, L. and Wang, W., 2019. Green and Sustainable Closed-Loop Supply Chain Network Design under Uncertainty. *Journal of Cleaner Production*.