ارائه یک مدل احتمالی استوار چندهدفه برای مسأله مکان‌یابی- مسیریابی دو سطحی با گذاشت و برداشت همزمان و پنجره‌های زمانی

محمدرضا قطره‌سامانی، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

سید مهدی حسینی مطلق (مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

سعید یعقوبی، استادیار، دانشکده صنایع دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

عباس جوکار، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

E-mail: motlagh@iust.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۳/۰۳/۰۲ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۲۰

چکیده

مسأله مکان‌یابی- مسیریابی بدلیل کاربردهای آن در دنیای واقعی از جمله مسائلی است که در ادبیات موضوع مورد توجه بسیاری از نویسندگان واقع شده است. در این مقاله مدل گسترش یافته در حالت دوسطحی و با فرض ارسال چند کالایی به مشتریان، گذاشت و برداشت همزمان و با لحاظ پنجره‌های زمانی نرم ارائه شده است. در این مقاله علاوه بر کمینه‌سازی هزینه‌های مرتبط با مکان‌یابی و حمل‌ونقل، کمینه‌سازی هزینه‌های ناشی از مصرف سوخت نیز به عنوان تابع هدف دوم در نظر گرفته شده است. رویکردهای مختلفی برای برخورد با عدم قطعیت ارائه شده که از جمله این رویکردها می توان به مدل‌های بهینه‌سازی استوار اشاره کرد. در این مقاله مقدار تقاضای مشتریان در حالت غیرقطعی و در قالب سناریوهای مختلف با مقادیر گسسته در نظر گرفته شده و مدلسازی این مسأله با استفاده از روش بهینه‌سازی P-Robust به‌صورت برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح صورت پذیرفته است. در نهایت از اطلاعات و داده‌های یک شرکت توزیع قطعات یدکی در ایران برای حل مدل استفاده شده و نتایج حاصل از حل مسأله نمونه و تحلیل حساسیت روی مقادیر مختلف پارامتر p ارائه شده است. نتایج محاسبات نشان می‌دهد که با صرفظرکردن از افزایش جزئی در هزینه‌های انتظاری سیستم، می‌توان کاهش قابل ملاحظه‌ای در هزینه سناریوهای موجود به وجود آورد.

واژه های کلیدی: مکان‌یابی- مسیریابی، بهینه‌سازی استوار، دوسطحی، چند هدفه، گذاشت‌وبرداشت همزمان، پنجره‌های زمانی.

۱. مقدمه و مرور ادبیات

مفهوم زنجیره تامین در اواخر دهه ۱۹۸۰ مطرح و در دهه ۱۹۹۰ گسترش یافت. این مفهوم را می‌توان یکی از مهم‌ترین گرایشهای مدیریتی و عملیاتی در دو دهه اخیر دانست [Jones and Riley, 1985]. یکی از عوامل این اهمیت، سهم بالای هزینه‌های لجستیکی در هزینه تمام شده یک محصول است. مکان‌یابی تسهیلات یکی از مسائل اصلی در طراحی و برنامه‌ریزی شبکه زنجیره تامین است. این مسأله که با نام مکان‌یابی-تخصیص شناخته‌میود، یکی از مسائل مهم برای مدل‌سازی سیستم‌های لجستیک به شمارمی‌آید. هدف از حل این مسأله، تعیین همزمان و بهینه تعداد و مکان تسهیلات و تخصیص مشتریان به تسهیلات با فرض تحویل تقاضای مشتری به صورت یک محموله کامل وسیله نقلیه است.

حمل‌ونقل نیز در سیستم‌های اقتصادی اعم از خدماتی، تولیدی و توزیع از جایگاه ویژه و پراهمیتی برخوردار است و بخش عمده‌ای از تولید ناخالص ملی کشورها را به خود اختصاص می‌دهد. بهبود در سیستم‌های حمل‌ونقل به معنای بهبود در مسیرهای طی شده و حذف طی مسافت‌های غیر ضروری و بهینه‌سازی مسیرهای طی شده در هر سیستم است[saremi et al, 2016]. به طور متوسط حدود ۲۰ درصد قیمت تمام شده یک محصول صرف هزینه‌های توزیع آن می‌شود. بنابراین چون هزینه حمل‌ونقل یکی از مؤلفه-های مؤثر در قیمت تمام شده محصولات و همچنین سطح رضایت مشتریان سیستم است، کاهش هزینه‌های حمل و نقل کالا همواره مورد علاقه تولیدکنندگان بوده تا به این روش، آنها بتوانند رقابت‌پذیری کالاهایشان را در مقایسه با دیگر کالاهای مشابه در بازار ارتقا بخشند و مقدار فروش و سوددهی خود را افزایش دهند. هزینه حمل‌ونقل یکی از مؤلفه‌های مؤثر در قیمت تمام شده محصولات و همچنین سطح رضایت مشتریان سیستم است.

مسأله مسیریابی وسایل نقلیه نیز یکی از مهم‌ترین مسائل بهینه-سازی از دو دیدگاه تحقیقاتی و عملیاتی به شمار می-آید[Ignatius et al, 2014]. این مسأله سعی در طراحی بهینه مجموعه‌ای از مسیرها برای ناوگان حمل‌ونقل به نحوی دارد که به تعداد معینی مشتری خدمت‌رسانی شود و دارای محدودیت-های جانبی مختلفی باشد

مسأله مکان‌یابی- مسیریابی که از ادغام دو جزء تصمیمات مکان‌یابی تسهیلات و مسیریابی وسایل نقلیه تشکیل شده است، به تعیین محل تسهیلات لازم و مسیرهابی وسایل نقلیه برای خدمت‌رسانی به مشتریان با در نظر گرفتن برخی از محدودیت‌ها می‌پردازد تا خواسته‌های تمام مشتریان را برآورده سازد و هزینه کل شبکه که شامل هزینه‌های ثابت احداث تسهیلات، هزینه‌های ثابت وسایل نقلیه و هزینه‌های عملیاتی وسایل نقلیه است را به حداقل برساند. مشخص شدن کاربردهای عملی از مسأله مکان-یابی- مسیریابی یکی از جنبه‌های مهم این مسأله در ادبیات به شمار می‌رود. انواع کاربردهای عملی از جمله بانک خون، مکان-یابی تجهیزات نظامی، توزیع نوشابه و غذا، تحویل دارو و مرسولات پستی تاکنون مورد توجه محققان قرار گرفته است [Nagy and Salhi, 2007].

ارائه اولین مقالات در حوزه مسائل مکان‌یابی- مسیریابی به اواخر دهه ۱۹۶۰ باز می‌گردد. پیشرفت‌هایی که در مسائل بهینه‌سازی و محاسبات کامپیوتری به وجود آمد، توجه به این دسته مسائل را بیش از پیش افزایش داده است. در دهه ۱۹۸۰ مطالعات پژوهشگرانی نظیر جاکوبسن و مادسن [Jacobsen and Madsen, 1985]، نامبیار و همکاران [Nambiar et al, 1981]، لاپرته و نوبرت [Laporte and Nobert, 1981] و مادسن [Madsen, 1983] در حوزه مسائل مکان‌یابی- مسیریابی صورت پذیرفته است.

در دهه‌های اخیر فعالیت‌های زیادی بر روی مسأله مکان‌یابی- مسیریابی انجام شده است. برخی از محققان بر اساس شاخص-های گوناگون دسته‌بندی‌های مختلفی را برای آن پیشنهاد داده‌اند. ارائه اولین دسته‌بندی‌ها به فعالیت‌های مین و همکاران Min et al.1998]، لاپرته و نوبرت [Laporte and Nobert, 1981] و برمن و همکاران[Berman et al. 1995] بر می‌گردد.

نگی و سلهی [Nagy and Salhi, 2007] مسائل مکان‌یابی- مسیریابی را بر اساس شاخص‌های متنوعی نظیر اهداف مسأله، روش‌های حل و نحوه مدلسازی و کاربردهای مسائل این حوزه، دسته بندی نموده‌اند. دو دسته‌بندی جدید توسط پرودهون و پرینز [Prodhon and Prins, 2014] و درکسل و اشنایدر [Drexl and Schneider, 2015] منتشر شده که دسته‌بندی اول تمرکز بیشتری بر روی انواع روش‌های حل و دسته‌بندی دوم تمرکز بر روی ماهیت مسئله و نحوه مدلسازی آنها دارد.

در دنیای امروزی با گسترش سطوح زنجیره تامین به منظور کاهش هزینه‌های کلی سیستم، لایه‌های متفاوتی از تسهیلات مابین سطح اول زنجیره و مشتریان نهایی قرار گرفته‌اند. با قرار گرفتن هر لایه از تسهیلات بر پیچیدگی شبکه افزوده و جریان کالا ما بین سطوح مختلف با محدودیت‌های مختلفی رو برو می‌شود[Behzadians et al, 2013]. این مسائل در دهه‌ی اخیر بیشتر مورد توجه قرار گرفته است. این مسائل با نام مسائل چند-سطحی در ادبیات معرفی می‌شوند. در مسائل مکان‌یابی- مسیریابی چندسطحی کالا بصورت مستقیم از تسهیلات موجود به مشتریان ارسال نمی‌شود و وجود n تسهیل واسطه در این بین، باعث می‌شود که کالا ابتدا به واسطه‌ها ارسال شده و سپس از آنجا به مشتریان انتقال یابند. در هریک از سطوح این شبکه وسایل نقلیه مختص به آن بوده و مجاز به انجام عملیات ما بین تسهیلات سطوح دیگر نیستند.

واسنر و زاپفل [Wasner and Zäpfel, 2004] یک مدل دو-سطحی برای مسأله مکان‌یابی- مسیریابی مطرح نموده‌اند که ظرفیت تسهیلات و تعداد ناوگان حمل و نقل نامحدود بوده و ظرفیت وسایل نقلیه و محدودیت حداکثر طول برای آنها در مسأله گنجانده شده است. آنها علاوه بر کمینه کردن هزینه‌های ثابت تسهیلات، هزینه ثابت وسایل نقلیه و هم چنین هزینه متغیر وسایل نقلیه، هزینه‌های سفارش کالا را در مدل خود در نظر گرفته‌اند. آنها مدل خود را در قالب یک برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح ارائه و از یک روش ابتکاری برای حل آن استفاده کرده‌اند.

آلومر و کارا [Alumur and Kara, 2007] یک مدل دوسطحی برنامه‌ریزی مختلط عددصحیح برای مسأله مکان‌یابی- مسیریابی مواد مضر ارائه کرده‌اند. مسأله آنها چند محصولی بوده و ظرفیت و تعداد تسهیلات و وسایل نقلیه در مسأله آنها محدود فرض شده است. آنها در تابع هدف خود به کمینه کردن هزینه‌های مکان‌یابی و مسیریابی و هم‌چنین به حداقل رساندن ریسک در مسأله پرداخته‌اند.

جیانگ و ما [Jiang and Ma, 2009] یک مسأله مکان‌یابی- مسیریابی دو سطحی با فرض احتمالی بودن تقاضای مشتریان ارائه کرده‌اند. ظرفیت وسایل نقلیه محدود و ناوگان حمل و نقل در این مسأله همگن در نظر گرفته شده است. آنها هزینه نگهداری موجودی کالا را نیز در مدل خود لحاظ کرده و برای حل مسأله خود از الگوریتم فراابتکاری ژنتیک استفاده کرده‌اند.

انگویان و همکاران [Nguyen et al, 2012] یک مدل ریاضی بر پایه مسیریابی سویه‌ای در حالت دوسطحی برای مساله مکان-یابی- مسیریابی ارائه را کرده‌اند. در این مساله ظرفیت وسایل نقلیه و وسایل نقلیه محدود در نظر گرفته شده است. آنها ناوگان وسایل نقلیه را در مساله خود ناهمگن در نظر گرفته و برای حل آن از یک روش ابتکاری استفاده کرده‌اند.

نیکبخش و ذگردی [Nikbakhsh and Zegordi, 2010] مدلی دوسطحی با فرض محدود بودن تعداد و مکان تسهیلات و در نظرگرفتن ظرفیت محدود برای وسایل نقلیه و هم چنین محدودیت حداکثر طول مسیر برای آنها ارائه کرده‌اند. آنها دو روش حل ابتکاری و فراابتکاری برای مسأله خود پیشنهاد داده و با مقایسه نتایج آنها کارایی روش‌های پیشنهادی خود را سنجیده-اند.

در ادبیات مکان‌یابی- مسیریابی دسته‌ای از مسائل با نام مکان‌یابی- مسیریابی با شرایط گذاشت و برداشت شناخته شده‌اند. به دلیل کاربرد و عمومیت این مسائل در دنیای واقعی تحقیقات زیادی در سالهای اخیر بر روی آن انجام شده است. در این دسته از مسائل کالاهایی که باید به مشتریان تحویل داده شوند، از انبارهای موجود بارگیری شده و تمام کالاهایی که از مشتریان جمع آوری می‌شوند نیز باید به انبارها بازگردانده شوند. در نتیجه مبدا و مقصد تمام کالاها انبار است. به عبارت دیگر هر مشتری باید یکبار و فقط یکبار بازدید شود و در همان یک بازدید، تقاضای کالاهای تحویلی او برآورده شده و سپس بارهای مورد نیاز از آن تحویل و بارگیری شوند. در حالت خاصی از این مسائل تحویل و بارگیری کالا از مشتریان باید بصورت همزمان صورت گیرد که به مسائل مکان‌یابی- مسیریابی با شرایط گذاشت و برداشت همزمان شهرت دارند.

شرایط گذاشت و برداشت برای اولین بار توسط کارائوگلان و همکاران [karaoglan et al. 2011] ارائه شده است. آنها مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط خود را با در نظر گرفتن محدود بودن ظرفیت وسایل نقلیه و تسهیلات ارائه کرده‌اند. آنها با استفاده از روش شاخه و برش و با استفاده از شبیه سازی تبرید مسئله خود را حل کرده‌اند.

کارائوگلان و همکاران [karaoglan et al, 2012] بار دیگر

مدل ریاضی خود را بصورت مسیریابی گره‌ای بازنویسی کرده و با استفاده از یک روش دو فازی آن را حل و پس از آن نتایج مسأله را با مقاله قبلی خود مقایسه کرده‌اند.

ریک و همکاران [Rieck et al. 2014] یک مدل مکان‌یابی- مسیریابی چند به چند که در آن مشتریان توانایی ارسال کالا به یکدیگر را دارند، با در نظر گرفتن شرایط گذاشت و برداشت ارائه کرده‌اند. آنها برای حل مسأله خود در ابعاد کوچک از روش دقیق و در ابعاد بزرگ‌تر مسأله از الگوریتم ژنتیک کمک گرفته‌اند.

قدسی و امیری [Ghodsi and Amiri, 2010] یک مسأله مکان-یابی- مسیریابی با شرایط گذاشت و برداشت ارائه کرده‌اند. مکان-یابی تسهیلات در مسأله آنها در فضای پیوسته تعیین می‌شود و ظرفیت تسهیلات در مسأله آنها نامحدود در نظر گرفته شده است. مدل ریاضی آنها بصورت برنامه ریزی عدد صحیح مختلط غیرخطی است و از یک روش جستجوی همسایگی برای حل آن بهره برده‌اند. کاماگرو و همکاران[De Camargo et al, 2013] مدل مکان‌یابی- مسیریابی چند به چند خود را با مفروضات مسئله ستینر ارائه کرده‌اند. تفاوت کار آنها در این است که هریک از مشتریان تنها به یک مرکز هاب تخصیص پیدا می‌کنند و یکبار توسط وسیله نقلیه ملاقات می‌شوند. در ضمن مکان هریک از مشتریان می‌تواند بعنوان یک مکان بالقوه برای احداث تسهیلات هاب به حساب آید. آنها از روش تجزیه بندرز برای حل مسئله خود استفاده کرده‌اند.

در عمل گاهی تقاضای برخی از مشتریان سیستم باید در بازه زمانی معین به آنها تحویل داده شود و سرویس دهی خارج از آن زمان مجاز نبوده و یا مشمول جریمه خواهد شد. به عبارت دیگر برای هریک از مشتریان یک بازه زودترین زمان سرویس‌دهی و دیرترین زمان سرویس‌دهی مشخص شده و در آن بازه حتی الامکان کالا به آنها تحویل داده می‌شود. اگر کالا خارج از این بازه توسط مشتری دریافت شود به آن بازه، پنجره زمانی نرم گفته شده و یک جریمه به سیستم برای تاخیر تحمیل می‌شود و در صورتی که کالا خارج از این بازه تحویل گرفته نشود به آن بازه، پنجره زمانی سخت گفته می‌شود.

زرندی و همکاران [Zarandi et al, 2011] یک مسأله مکان-یابی- مسیریابی با در نظرگرفتن پنجره‌های زمانی برای ملاقات مشتریان بصورت فازی ارائه کرده‌اند. ظرفیت تسهیلات و وسایل نقلیه در مسئله آنها محدود در نظر گرفته شده است. آنها برای حل مسأله خود از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید استفاده کرده‌اند.

گولوزاری و همکاران [Golozari et al, 2013] یک مسأله مکان-یابی- مسیریابی با شرایط حداکثر طول مسیر برای وسایل نقلیه را ارائه کرده‌اند. تقاضای مشتریان، زمان سفر و زمان سرویس‌دهی در مسأله آنها در شرایط عدم قطعیت و بصورت فازی در نظر گرفته شده است. برای حل این مسأله، آنها از الگوریتم شبیه‌سازی تبرید استفاده کرده‌اند.

مدلسازی ریاضی در اکثر مسائل معمولا با صرف‌نظر کردن از برخی شرایط موجود در واقعیت صورت می‌پذیرد بصورتیکه در بیشتر مدل‌های ریاضی پارامترهای مسئله قطعی و از پیش تعیین شده هستند. یکی از مهمترین این پارامترها تقاضای مشتریان است. با توجه به کوتاه شدن عمر محصولات، تنوع تقاضای مشتریان و عدم آگاهی از شرایط آینده بازار، محققان را به سمت بررسی رفتار سیستم‌ها بصورت تصادفی سوق داده است[Ignatius et al, 2011]. تصادفی بودن برخی از پارامترهای مسئله با رویکردهایی نظیر احتمالی، فازی و استواری قابل مدل‌سازی است و اغلب در شرایط عدم اطمینان می‌تواند منجر به ایجاد جواب‌های مناسب-تری برای مسئله گردد.

بهینه‌سازی در شرایط عدم قطعیت معمولا با یکی از سه رویکرد فازی، بهینه‌سازی تصادفی و بهینه سازی استوار مورد بررسی قرار می‌گیرد. در حالت بهینه‌سازی احتمالی پارامترهای تصادفی در قالب یک توزیع احتمال مشخص شده‌اند و هدف پیدا کردن جواب با حداقل هزینه‌های انتظاری است [Drexl and Schneider, 2015].

جاوید و آزاد [Javid and Azad, 2010] یک مسأله یکپارچه مکان‌یابی- مسیریابی- موجودی را با در نظرگرفتن تقاضای مشتریان بصورت احتمالی و در قالب توزیع نرمال ارائه کرده‌اند. ناوگان وسایل نقلیه در مسأله آنها محدود و همگن در نظر گرفته شده است. مقدار سفارش‌های دوره‌ای، سیاست‌های موجودی و ذخیره اطمینان نیز در مدل آنها تعیین می‌شود. آنها یک روش ترکیبی فراابتکاری بر مبنای الگوریتم‌های جستجوی ممنوع و شبیه‌سازی تبرید برای بدست آوردن جواب مدل خود ارائه کرده-اند.

از جمله مدل‌هایی که در برنامه‌ریزی استوار مورد توجه قرار می‌گیرد، در نظرگرفتن پارامترها به صورت احتمالی در قالب سناریوهای مختلف است. در این مدل‌ها پارامترها در سناریوهای مختلف مقادیر متفاوتی به خود می‌گیرند و هدف، به حداقل رساندن هزینه های انتظاری، یا بدترین حالت ممکن و یا مقدار تاسف است.

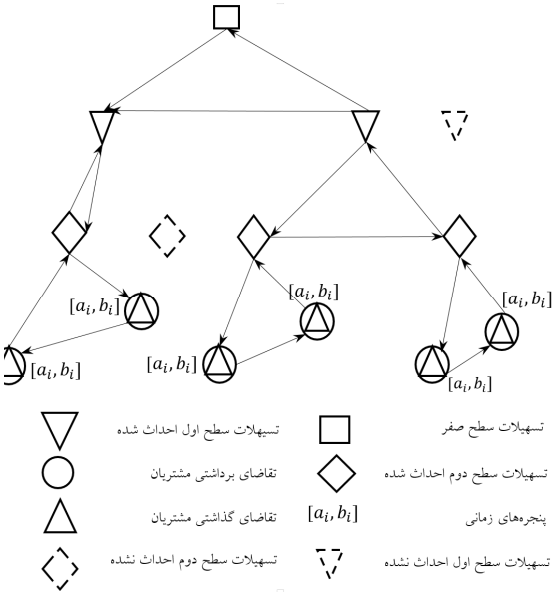
مقدار تاسف نسبی در برخی از مسائل نباید از مقدار p در هر سناریو تجاوز نماید که این رویکرد به بهینه‌سازی p-robust معروف است. کمترین میزان هزینه انتظاری با تنظیم مقدار p بر روی بی‌نهایت می‌تواند بدست آید. این جواب می‌تواند در بهینه‌سازی تصادفی مطلوب به شمار آید اما در برخی سناریوها ضعیف عمل کند.

مفهوم p-robust برای اولین بار توسط مندوزا و گوتییرز [Mendoza and Gutiérrz, 2010] در زمینه طراحی تاسیسات به کار گرفته شده است. پس از آن کوولیس و سو [Kouvelis and Su, 2014] از این مفهوم برای مسائلی همچون پیدا کردن منابع بین المللی استفاده کرده‌اند. از این مفهوم برای مسائل طراحی شبکه نیز تاکنون استفاده شده است.

آقازف و همکاران [Aghazaf et al.2014] مطالعه‌ای را در حوزه مسائل مسیریابی- موجودی انجام داده‌اند. مدل مسأله آنها بصورت استوار بوده و زمان سفر و تقاضای مشتریان با میانگین ثابت و انحراف استاندارد محدود در نظر گرفته شده است. آنها از یک مدل برنامه‌ریزی مختلط عدد صحیح غیرخطی برای مدلسازی استفاده نمودند و از رویکرد استوارسازی برای حفظ شدنی بودن تمام مقادیر متغیرهای تصادفی استفاده کرده‌اند.

سولیس و همکاران [Solís et al. 2004] نیز یک مدل استوار برای مسأله مکان‌یابی- مسیریابی با در نظرگرفتن موجودی در دوره‌های زمانی ارائه کرده‌اند. تقاضای مشتریان در مدل آنها غیر-قطعی و در قالب توزیع احتمال در نظر گرفته شده است. این تقاضاها در دوره‌های زمانی نیز می‌تواند دستخوش تغییر شود.

مسأله مکان‌یابی- مسیریابی با دو دسته تصمیمات استراتژیک مکان‌یابی و تصمیمات تاکتیکی و عملیاتی مسیریابی روبه‌رو است. تصمیمات مکان‌یابی وابسته به وقوع سناریوهای گوناگون نبوده و قبل از وقوع آنها باید مشخص شوند، ولی دسته تصمیمات مسیریابی با وقوع هریک از سناریوها می‌توانند دستخوش تغییر شوند. تقاضای مشتریان در این مقاله غیرقطعی در نظر گرفته شده و مقدار پارامترهای تقاضا در سناریوهای گوناگون با مقدار احتمال‌های معین در نظر گرفته شده‌اند. در شکل شماره ۱ نمایی از مسأله مورد بررسی مشاهده می‌شود.



شکل ۱. نمایی از مسأله مورد بررسی مکان‌یابی- مسیریابی

با توجه به مطالب گفته شده ویژگی‌های مسأله مورد بررسی مطابق جدول شماره ۱ است.

جدول۱. ویژگی های مسأله مورد بررسی در این مقاله

ردیف	شاخص LRP	ویژگی تحقیق
۱	تعداد لایه تسهیلات	چند لایه‌ای
۲	ساختار خدمت دهی	گذاشت و برداشت
۳	تعداد تسهیلات	چتد تسهیلی
۴	ناوگان وسایل نقلیه	همگن
۵	ظرفیت تسهیلات	محدود
۶	ظرفیت وسایل نقلیه	محدود
۷	طبیعت تقاضا	غیرقطعی
۸	افق برنامه‌ریزی	تک‌دوره‌ای
۹	پنجره زمانی	نرم
۱۰	نوع تابع هدف	چند هدفه
۱۱	داده‌های مدل	واقعی
۱۲	فضای جواب	گسسته
۱۳	تعداد محصول	چند محصولی
۱۴	روش حل	دقیق

در این مقاله مدلی ریاضی برای مسأله مکان‌یابی- مسیریابی دو-سطحی با در نظرگرفتن تقاضای مشتریان در قالب سناریوهای متفاوت ارائه می‌شود. در ضمن تقاضای هریک از مشتریان شامل نکاتی چون دریافت کالا و تحویل همزمان کالاهای دیگر به وسایل نقلیه برای بازگشت به انبار است. این تقاضا باید حتی الامکان در بازه‌های معین شده برآورده شود. هریک از مشتریان تقاضای دریافت و تحویل چندین نوع کالا با حجم‌های متفاوت را دارند. این مسأله در ادبیات مسأله مکان‌یابی- مسیریابی تا به حال مورد بررسی قرار نگرفته است و دارای کاربردهای عملی زیادی در دنیای واقعی است که یک مورد از آن‌ها در یک شرکت توزیع‌کننده قطعات یدکی مورد بررسی قرار گرفته است.

با توجه به توضیحات عنوان شده نوآوری‌های مقاله پیش رو شامل موارد زیر است:

۱) ارائه یک مدل ریاضی چند هدفه با در نظر گرفتن شرایط گذاشت و برداشت بصورت همزمان در مسئله مکان یابی- مسیریابی
۲) در نظر گرفتن پنجره های زمانی نرم برای خدمت‌رسانی به مشتریان
۳) ارائه یک مدل دوسطحی شامل انبارهای مرکزی، انبارهای میانی و نقاط تقاضا
۴) در نظر گرفتن تقاضای چندین نوع کالا برای مشتریان در زمان گذاشت و برداشت
۵) ارائه یک مطالعه موردی برای نمایش کارایی و کاربرد مدل ارائه شده در دنیای واقعی

در این مقاله ابتدا ساختار مسأله معرفی و سپس مرور ادبیات این حوزه ارائه شد. در بخش بعدی مدل ریاضی در حالت قطعی و سپس در بخش سوم با تعریف سناریوهای گوناگون مدل ریاضی در حالت تصادفی ارائه خواهد شد. بعد از آن در بخش چهارم به شرح مدل ریاضی در حالت استوار پرداخته می‌شود. در بخش پنجم شرایط مطالعه موردی مسأله شرح داده می‌شود. در بخش ششم به ارائه نتایج و تحلیل حساسیت‌های مورد نظر حاصل از حل مسأله پرداخته می‌شود و در نهایت در بخش هفتم ارائه نتیجه گیری و زمینه های تحقیقات آتی صورت می‌گیرد.

۲. مدل ریاضی در حالت قطعی

گراف بدون جهت $G = (V, E)$ در نظر گرفته می‌شود به طوری که مجموعه گره‌های این گراف شامل $V = V_O \cup V_R \cup V_C$ مجموعه کلیه گره‌های شبکه شامل V_O مجموعه انبارهای مرکزی، V_R مجموعه انبارهای میانی و V_C مجموعه مشتریان است به نحوی که $V_1 = V_O \cup V_R$ مجموعه گره‌های سطح اول و $V_2 = V_R \cup V_C$ مجموعه گره‌های سطح دوم شبکه است. مجموعه کلیه یال‌های موجود در گراف شبکه توزیع (E) شامل یال‌های بدون جهت و اتصال‌دهنده مراکز توزیع مرکزی به مراکز توزیع میانی، مراکز توزیع میانی به مشتریان و مشتریان به یکدیگر است. مجموعه K شامل وسایل نقلیه است که در سطح دوم مابین مراکز میانی و مشتریان مورد استفاده قرار می‌گیرند. یال‌های اتصال دهنده در نابرابری $(d_{ij} \leq d_{iz} + d_{zj})$ صدق می‌کنند.

۲-۱ مجموعه‌ها و پارامترهای مسأله

$\boldsymbol{I}$: مجموعه مشتریان.

$\boldsymbol{O}$: مجموعه انبارهای مرکزی.

$\boldsymbol{R}$: مجموعه انبارهای کاندید میانی.

$\boldsymbol{K}$: مجموعه وسایل نقلیه.

$\boldsymbol{M}$: مجموعه محصولات.

$\boldsymbol{CD_O}$: ظرفیت هریک از انبارهای مرکزی.

$\boldsymbol{RD_R}$: ظرفیت هریک از انبارهای میانی.

$\boldsymbol{d_{im}}$: میزان تقاضای گذاشت هریک از مشتریان از هریک از محصولات.

$\boldsymbol{p_{im}}$: میزان تقاضای برداشتی هریک از مشتریان از هریک از محصولات.

$\boldsymbol{CV}$: ظرفیت هریک از وسایل نقلیه موجود.

$\boldsymbol{F_R}$: هزینه ثابت راه‌اندازی هریک از انبارهای میانی.

$\boldsymbol{G_{OR}}$: هزینه سفر مابین هریک از انبارهای مرکزی و انبارهای میانی.

$\boldsymbol{H_{ij}}$: هزینه سفر مابین هریک از مشتریان به یکدیگر، مشتریان به انبار و بالعکس.

$\boldsymbol{v_m}$: حجم هر واحد از محصولات تحویلی.

$\boldsymbol{n_m}$: حجم هر واحد از محصولات برداشتی.

$\boldsymbol{FC}$: هزینه ثابت استفاده از هریک از وسایل نقلیه.

$\boldsymbol{a_i}$: زودترین زمان مجاز ملاقات هریک از مشتریان.

$\boldsymbol{b_i}$: دیرترین زمان مجاز ملاقات هریک از مشتریان.

$\boldsymbol{t_{ij}}$: زمان سفر مابین هریک از مشتریان و انبارها به مشتریان و بالعکس.

$\boldsymbol{f}$: میزان سوخت مصرفی در واحد زمان.

$\boldsymbol{S_i}$: زمان لازم برای خدمت رسانی به هریک از مشتریان.

متغیرهای تصمیم مسئله عبارتند از:

$\boldsymbol{x_{OR}}$: میزان کالای انتقالی از انبار مرکزی شماره O به انبار میانی شماره R. $(\forall R \in V_R, \forall O \in V_O)$

$\boldsymbol{y_{ij}}$: متغیر صفر و یک، اگر سفر مابین گره i و گره j صورت گیرد. $(\forall i,j \in V_2)$

$\boldsymbol{O_R}$: متغیر صفر و یک، اگر انبار Rام احداث شود. $(\forall R \in V_R)$

$\boldsymbol{l_{iR}}$: متغیر صفر و یک، اگر مشتری iام به انبار میانی Rام تعلق پیدا کند. $(\forall i \in V_C, \forall R \in V_R)$

$\boldsymbol{Z_i}$: مجموع تقاضای تحویل داده شده به مشتریان مسیر قبل از ملاقات مشتری i. $(\forall i \in V_2)$

$\boldsymbol{W_i}$: مجموع تقاضای برداشت شده از مشتریان مسیر بعد از ملاقات مشتری i $(\forall i \in V_2)$

$\boldsymbol{T_i}$: زمان ملاقات هریک از مشتریان و انبارها در شبکه. $(\forall i \in V_2)$

$\boldsymbol{q_i}$: متغیر صفر و یک اگر لحظه آغاز خدمت‌رسانی به مشتری در خارج از بازه $[a_i, b_i]$ باشد. $(\forall i \in V_1)$

۲-۲ مدل ریاضی

$$Min \sum_{i\in V_2}\sum_{j\in V_2} H_{ij} * y_{ij} + \sum_{O\in V_O}\sum_{R\in N_R} G_{OR} * x_{OR} + \sum_{R\in V_R} F_R * O_R + \sum_{i\in V_2}\sum_{R\in V_R} FC * y_{iR} + \sum_{i\in v_c} Pc * q_i \quad (۱)$$

$$Min \sum_{i\in V_2}\sum_{j\in V_2} f * t_{ij} * y_{ij} \quad (۲)$$

$$s.t. \sum_{R\in V_R} x_{OR} \le CD_O \qquad \forall O \in V_O \quad (۳)$$

$$\sum_{O\in V_O} x_{OR} \le RD_R * O_R \qquad \forall R \in V_R \quad (۴)$$

$$\sum_{O\in V_O} x_{OR} \ge \sum_{i\in V_2}\sum_{m\in M} v_m d_{im} * l_{iR} \qquad \forall R \in V_R \quad (۵)$$

$$\sum_{j\in V_2} y_{ij} = 1 \qquad \forall i \in V_C \quad (۶)$$

$$\sum_{j\in V_2} y_{ji} = \sum_{j\in N_2} y_{ij} \qquad \forall i \in V_2 \quad (۷)$$

$$\sum_{R\in V_R} l_{iR} = 1 \qquad \forall i \in V_C \quad (۸)$$

$$\sum_{i\in V_2}\sum_{m\in M} v_m d_{im} * l_{iR} \le RD_R * O_R \qquad \forall R \in V_R \quad (۹)$$

$$\sum_{i\in V_2}\sum_{m\in M} n_m p_{im} * l_{iR} \le RD_R * O_R \qquad \forall R \in V_R \quad (۱۰)$$

$$Z_j - Z_i + CV y_{ij} + \left(CV - \sum_{m\in M} v_m d_{im} - \sum_{m\in M} v_m d_{jm} \right) y_{ji} + \sum_{m\in M} v_m d_{im} \le CV \qquad \forall i,j \in V_c, i \ne j \qquad (11)$$

$$W_j - W_i + CV y_{ij} + \left(CV - \sum_{m\in M} n_m p_{im} - \sum_{m\in M} n_m p_{jm} \right) y_{ji} + \sum_{m\in M} n_m p_{im} \le CV \qquad \forall i,j \in V_c, i \ne j \qquad (12)$$

$$Z_i + W_i - \sum_{m\in M} v_m d_{im} \le CV \qquad \forall i \in V_C \qquad (13)$$

$$\sum_{m\in M} v_m d_{im} + \sum_{j\in V_C, j\ne i} \sum_{m\in M} v_m d_{jm}\, y_{ij} \le Z_i \qquad \forall i \in V_C \qquad (14)$$

$$\sum_{m\in M} n_m p_{im} + \sum_{j\in V_C, j\ne i} \sum_{m\in M} n_m p_{jm}\, y_{ij} \le W_i \qquad \forall i \in V_C \qquad (15)$$

$$Z_i + (\, CV - \sum_{m\in M} v_m d_{im})(\sum_{R\in V_R} y_{iR}) \le CV \qquad \forall i \in V_C \qquad (16)$$

$$W_i + (\, CV - \sum_{m\in M} n_m p_{im})(\sum_{R\in V_R} y_{Ri}) \le CV \qquad \forall i \in V_C \qquad (17)$$

$$y_{iR} \le l_{iR} \qquad \forall i \in V_C, \forall R \in V_R \qquad (18)$$

$$y_{Ri} \le l_{iR} \qquad \forall i \in V_C, \forall R \in V_R \qquad (19)$$

$$y_{ij} + l_{iR} + \sum_{m\in V_R, m\ne R} l_{jm} \le 2 \qquad \forall i,j \in V_c, i \ne j, \forall R \in V_R \qquad (20)$$

$$T_i + S_i + t_{ij} \le T_j + (1 - y_{ij}) * M \qquad \forall i,j \in V_2 \qquad (21)$$

$$(q_i - 1) * M \le T_i - b_i \qquad \forall i \in V_1 \qquad (22)$$

$$q_i * M \ge T_i - b_i \qquad \forall i \in V_1 \qquad (23)$$

$$y_{ij}, l_{iR}, O_R, q_i \in \{0,1\} \qquad \forall i,j \in V_2, \forall R \in V_R \qquad (24)$$

$$x_{OR}, Z_i, W_i, T_i \ge 0 \qquad \forall O \in V_O, \forall R \in V_R, \forall i \in V_2 \qquad (25)$$

در این مدل تابع هدف اول به دنبال کمینه کردن مجموع هزینه‌های ارسال کالا از انبارهای میانی به مشتریان، هزینه‌های ثابت احداث انبارهای میانی، هزینه‌های ارسال کالا از انبارهای مرکزی به انبارهای میانی و هزینه‌های ثابت استفاده از وسایل نقلیه و هزینه های ناشی از دیرکرد خدمت رسانی به مشتریان است. تابع هدف دوم، به دنبال کمینه کردن کاهش هزینه‌های سوخت مصرفی توسط زمانبندی تحویل به موقع کالاها به مشتریان می‌پردازد.

محدودیت (۳) نشان‌دهنده ظرفیت محدود انبارهای مرکزی است. محدودیت (۴) نشان دهنده ظرفیت محدود انبارهای میانی است. محدودیت (۵) نشان دهنده تعادل جریان‌های ورودی و خروجی به انبارهای میانی است. محدودیت (۶) نشان دهنده ملاقات هریک از مشتریان شبکه است. محدودیت شماره (۷) برابر بودن کمان‌های ورودی و خروجی به هر مشتری را تضمین می‌کند. محدودیت شماره (۸) نشان دهنده آن است که هریک از مشتریان

تنها به یکی از انبارهای موجود تخصیص پیدا کنند. محدودیت شماره (۹) و (۱۰) نشان‌دهنده آن است که مجموع تقاضاهای برداشتی از

مشتریان یک مسیر برابر با مجموع تقاضاهای برداشتی مشتریان تخصیص داده شده به آن انبار باشد. محدودیت‌های شماره (۱۱) و (۱۲) جریان‌های گذاشت و برداشت در هر کمان را برای هریک از وسایل نقلیه با توجه به ظرفیت آن وسیله نقلیه برقرار می‌سازد. محدودیت شماره (۱۳) ظرفیت وسیله نقلیه را در هر کمان از شبکه محدود می‌کند. محدودیت‌های شماره (۱۴) تا (۱۷) حدود بالا و پایین را برای متغیرهای جریان (گذاشت و برداشت کالا) تعیین می‌کند. محدودیت‌های شماره (۱۸) تا (۲۰) از ایجاد زیر تور در شبکه جلوگیری می‌کند. محدودیت‌های شماره (۲۱) تا (۲۳) زمان ملاقات هریک از مشتریان شبکه را تعیین می‌کند. محدودیت‌های شماره (۲۴) و (۲۵) نشان‌دهنده نوع متغیرهای تصمیم در مسأله هستند

۳. مدل ریاضی در حالت غیرقطعی

در این بخش مدل ریاضی در حالت غیرقطعی ارائه شده است. مجموعه کل سناریوهای ممکن با S نمایش و احتمال وقوع هریک از این سناریوها با مقدار π_s نشان داده شده است.

۳-۱ پارامترها و مجموعه ها

مجموعه ها و پارامترهای تغییر یافته در مدل غیر قطعی به شرح زیر اند:

$\boldsymbol{S}$: مجموعه سناریوهای موجود

$\boldsymbol{d_{im}^s}$: میزان تقاضای گذاشت هریک از مشتریان از هریک از محصولات در هریک از سناریوها.

$\boldsymbol{p_{im}^s}$: میزان تقاضای برداشتی هریک از مشتریان از هریک از محصولات در هریک از سناریوها.

$\boldsymbol{\pi_s}$: احتمال وقوع هریک از سناریوهای موجود

متغیرهای تصمیم مسئله عبارتند از:

$\boldsymbol{x_{OR}^S}$: میزان کالای انتقالی از انبار مرکزی شماره O به انبار میانی شماره R در هر سناریو S. $(\forall R \in V_R, \forall O \in V_O, \forall s)$

$\boldsymbol{y_{ij}^S}$: متغیر صفر و یک، اگر سفر مابین گره i و گره j در سناریو شماره S صورت گیرد. $(\forall i,j \in V_2, \forall s)$

$\boldsymbol{O_R}$: متغیر صفر و یک، اگر انبار Rام احداث شود. $(\forall R \in V_R)$

$\boldsymbol{l_{iR}^S}$:متغیر صفر و یک، اگر مشتری iام به انبار میانی Rام در سناریو شماره S تعلق پیدا کند. $(\forall i \in V_C, \forall R \in V_R, \forall s)$

$\boldsymbol{Z_i^S}$: مجموع تقاضای تحویل داده شده به مشتریان مسیر قبل از ملاقات مشتری i در سناریو شماره S. $(\forall i \in V_2, \forall s)$

$\boldsymbol{W_i^S}$: مجموع تقاضای برداشت شده از مشتریان مسیر بعد از ملاقات مشتری i در سناریو S. $(\forall i \in V_2, \forall s)$

$\boldsymbol{T_i^S}$: زمان ملاقات هریک از مشتریان و انبارها در شبکه در سناریو شماره S. $(\forall i \in V_2, \forall s)$

$\boldsymbol{q_i^s}$: متغیر صفر و یک اگر لحظه آغاز خدمت رسانی به مشتری در خارج از بازه $[a_i, b_i]$ در هر سناریو S باشد. $(\forall i \in V_1, \forall s)$

۳-۲ مدل ریاضی

$$Min \sum_{i\in V_2}\sum_{j\in V_2}\sum_{s\in S}\pi_s * H_{ij} * y_{ij}^s + \sum_{O\in V_O}\sum_{R\in V_R}\sum_{s\in S}\pi_s * G_{OR} * x_{OR}^S + \sum_{R\in V_R} F_R * O_R + \sum_{i\in V_2}\sum_{R\in V_R}\sum_{s\in S}\pi_s * FC * l_{iR}^S + \sum_{i\in v_c}\sum_{s\in S}\pi_s * Pc * q_i^s \quad (۲۶)$$

$$Min \sum_{i\in V_2}\sum_{j\in V_2}\sum_{s\in S}\pi_s * f * t_{ij} * y_{ij}^s \quad (۲۷)$$

$$\sum_{R\in V_R} x_{OR}^S \le CD_O \qquad \forall O \in V_O, \forall s \quad (۲۸)$$

$$\sum_{O\in V_O} x_{OR}^S \le RD_R * O_R \qquad \forall R \in V_R, \forall s \quad (۲۹)$$

$$\sum_{O\in V_O} x_{OR}^S \ge \sum_{i\in V_2}\sum_{m\in M} v_m d_{im}^s * l_{iR}^S \qquad \forall R \in V_R, \forall s \quad (۳۰)$$

$$\sum_{j\in V_2} y_{ij}^S = 1 \qquad \forall i \in V_C, \forall s \qquad (۳۱)$$

$$\sum_{j\in V_2} y_{ji}^S = \sum_{j\in V_2} y_{ij}^S \qquad \forall i \in V_2, \forall s \qquad (۳۲)$$

$$\sum_{R\in V_R} l_{iR}^S = 1 \qquad \forall i \in V_C, \forall s \qquad (۳۳)$$

$$\sum_{i\in V_2}\sum_{m\in M} v_m d_{im}^s * l_{iR}^S \le RD_R * O_R \qquad \forall R \in V_R, \forall s \qquad (۳۴)$$

$$\sum_{i\in V_2}\sum_{m\in M} n_m p_{im}^s * l_{iR}^S \le RD_R * O_R \qquad \forall R \in V_R, \forall s \qquad (۳۵)$$

$$Z_j^S - Z_i^S + CV * y_{ij}^S + \left(CV - \sum_{m\in M} v_m d_{im}^s\right) y_{ji}^S + \sum_{m\in M} v_m d_{im}^s \le CV \qquad \forall i, j \in V_c, i \ne j, \forall s \qquad (۳۶)$$

$$W_j^S - W_i^S + CV * y_{ij}^S + \left(CV - \sum_{m\in M} n_m p_{im}^s\right) y_{ji}^S + \sum_{m\in M} n_m p_{im}^s \le CV \qquad \forall i, j \in V_c, i \ne j, \forall s \qquad (۳۷)$$

$$Z_i^S + W_i^S - \sum_{m\in M} v_m d_{im}^s \le CV \qquad \forall i \in V_C, \forall s \qquad (۳۸)$$

$$\sum_{m\in M} v_m d_{im}^s + \sum_{j\in V_C, j\ne i}\sum_{m\in M} v_m d_{im}^s * y_{ij}^S \le Z_i^S \qquad \forall i \in V_C, \forall s \qquad (۳۹)$$

$$\sum_{m\in M} n_m p_{im}^s + \sum_{j\in V_C, j\ne i}\sum_{m\in M} n_m p_{im}^s * y_{ij}^S \le W_i^S \qquad \forall i \in V_C, \forall s \qquad (۴۰)$$

$$Z_i^S + (CV - \sum_{m\in M} v_m d_{im}^s)(\sum_{R\in V_R} y_{iR}^S) \le CV \qquad \forall i \in V_C, \forall s \qquad (۴۱)$$

$$W_i^S + (CV - \sum_{m\in M} n_m p_{im}^s)(\sum_{R\in V_R} y_{Ri}^S) \le CV \qquad \forall i \in V_C, \forall s \qquad (۴۲)$$

$$y_{iR}^S \le l_{iR}^S \qquad \forall i \in V_C, \forall R \in V_R, \forall s \qquad (۴۳)$$

$$y_{Ri}^S \le l_{iR}^S \qquad \forall i \in V_C, \forall R \in V_R, \forall s \qquad (۴۴)$$

$$y_{ij}^S + l_{iR}^S + \sum_{m\in V_R, m\ne R} l_{jm}^S \le 2 \qquad \forall i, j \in V_c, i \ne j, \forall R \in V_R, \forall s \qquad (۴۵)$$

$$T_i^S + S_i + t_{ij} \le T_j + (1 - y_{ij}^S) * M \qquad \forall i, j \in V_2, \forall s \qquad (۴۶)$$

$$(q_i^S - 1) * M \le T_i - b_i \qquad \forall i \in V_1 \qquad (۴۷)$$

$$q_i^S * M \ge T_i - b_i \qquad \forall i \in V_1 \qquad (۴۸)$$

$$y_{ij}^S, l_{iR}^S, O_R, q_i^s \in \{0,1\} \qquad \forall i, j \in V_2, \forall R \in V_R, \forall s \qquad (۴۹)$$

$$x_{OR}^S, Z_i^S, W_i^S, T_i^s \ge 0 \qquad \forall O \in V_O, \forall R \in V_R, \forall i \in V_2, \forall s \qquad (۵۰)$$

معادلات شماره ۲۶ تا ۵۰ مشابه معادلات شماره ۱ تا ۲۵ برای هریک از سناریوهای موجود تکرار می‌شوند. با اجرای مدل ریاضی، برای هریک از سناریوهای موجود مسأله، مدل ریاضی بالا یک جواب بهینه ارائه خواهد کرد که به ترتیب برای تابع هدف‌های اول و دوم آنها را با C_1^* و C_2^* شناخته می‌شوند. در بخش بعدی به ارائه مدل ریاضی در حالت استوار پرداخته می‌شود.

۴. مدل ریاضی در حالت استوار

برخی از مسائل به دنبال مشخص کردن یک حد تاسف برای هریک از سناریوهای ممکن هستند. برای سناریوهای با احتمال پایین مقدار بزرگتری از تاسف در نظر گرفته می‌شود. برای هر سناریو مقدار بهینه آن یعنی C_1^* و C_2^*را در نظر گرفته و مقدار هریک از توابع هدف تحت مقدار P، مقدار آن در حالت استوار نامیده می‌شود. خواهیم داشت:

$$\frac{C_1(X) - C_1^*}{C_1^*} \le P \qquad (۵۱)$$

$$C_1(X) \le (1+p) * C_1^* \qquad (۵۲)$$

سمت چپ معادله شماره (۵۱) مقدار تاسف نسبی را به ازای هریک از سناریوهای موجود نشان می‌دهد. مدل ریاضی مسئله در حالت استوار بصورت زیر است.

۴-۱ مدل ریاضی

$$Min \sum_{i\in V_2}\sum_{j\in V_2}\sum_{s\in S}\pi_s * H_{ij} * y_{ij}^s + \sum_{O\in V_O}\sum_{R\in V_R}\sum_{s\in S}\pi_s * G_{OR} * x_{OR}^s + \sum_{R\in V_R} F_R * O_R + \sum_{i\in V_2}\sum_{R\in V_R}\sum_{s\in S}\pi_s * FC * l_{iR}^s + \sum_{i\in v_c}\sum_{s\in S}\pi_s * Pc * q_i^s \qquad (۵۳)$$

$$Min \sum_{i\in V_2}\sum_{j\in V_2}\sum_{s\in S}\pi_s * f * t_{ij} * y_{ij}^s \qquad (۵۴)$$

$$s.t. \sum_{i\in V_2}\sum_{j\in V_2} H_{ij} y_{ij}^S + \sum_{O\in V_O}\sum_{R\in V_R} G_{OR} x_{OR}^S + \sum_{R\in V_R} F_R O_R + \sum_{i\in V_2}\sum_{R\in V_R} FC * l_{iR}^S + \sum_{i\in v_c} Pc * q_i^s \le (1+P) * C_1^* \quad \forall s \qquad (۵۵)$$

$$\sum_{i\in V_2}\sum_{j\in V_2} \mathrm{f} * \mathrm{t_{ij}} * \mathrm{y_{ij}^S} \le (1+\mathrm{P}) * \mathrm{C_2^*} \quad \forall s \qquad (۵۶)$$

محدودیت های (۲۸) تا (۵۰)+

بعد از حل مدل در سناریوهای مختلف و به دست آمدن مقادیر $\mathrm{C_1^*}$ و $\mathrm{C_2^*}$ مقادیر آنها در مدل استوار در معادلات شماره ۵۵ و ۵۶ قرار می‌گیرند. معادلات شماره ۲۸ تا ۵۰ مدل قبلی برای این مدل تکرار می‌شود.

برای حل مدل چندهدفه ابتدا هریک از توابع هدف بصورت جداگانه با در نظر گرفتن محدودیت‌های مدل حل و جواب ایده آل هریک از آنها محاسبه گردید. سپس وزن مورد نظر برای هریک از توابع هدف (w_i) در نظر گرفته شد و سپس مدل دو هدفه مطابق زیر حل شده است.(با در نظر گرفتن $r = 1$)

$$Min\ Z = \left[\sum_i w_i \left(\frac{z_i - z_i^*}{z_i^*}\right)^r\right]^{\frac{1}{r}} \qquad (۵۷)$$

$$g_i(x) \ge 0 \qquad (۵۸)$$

۵. نمونه کاوی

یک شرکت تامین و توزیع قطعات خودرو برای ارسال قطعات یدکی خود به نمایندگی‌های مختلف در سرتاسر کشور از تنها انبار موجود خود در نزدیکی شهر کرج استفاده می‌کند. تعداد

نمایندگی‌های این شرکت در سرتاسر کشور نزدیک به ۷۵۰ نمایندگی بوده که آنها علاوه بر تقاضای دریافت قطعات یدکی تقاضای تحویل داغی قطعات باقی مانده از دوره‌های قبل را نیز دارند. توزیع قطعات این شرکت در سنوات گذشته به علت پایین بودن حجم خرید نمایندگی‌ها با استفاده از روش‌های سنتی رایج نظیر روش بارنامه و روش ارسال بسته‌ای صورت می‌گرفت، ولی به دلیل افزایش حجم فروش این شرکت در سالهای اخیر زمینه بازنگری در روش حمل موجود قطعات و استفاده از روش‌های نوین به جای روش‌های سنتی احساس می‌شود. این شرکت از روش حمل بسته‌ای قطعات در حال حاضر استفاده می‌نماید. همانطور که اشاره شد این شرکت برای ارسال قطعات، تنها از انبار مرکزی خود استفاده می‌کند که برای نمایندگی‌های دور از این انبار زمان رسیدن قطعات به آنها زمان‌بر و هزینه‌بر است. می‌توان با احداث یک یا چندین انبار میانی ابتدا قطعات یدکی لازم را به انبارهای میانی ارسال نمود و سپس آن‌ها مسئولیت ارسال قطعات را به نمایندگی‌های تحت نظر خود بر عهده گیرند. با این کار قطعات در با هزینه و زمان کمتر به دست نمایندگی‌ها خواهد رسید و همچنین احتمال برخورد به کمبود موجودی نیز کاهش می‌یابد. در ضمن برای کاهش هزینه‌های احداث انبارهای میانی می‌توان از ظرفیت موجود در برخی از نمایندگی‌ها برای انبار قطعات استفاده کرد. در بحث حمل و نقل قطعات نیز می‌توان با برنامه‌ریزی و تخصیص مجموعه‌ای از مشتریان به یک مسیر و تخصیص یک وسیله نقلیه به هر مسیر در هزینه‌های حمل و نقل کالا صرفه‌جویی قابل ملاحظه‌ای ایجاد کرد. در ضمن همان‌طور که اشاره شد نمایندگی‌ها علاوه بر تقاضای دریافت کالا، تقاضای تحویل کالا را نیز دارند که این امکان نیز برای وسایل نقلیه وجود دارد که بصورت همزمان به این دو نوع تقاضای مشتریان پاسخ دهند. نمایندگی‌های این شرکت در ساعات کاری معین قادر به دریافت کالا از وسایل نقلیه هستند که به همین علت باید با در نظر گرفتن پنجره‌های زمانی تحویل کالا برای هریک از مشتریان در آن بازه به آنها خدمت‌رسانی نمود. هریک از نمایندگی‌ها تقاضای دریافت چندین نوع قطعه یدکی را دارند که هریک از این قطعات دارای حجم متفاوتی بوده که نباید مجموع حجم قطعات حمل شده توسط یک وسیله نقلیه از ظرفیت آن تجاوز نماید. اهداف متفاوتی نیز از جمله کاهش هزینه‌های حمل و نقل، کاهش زمان خدمت رسانی به مشتریان و همین‌طور کاهش هزینه‌های سوخت وسایل نقلیه مد نظر شرکت است. بنابراین در این مسأله بحث مکان‌یابی به دنبال یافتن چندین مکان محدود برای احداث انبار میانی بوده و از طرف دیگر در بحث مسیریابی، ملاقات مشتریان باید در طی یک تور بررسی شده و همزمان با تحویل کالا به آنها باید دریافت کالای داغی نیز از آنها انجام شود. لازم به ذکر است که در این مسأله هریک از نمایندگی‌ها دارای تقاضای کالاهای متفاوتی می‌باشند و تقاضای آنها نیز در طی یک دوره زمانی ثابت نبوده و بستگی به شرایط مختلفی دارد. خدمت‌رسانی به مشتریان باید در بازه‌های زمانی معین صورت گیرد و هر نمایندگی تقاضای دریافت و تحویل چندین نوع کالا با حجم‌های متفاوت را به انبار دارد. بنابراین با توجه به شرایط ذکر شده در این مسأله مدل ارائه شده در بخش قبل به طور دقیق منطبق با شرایط این نمونه کاربردی در عمل است.

در اینجا برای حل مدل ارائه شده از داده‌های واقعی این شرکت استفاده شده است. برای تعداد نمایندگی‌های این شرکت ۱۰ استان از کشور و از هر استان مرکز آن بعنوان مشتریان شبکه انتخاب شده‌اند. استان‌های انتخابی بعنوان مشتریان این سیستم در شکل شماره ۲ آورده شده است.

فواصل زمانی و مکانی نقاط مختلف کاندید بر اساس داده‌های واقعی محاسبه و لحاظ گشته‌اند. سرعت وسایل نقلیه بصورت ثابت و برای همه آنها ۶۰ کیلومتر در ساعت تعیین شده است. وسایل نقلیه بصورت همگن و ظرفیت آنها ۴۰ واحد تعیین شده است. ظرفیت انبارهای میانی کاندید و انبار مرکزی نیز بترتیب ۱۰۰ و ۳۰۰ واحد تعیین شده است. هزینه ثابت احداث هریک از انبارهای میانی ۱۵۰۰۰ واحد و همچنین هزینه میزان سوخت مصرفی در واحد زمان ۱۰۰ واحد اعمال شده که در جدول شماره ۲ نشان داده شده است. هریک از نمایندگی‌ها از ساعت ۷ صبح تا ۷ بعداظهر قادر به دریافت کالا بوده که مقدار ۱ تا ۱۲ برای بازه آن در نظر گرفته شده است. همچنین زمان سرویس‌دهی برای هر نمایندگی به میزان ۰,۲۵ ساعت است که در جدول شماره ۳ آورده شده است. فواصل بین انبار مرکزی تا هریک از نمایندگی‌های ۱۰ گانه در جدول شماره ۴ نشان داده شده است. برای تقاضای مشتریان ۴ سناریو بصورت تصادفی تولید شده است.

شکل ۲. نمایی از مشتریان انتخابی برای مسأله نمونه

در هر سناریو میزان تقاضای گذاشت کالا و برداشت آن بصورت جداگانه در جدول شماره ۵ آورده شده است. هریک از این تقاضاها مجموع تقاضای کالاهای متفاوتی بوده که در اینجا دو محصول برای دریافت کالا و دو محصول برای برداشت در نظر گرفته شده است. میزان ضریب حجمی هریک از این کالا نیز در جدول شماره ۶ نمایش داده شده است. سه نمایندگی مازندران، قم و زنجان بعنوان مکان‌های کاندید برای احداث انبارهای میانی در نظر گرفته شده‌اند که تعداد بهینه آنها برای احداث توسط مدل تعیین می‌شود. هدف پیدا کردن مکان یک یا چند انبار میانی از بین شهرهای مازندران، قم و زنجان برای احداث است که قطعات ابتدا از انبار مرکزی به آنجا منتقل شده و سپس به نمایندگی‌هایی که تحت پوشش آن انبار قرار می‌گیرند ارسال شود. قابل ذکر است که خدمت‌رسانی به هریک از نمایندگی‌هایی که انبار میانی در آنها احداث شود توسط همان انبار باید صورت پذیرد. به طور مثال در صورت احداث انبار میانی در شهر قم، خدمت‌رسانی به نمایندگی قم باید توسط توسط انبار شهر قم انجام شود.

۶. تحلیل نتایج

برای حل مدل با شرایط ذکر شده از مسأله کاربردی تشریح شده در بخش قبل استفاده شده است. نمونه مسأله ذکر شده با استفاده از نرم افزار GAMS بر روی یک کامپیوتر با مشخصات CPU Core i5 2.3 GHz و RAM 4G اجرا گردیده و نتایج حاصله گزارش شده است.

جدول ۲. برخی از پارامترهای استفاده شده در مسئله

پارامتر	هزینه میزان سوخت مصرفی در واحد زمان	هزینه ثابت انبارهای میانی	ظرفیت انبار مرکزی	ظرفیت دپو	ظرفیت وسیله نقلیه	سرعت وسیله نقلیه
	۱۰۰	۱۵۰۰۰	۳۰۰	۱۰۰	۴۰	۶۰

جدول ۳. داده‌های پنجره‌های زمانی و زمان سرویس

نمایندگی‌های استان‌ها	زودترین زمان شروع سرویس	دیرترین زمان شروع سرویس	زمان سرویس
–	۱	۱۲	۰,۲۵

جدول ۴. جدول فواصل بین انبار پارس و نمایندگی شهرها (بر حسب کیلومتر)

سار	رش	همدا	سمن	ارا	زنجا	قزو	اصفها	قم	تهرا

	ی	ت	ن	ان	ک	ن	ین	ن		ن
انبار مرکزی	۳۰	۱۶۲	۴۶۹	۱۸۰	۳۴۹	۲۶۹	۲۶۶	۳۶۷	۳۵۵	۲۹۷

جدول ۵. تقاضاهای مشتریان در سناریوهای مختلف

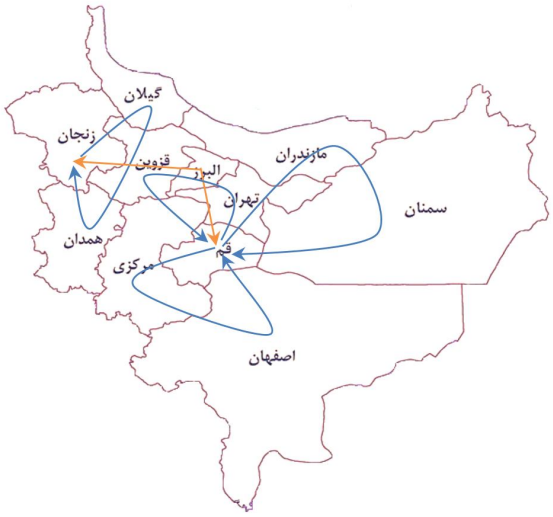
	سناریو شماره۱		سناریو شماره۲		سناریو شماره۳		سناریو شماره۴	
	گذاشت	برداشت	گذاشت	برداشت	گذاشت	برداشت	گذاشت	برداشت
تهران	۸	۶	۶	۵	۹	۴	۱۰	۵
قم	۶	۶	۷	۸	۵	۳	۸	۴
اصفهان	۶	۵	۷	۵	۸	۵	۱۱	۵
قزوین	۷	۴	۷	۶	۵	۵	۹	۶
زنجان	۵	۶	۸	۸	۷	۳	۸	۷
اراک	۶	۵	۷	۵	۹	۲	۷	۵
سمنان	۹	۵	۷	۵	۱۱	۴	۶	۴
همدان	۷	۶	۹	۶	۷	۵	۷	۶
رشت	۶	۴	۷	۵	۶	۵	۱۰	۵
ساری	۴	۴	۵	۸	۸	۳	۸	۴

جدول۶. تقاضای مشتریان از هریک از محصولات با ضرایب حجمی (برای سناریو شماره ۱)

	گذاشت محصول ۱		گذاشت محصول ۲		برداشت محصول ۳		برداشت محصول ۴	
	تعداد	ضریب حجمی	تعداد	ضریب حجمی	تعداد	ضریب حجمی	تعداد	ضریب حجمی
تهران	۳	۲	۵	۱	۳	۱	۳	۳
قم	۴	۲	۲	۱	۲	۱	۴	۳
اصفهان	۲	۲	۴	۱	۳	۱	۲	۳
قزوین	۳	۲	۴	۱	۳	۱	۱	۳
زنجان	۲	۲	۶	۱	۴	۱	۲	۳
اراک	۳	۲	۳	۱	۲	۱	۳	۳
سمنان	۴	۲	۳	۱	۳	۱	۲	۳
همدان	۲	۲	۵	۱	۳	۱	۳	۳
رشت	۴	۲	۲	۱	۱	۱	۳	۳
ساری	۲	۲	۲	۱	۲	۱	۲	۳

در جدول شماره ۷ نتایج حاصل از حل مسأله نمونه با مقادیر مختلف P گزارش شده است. ستون اول این جدول نشان‌دهنده مقادیر مختلف P است. در ستون دوم این جدول مقدار تابع هدف اول بدست آمده متناظر با مقدار P را نمایش می‌دهد. برای

مقادیر کوچک‌تر از ۰/۵ برای مسأله جواب بهینه وجود نخواهد داشت و مسئله ناموجه خواهد بود. به ازای افزایش در مقدار P ملاحظه می‌شود که مقدار تابع هدف کاهش یافته تا در نهایت با تنظیم مقدار P بر روی مقدار بی‌نهایت به کمترین میزان خود خواهد رسید. در ستون سوم این جدول بیشترین تاسف بدست آمده حاصل از سناریوهای مختلف را نمایش می‌دهد. قابل مشاهده است که با افزایش میزان پارامتر P بیشترین تاسف روی داده در سناریوها مرتبا افزایش یافته و این عدد در سطر متناظر با مقدار P که بر روی بی نهایت است به حداکثر مقدار خود می‌رسد. در ستون چهارم این جدول بیشترین درصد کاهش رخ داده حاصل از حل مسئله با مقادیر مختلف P گزارش شده است. بیشترین کاهش هزینه در سناریوها مربوط به تابع هدف متناظر با مقدار $p<$۰/۵ است که نشان‌دهنده آن است که با تنظیم مقدار P بر روی مقادیر کوچک شاهد کاهش بیشتری در هزینه سناریوهای مختلف خواهیم بود. این درصد کاهش هزینه‌ها در مقادیر بالای P به صفر میل می‌کند. ستون پنجم درصد افزایش رخ داده در هزینه‌های انتظاری سیستم را نمایش می‌دهد. واضح است که هرچه مقدار P کاهش یابد هزینه‌های انتظاری سیستم افزایش خواهد یافت. با مقایسه درصد افزایش هزینه‌های انتظاری و کاهش هزینه رخ داده در سناریوها می‌توان به این نتیجه رسید که با صرف نظر کردن از افزایش جزئی در هزینه‌های انتظاری سیستم شاهد کاهش قابل توجهی در هزینه سناریوهای مسأله باشیم. ستون‌های ششم تا نهم این جدول مشابه تابع هدف اول مقادیر لازم برای تابع هدف دوم محاسبه شده‌اند. در شکل شماره ۳ جواب حاصل از حل مسأله با تنظیم مقدار P بر روی عدد بی‌نهایت بزرگ برای سناریو شماره ۱ رسم شده است. هماطور که مشاهده می‌شود از بین انبارهای کاندید، شهرهای زنجان و قم به عنوان شهرهایی که باید انبار میانی در آنها احداث شوند، انتخاب شده و نمایندگی‌های زنجان، رشت و همدان تحت پوشش انبار زنجان و مابقی نمایندگی‌ها تحت پوشش نمایندگی قم باید خدمت رسانی شوند. مسیرهای بهینه برای ارسال کالا در سناریوهای شماره ۱ تا ۴ در شکل‌های شماره ۳ تا شکل شماره ۶ نمایش داده شده است. لازم به ذکر است که به دلیل ازدحام شکل تنها مسیرهای بهینه در حالت $P = \infty$ ترسیم شده است.



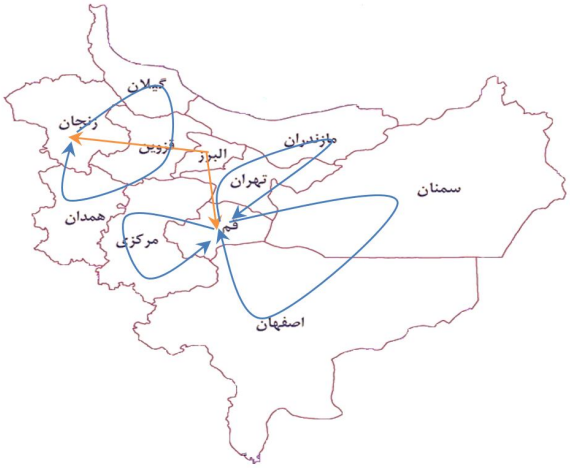
مسیر ۱ : زنجان – گیلان – همدان - زنجان

مسیر ۲ : قم – تهران – قزوین - قم

مسیر ۳ : قم – مازندران – سمنان - قم

مسیر ۴ : قم – مرکزی – اصفهان - قم

شکل ۳. نحوه گشایش انبارها و مسیریابی در حالت وقوع سناریو شماره ۱ ($p = \infty$)



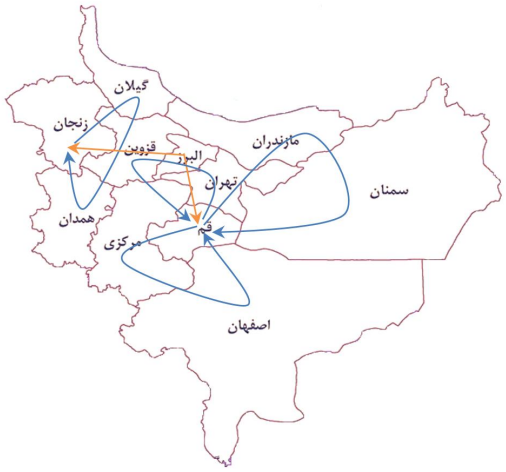
مسیر ۱ : زنجان – گیلان – قزوین - همدان - زنجان

مسیر ۲ : قم – تهران – مازندران - قم

مسیر ۳ : قم – سمنان – اصفهان - قم

مسیر ۴ : قم – مرکزی – قم

شکل ۴. نحوه گشایش انبارها و مسیریابی در حالت وقوع سناریو شماره ۲ ($\mathbf{p = \infty}$)



مسیر ۱ : زنجان – گیلان – همدان - زنجان

مسیر ۲ : قم – تهران – قزوین - قم

مسیر ۳ : قم – مازندران – سمنان - قم

مسیر ۴ : قم – مرکزی – اصفهان - قم

شکل ۵. نحوه گشایش انبارها و مسیریابی در حالت وقوع سناریو شماره ۳ ($p = \infty$)

مسیر ۱ : زنجان – گیلان – همدان - زنجان

مسیر ۲ : قم – تهران – مازندران - قم

مسیر ۳ : قم – قزوین – مرکزی - قم

مسیر ۴ : قم – سمنان – اصفهان - قم

شکل ۶. نحوه گشایش انبارها و مسیریابی در حالت وقوع سناریو شماره ۴ ($\mathbf{p = \infty}$)

جدول ۷. اطلاعات هریک از توابع هدف بر حسب مقادیر مختلف **P**

مقدار پارامتر P	مقدار تابع هدف دوم	بیشترین تاسف	درصد کاهش هزینه	درصد افزایش هزینه‌ها	مقدار تابع هدف اول	بیشترین تاسف	درصدکاهش هزینه‌ها	درصد افزایش هزینه‌ها
p<۰/۵	ناموجه	ناموجه	ناموجه	ناموجه	ناموجه	ناموجه	ناموجه	ناموجه
۰/۵	۶۰۷۸۸	۰/۱۵	۲۱/۲	۵/۶	۵۸۰۷	۰/۱۶	۲۸/۱	۷/۴
۰/۵۵	۶۰۷۸۸	۰/۱۵	۲۱/۲	۵/۶	۵۸۰۷	۰/۱۶	۲۸/۱	۷/۴
۰/۶	۶۰۶۳۰	۰/۱۹	۲۰/۲	۵/۴	۵۷۴۱	۰/۱۹	۲۷/۲	۶/۳
۰/۶۵	۵۹۹۲۱	۰/۲۳	۱۸/۲	۴/۱	۵۷۰۹	۰/۲۱	۲۳/۹	۵/۶
۰/۷	۵۸۵۲۵	۰/۲۹	۱۵/۶	۱/۷	۵۶۷۰	۰/۲۳	۱۹/۰	۵/۰
۰/۷۵	۵۸۵۲۵	۰/۲۹	۱۵/۶	۱/۷	۵۶۷۰	۰/۲۳	۱۹/۰	۵/۰
۰/۸	۵۸۵۲۵	۰/۲۹	۱۵/۶	۱/۵	۵۶۱۰	۰/۲۳	۱۹/۰	۴/۸
۰/۸۵	۵۸۴۲۰	۰/۳	۱۵/۱	۱/۵	۵۵۹۰	۰/۲۸	۱۵/۱	۴/۷
۰/۹	۵۷۸۶۱	۰/۳۲	۸/۴	۰/۵	۵۵۴۳	۰/۳	۱۱/۷	۴/۴
۰/۹۵	۵۷۸۶۱	۰/۳۲	۸/۴	۰/۵	۵۵۴۳	۰/۳۳	۱۱/۷	۴/۴
∞	۵۷۵۴۰	۰/۳۴	۰	۰	۵۴۸۰	۰/۳۳	۰	۰

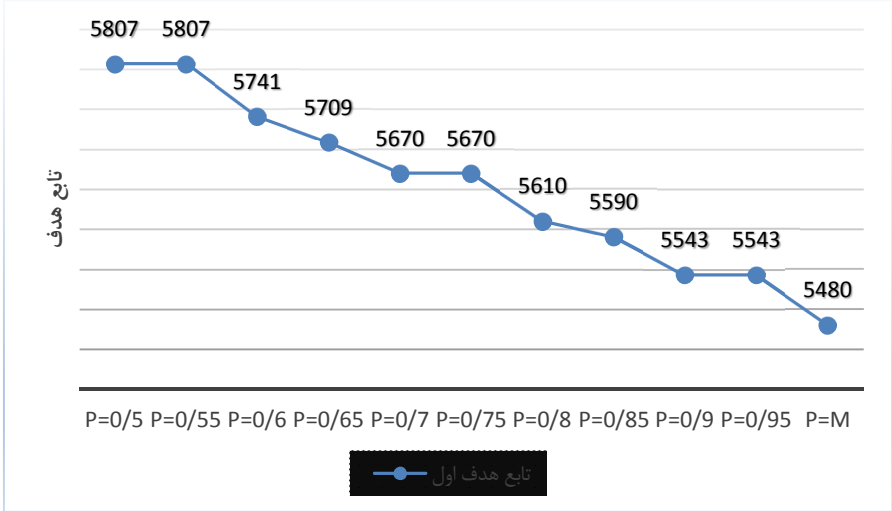
در شکل شماره ۷ و ۸ مقایسه هزینه‌های توابع هدف اول و دوم تحت مقادیر مختلف P ارائه شده است. همانطور که مورد انتظار است با افزایش مقدار P هزینه‌های سیستم کاهش یافته و به مقادیر بهینه خود در حالت قطعی نزدیک می‌شوند. مشاهده می‌شود که با تنظیم مقدار P بر روی مقادیر بسیار بزرگ هزینه‌های انتظاری سیستم به کمترین میزان خود می‌رسد. در شکل شماره ۹ میزان تاسف حاصل از حل مسئله بر حسب مقادیر P در مقایسه با حالتی که مقدار P بر روی بی‌نهایت تنظیم شود ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش مقدار P میزان تاسف افزایش یافته تا در نهایت در حالتی که P بر روی بی نهایت تنظیم شود این مقدار به حداکثر خود می‌رسد. در شکل شماره ۱۰ حداکثر میزان کاهش در هزینه سناریوهای مسأله بر حسب مقادیر پارامتر P ارائه شده است. همانطور که انتظار می‌رود با افزایش مقدار P و در نظر نگرفتن مقادیر تاسف برای سناریوهای مسأله این کاهش هزینه‌ها به تدریج کم شده و در نهایت به صفر می رسند. در شکل شماره ۱۱ افزایش هزینه‌های توابع هدف بر حسب پارامتر P در مقایسه با حالت قطعی وقوع هریک از سناریوها ارائه شده است. مشاهده می‌شود که می‌توان با صرف نظر کردن از افزایش جزئی در مقدار هزینه‌های انتظاری سیستم، کاهش قابل ملاحظه‌ای در هزینه سناریوهای مسأله ایجاد نمود.

۷. نتیجه گیری و پیشنهادات تحقیقات آتی

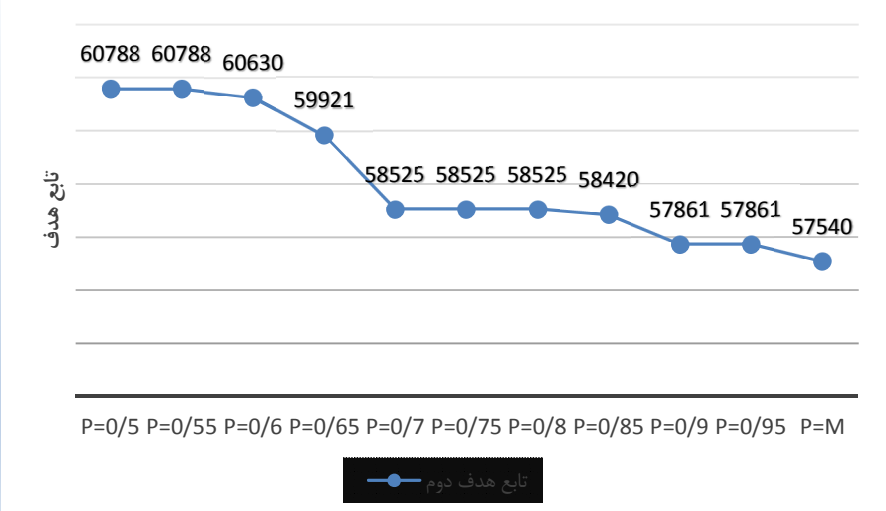
در این مقاله به ارائه یک مدل ریاضی استوار عددصحیح مختلط خطی چند هدفه برای مسئله مکان‌یابی- مسیریابی پرداخته شد. از ویژگی‌های این مسأله می‌توان به شرایط گذاشت و برداشت همزمان کالا، پنجره‌های زمانی نرم برای خدمت رسانی به مشتریان، چند محصولی بودن تقاضای مشتریان و هم چنین تصادفی بودن ماهیت تقاضا اشاره کرد. در این مقاله مدلی برای کاهش هزینه‌های انتظاری ناشی از اهداف مسأله خود ارائه شد. در مدل استوار، مقادیر تاسف (p) برای هر سناریو نباید از مقدار مجاز تجاوز کند. با این کار می‌توان هزینه های حاصل از وقوع سناریوهای مسأله را به یکدیگر نزدیک کرد. همچنین حل صحیح

مدل در محیط نرم افزاری و آنالیز حساسیت‌های مختلف صورت گرفته، نشان از تأیید منطق روابط موجود بین ورودی‌ها و خروجی‌های مدل دارد. علاوه بر این، برای اعتبارسنجی و نشان-دادن کاربردپذیری مدل در دنیای واقعی، از داده‌های موجود در تامین و توزیع قطعات خودرو برای ارسال قطعات یدکی استفاده گردید و با انجام تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای مهم، مدل پیشنهادی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت.

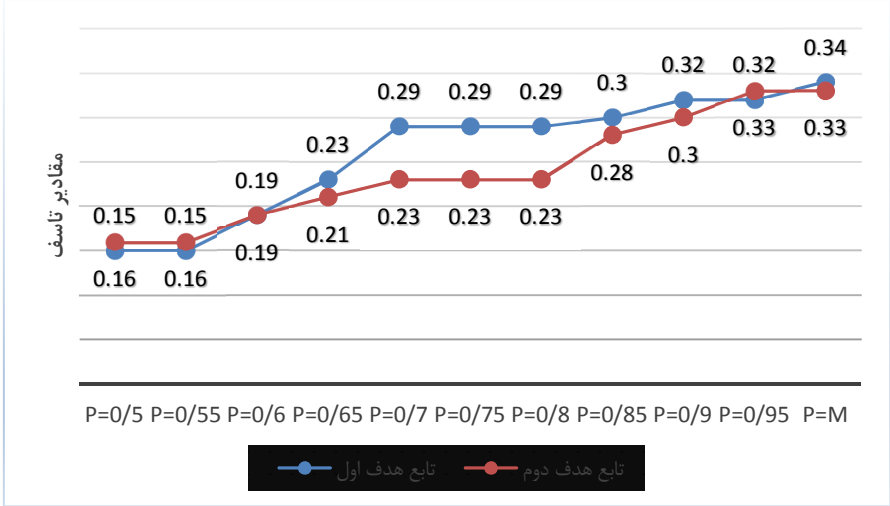
نتایج حاصل از حل مسئله نشان داد که با افزایش اندکی در تابع هدف بهینه می‌توان کاهش نسبتا زیادی را در مقادیر بهینه برخی از سناریوها بدست آورد. زمینه‌های تحقیقات آتی برای این تحقیق می‌تواند استفاده از رویکردهای ابتکاری و فراابتکاری برای حل این مسأله در ابعاد بزرگ که نرم افزارهای دقیق قادر به حل آن نیستند باشد. در ضمن می‌توان از رویکردهای دیگری که در بهینه‌سازی استوار مطرح شده‌اند و یا روشهای دیگر برای در نظر گرفتن عدم قطعیت در پارامترهای مبهم مسئله برای مدل‌سازی این سیستم نیز استفاده نمود. در ضمن می توان با در نظر گرفتن برخی دیگر از پارامترهای مسأله در حالت غیرقطعی نظیر زمان سفر و زمان سرویس مسأله مورد نظر را تا حد بیشتری به شرایط دنیای واقعی نزدیک نمود



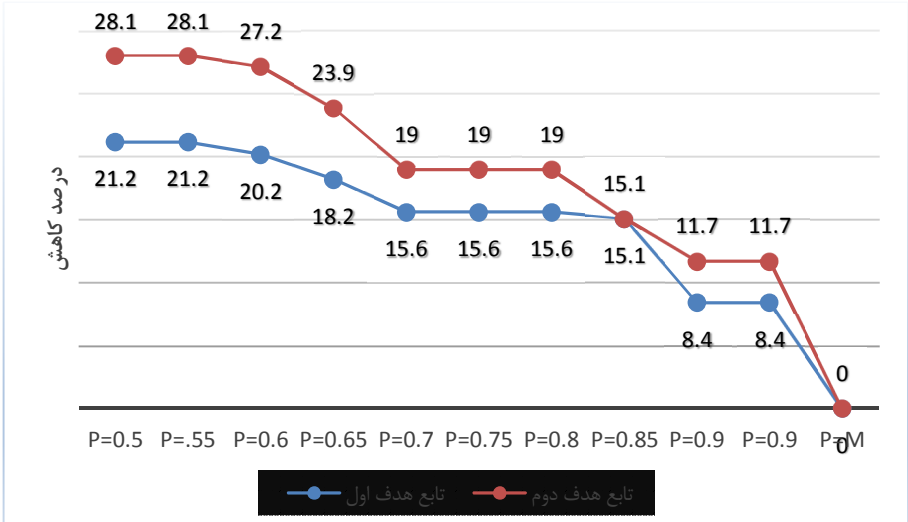
شکل ۷. مقایسه هزینه های تابع هدف اول بر حسب مقادیر مختلف **P**



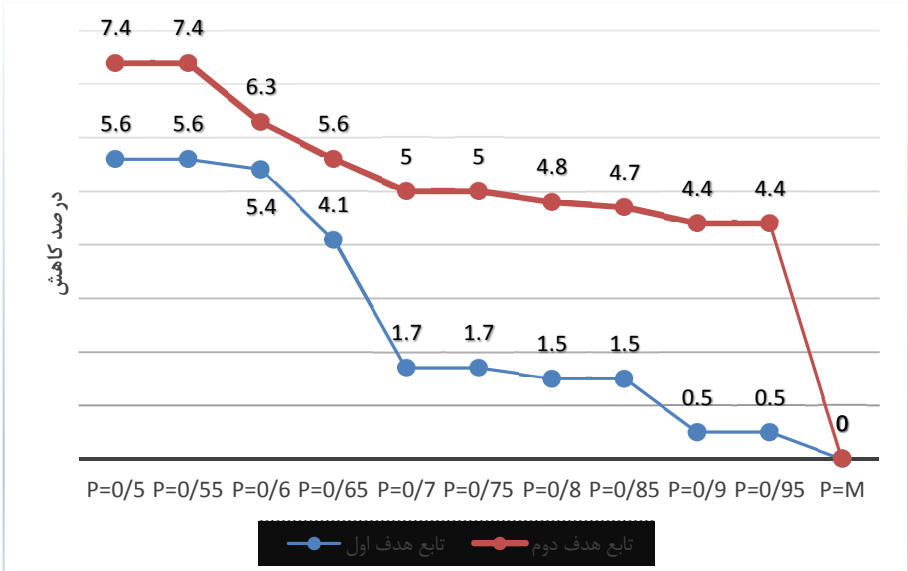
شکل ۸ . مقایسه هزینه های تابع هدف دوم بر حسب مقادیر مختلف **P**



شکل ۹. مقایسه مقادیر تاسف توابع هدف بر حسب مقادیر مختلف **P**



شکل ۱۰. مقایسه درصد کاهش هزینه‌های سناریوها بر حسب مقادیر مختلف **P**



شکل ۱۱. مقایسه درصد افزایش هزینه های انتظاری توابع هدف بر حسب مقادیر مختلف **P**

۸. مراجع

- Alumur, S. and Kara, B. Y. (2007) "A new model for the hazardous waste location-routing problem." Computers and Operations Research, Vol. 34, No.5, pp.1406-1423.

-Behzadian, M., Hosseini-Motlagh, S.M., Ignatius, J., Goh, M. and Sepehri, M.M.,(2013). "PROMETHEE group decision support system and the house of quality." Group Decision and Negotiation, pp.1-17.

- Berman, O., Jaillet, P. and Simchi-Levi, D. (1995) "Location-routing problems with uncertainty. Facility location: a survey of applications and methods," 106, 427-452.

- De Camargo, R. S., de Miranda, G., and Løkketangen, A. (2013) "A new formulation and an exact approach for the many-to-many hub location-routing problem", Applied Mathematical Modelling, Vol. 37, No. 12), pp.7465-7480.

- Drexl, M. and Schneider, M. (2015) "A survey of variants and extensions of the location-routing problem." European Journal of Operational Research, Vol. 241, No. 2,, pp.283-308.

- Ghodsi, R. and Amiri, A. S. (2010, May) "A variable neighborhood search algorithm for continuous location routing problem with pickup and delivery", In 2010 Fourth Asia International Conference onMathematical/Analytical Modelling and Computer Simulation (pp. 199-203). IEEE.

- Golozari, F., Jafari, A. and Amiri, M. (2013) "Application of a hybrid simulated annealing-mutation operator to solve fuzzy capacitated location-routing problem", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 67, N0.5-8, pp.1791-1807.

-Ignatius, J., Hosseini-Motlagh, S. M., Goh, M., Sepehri, M. M., Mustafa, A., & Rahman, A.. (2014) "Multiobjective combinatorial auctions in transportation procurement". Mathematical Problems in Engineering, 2014.

-Ignatius, J., Lai, Y.J., Motlagh, S.M.H., Sepehri, M.M. and Mustafa, A., (2011). "Combinatorial auction under fuzzy environment." Expert Systems with Applications, 38(9), pp.11482-11488.

- Jacobsen, S. K. and Madsen, O. B. (1980) "A comparative study of heuristics for a two-level routing-location problem" European Journal of Operational Research, Vool. 5, No.6, pp.378-387.

- Javid, A. A. and Azad, N. (2010) "Incorporating location, routing and inventory decisions in supply chain network design", Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol. 46, No. 5, , pp.582-597.

- Jiang, S. and Z. Ma (2009) "A hybrid genetic algorithm for the stochastic dynamic location-routing-inventory problem in closed-loop logistics system for reusing end-of-use products". in International Conference on Transportation Engineering. .ASCE.

- Jones, T. and Riley, D. W. (1985) "Using inventory for competitive advantage through", Supply Chain Management, pp.16-26.

- Karaoglan, I., Altiparmak, F., Kara, I. and Dengiz, B. (2011) "A branch and cut algorithm for the location-routing problem with simultaneous pickup and delivery." European Journal of Operational Research, Vol. 211, No. 2, pp.318-332.

- Karaoglan, I., Altiparmak, F., Kara, I. and Dengiz, B. (2012) "The location-routing problem with simultaneous pickup and delivery: Formulations and a heuristic approach." Omega, Vol. 40, No. 4, , pp.465-477.

- Kouvelis, P. and Su, P. (2007) "The structure of global supply chains, foundations and trends in technology," Information and Operations Management, Vol. 37, No. 6,

- Laporte, G., and Nobert, Y. (1981) "An exact algorithm for minimizing routing and operating costs in depot location." European Journal of Operational Research, Vol.6, No. 2, pp. 224-226.

- Madsen, O. B. (1983) "Methods for solving combined two level location-routing problems of realistic dimensions", European Journal of Operational Research, Vol. 12, No. 3, pp. 295-301.

- Mendoza, M. and Gutiérrez-Pena, E. (2010) "Some thoughts on the Bayesian robustness of location-scale models", Chilean Journal of Statistics, No. 1, 35-58.

- Min, H., Jayaraman, V., and Srivastava, R. (1998) "Combined location-routing problems: A synthesis and future research directions", European Journal of Operational Research,Vol. 108, No. 1,pp. 1-15.

- Nagy, G., and Salhi, S. (2007) "Location-routing: Issues, models and methods", European Journal of Operational Research, Vol. 177, No. 2, pp. 649-672.

- Nambiar, J. M., Gelders, L. F., and Van Wassenhove, L. N. (1981) "A large scale location-allocation problem in the natural rubber industry", European Journal of Operational Research, Vol. 6, No.2, pp.183-189.

- Nguyen, V. P., Prins, C. and Prodhon, C. (2012) "A multi-start iterated local search with tabu list and path relinking for the two-echelon location-routing problem", Engineering Applications of Artificial Intelligence, Vol. 25, No. 1, pp. 56-71.

- Nikbakhsh, E. and Zegordi, S. H. (2010) "A heuristic algorithm and a lower bound for the two-echelon location-routing problem with soft time window constraints", Scientia Iranica Transaction E: Industrial Engineering, Vol. 17, No. 1, pp. 36-47.

- Prodhon, C. and Prins, C. (2014) "A survey of recent research on location-routing problems", European Journal of Operational Research, Vool. 238, No. 1, pp. 1-17.

- Rieck, J., Ehrenberg, C. and Zimmermann, J. (2014) "Many-to-many location-routing with inter-hub transport and multi-commodity pickup-and-delivery", European Journal of Operational Research, Vol. 236, No. 3, pp., 863-878.

-Saremi, S., Hosseini-Motlagh, S.M. and Sadjadi, S.J., (2016). “A reschedule design for disrupted liner ships considering ports demand and CO2 emissions: the case study of Islamic Republic of Iran Shipping Lines (IRISL).” Journal of Industrial and Systems Engineering, 9(1), pp.126-148.

- Solís, L., Pope, J. A., Ragu-Nathan, T. S., Rao, S. S., Metts, G. A. and Smith, A. W. (2004) “IE Working Paper”, DO8-124-I 06-10-2004. Wasner, M. and Zäpfel, G. (2004) "An integrated multi-depot hub-location vehicle routing model for network planning of parcel service." International Journal of Production Economics, Vool. 90, No. 3, 3, pp.403-419.

- Zarandi, M. H. F., Hemmati, A. and Davari, S. (2011) "The multi-depot capacitated location-routing problem with fuzzy travel times", Expert Systems with Applications, Vol. 38, No.8, pp.10075-10084.