

ارائه مدل مکان‌یابی محور با تخصیص سلسله‌مراتبی و تقاضای محدود برای شبکه پستی

علی بزرگی امیری^{۱*}، سارا سادات ترکستانی^۲ و امین سراجیان^۳

^۱استادیار دانشکده مهندسی صنایع - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران

^۲دانشجوی دکتری مهندسی صنایع - دانشکده صنایع - دانشگاه علم و صنعت ایران

^۳دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی صنایع - دانشکده صنایع - دانشگاه علم و صنعت ایران

(تاریخ دریافت ۹۱/۱۰/۳۰، تاریخ دریافت روایت اصلاح‌شده ۹۲/۱۰/۳۰، تاریخ تصویب ۹۳/۱/۳۱)

چکیده

در این مقاله مسئله مکان‌یابی برای طراحی و برنامه‌ریزی جابه‌جایی محصولات پستی و ارتباط شبکه پستی با هدف طراحی شبکه پستی، تعیین محل و اندازه و ارتباط بین ایستگاه‌های پستی موجود در شهر، استان و پایتخت یک کشور ارائه شده است. همچنین نوعی از مسئله مکان‌یابی و تخصیص چندگانه برای جمع‌آوری، توزیع و پخش توسط محور در شبکه‌ای با ساختار فواصل دلخواه بررسی شده است. یک شبکه حمل و نقل چندکالایی سلسله‌مراتبی با سه نوع محور متفاوت با ظرفیت محدود روی کمان‌ها و خودمحورها در یک افق زمانی بلندمدت در نظر گرفته شده است. با توجه به آنکه مدل‌سازی ریاضی مسئله برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط غیرخطی است، این مسئله به دنبال آن بوده تا تصمیم گرفته شود که چه نوع محوری تأسیس شوند و چه نقاطی به محورهای تأسیس شده، تخصیص پیدا کنند. نتایج محاسباتی، اهمیت و کارایی مدل پیشنهادی را برای مسائل تصمیم‌گیری واقعی نشان می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: مسئله مکان‌یابی محور، تخصیص چندگانه چندمحصولی، مکان‌یابی سلسله‌مراتبی ظرفیت محدود

مقدمه

مقداری جریان بین نقاط مبدأ و مقصد ارسال شود ولی برقراری ارتباط مستقیم همه نقاط موجود، یا ناممکن باشد و یا پرهزینه باشد، مورد استفاده قرار می‌گیرد. مسئله مکان‌یابی محور، دو موضوع اساسی را در نظر می‌گیرد: انتخاب محور، چند گره به عنوان محور انتخاب شوند.

تخصیص گره‌های غیرمحور به گره‌های محور [۲] مسئله مکان‌یابی سلسله‌مراتبی تسهیلات^۳ یکی از انواع مکان‌یابی تسهیلات هستند [۳]. برخی از کاربردهای مسئله مکان‌یابی سلسله‌مراتبی تسهیلات در مدیریت پسماند و ضایعات، توزیع محصول، ارتباطات مخابراتی، حوزه سلامت، خدمات پزشکی اورژانسی و آموزشی است [۴، ۵، ۶، ۷ و ۸]. مسئله مطرح شده در این مقاله، مسئله سلسله‌مراتبی مکان‌یابی محور، برای یک شبکه پستی در نظر گرفته شده است؛ به صورتی که اشخاص، محصولات پستی خود را از شهری (استان و یا پایتخت) که در آن ساکن هستند، به مقصد مورد نظر خود (شهر، استان و یا پایتخت) می‌فرستند.

با توجه به هزینه‌های حمل و نقل زیادی که در ارسال

مسئله مکان‌یابی محور^۱ عبارت است از مکان‌یابی نقاط ترابری غیرمستقیم در یک شبکه توزیع و تخصیص نقاط مبدأ و مقصد به محورها [۱].

کالاها و محصولات پستی از نقاط مبدأ به وسیله محورها (کوچک، متوسط و بزرگ) جمع‌آوری شده، جابه‌جایی میان محورهای مورد نظر انجام می‌گیرد و در نهایت عمل توزیع محصولات پستی توسط کوچک‌ترین محور با جمع‌آوری جریان‌هایی که مقاصد یکسان دارند، به سوی مقاصد انجام می‌شود. با توجه به نوع درخواست مشتری، تعداد محورهایی که کالا و محصولات پستی از آن‌ها عبور می‌کند تا از مبدأ به مقصد مورد نظر برسد، بسته به نوع مسئله متفاوت است. تخصیص محورها به دو صورت تخصیص تکی و تخصیص چندگانه^۲ بوده و در تخصیص چندگانه جریان‌های ورودی و خروجی به یک نقطه می‌تواند از چند محور مختلف تأمین شود. اساسی‌ترین مسئله در سیستم‌های حمل و نقل، لجستیک و شبکه‌های ارتباطی ارسال جریان از نقاط مبدأ به مقصد است. مسئله طراحی شبکه محور، هنگامی که نیاز است

افرادی چون، نارولا در سال ۱۹۸۶ و چرچ در سال ۱۹۸۷ بحث سلسله‌مراتبی را به وضوح بیان کردند [۱۰ و ۱۱].

داسکین در سال ۱۹۹۵ تأثیرات لایه‌های سلسله‌مراتبی را در مکان‌یابی بررسی کرده است [۱۲].

در سال ۲۰۰۳ جایارامن، گوپتا و پیرکول و در سال ۱۹۸۲ توسط آقایان مور و رویل از طریق محدودیت‌های ظرفیت و حل آن با استفاده از روش‌های ابتکاری پرداخته شده است [۱۳ و ۷].

هورنر و همکاران در سال ۲۰۰۳ با در نظر گرفتن ریسک‌های محیطی به دنبال کمینه‌کردن هزینه حمل و نقل با در نظر گرفتن هزینه کمبود است [۱۴].

سومادسن و همکاران در سال ۲۰۰۵ مدلی تک‌هدفه قطعی چندمحصولی دوسطحی را در فضای گسسته ارائه کرده، که با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت خطوط، وسایل حمل و نقل، ظرفیت تسهیلات و تأمین‌کننده بررسی کرده است [۱۵].

گاونک در سال ۲۰۰۷ از عنوان سلسله‌مراتب به نام هماهنگ‌کننده تصمیمات مکان‌یابی برای انواع مختلف تسهیلات در سیستم چندسطحی استفاده می‌کند [۳].

در سال ۲۰۰۹ آقای سامول به بسط مدل ارائه شده در سال ۱۹۸۲ توسط مور و رویل در حوزه مکان‌یابی پوشش پرداخته است [۷ و ۴].

میراندا و همکاران در سال ۲۰۰۸ مدلی چندلایه تک‌هدفه چندمحصولی در فضای گسسته را در نظر گرفته که در آن پارامترها حالت احتمالی و سناریویی دارند که نسبت به مسائل بیان شده در گذشته متفاوت است [۱۶].

مسئله مکان‌یابی p محور میانه سلسله‌مراتبی سه‌لایه، اولین بار توسط یامان در سال ۲۰۰۹ مدل شد، یک شبکه قطعی چندمحصولی تک‌دوره‌ای بوده و به دنبال حداکثر کردن پوشش و حداقل کردن زمان و هزینه است [۱۷].

عمر بن‌آید در سال ۲۰۱۳ یک مدل تک‌دوره‌ای چندهدفه ارائه داده است. مدل در حالت فضای گسسته بیان شده است، مکان از قبل مشخص بوده و پارامترهای مسئله نیز قطعی است. در این مدل به مانند دیگر مدل‌ها هزینه‌های ثابت و هزینه‌های حمل و نقل حداقل شده‌اند که اگر بتوان دیگر هزینه‌ها را به این مدل اضافه کرد، این مدل به خوبی قابل توسعه خواهد بود [۱۸].

آلومر و همکارانش در سال ۲۰۱۲ یک مدل دولایه به صورت تک‌دوره‌ای و تک‌هدفه ارائه کرده‌اند. آن‌ها

و تحویل به موقع محصولات شبکه‌های پستی ایجاد می‌شود، در صورتی‌که نتوان مسیری بهینه در شبکه ایجاد کرد، کشور موظف به پرداخت هزینه گزافی خواهد شد؛ این موضوع ضرورت پیاده‌سازی مدل را برای رفع مشکل ذکر شده به وضوح نشان می‌دهد.

هدف از مدل‌سازی، ایجاد شبکه پستی با کمترین هزینه حمل و نقل است، به گونه‌ای که محصولات را از مبدأ به مقصد مورد نظر خود رسانده و علاوه بر آن، مکان و اندازه بهینه ایستگاه‌های پستی موجود در شهر، استان و یا پایتخت را بتوان به دست آورد، تا شبکه‌ای با کمترین هزینه و کمترین مسیرهای رفت و برگشت و حداکثر پوشش^۴ برای تأمین تقاضای افراد، ایجاد شود.

هدف استراتژیک در این مسئله، تعیین ظرفیت محورها و عملکرد و ارتباطات برای رسیدن به مقصد است. این تصمیم، ساختار شبکه را تعریف کرده و بنابراین هزینه‌ها و بهره‌وری شبکه مشخص می‌شود. در این مسئله، جریان کالاها از مبدأهای متفاوت به مقصدهای متفاوت انجام شده و محورها موجود در شبکه، ساختار سلسله‌مراتبی دارند. در حالی که اندازه آن‌ها دارای سه نوع و مسئله دارای ۷ سطح (لایه ابتدایی و انتهایی گره‌های مبدأ و مقصد، لایه دوم و ششم گره محورها کوچک، لایه سوم و پنجم گره محورها متوسط، لایه چهارم گره محورها بزرگ هستند) است، در نهایت مدلی برای بهبود و کاهش هزینه‌های حمل و نقل و به حداقل رساندن هزینه گزاف موجود در شبکه ارتباطی ارائه شده است.

نحوه ارتباط در شبکه پستی موجود، ارتباط بین گره‌های مبدأ با گره‌های محورها کوچک، متوسط و یا بزرگ، ارتباط بین گره‌های محور کوچک با گره‌های محور متوسط، ارتباط گره‌های محور متوسط با گره‌های محور بزرگ، ارتباط گره‌های محور بزرگ با گره‌های محور متوسط با گره‌های محور کوچک و در نهایت ارتباط گره‌های محور کوچک با گره‌های مقصد است.

اولین مسائل مکان‌یابی سلسله‌مراتبی در دهه ۸۰ مطرح شده است، از جمله این مقالات می‌توان به مقاله مرچاندانی در سال ۱۹۸۹، ورتز و داینسر در سال ۱۹۹۵ اشاره کرد که تصمیمات مکان‌یابی سلسله‌مراتبی بر محتوای مسئله p - محور میانه^۵ چندبعدی در گستره مسائل توزیع - تولید را بررسی کرده‌اند [۵ و ۹].

در مقالات مرتبط با مسائل مکان‌یابی سلسله‌مراتبی،

شده است تا بتوانیم درستی و اعتبار مدل را بررسی کرده و در نهایت نتایج به دست آمده و زمینه‌های تحقیقاتی بعدی برای توسعه مدل، ارائه شده است.

تشریح مسئله تحقیق

در این مقاله نوعی از مسئله مکان‌یابی و تخصیص چندگانه محور برای ایجاد ارتباط چند به چند بین زوج نقاط مبدأ و مقصد بررسی می‌شود. گره‌های این شبکه مجموعه نقاط مبدأ و مقصد را نشان می‌دهد. هر یک از گره‌های دیگر نیز جریان دریافت می‌کند. امکان ارتباط مستقیم بین زوج نقاط مبدأ و مقصد غیرمحور وجود ندارد. بنابراین نیاز است، در صورتی که هر دو گره مبدأ و مقصد غیرمحور باشند، جریان از طریق حداقل یک محور میانی انجام گیرد.

ارتباط در این شبکه در ۷ سطح انجام می‌گیرد: ارتباط بین گره‌های مبدأ با گره‌های محور (کوچک، متوسط و بزرگ)، ارتباط بین گره‌های محور کوچک با گره‌های محور متوسط و ارتباط گره‌های محور متوسط با گره‌های محور بزرگ و ارتباط گره‌های محور بزرگ با متوسط و ارتباط گره‌های محور متوسط با کوچک و ارتباط گره‌های محور (کوچک، متوسط و بزرگ) با گره‌های مقصد، در این میان گره‌های محوری که هم سبب هستند نیز می‌توانند با یکدیگر در ارتباط باشند. مهم‌ترین نکته در ارتباط میان مبدأ و مقصد آن است که میان هر جفت ارتباط مبدأ و مقصد باید حداقل یک محور وجود داشته باشد.

این مدل در سیستم شبکه پستی هر کشوری قابل پیاده‌سازی است. برای بررسی آن به پیاده‌سازی مدل در سیستم پستی کشور ایران، در سطح محدودتر و بررسی نتایج آن پرداخته شده است. همان‌طور که در شکل زیر دیده می‌شود، یک پایتخت و چهار استان و یازده شهرستان در نظر گرفته شده است و سه نوع از محصولات پستی در شبکه موجود است. این محصولات پستی می‌توانند نامه، مطبوعات و بسته‌های پستی (جعبه) باشند. نوع ارتباطات و مسیرهای ارتباطی در شکل (۱) نشان داده شده است.

همچنین مدلی در فضای گسسته با در نظر گرفتن مسئله پوشش بیان کرده‌اند [۱۹].

آقای داوری و همکارانش در سال ۲۰۱۳ به بررسی مسئله مکان‌یابی محور در حالت سلسله‌مراتبی با در نظر گرفتن آنکه تقاضا به صورت غیرقطعی و فازی باشد، پرداخته‌اند [۲۰].

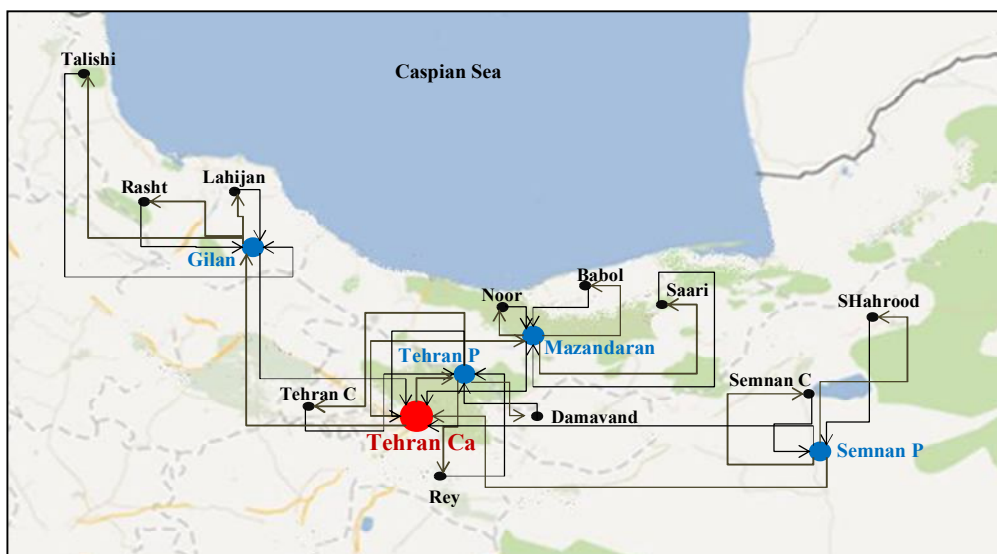
از جمله مقالات علمی- پژوهشی، مقالات عیدی و میرآخوری در سال ۲۰۱۲ است که روشی ابتکاری با استفاده از الگوریتم ژنتیک برای حل مسائل محور پوششی در حالت فازی ارائه دادند [۲۱]. حال در این مقاله، مسئله سلسله‌مراتبی با ظرفیت محدود با ۷ لایه در نظر گرفته شده است.

با توجه به مطالعه تحقیقات گذشته در این زمینه، آنچه که مقاله حاضر را از دیگر مقالات متمایز می‌کند:

- [۱] در نظر گرفتن شبکه پستی به صورت سلسله‌مراتبی با هفت سطح دسترسی برای تأمین تقاضا در فضایی پیوسته.
- [۲] محدود کردن ارتباط در سلسله‌مراتب برای کاهش هزینه رفت و آمد و وسایل نقلیه حمل بار و محصولات.
- [۳] محدودیت ظرفیت محور و کمان در مسئله، بدون وجود لایه‌های متعدد در ادبیات مطالعه شده است. آنچه در این مقاله مد نظر است، بررسی همزمان وجود محدودیت در تقاضا و محدودیت ظرفیت کمان‌ها و محورها در هر یک از سطوح و لایه‌های شبکه سلسله‌مراتبی چند تخصیص است.

در این مقاله به بررسی محدودیت تقاضا و ظرفیت در هر یک از سطوح و لایه‌های یک شبکه سلسله‌مراتبی مکان‌یابی محور پرداخته شده است. در نهایت نوآوری مسئله موجود در سه موضوع خلاصه می‌شود، که عبارتند از: [۱] در نظر گرفتن تقاضا و ظرفیت کمان و محور به صورت محدود، [۲] سلسله‌مراتب هفت سطحی (چندسطحی)، [۳] ارتباطات محدود در فضایی پیوسته.

این مقاله در چند بخش تدوین شده است، در بخش اول مسئله مورد نظر تشریح می‌شود. در بخش دوم مرور ادبیات مسئله مکان‌یابی احتمالی محور و همچنین مسئله مکان‌یابی سلسله‌مراتبی محور بررسی شده است. در بخش سوم تشریح مسئله و مفروضات، اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای مسئله و در نهایت مدل ریاضی و تشریح توابع هدف و محدودیت‌ها بیان شده است. در بخش چهارم مطالعه موردی، تفسیر نتایج و تحلیل حساسیت آن انجام



شکل ۱: شمای کلی مدل پیاده‌سازی شده برای شبکه پستی کشور ایران با ابعاد محدود

در نتیجه شبکه‌ای از محورها را خواهیم داشت و به دنبال به دست آوردن مینیمم هزینه کلی^۶ در شبکه هستیم، این کار میسر نمی‌شود، مگر آنکه مسیر بهینه برای ارتباطات انتخاب شود.

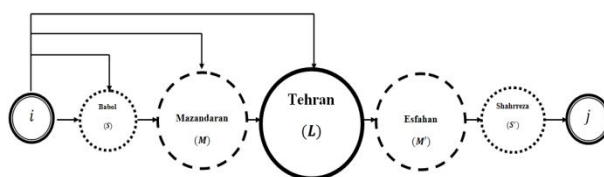
فرضیات مسئله

در مدل پیشنهادی، مسئله مکان‌یابی محور تقاضا، هزینه حمل و نقل و همچنین ظرفیت، محدود و قطعی است و در حالت سلسله‌مراتبی با تخصیص چندگانه با داشتن سه نوع مختلف محور (محور کوچک، محور متوسط و محور بزرگ) و سه نوع مختلف کالا در نظر گرفته شده است.

هدف ما طراحی یک تصمیم‌گیری استراتژیک^۷ با فرضیات زیر برای یک افق زمانی بلندمدت است که:

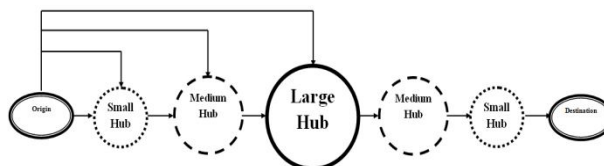
۱. تابع هدف از نوع کمینه‌کردن مجموع هزینه‌های جریان در کل شبکه سلسله‌مراتبی است.
۲. مطالعه مسئله روی شبکه‌ای از گره‌ها و کمان‌ها.
۳. محورها و مسیرهای ارتباطی دارای ظرفیت محدود است.
۴. هزینه‌های حمل و نقل و تقاضا قطعی است.
۵. مسئله چندسطحی (هفت‌سطحی) است، همچنین در میان محورهای موجود سلسله‌مراتب وجود دارد.
۶. تخصیص به شکل چندگانه بوده است.
۷. سه نوع کالا در شبکه موجود است، در نتیجه مدل

در صورتی که خواهیم یکی از مسیرهای موجود در شبکه را به طور دقیق‌تر بررسی کنیم، با توجه به شکل (۲) خواهیم داشت:



شکل ۲: بررسی یک مسیر ارتباطی بین مبدأ و مقصد

با توجه به شکل، شخصی که می‌خواهد محصولات پستی خود را به مقصد برساند، ممکن است در شهرستان (بابل)، استان (مازندران) و یا پایتخت تهران ساکن باشد، اما با توجه به فرض مسئله، در هیچ زمانی محصولات پستی از شهر تهران به طور مستقیم به شخص ساکن در رشت نمی‌رسد. شکل (۳) یکی از حالت‌ها و مسیرهای موجود در شبکه است. اگر اطلاعاتی در مورد نقش هر یک از شهرها و استان‌ها را بتوان نشان داد، شکل زیر نشان‌دهنده آن است که هر یک از شهرهای موجود در شبکه، نقش چه نوع محوری را ایفا می‌کنند، داریم:



شکل ۳: بررسی نحوه ارتباط کلی مسئله مدل موجود

چندکالایی است. B_L^{cL} ظرفیت انتقال محور بزرگ L با سطح ظرفیت c_L .
 \bar{B}_{ip}^u ظرفیت انتقال یکی از u نوع کالا در کمان مبدأ-محور.
 \underline{B}_{Sj}^u ظرفیت انتقال یکی از u نوع کالا در کمان محور-
مقصد. B_{pq}^u ظرفیت انتقال یکی از u نوع کالا در کمان بین
محورها.

f_S^{cS} هزینه محور کوچک S با سطح ظرفیت c_S .
 f_M^{cM} هزینه محور متوسط M با سطح ظرفیت c_M .
 f_L^{cL} هزینه محور بزرگ L با سطح ظرفیت c_L .
 C_{iS} هزینه نقل و انتقال واحد از مبدأ i و محور S .
 C_{iM} هزینه نقل و انتقال واحد از مبدأ i و محور M .
 C_{iL} هزینه نقل و انتقال واحد از مبدأ i و محور L .
 C_{SM} هزینه نقل و انتقال واحد از محورهای S و M .
 C_{SL} هزینه نقل و انتقال واحد از محورهای S و L .
 C_{ML} هزینه نقل و انتقال واحد از محورهای M و L .
 $C_{SS'}$ هزینه نقل و انتقال واحد از محورهای S و S' .
 $C_{MM'}$ هزینه نقل و انتقال واحد از محورهای M و M' .
 $C_{LM'}$ هزینه نقل و انتقال واحد از محورهای L و M' .
 $C_{LS'}$ هزینه نقل و انتقال واحد از محورهای L و S' .
 $C_{MS'}$ هزینه نقل و انتقال واحد از محورهای M و S' .
 $C_{S'j}$ هزینه نقل و انتقال واحد از محور S' به مقصد j .

χ ضریب تخفیف^۹ ($0 \leq \chi < 1$) هزینه نقل و انتقال بین
گره مبدأ-محور که عاملی کاهشی است و سبب کاهش
هزینه مسیریابی می‌شود، همچنین نشان‌دهنده مزایای
اقتصادی است. به این دلیل که هزینه جابه‌جایی بین دو
محور کمتر از هزینه بین یک گره محور و یک گره
غیرمحور است، بنابراین ضرایب تخفیف متفاوت در نظر
گرفته شده است.

α ضریب تخفیف (نشان‌دهنده‌ی مزایای اقتصادی) هزینه
نقل و انتقال بین گره‌های محور ($0 \leq \alpha < 1$) و ($\alpha < \chi$),
($\alpha < \delta$).

δ ضریب تخفیف (نشان‌دهنده‌ی مزایای اقتصادی) هزینه
نقل و انتقال بین گره محور-مقصد ($0 \leq \delta < 1$).

$$O_i = \sum_{j \in V'} W_{ij}$$

$$D_j = \sum_{i \in V'} W_{ij}$$

متغیرهای تصمیم‌گیری

S_{iS} جریان از مبدأ i به محور کوچک S .
 S_{iM} جریان از مبدأ i به محور متوسط M .

۸. محورهای موجود تسهیلات مطلوب هستند و سه نوع
مختلف محور وجود دارد.
۹. در مسیر برگشت از محور مرکزی به مقصد، برقراری
ارتباط، در صورتی که آخرین محور از نوع محور کوچک
باشد.

با توجه به مفروضات مدل پیشنهادی بر اساس بخش
(۲،۳)، (۲،۶)، (۲،۷) و (۲،۱۳) مقاله مروری فراهانی و
همکاران در سال ۲۰۱۳ یک مدل مکان‌یابی محور
سلسله‌مراتبی چند تخصیص پیوسته با تعداد محور
مشخص و ظرفیت محدود^{۱۰} است [۲۲].

اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم‌گیری

V' مجموعه گره‌های مبدأ مقصد $\{i, j\} \in V'$
 V'' مجموعه گره‌های محور، $\{S, M, L, S', M'\} \in V''$ و
 $\{p, q\} \in V''$
 U مجموعه انواع مختلف کالاها $u \in U$ ، چندمحصولی
بودن شبکه، به معنای آنکه بتوان در شبکه انواع مختلفی
از کالاها از جمله نامه، مطبوعات و بسته‌های پستی را در
نظر گرفت.

پارامترها

W_{ij} حجم انتقال هر جفت مبدأ-مقصد (i, j) .
 d_{ij} مسافت بین گره i و j .
 P_S تعداد محور کوچک (S اندیس محور کوچک).
 P_M تعداد محور متوسط (M اندیس محور متوسط).
 P_L تعداد محور بزرگ (L اندیس محور بزرگ).
 Γ_S مجموعه سطوح ظرفیت شهرهای S .
 Γ_M مجموعه سطوح ظرفیت استان‌های M .
 Γ_L مجموعه سطوح ظرفیت پایتخت L .
 $c_S = \{1, 2, 3\}$ و $(c_S \in \Gamma_S)$ ، S سطح ظرفیت شهر
 $c_M = \{1, 2, 3\}$ و $(c_M \in \Gamma_M)$ ، M سطح ظرفیت شهر
 $c_L = \{1, 2, 3\}$ و $(c_L \in \Gamma_L)$ ، L سطح ظرفیت شهر
 B_S^{cS} ظرفیت انتقال محور کوچک S با سطح ظرفیت

B_M^{cM} ظرفیت انتقال محور متوسط M با سطح ظرفیت
 c_M

Y_{ML} اگر کمانی از محور M به محور L وجود داشته باشد، یک و در غیر این صورت صفر.

Y_{SL} اگر کمانی از محور S به محور L وجود داشته باشد و محور L با محور S برابر باشد، یک و در غیر این صورت صفر.

$Y_{S'M'}$ اگر کمانی از محور S' به محور M' وجود داشته باشد، یک و در غیر این صورت صفر.

Y_{ML} اگر کمانی از محور M' به محور L وجود داشته باشد، یک و در غیر این صورت صفر.

$Y_{S'L}$ اگر کمانی از محور S' به محور L وجود داشته باشد، محور L با محور S' برابر باشد، یک و در غیر این صورت صفر.

M_S اگر گره S یک محور کوچک است، یک و در غیر این صورت صفر.

M_M اگر گره M یک محور متوسط است، یک و در غیر این صورت صفر.

M_L اگر گره L یک محور بزرگ است، یک و در غیر این صورت صفر.

M_S^{CS} اگر گره S یک محور کوچک با سطح ظرفیت c_S ، یک و در غیر این صورت صفر.

M_M^{CM} اگر گره M یک محور متوسط با سطح ظرفیت c_M ، یک و در غیر این صورت صفر.

M_L^{CL} اگر گره L یک محور بزرگ با سطح ظرفیت c_L ، یک و در غیر این صورت صفر.

مدل ریاضی

Minimize

$$Z = \sum_{S \in \mathcal{E}'} \sum_{c_S \in \Gamma_S} f_S^{CS} M_S^{CS} + \sum_{M \in \mathcal{E}'} \sum_{c_M \in \Gamma_M} f_M^{CM} M_M^{CM} + \sum_{L \in \mathcal{E}'} \sum_{c_L \in \Gamma_L} f_L^{CL} M_L^{CL} + \sum_{i \in \mathcal{E}'} \sum_{j \in \mathcal{E}'} W_{ij} [\sum_{S \in \mathcal{E}'} \chi_{iS} X_{iS} + \sum_{M \in \mathcal{E}'} \chi_{iM} X_{iM} + \sum_{L \in \mathcal{E}'} \chi_{iL} X_{iL} + \sum_{S \in \mathcal{E}'} \sum_{S' \in \mathcal{E}'} \alpha_{SS'} X_{iS} X_{jS'} + \sum_{S \in \mathcal{E}'} \sum_{M \in \mathcal{E}'} \alpha_{SM} X_{iS} (1 - X_{jM}) Y_{SM} + \sum_{S \in \mathcal{E}'} \sum_{L \in \mathcal{E}'} \alpha_{SL} X_{iS} (1 - X_{jL}) Y_{SL} + \sum_{M \in \mathcal{E}'} \sum_{L \in \mathcal{E}'} \alpha_{ML} X_{iM} (1 - X_{jL}) Y_{ML} + \sum_{S \in \mathcal{E}'} \sum_{M \in \mathcal{E}'} \sum_{L \in \mathcal{E}'} \alpha_{ML} X_{iS} (1 - X_{jS}) (1 - X_{jM}) Y_{SM} Y_{ML} + \sum_{M \in \mathcal{E}'} \sum_{M' \in \mathcal{E}'} \alpha_{MM'} \sum_{S \in \mathcal{E}'} X_{iS} Y_{SM} \sum_{S' \in \mathcal{E}'} X_{jS'} Y_{S'M'} + \sum_{S' \in \mathcal{E}'} \sum_{M' \in \mathcal{E}'} \sum_{L \in \mathcal{E}'} \alpha_{LM} X_{jS'} (1 - X_{iS'}) (1 - X_{jM'}) Y_{S'M'} Y_{ML} + \sum_{S' \in \mathcal{E}'} \sum_{L \in \mathcal{E}'} \alpha_{LS'} X_{jS'} (1 - X_{iS'}) Y_{S'L} + \sum_{S' \in \mathcal{E}'} \sum_{M' \in \mathcal{E}'} \alpha_{MS'} X_{jS'} (1 - X_{iS'}) Y_{S'M'} + \sum_{S' \in \mathcal{E}'} \delta_{Sj} X_{jS'}] \quad (1)$$

$S \mathcal{E}$.

$$\sum_{S \in \mathcal{E}'} M_S = P_S \quad (2)$$

S_{iL} جریان از مبدأ i به محور بزرگ L .

S_{SM}^i جریان از محور کوچک S به محور متوسط M ، آغازکننده در مبدأ i .

S_{ML}^i جریان از محور متوسط M به محور بزرگ L ، آغازکننده در مبدأ i .

S_{SL}^i جریان از محور کوچک S به محور بزرگ L ، آغازکننده در مبدأ i است، در صورتی که $S = L$ باشد.

T_{SS}^i جریان از محور کوچک S به محور کوچک S' ، آغازکننده در مبدأ i .

T_{MM}^i جریان از محور متوسط M به محور متوسط M' ، آغازکننده در مبدأ i .

V_{MS}^i جریان از محور متوسط M محور کوچک S ، آغازکننده در مبدأ i .

V_{LS}^i جریان از محور بزرگ L محور کوچک S ، آغازکننده در مبدأ i ، در صورتی که $S = L$ باشد.

V_{LM}^i جریان از محور بزرگ L به محور متوسط M ، آغازکننده در مبدأ i .

V_{Sj}^i جریان از محورهای کوچک S به مقصد j ، آغازکننده در مبدأ i .

ts_{ip}^u تعداد یکی از نوع کالا در کمان مبدأ-محور (i, q) .

t_{pq}^u تعداد یکی از نوع کالا در کمان بین محورها (p, q) .

tv_{Sj}^u تعداد یکی از نوع کالا در کمان مقصد-محور (S, j) .

X_{iS} اگر گره i به محور S تخصیص یابد، یک و در غیر این صورت صفر.

X_{iM} اگر گره i به محور M تخصیص یابد، یک و در غیر این صورت صفر.

X_{iL} اگر گره i به محور L تخصیص یابد، یک و در غیر این صورت صفر.

X_{jS} اگر محور S به گره j تخصیص یابد، یک و در غیر این صورت صفر.

$X_{iS'}$ اگر گره i به محور S' تخصیص یابد، یک و در غیر این صورت صفر.

$X_{jS'}$ اگر محور S' به گره j تخصیص یابد، یک و در غیر این صورت صفر.

$X_{jM'}$ اگر محور M' به گره j تخصیص یابد، یک و در غیر این صورت صفر.

Y_{SM} اگر کمانی از محور S به محور M وجود داشته باشد، یک و در غیر این صورت صفر.

$$\sum_{i \in V'} (S_{iM} + \sum_{M' \in V''} T_{MM'}^i + \sum_{S \in V''} S_{SM}^i + \sum_{L \in V''} V_{LM}^i) \geq \sum_{c_M \in \Gamma_M} B_M^{c_M} \quad (28)$$

$$\sum_{i \in V'} (S_{iL} + \sum_{M \in V''} S_{ML}^i + \sum_{S \in V''} S_{SL}^i) \geq \sum_{c_L \in \Gamma_L} B_L^{c_L} M_L^{c_L} \quad (29)$$

$$\{X_{iS}, X_{iM}, X_{iL}, X_{iS'}, X_{iS''}, X_{iS'''}, X_{iM'}, X_{iM''}, X_{iM'''}, X_{iL'}, X_{iL''}, X_{iL'''}\} \in (0,1) \\ \{Y_{SM}, Y_{ML}, Y_{SL}, Y_{SM'}, Y_{ML'}, Y_{SL'}\} \in (0,1) \\ \{M_S, M_M, M_L, M_S^c, M_M^c, M_L^c\} \in (0,1) \quad (30)$$

$$\{S_{iS}, S_{iM}, S_{iL}, S_{SM}^i, S_{ML}^i, S_{SL}^i, T_{SS'}^i, T_{MM'}^i, \\ V_{MS}^i, V_{LS}^i, V_{LM}^i, V_{Sj}^i, t_{ip}^u, t_{pq}^u, t_{Sj}^u\} \geq 0 \quad (31)$$

معادله شماره (۱) (تابع هدف)، به دنبال کمینه‌کردن هزینه کلی مسیریابی در شبکه است، هزینه‌ها شامل هزینه ثابت احداث سه نوع محور کوچک، متوسط و بزرگ و همچنین شامل هزینه‌های حمل و نقل (جمع‌آوری از مبدأ به هر یک از محورها، جابه‌جایی بین محورها و توزیع از محور کوچک به مقصدها) است.

محدودیت (۲-۴)، تعداد محورها را نشان می‌دهد. به این مفهوم که به ترتیب تعداد P_S ، P_M و P_L محور از نوع کوچک، متوسط و بزرگ موجود است. محدودیت (۵)، از یک مبدأ (تقاضا) همزمان به هر سه نوع محور موجود ارتباط برقرار نمی‌شود. محدودیت (۶-۸) هر یک از گره‌های محور به عنوان یک نقش عمل می‌کند، یعنی یا محور مورد نظر جمع‌کننده است و یا پخش‌کننده. بین مبدأ و مقصد نمی‌تواند یک محور قرار داشته باشد. محدودیت (۹)، مجموع جریان‌های ورودی به هر محور کمتر و یا برابر با مقدار جریان‌های ورودی از مبدأ است. محدودیت (۱۰)، در نقطه کاندید شده، کدام یک از سه نوع محور کوچک، متوسط و یا بزرگ قرار می‌گیرد. محدودیت (۱۱)، همه حجم حمل و نقل از سطح مبدأ انجام

می‌گیرد. محدودیت (۱۲)، هر جریان مبدأ به مقصد به مقصد مناسب خود می‌رسد. به این دلیل که هر گره محور می‌تواند به طور مستقیم به مقصد برود، بنابراین مجموع کل جریان‌های از مبدأ به مقصد برابر با حجم انتقال است. محدودیت (۱۳-۱۵)، سطح ظرفیت هر یک از محورهای کوچک، محورهای متوسط و محورهای بزرگ انتخاب شده است. محدودیت (۱۶-۱۸)، هر گره می‌تواند به بیش از یک محور تخصیص یابد. هر گره غیر محوری حداقل زیر پوشش یکی از گره‌های محوری قرار می‌گیرد. محدودیت

$$\sum_{M \in V''} M_M = P_M \quad (32)$$

$$\sum_{L \in V''} M_L = P_L \quad (33)$$

$$\sum_{S \in V''} X_{iS} + \sum_{M \in V''} X_{iM} + \sum_{L \in V''} X_{iL} \geq 1 \quad \forall i \in V' \quad (34)$$

$$X_{iS} + X_{iS'} \leq M_S \quad \text{for all } i \in V', S \in V'' \quad (35)$$

$$X_{iM} \leq M_M \quad \text{for all } i \in V', M \in V'' \quad (36)$$

$$X_{iL} \leq M_L \quad \text{for all } i \in V', L \in V'' \quad (37)$$

$$\sum_{S \in V''} S_{iS} + \sum_{M \in V''} S_{iM} + \sum_{L \in V''} S_{iL} \leq O_i \quad \forall i \in V' \quad (38)$$

$$M_S + M_M + M_L \leq 1 \quad (39)$$

$$\sum_{S \in V''} S_{iS} + \sum_{M \in V''} S_{iM} + \sum_{L \in V''} S_{iL} = \sum_{j \in V'} W_{ij} \quad \forall i \in V' \quad (40)$$

$$\sum_{S \in V''} (V_{Sj}^i) + \sum_{M, S \in V''} (V_{MS}^i) + \sum_{M, L \in V''} (V_{LM}^i) + \sum_{S, L \in V'', S=L} (V_{LS}^i) \\ = W_{ij} \quad \forall i, j \in V' \quad (41)$$

$$\sum_{c_S \in \Gamma_S} M_S^c = M_S \quad \forall S \in V'' \quad (42)$$

$$\sum_{c_M \in \Gamma_M} M_M^c = M_M \quad \forall M \in V'' \quad (43)$$

$$\sum_{c_L \in \Gamma_L} M_L^c = M_L \quad \forall L \in V'' \quad (44)$$

$$\sum_{S \in V''} X_{iS} \geq 1 \quad \forall i \in V' \quad (45)$$

$$\sum_{M \in V''} X_{iM} \geq 1 \quad \forall i \in V' \quad (46)$$

$$\sum_{L \in V''} X_{iL} \geq 1 \quad \forall i \in V' \quad (47)$$

$$V_{Sj}^i \leq W_{ij} X_{iS} \quad \forall i, j \in V', S \in V'' \quad (48)$$

$$S_{iS} + \sum_{S' \in V''} T_{SS'}^i + \sum_{M \in V''} V_{MS}^i + \sum_{L \in V'', L=S} V_{LS}^i = \sum_{S' \in V''} T_{SS'}^i + \\ \sum_{M \in V''} S_{SM}^i + \sum_{L \in V''} S_{SL}^i + \sum_{j \in V'} V_{Sj}^i \quad \forall i \in V', S, S' \in V'' \quad (49)$$

$$S_{iM} + \sum_{M' \in V''} T_{MM'}^i + \sum_{S \in V''} S_{SM}^i + \sum_{L \in V''} V_{LM}^i = \sum_{M' \in V''} T_{MM'}^i + \\ \sum_{L \in V''} S_{ML}^i + \sum_{S \in V''} V_{MS}^i \quad \forall i \in V', M, M' \in V'' \quad (50)$$

$$S_{iL} + \sum_{M \in V''} S_{ML}^i + \sum_{S \in V''} S_{SL}^i = \sum_{M \in V''} V_{LM}^i + \sum_{S \in V''} V_{LS}^i \\ \forall i \in V', L \in V'' \quad (51)$$

$$\sum_{p=S, M, L \in V''} S_{ip} \leq \sum_{u \in U, p=S, M, L \in V''} \bar{B}_{ip}^u S_{ip}^u \quad \forall i \in V' \quad (52)$$

$$\sum_{S \in V''} V_{Sj}^i \leq \sum_{u \in U, S \in V''} \bar{B}_{Sj}^u V_{Sj}^u \quad \forall i, j \in V' \quad (53)$$

$$\sum_{u \in U} (S_{SM}^i + T_{SS'}^i + T_{MM'}^i + V_{MS}^i) \leq \sum_{u \in U} B_{SM}^u t_{SM}^u \\ \forall i \in V', S, M, S', M' \in V'' \quad (54)$$

$$\sum_{u \in U, \forall i \in V'} (S_{ML}^i + T_{MM'}^i + V_{LM}^i) \leq \sum_{u \in U} B_{ML}^u t_{ML}^u \\ \forall M, L, M' \in V'' \quad (55)$$

$$\sum_{i \in V'} (S_{iS} + \sum_{S' \in V''} T_{SS'}^i + \sum_{M \in V''} V_{MS}^i + \sum_{L \in V'', L=S} V_{LS}^i) \geq \sum_{c_S \in \Gamma_S} B_S^{c_S} \\ M_S^{c_S} \quad \forall S \in V'' \quad (56)$$

هستند، تقسیم شده است. برای آنکه بتوان تمایز بین پایتخت و استان و شهرستان‌ها قائل شد، در حالتی که نام پایتخت و استان و شهرستان یکسان است و یا نام استان و شهرستان یکسان است، از شماره‌گذاری استفاده شده است.

به عنوان نمونه:

- مثال (۱): پایتخت تهران (۳)، استان تهران (۲)، شهرستان تهران (۱).
- مثال (۲): استان سمنان (۲)، شهرستان سمنان (۱).

دقت شود که ارتباطات، بسته به نوع تقاضای مشتری حالت‌های متفاوتی دارد. با توجه به جداول داده‌های ورودی به دست آمده با استفاده از داده‌های شبکه پست ایران و مرکز آمار ایران به حل مدل پرداخته شده است. برای حل مدل، مقادیر برخی از پارامترهای ورودی مسئله، مطابق جداول (۱) الی (۵) است:

جدول ۱: تعداد محورهای مورد نیاز (P_S, P_M, P_L) و ضرایب تخفیف (χ, α, δ)

تعداد محورها - The Number of Hubs		
کوچک - P_S	متوسط - P_M	بزرگ - P_L
۹	۴	۱
ضرایب تخفیف - Discount Factors		
χ	δ	α
۰/۸۵	۰/۷۹	۰/۸۹

جدول ۲: هزینه احداث محور با سطح ظرفیت (c_S, c_M, c_L)

هزینه‌ی احداث هر محور - Capacity Levels & Construction Cost Hubs					
شهر	c_S	f_S^{CS}	استان	c_M	f_M^{CM}
ساری	۱،۲،۳	۸۱۰۰۰۰۰۰	مازندران	۱،۲،۳	۸۵۰۰۰۰۰۰
بابل	۱،۲،۳	۶۳۰۰۰۰۰۰	گیلان	۱،۲،۳	۹۸۰۰۰۰۰۰
نور	۱،۲،۳	۳۳۰۰۰۰۰۰	تهران	۱،۲،۳	۱۳۰۰۰۰۰۰۰
رشت	۱،۲،۳	۹۰۰۰۰۰۰۰	سمنان	۱،۲،۳	۸۰۰۰۰۰۰۰۰
شهر	c_L	f_L^{CL}	پایتخت	c_L	f_L^{CL}
لاهیجان	۱،۲،۳	۶۳۰۰۰۰۰۰	پایتخت	۱،۲،۳	۱۵۵۰۰۰۰۰۰۰
تالش	۱،۲،۳	۳۵۰۰۰۰۰۰	تهران	۱،۲،۳	۱۵۵۰۰۰۰۰۰۰
تهران	۱،۲،۳	۱۱۰۰۰۰۰۰۰			
ری	۱،۲،۳	۵۵۰۰۰۰۰۰۰			
دماوند	۱،۲،۳	۵۷۰۰۰۰۰۰۰			
سمنان	۱،۲،۳	۷۵۰۰۰۰۰۰۰			
شاهرود	۱،۲،۳	۵۳۰۰۰۰۰۰۰			

(۱۹)، همه حجم حمل و نقل از گره کوچک به مقصد می‌رسد. محدودیت (۲۲-۲۰) معادله تعادلی جریان برای هر یک از سه محور کوچک، متوسط و بزرگ با توجه به جریان‌های ورودی و خروجی، نوع سلسله‌مراتب ارتباطی بین محورها بررسی شده است. محدودیت (۲۳)، محدود کردن ظرفیت کمان‌های ارتباطی یک نوع از u نوع کالای مشتری میان گره‌های مبدأ و گره‌های محوری را نشان می‌دهد. محدودیت (۲۴)، محدود کردن ظرفیت کمان‌های ارتباطی یک نوع از u نوع کالای مشتری میان گره‌های محوری و گره‌های مقصد را نشان می‌دهد. محدودیت (۲۵) و (۲۶)، محدود کردن ظرفیت کمان‌های ارتباطی یک نوع از u نوع کالای مشتری میان محورهای موجود را نشان می‌دهد. محدودیت (۲۷-۲۹) ظرفیت گره محورهای کوچک، متوسط و بزرگ را در شبکه محدود می‌کند. محدودیت (۳۰) و (۳۱) متغیرهای کراندار را مشخص کرده، همچنین همه متغیرها پیوسته هستند.

مطالعه موردی

این مدل برای فضای محدودی از کشور ایران پیاده‌سازی شده و در آن یک پایتخت و چهار استان و یازده شهرستان در نظر گرفته شده است. هر یک از استان‌ها را بر اساس جمعیت موجود آن‌ها به تعدادی منطقه تقسیم کرده و در هر یک از مناطق که شامل چندین شهرستان است، یک شهرستان به عنوان نماینده انتخاب شده است (دلیل انجام این کار، جلوگیری از بزرگ‌تر شدن حجم مسئله و انجام محاسبات پیچیده با صرف وقت و هزینه اضافی است).

می‌دانیم پایتخت کشور ایران، تهران است. تقسیم‌بندی بر اساس جمعیت استان‌ها انجام شده و استان تهران به سه ناحیه که نماینده هر یک از آن‌ها، شهرستان تهران، ری و دماوند هستند و استان مازندران را به سه ناحیه که نماینده هر یک از آن‌ها، شهرستان‌های بابل، نور و ساری هستند، تقسیم شده است. استان گیلان به سه ناحیه که نماینده هر یک از آن‌ها، شهرستان‌های طوالش، لاهیجان و رشت هستند و در نهایت استان سمنان به دو ناحیه که نماینده هر یک از نواحی شهرستان‌های سمنان و شاهرود

جدول ۳: ظرفیت انتقال محورها با سطح ظرفیت (c_S, c_M, c_L)

ظرفیت انتقال هر محور - Transmission Capacity Hubs					
B_S^{CS}	c_S	شهر	B_S^{CS}	c_S	شهر
۸۷۸۷۷	۳	دمآوند	۴۸۰۴۲۵	۱	ساری
۲۰۵۹۰۷	۱	سمنان	۴۷۰۴۲۵	۲	
۲۰۴۹۰۷	۲		۴۶۰۴۲۵	۳	
۲۰۳۹۰۷	۳	شاهرود	۳۹۹۴۰۷	۱	بابل
۱۵۸۱۹۵	۱		۳۸۹۴۰۷	۲	
۱۴۸۱۹۵	۲		۳۷۹۴۰۷	۳	
۱۳۸۱۹۵	۳	استان	۱۷۴۶۱۴	۱	نور
B_M^{CM}	c_M		۱۶۴۶۱۴	۲	
۱۰۵۴۳۸۴	۱		۱۵۴۶۱۴	۳	
۱۰۴۳۸۴	۲	مازندران	۴۴۰۴۱۰	۱	رشت
۱۰۳۴۳۸۴	۳		۴۳۰۴۱۰	۲	
۸۵۰۴۷۲	۱		۴۲۰۴۱۰	۳	
۸۴۹۴۷۲	۲	گیلان	۲۳۸۱۸۵۶	۱	لاهیجان
۸۴۸۴۷۲	۳		۲۲۸۱۸۵۶	۲	
۶۵۰۳۷۱۳	۱		۲۱۸۱۸۵۶	۳	
۶۴۹۳۷۱۳	۲	تهران	۱۷۲۲۰۰	۱	تالش
۶۴۸۳۷۱۳	۳		۱۶۲۲۰۰	۲	
۳۶۳۷۸۴	۱		۱۵۲۲۰۰	۳	
۳۵۳۷۸۴	۲	سمنان	۶۲۱۰۴۳۵	۱	تهران
۳۴۳۷۸۴	۳		۶۱۱۰۴۳۵	۲	
B_L^{CL}	c_L		پایتخت	۶۰۱۰۴۳۵	
۶۶۸۱۴۳۴	۱	تهران	۵۶۳۶۹۱	۱	ری
۶۶۹۱۴۳۴	۲		۵۵۳۶۹۱	۲	
۶۷۰۱۴۳۴	۳		۵۴۳۶۹۱	۳	
			۸۹۸۷۷	۱	دمآوند
			۸۸۸۷۷	۲	

جدول ۴: میزان تقاضا و مسافت بین هر جفت گره (i, j)

تقاضای بین دو گره - Demands Between Each Node (i, j)																
W_{ij}	ساری	بابل	نور	رشت	لاهیجان	تالش	شهر تهران	ری	دمآوند	شهر سمنان	شاهرود	مازندران	گیلان	استان تهران	استان سمنان	پایتخت تهران
۰	۱۹/۵۱	۰	۲۷/۰۲	۱۶/۵۹	۱۰/۹۱	۱۰/۱۵	۱۹/۷۱	۳۴/۲۵	۱۵/۹۴	۱۸/۰۳	۱۸/۰۵	۴۱/۶۶	۲۰/۸۱	۲۶/۱۲	۲۱/۸۳	۲۶/۶۲
۲۱/۲۶	۰	۲۵/۴۴	۰	۰	۰	۰	۱۹/۷۴	۳۵/۱۷	۱۶/۲۹	۲۴/۲۸	۲۰/۰۹	۲۲/۸۹	۲۲/۲۰	۲۶/۹۴	۲۲/۶۷	۲۷/۷۰
۱۳/۷۸	۱۳/۷۸	۰	۲۳/۵۷	۰	۰	۰	۱۹/۶۱	۳۱/۲۴	۱۴/۸۰	۱۴/۳۵	۱۱/۲۹	۲۹/۹۰	۳۳/۵۴	۲۵/۶۸	۲۱/۵۱	۲۵/۸۲
۱۲/۶۱	۱۲/۶۱	۱۷/۶۵	۲۲/۸۷	۹۳/۵۲	۰	۰	۱۹/۵۹	۳۰/۶۳	۱۴/۵۶	۱۲/۸۱	۹۹/۲۱	۲۹/۴۳	۳۶/۸۰	۲۵/۴۹	۲۱/۴۰	۲۵/۵۳
۱۲/۵۵	۱۲/۵۵	۱۷/۶۰	۲۲/۸۴	۹۲/۹۴	۵۵/۲۲	۰	۱۹/۵۹	۳۰/۶۰	۱۴/۵۵	۱۲/۷۴	۹۸/۵۷	۲۹/۴۱	۳۶/۶۱	۲۵/۴۸	۲۱/۳۹	۲۵/۵۲
۱۴۰/۸۲	۱۳۳/۰۴	۱۳۳/۰۴	۹۹۸/۰۶	۱۴۳/۹۷	۱۰۴/۹	۰	۸۹/۰۸	۹۷/۹۴	۴۰/۲۱	۱۸/۲۶	۱۶/۰۵	۸۰/۷۱	۷۸/۲۹	۴۶/۹۶	۳۴/۲۲	۵۷/۵۹
۱۶/۲۰	۲۰/۸۸	۲۵/۰۳	۱۳/۱۲	۸۳/۴۷	۸۰/۰۲	۰	۱۹/۶۶	۰	۱۵/۲۸	۱۷/۵۶	۱۴/۱۳	۳۰/۸۶	۳۷/۷۹	۲۶/۰۹	۲۱/۷۶	۲۶/۴۳
۲۰/۰۳	۲۴/۳۲	۲۴/۳۲	۲۷/۳۲	۱۷/۱۴	۱۱/۳۱	۱۰/۴۹	۱۹/۷۲	۳۴/۵۲	۰	۲۲/۶۴	۱۸/۶۳	۲۲/۴۰	۳۹/۰۳	۲۶/۷۳	۲۲/۱۴	۲۷/۳۹
۱۳/۰۹	۱۳/۰۹	۱۸/۰۸	۲۳/۱۶	۹۸/۶۰	۵۹/۴۰	۵۹/۸۳	۱۹/۶۰	۳۰/۸۸	۱۴/۶۶	۰	۱۰/۴۹	۲۹/۶۲	۳۶/۷۸	۲۵/۵۷	۲۱/۴۵	۲۵/۶۵
۱۲/۴۸	۱۷/۵۳	۱۷/۵۳	۲۲/۸۰	۹۲/۱۸	۵۴/۶۵	۵۵/۸۵	۱۹/۵۹	۳۰/۵۶۷	۱۴/۵۴	۱۲/۶۴	۰	۲۹/۳۸	۳۶/۵۸	۲۵/۴۶	۲۱/۳۸	۲۵/۵۰
۳۳/۰۹	۳۳/۰۹	۳۶/۰۸	۳۵/۱۶	۳۰/۸۵	۲۱/۴۳	۱۸/۹۸	۱۹/۹۵	۴۱/۳۸	۱۸/۶۶	۳۹/۹۴	۳۳/۹۸	۰	۴۳/۲۸	۲۸/۹۲	۲۳/۴۵	۳۰/۶۵
۱۴/۸۳	۱۹/۶۵	۱۹/۶۵	۲۴/۲۱	۱۱/۶۸	۷۲/۸۷	۷۱/۱۳	۱۹/۶۳	۳۱/۸۰	۱۵/۰۱	۱۵/۷۵	۱۲/۵۳	۵۲/۸۶	۰	۲۵/۸۶	۲۱/۶۲	۲۶/۰۹
۱۴۶/۶۷	۱۳۲/۶۳	۸۹۵/۳۴	۱۵۳/۶۱	۱۱۳/۲۵	۹۵۰/۸۴	۴۵۰/۴۵	۷۹۴	۳۰/۵۳	۳۰/۵۳	۱۷/۱۸	۱۹/۳۹	۶۳/۳۶	۴۹/۱۹	۰	۱۶/۶۸	۲۸/۹۰
۱۳/۵۲	۱۸/۴۷	۲۳/۴۲	۱۰/۲۰	۶۲/۷۱	۶۲/۶۱	۱۹/۶۱	۳۱/۱۱	۱۴/۷۵	۱۴/۷۵	۱۴/۰۲	۱۰/۹۹	۵۲/۳۴	۱۹/۶۸	۲۵/۶۴	۰	۲۵/۷۶
۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۵۴/۰۴	۰	۰	۰	۰	۰	۴۹/۱۹	۲۶/۹۰	۱۶/۶۸	۰

جدول ۵: ظرفیت یک نوع از U نوع کالای مشتری در کمان مبدأ محور (i, p) (کالا، نامه، مطبوعات و بسته‌های پستی)

ظرفیت یک نوع از U نوع کالای مشتری در کمان مبدأ محور (i, p) (نامه، مطبوعات و بسته‌های پستی)																							
ری			شهر تهران			تالش			لاهیجان			رشت			نور			بابل			ساری		
ساری	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰		
بابل	۱۵	۳۰	۷۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰		
نور	۱۰	۲۰	۵۲	۹	۱۸	۴۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰		
رشت	۱۴	۲۹	۷۴	۱۳	۲۶	۶۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰		
لاهیجان	۱۰	۲۱	۵۵	۹	۱۸	۴۹	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰		
تالش	۹	۱۸	۴۶	۸	۱۶	۴۲	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰		
شهر تهران	۱۱۷	۲۴۲	۶۲۸	۱۰۵	۲۱۸	۵۶۵	۷۰	۱۴۵	۳۷۷	۲۰۵	۴۲۴	۱۰۹۹	۹۱	۱۸۸	۴۸۷	۷۶	۱۵۸	۴۰۸	۰	۰	۰		
ری	۳۵	۷۳	۱۹۰	۳۲	۶۶	۱۷۱	۲۱	۴۴	۱۱۴	۶۲	۱۲۸	۳۳۲	۲۷	۵۷	۱۴۷	۲۳	۴۸	۱۲۳	۶۲	۱۲۸	۳۳۲		
دماوند	۱۴	۲۹	۷۶	۱۳	۲۶	۶۸	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰		
شهر سمنان	۵	۱۱	۲۸	۳	۶	۱۷	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰		
شاهرود	۴	۸	۲۴	۲	۴	۱۱	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰		
مازندران	۴۰	۸۴	۲۱۷	۳۶	۷۵	۱۹۵	۲۴	۵۰	۱۳۰	۷۱	۱۴۶	۳۷۹	۳۱	۶۵	۱۶۸	۲۶	۵۴	۱۴۱	۷۱	۱۴۶	۳۷۹		
گیلان	۳۳	۶۸	۱۷۵	۳۰	۶۱	۱۵۸	۲۰	۴۱	۱۰۵	۵۷	۱۱۸	۳۰۷	۲۵	۵۲	۱۳۶	۲۱	۴۴	۱۱۴	۵۷	۱۱۸	۳۰۷		
استان تهران	۱۶۷	۳۴۵	۸۹۳	۱۵۰	۳۱۰	۸۰۴	۲۰۷	۵۳۶	۲۹۲	۶۰۳	۱۵۶۳	۱۲۹	۲۶۷	۶۹۲	۱۰۸	۲۲۴	۵۸۱	۲۹۲	۶۰۳	۱۵۶۳	۶۶۹		
استان سمنان	۱۰	۲۰	۵۲	۹	۱۸	۴۶	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰	۰		
پایتخت تهران	۲۰۰	۳۸۸	۹۶۰	۱۸۰	۳۴۹	۸۶۴	۱۲۰	۳۳۳	۵۷۶	۳۵۰	۶۷۹	۱۵۵	۳۰۱	۷۴۴	۱۳۰	۲۵۲	۶۲۴	۳۵۰	۶۷۹	۱۵۵	۳۰۱		

جدول ۶: میزان جریان از گره‌های تقاضا به محور کوچک (شهرستان‌ها)، متوسط (استان‌ها) و بزرگ (پایتخت).

S_{IS}							S_{IS}					
رشت	لاهیجان	تالش	ساری	بابل	نور	گره‌های تقاضا	شهر تهران	دماوند	ری	شاهرود	سمنان	گره‌های تقاضا
۱۲/۸۸۹	-	-	-	-	-	ساری	-	-	-	۴۶۰/۴۳۶	-	ساری
-	-	-	-	-	-	بابل	-	-	-	-	-	بابل
-	-	۰/۹۵۱	-	-	-	نور	-	-	۳۲/۸۹۵	-	-	نور
۴۲۶/۵۹۳	-	-	-	-	-	تالش	-	-	-	-	-	تالش
-	-	-	-	۱۲/۹۰۱	-	شهر تهران	-	-	-	۶۹۸/۴۷۷	-	شهر تهران
۱۲۶/۰۰۲	-	۲۵/۲۱۵	۱۰/۸۳۱	۳۴/۹۳۸	-	ری	-	-	۱۶۵/۶۵۱	۸۵/۷۰۹	-	ری
-	-	-	۰/۰۴۴	-	-	دماوند	-	-	-	-	-	دماوند
۲۲/۳۱۶	۹۸/۸۹۷	-	۱۶/۰۶۱	۱۷/۶۴۹	-	شهر سمنان	۴۰/۲۷۲	۲۰۵/۵۷۵	۲۲/۲۸۸	۳۸/۶۹۶	۲۵/۷۸۴	شهر سمنان
۶۴/۵۳۴	۷۰/۹۰۹	-	۱۴/۰۸۱	-	-	شاهرود	۷۷/۴۹۲	-	۱۴/۸۴۲	۲۳۰/۳۴۷	-	شاهرود
-	-	۰/۰۴۳	-	-	-	استان گیلان	۰/۰۳۹	۰/۰۵۴	-	-	-	استان گیلان
۶۰/۰۹۹	۲۱۱/۷۶۰	-	-	-	-	استان تهران	۶۲/۹۱۴	۳۴/۸۴۴	۳۴/۱۸۸	۱۱۶/۶۶۰	۷۸/۴۹۰	استان تهران

S_{IM}				
استان تهران	استان مازندران	استان گیلان	استان سمنان	گره‌های تقاضا
-	-	-	-	۰/۲۳۳
۲۲/۲۷۱	۲۲/۲۷۱	۲۲/۲۷۱	۲۲/۲۷۱	تالش
۳۵۳/۸۳۴	-	-	-	دماوند
۰/۰۰۰۶۹۷۴	-	-	-	استان سمنان
۶۴/۷۷۴	۶۴/۷۷۴	۶۸/۲۱۰	۳/۴۳۶	استان تهران

S_{IL}	
پایتخت تهران	گره‌های تقاضا
۳۷/۵۸۶	بابل
۴۱۲/۸۳۹	رشت
۵۱۸/۸۶۶	تالش
۴۵۵/۸۷۳	استان مازندران
۴۳۵/۴۵۱	استان گیلان
۴۰۴/۹۸۸	استان سمنان

مشخصات Intel (R) Core (TM)i5% CPU, 2.40 GHz

4GB RAM حل شده است.

خروجی مدل نشان می‌دهد که گره پایتخت تهران با سومین سطح ظرفیت آن یعنی مقدار ۶۷۰۱۴۳۴، به عنوان گره مرکزی انتخاب می‌شود و بهترین انتخاب برای محور مرکزی است، در نتیجه هزینه کل برابر با

نتایج حل مدل

مدل مطرح شده از نوع برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط آزاد شده^۱ است که با استفاده از نرم‌افزار GAMS ورژن ۲۳/۴ به کمک دو روش CPLEX و CONOPT روی کامپیوتر با ویندوز 7 (64bit) با

اولیه آن و سناریوی (۱۱)، (۱۴) و (۱۷) کاهش هزینه احداث به میزان ۵۰ درصد اولیه آن را نشان می‌دهد. همچنین تعداد گره‌های محور در هر سناریو در جدول (۸) نشان داده شده است، در نتیجه خواهیم داشت:

جدول ۸: تغییرات تابع هدف با تغییر هزینه‌ی احداث و تعداد گره‌های محور

سناریو	P_S P_M P_L	تعداد محور	هزینه احداث	هزینه شبکه
سناریو (۹)	۵	۹	$(f_S^{CS}, f_M^{CM}, f_L^{CL})$	۱۸۷۰۱۵۰۰۰۰
سناریو (۱۰)	۳	۹	$(f_S^{CS} + ۵\%f_S^{CS}), (f_M^{CM} + ۵\%f_M^{CM}), (f_L^{CL} + ۵\%f_L^{CL})$	۲۸۰۵۱۵۰۰۰۰
سناریو (۱۱)	۱	۹	$(f_S^{CS} - ۵\%f_S^{CS}), (f_M^{CM} - ۵\%f_M^{CM}), (f_L^{CL} - ۵\%f_L^{CL})$	۹۳۵۱۴۹۱۰۰۰
سناریو (۱۲)	۹	۱۴	$(f_S^{CS}, f_M^{CM}, f_L^{CL})$	۱۸۷۰۱۲۰۰۰۰
سناریو (۱۳)	۴	۱۴	$(f_S^{CS} + ۵\%f_S^{CS}), (f_M^{CM} + ۵\%f_M^{CM}), (f_L^{CL} + ۵\%f_L^{CL})$	۲۸۰۵۱۲۰۰۰۰
سناریو (۱۴)	۱	۱۴	$(f_S^{CS} - ۵\%f_S^{CS}), (f_M^{CM} - ۵\%f_M^{CM}), (f_L^{CL} - ۵\%f_L^{CL})$	۹۳۵۱۲۴۴۰۰۰
سناریو (۱۵)	۱۰	۱۴	$(f_S^{CS}, f_M^{CM}, f_L^{CL})$	۱۸۷۰۱۵۰۰۰۰
سناریو (۱۶)	۳	۱۴	$(f_S^{CS} + ۵\%f_S^{CS}), (f_M^{CM} + ۵\%f_M^{CM}), (f_L^{CL} + ۵\%f_L^{CL})$	۹۳۵۱۴۹۱۰۰۰
سناریو (۱۷)	۱	۱۴	$(f_S^{CS} - ۵\%f_S^{CS}), (f_M^{CM} - ۵\%f_M^{CM}), (f_L^{CL} - ۵\%f_L^{CL})$	۱۸۷۰۱۵۰۰۰۰

همان‌طور که در جدول (۸) می‌توان مشاهده کرد، با افزایش و کاهش هزینه احداث به ترتیب هزینه کلی شبکه افزایش و کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش تعداد کلی گره‌های محور متوسط، هزینه کلی شبکه کاهش می‌یابد، این موضوع به دلیل کاهش رفت و آمدهای اضافی برای ارسال و تحویل تقاضا است. هنگامی که تعداد کلی گره‌های محور، ۱۴ گره است و فقط تفاوت در تعداد گره محور متوسط است، هزینه کلی کاهش می‌یابد. همچنین با کاهش تعداد کلی گره‌های محور، هزینه کلی شبکه افزایش می‌یابد (مقایسه سناریوهای (۱۱-۹) با (۱۴-۱۲)).

به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که با تغییر ضرایب تخفیف و هزینه‌های احداث، مدل، به شدت تحت تأثیر قرار گرفته و هزینه در شبکه در اثر کاهش، افزایش در هر یک از پارامترهای نام برده، به ترتیب کاهش، افزایش می‌یابد و تعیین مقادیر پارامترهای ذکر شده اثر مستقیم در تعیین میزان بهینه هزینه کلی شبکه ارتباطی دارد.

همچنین با کاهش کلی تعداد گره‌های محور به دلیل افزایش عمل جمع‌آوری، جابه‌جایی و توزیع در شبکه، هزینه کلی سیستم افزایش می‌یابد و افزایش تعداد گره‌های محور در لایه‌های مرکزی (محور متوسط)، سبب کاهش هزینه کلی شبکه می‌شود.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

ارائه مدل مکان‌یابی محور با تخصیص ... پس از تخصیص تهران به عنوان محور مرکزی (پایتخت) میزان جریان‌ها (جدول ۶) و گره‌های تخصیص یافته مشخص می‌شود.

تحلیل حساسیت

حال برای بررسی پارامترهایی که به شدت مدل را تحت تأثیر قرار می‌دهند، جداول (۷)، (۸) بررسی می‌شوند. در جدول (۷)، تأثیر مقادیر مختلف ضرایب تخفیف در صورت ثابت بودن سایر پارامترها روی توابع هدف و تغییرات ایجاد شده بررسی خواهد شد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در سناریوی (۱) و (۲) مقدار زتا، در سناریوی (۳) و (۴) مقدار آلفا و در سناریوی (۵) و (۶) مقدار آلفا تغییر یافته و سایر ضرایب تخفیف در هر سناریو ثابت در نظر گرفته شده است. در سناریوی (۷) و (۸) به ترتیب همگی ضرایب تخفیف افزایش و کاهش داده شده و مقدار تغییرات تابع هدف برای هر ۸ سناریو در جدول (۷) ارائه شده است.

جدول ۷: تغییرات تابع هدف با تغییر ضرایب تخفیف

سناریو	ضرایب تخفیف (χ, α, δ)	هزینه شبکه
حالت پایه	$(0/85, 0/79, 0/89)$	۱۸۷۰۱۲۰۰۰۰۰
سناریو (۱)	$(0/70, 0/79, 0/89)$	۱۸۷۰۱۰۰۰۰۰۰
سناریو (۲)	$(0/99, 0/79, 0/89)$	۱۸۷۰۱۴۰۰۰۰۰
سناریو (۳)	$(0/85, 0/89, 0/89)$	۱۸۷۰۱۲۰۰۰۰۰
سناریو (۴)	$(0/85, 0/64, 0/89)$	۱۸۷۰۱۲۰۰۰۰۰
سناریو (۵)	$(0/85, 0/79, 0/99)$	۱۸۷۰۱۲۰۰۰۰۰
سناریو (۶)	$(0/85, 0/79, 0/66)$	۱۸۷۰۱۲۰۰۰۰۰
سناریو (۷)	$(0/99, 0/81, 0/99)$	۱۸۷۰۱۴۰۰۰۰۰
سناریو (۸)	$(0/49, 0/29, 0/49)$	۱۸۷۰۰۷۰۰۰۰۰

انتخاب ضریب تخفیف، تأثیر مستقیم بر مقدار تابع هدف در شبکه ارتباطی دارد. از میان ضرایب تخفیف‌های موجود، ضریب تخفیف زتا (مبدأ-محور) بیشترین تأثیر را روی هزینه کلی شبکه پستی دارد. با مقایسه سناریوی (۳-۶) با سناریوی پایه، ضریب تخفیف آلفا و دلتا تأثیری در میزان تابع هدف کلی ندارد. همچنین با مقایسه سناریوی (۷) و (۸) با سناریوی اصلی نیز می‌توان مشاهده کرد، با افزایش و کاهش ضرایب تخفیف به ترتیب میزان هزینه کلی شبکه ارتباط پستی به میزان ۲۰۰۰۰۰۰ افزایش و ۵۰۰۰۰۰ کاهش یافته است.

حال با توجه به جدول (۸) تأثیر افزایش و کاهش هزینه احداث و همچنین تعداد گره‌های محور در هر یک از سطوح سلسله‌مراتب بررسی شده است، سناریوی (۱۰)، (۱۳) و (۱۶) افزایش هزینه احداث به میزان ۵۰ درصد

سلسله‌مراتب هزینه کلی کاهش می‌یابد و این موضوع به دلیل جمع‌آوری کلی تقاضاها، کاهش رفت و آمدهای بین هر دو گره و انتقال جریان کالا به صورت کلی‌تر در شبکه است.

پیشنهادات

برای بهبود و توسعه مدل پیشنهادی می‌توان مدل را با در نظر گرفتن مفروضات دیگری گسترش و توسعه داد، از جمله:

[۱] بررسی برخی از پارامترها در حالت نبود قطعیت و تغییرات ایجاد شده، بررسی این موضوع سبب نزدیک‌تر شدن مدل به آنچه که در واقعیت اتفاق می‌افتد، می‌شود.

[۲] اغلب مکان گره‌های محور از قبل مشخص است. حال اگر مکان آنها با توجه به تقاضا و مفروضات مدل بتواند تغییر کند، می‌تواند زمینه‌ساز توسعه مدل شود.

[۳] در نظر گرفتن همه ریسک‌های محیطی، اجتماعی، اقتصادی و سیاسی موجود در واقعیت و پیاده‌سازی آن.

[۴] با توجه به مطالعات انجام شده توسط رزمی و همکارش و همچنین محمدی شاد و همکارانش در سال ۱۳۹۱ و نوروزی و همکارانش در سال ۱۳۹۲ می‌توان دریافت که در نظر گرفتن مسیریابی و مسائل نقلیه سبب کاهش هزینه‌های اقتصادی و محیط‌زیستی شده و می‌تواند برای توسعه مدل مورد بررسی قرار گیرد [۲۵-۲۳].

[۵] بهبود روش‌های حل مسائل مکان‌یابی محور سلسله‌مراتبی با استفاده از روش‌های هیبرید.

هدف از این تحقیق، طراحی شبکه محور سلسله‌مراتبی برای مشخص کردن آنکه چه نوع محورهایی در مسیر انتخاب شوند و به دنبال آن چه میزان جریانی برقرار شود است. برای رسیدن به این هدف، از روش برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط غیر خطی آزاد شده استفاده شده است. از جمله نقاط قوت مدل مطرح شده، بررسی شبکه سلسله‌مراتبی با ۷ لایه در فضایی پیوسته است، این موضوع سبب نزدیک شدن به آنچه که هم‌اکنون در واقعیت در شبکه‌های پستی اتفاق می‌افتد، می‌شود. در نظر گرفتن همه پارامترهای مدل در حالت قطعی سبب دور شدن از واقعیت شده و از جمله نقاط ضعف مدل پیشنهادی است. با توجه به آنکه مسائل مکان‌یابی محور از جمله مسائل Np-Hard است، در نتیجه با افزایش تعداد کل گره‌های محوری و پیچیده‌تر شدن مسئله دیگر روش‌های حل دقیق پاسخ‌گو نیست، بنابراین نیاز است که از روش‌های حل ابتکاری و فراابتکاری برای حل مدل استفاده شود.

پس از حل مدل با استفاده از نرم‌افزار GAMS نتایج زیر به دست آمده است:

[۱] پایتخت ایران (تهران) به عنوان محور مرکزی انتخاب شود، همچنین هزینه کلی شبکه ارتباطی پستی برابر است با حدود ۱۸,۷۰۱,۲۰۰,۰۰۰ واحد هزینه.

[۲] دو پارامتر ضریب تخفیف و هزینه احداث به شدت بر هزینه اثر دارد. با کاهش ضریب تخفیف و هزینه احداث محور، مقدار هزینه کلی شبکه به شدت کاهش یافته است.

[۳] با افزایش تعداد گره‌های محورهای مرکزی شبکه

مراجع

- 1- Alumur, S. A. and Kara, B.V. (2008). "Network hub location problems: the state of the art." *European Journal of Operational Research.*, Vol. 190, No. 1, PP. 1–21.
- 2- Meyer, T., Ernst, A. T. and Krishnamoorthy, M. (2009). "A 2-phase algorithm for solving the single allocation p-hub center problem." *Computers and Operations Research.*, Vol. 36, No. 12, PP. 3143–3151.
- 3- Sahin, G. and Sural, H. (2007). "A review of hierarchical location models." *Computers & Operations Research.*, Vol. 34, No. 8, PP. 2310–2331.
- 4- Ratik, S. J., Osleeb, J. P. and Hozumi, D. (2009). "Application and extension of the Moore and Revell hierarchical Maximal Covering Model." *Social Economic Planning Sciences.*, Vol. 43, No. 2, PP. 92–101.
- 5- Mirchandani, P. B. and Odoni, A. R. (1979). "Location of medians on stochastic networks." *Transportation Science.*, Vol. 13, No. 2, PP. 85–97.
- 6- Yang, T. H. (2009). "Stochastic air freight hub location and flight routes planning." *Applied Mathematical Modelling.*, Vol. 33, No. 12, PP. 4424–4430.

- 7- Moore, G. C. and Revelle, C. (1982). "The hierarchical service location problem." *Management science.*, Vol. 28, No. 7, PP. 775–780.
- 8- O’Kelly, M. E. and Storbeck, J. E. (1984). "Hierarchical location models with probabilistic allocation." *Regional Studies.*, Vol. 18, No.2, PP. 121–129.
- 9- Verter, V. and Dincer, M. C. (1992). "An integrated evaluation of facility location, capacity acquisition, and technology selection for designing global manufacturing strategies." *European Journal of Operational Research.*, Vol. 60 , No. 1, PP. 1–18.
- 10- Narula, S. C. (1986). "Minisum Hierarchical allocation-allocation problems on a network: a survey." *Annals of Operations research.*, Vol. 6, No. 8, PP. 255–272.
- 11- Church, R. and Eaton, D. J. (1987). "Hierarchical location analysis using covering objectives. In : Gosh A , R ushton G, editor.spatial analysis and location allocation models." *New York Van Nostrand Reinhold.*
- 12- Daskin, M. S. (1995). "Network and discrete location: Models, algorithms, and applications." *New York: Wiley-Interscience.*
- 13- Jayaraman, V. (1998). "Transportation, facility location and inventory issues in distribution network design." *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management.*, Vol. 18, No. 5, PP. 471–494.
- 14- Horner, M. W. and O’Kelly. M. E. (2005). "Combined Cluster and Interaction Model: The Hierarchical Assignment Problem." *Geographical Analysis.*, Vol. 37 , No. 3, PP. 315–335.
- 15- Thomadsen, T. and Larsen, J. (2007). "A hub location problem with fully interconnected backbone and access networks." *Computers & Operations Research.*, Vol. 34 , No. 8, PP. 2520 – 2531.
- 16- Miranda, P. A., Garrido, R. A and Ceroni, J. A. (2009). "e-Work based collaborative optimization approach for strategic logistic network design problem." *Computers & Industrial Engineering.*, Vol. 57 , No. 1 , PP. 3–13.
- 17- Yaman, H. (2009). "The hierarchical hub median problem with single assignment." *Transportation Research Part B.*, Vol. 43 , No. 6, 643–658
- 18- Ben-Ayed, O. (2013). "Parcel distribution network design problem." *Oper Res Int J.*, Vol. 13, No. 2, PP. 211–232.
- 19- Alumur, S. A., Kara, B.Y. and Yaman, H. (2012). "Hierarchical multimodal hub location problem with time-definite deliveries." *Transportation Research Part E.*, Vol. 48 , No. 6, PP. 1107–1120.
- 20- Davari, S. and Zarandi, M. H. F. (2013). "The single-allocation hierarchical hub median location problem with fuzzy demands." *African Journal of Business Management.*, Vol. 195, PP. 165–181.
- 21- Eydi, A. R. and Mirakhorli, A. (2012). "Hybrid Heuristic Method Based on Genetic Algorithm for the Hub Covering Problem under Fuzzy Environment." *International Journal of Industrial Engineering & Production Management (IJIEPM).*, Vol. 23, No. 2, PP. 162–173.
- 22- Farahani, R. Z., Hekmatfar, M., Arabani, A. B., and Nikbakhsh, E. (2013). "Hub Location Problems: A Review of Models, Classification, Solution Techniques, and Applications." *Computers & Industrial Engineering.*, Vol. 64, No. 4, PP. 1096–1109.
- 23- Razmi, J. and M. Yousefi, M. (2012). "Introducing a Novel Mathematical Model for School Vehicle Routing Problem and Proposing a New Algorithm to Solve It." *Journal of Industrial Engineering (JIENG).*, Vol. 46, No. 2, PP. 185–194.
- 24- Mohammadshad, A. R. and Fattahi, P. (2012). "A Hybrid Meta-heuristic Approach for the Capacitated

Location-Routing Problem with Hard Time Windows.” *Journal of Industrial Engineering (JIENG)*, Vol. 46, No. 2, PP. 219–233.

- 25- Norouzi, N., Razmi, J. and Amalnick, M.S. (2013). “A Vehicle Routing Problem with Minimizing Fuel Consumption and Number of Vehicles by Improved Particle Swarm Optimization.” *Computers & Industrial Engineering*, Vol. 47, No. 1, PP. 105–112.

واژه‌های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

- 1- Hub Location Problem (HLP)
 - 2- Multiple Allocation
 - 3- Hierarchical Facilities Location (HFLP)
 - 4- The Maximum Coverage
 - 5- p-Median
 - 6- Transportation Cost (TC)
 - 7- Strategic Decision (SD)
 - 8- MA-Continuous p-HLP with Limited Capacity and Star Network
 - 9- Discount Factors (DF)
 - 10- Relaxed Mixed Integer Non-linear Programming (RMINLP)
-