مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال دوازدهم، شماره اول (پیاپی ٤٤)، بهار ٩٤، ص ص ٣١-٢١
شاپا ٧٢٨٦-٢٢٥١

مکان‌یابی چندگانه‌ی تسهیلات و نقاط انتقال مجروحین در زمان بحران

کریم آراسته[1]، علی بزرگی امیری[2*]، محمدسعید جبل عاملی[3]
۱-کارشناسی ارشد، دانشگاه علم و صنعت ایران، گروه مهندسی صنایع، تهران، ایران
۲- استادیار، دانشگاه تهران، پردیس دانشکده‌های فنی، گروه مهندسی صنایع، تهران، ایران
۳- استاد، دانشگاه علم و صنعت ایران، گروه مهندسی صنایع، تهران، ایران

رسید مقاله: ۲۰ مرداد ۱۳۹۳
پذیرش مقاله: ۲ دی ۱۳۹۳

چکیده
یکی از مسایل مهم در مکان‌یابی محور، مساله‌ی مکان‌یابی نقاط انتقال به عنوان نقاط جمع‌آوری مشتریان می‌باشد که به سرویس‌هایی از یک تسهیل نیازمند است. برای مثال، تقاضا برای خدمات اورژانسی به وسیله‌ی بیماران در مجموعه‌ای از نقاط تقاضا به وجود می‌آید که به خدمات یک تسهیل (نظیر بیمارستان) نیازمند است. مصدومین به محل چرخبال (نقاط انتقال) با یک سرعت معمولی منتقل و از آنجا با یک سرعت بالاتر به تسهیل منتقل می‌شوند. در این مقاله، یک مدل جدید برنامه‌ریزی عددصحیح مختلط برای مساله‌ی مکان‌یابی چند تسهیل و چند نقطه‌ی انتقال با فرض محدودیت در ظرفیت تسهیلات ارایه شده است. هدف مدل کمینه‌سازی زمان کل ارسال مصدومین در زنجیره امداد و جریمه برای عدم ارسال آن‌هاست. قابلیت انتقال هر مشتری به طور مستقیم و یا با استفاده از نقاط انتقال به تسهیل در مدل درنظر گرفته شده است. برای نشان دادن کارایی مدل پیشنهادی در عمل، مطالعه‌ی موردی از منطقه‌ی ۴ کلان شهر تهران اجرا شده است. نتایج، نشان از کارایی و سودمندی مدل پیشنهادی برای مسایل تصمیم‌گیری واقعی دارد.

کلمات کلیدی: مساله‌ی مکان‌یابی محور، مساله‌ی مکان‌یابی نقطه‌ی انتقال، برنامه‌ریزی ریاضی، برنامه‌ریزی بلایا.

۱ مقدمه
هنگام وقوع بلایا، تلاش‌ها جهت نجات و امدادرسانی می‌تواند خسارات جانی را کاهش داده، با ارایه‌ی خدمات امدادی به بازماندگان، رفاه برایشان فراهم آورد[۱]. از جمله این تلاش‌ها می‌توان به جمع‌آوری اطلاعات از مناطق آسیب‌دیده، تخلیه‌ی افراد آسیب‌دیده و مصدوم به نقاط انتقال و ارسالشان به تسهیلات بهداشت و درمان نظیر بیمارستان برای دریافت خدمات پزشکی و اورژانسی می‌باشد.

مساله‌ی مکان‌یابی نقاط انتقال و تسهیلات یکی از مهم‌ترین تصمیمات استراتژیک در حوزه‌ی مسایل مکان یابی است و بخش عظیمی از سرمایه را به خود اختصاص می دهد و نقاط انتقال و تسهیلاتی که هم اکنون استقرار

* عهده‌دار مکاتبات
آدرس الکترونیکی: alibozorgi@ut.ac.ir

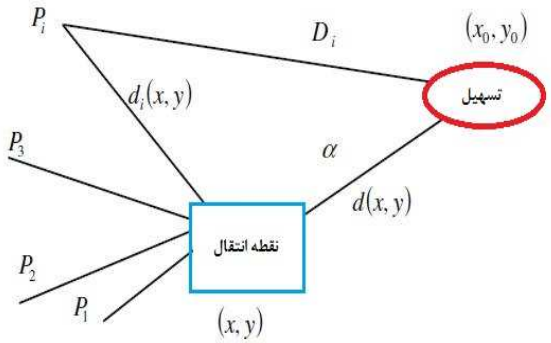
[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-30]

می یابد، انتظار می رود برای زمانی طولانی مورد استفاده قرار بگیرد؛ بنابراین، ارایه‌ی مدل ریاضی جامع، کاربردی و نزدیک‌تر به شرایط دنیای واقعی که بتواند عملکرد مناسبی داشته باشد، ضروری به نظر می‌رسد[۲].

در مساله‌ی مکان‌یابی نقاط انتقال(TPLP)، استقرار یک وسیله‌ی جدید که به تعدادی نقاط تقاضا خدمت دهی کند، بررسی می‌شود. فرض می‌شود، سرویس‌دهی به تعدادی نقطه‌ی تقاضا می‌تواند با استفاده از تاسیس یک نقطه‌ی انتقال صورت گیرد، به عنوان مثال، بیمارستانی که بیماران را از طریق یک نقطه‌ی انتقال پذیرش می کند. بیماران با استفاده از آمبولانس به منطقه‌ی پرواز (نقطه‌ی انتقال) با سرعت عادی منتقل و از آنجا با وسیله‌ای دیگر با سرعت بالاتر به بیمارستان (تسهیل) منتقل می‌شوند. مکان بیمارستان ممکن است از قبل معلوم باشد که دراین حالت، مساله تعیین مکان منطقه‌ی پرواز است. هزینه‌ی هر واحد مسافت سفر از نقطه انتقال تا تسهیل، در فاکتور کاهش آلفا ($\alpha<1$) ضرب می‌شود[۱].

در مکان‌یابی چندگانه‌ی نقطه‌ی انتقال (MLTP)، مکان تسهیلات مشخص است و گروهی از نقاط تقاضا توسط یک نقطه‌ی انتقال منفرد خدمت‌دهی می‌شود.

در مدل عمومی، هم مکان تسهیلات و هم مکان نقاط انتقال، که زمان سفر کل برای تمام مجروحین را حداقل کند، تعیین می‌شود. این مساله به نام مساله‌ی مکان‌یابی تسهیل و نقاط انتقال (FTPLP[۳]) نامیده می‌شود (شکل ۱).



شکل ۱. نمایش هندسی مساله‌ی مکان‌یابی نقاط انتقال**[۲]**

در این مسایل دو نوع رویکرد مدل‌سازی به کار گرفته شده است: ۱) رویکرد کمینه‌ی مجموع ۲) رویکرد کمینه‌ی بیشنیه. در حالت کمینه‌ی مجموع، هدف، کمینه‌سازی کل فواصل از نقاط تقاضا تا نقاط انتقال و از نقاط انتقال تا تسهیل می‌باشد. در حالت کمینه‌ی بیشینه، هدف، کمینه‌سازی بیشینه‌ی فاصله‌ی میان تسهیلات و نقاط تقاضا با استفاده از نقاط انتقال می‌باشد.

کاربردهای دیگری که برای مساله‌ی مکان‌یابی نقاط انتقال می‌توان در نظر گرفت عبارت است از:

- جهت سیستم توزیع سیستم‌های تولیدی
- جهت مکان بهینه‌ی باراندازها در یک زنجیره‌ی تامین جهانی

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-30]

- جهت مکان تخلیه‌ی اضطراری در داخل یک کارخانه‌ی تولیدی بزرگ در صورت وقوع بحرانی نظیر آتش‌سوزی
- جهت جمع‌آوری محصولات کشاورزی از کشاورزان
- جهت جمع‌آوری و توزیع محموله‌های پستی

در این مقاله، مدلی برای یافتن مکان بهینه‌ی نقاط انتقال و نیز تسهیلات مختلف ارایه می‌گردد. این مساله به نام مکان‌یابی چندگانه نقاط انتقال و تسهیلات (MFMTPLP) نام‌گذاری می‌شود. هدف مدل کمینه‌سازی هزینه‌ی کل سفر برای تمامی مشتریان (مجروحین) می‌باشد. خروجی دیگر مدل MFMTLTP، یافتن تخصیص‌های بهینه از نقاط آسیب‌دیده به نقاط انتقال و از نقاط انتقال به تسهیلات یا بیمارستان‌ها می‌باشد. در مدل پیشنهادی فرض شده که نقاط انتقال و تسهیلات دارای ظرفیت محدود برای پاسخ‌گویی به تقاضاها می‌باشند. همچنین فرض شده که به ازای مجروحین منتقل نشده از نقاط آسیب‌دیده و از نقاط انتقال به ترتیب متحمل جریمه عدم انتقال مجروحین از نقاط آسیب و نگهداشت مجروحین در نقاط انتقال می‌شویم. همچنین، قابلیت انتقال هر مجروح به طور مستقیم به تسهیل در مدل درنظر گرفته شده است. مدل پیشنهادی بر روی مطالعه‌ی موردی از منطقه چهار کلان شهر تهران اجرا شده است.

در ادامه، مقاله به صورت زیر سازمان‌دهی شده است: در بخش ۲، مروری بر ادبیات تحقیق انجام شده است. در بخش ۳، شرح مساله و مدل ریاضی پیشنهادی ارایه شده است. در بخش ۴، مطالعه‌ی موردی منطقه‌ی چهار شهرداری تهران، به همراه نتایج محاسباتی آورده شده است. نتیجه گیری و پیشنهادات جهت تحقیقات آتی در بخش ۵ بیان شده است.

۲ مروری بر تحقیقات مشابه

اولین بار مدل محور و میله چرخ برای سفر هوایی ارایه شد که در آن، هدف تعیین نقاطی بود که مسافران از این نقاط به عنوان ایستگاه‌هایی برای رسیدن به مقصدشان استفاده کنند. در مدل تجمیع انبار، مجموعه‌ای از انبارها در یک سطح [۳] یا در یک شبکه[۴] وجود دارند و خدمت‌دهنده به هر نقطه‌ی تقاضا، می‌تواند دو شیوه‌ی زیر را برای خدمت‌دهی اختیار کند: ۱) حرکت از نقاط تسهیل به مجموعه‌ی انبارها و از آن‌جا به نقاط تقاضا و بالعکس. ۲) حرکت مستقیم از تسهیل به نقاط تقاضا و توقف در مجموعه انبارها در مسیر برگشت. این مساله توسط [۵-۶] به مکان‌یابی چندگانه‌ی تسهیلات در یک شبکه بسط داده شده است. در مساله‌ی مکان‌یابی سفر رفت و برگشت [۷-۸] خدمت از تسهیل شروع می‌شود، دو نقطه‌ی تقاضا را به طور متوالی بازدید می‌کند و به تسهیلات برمی گردد. در مساله‌ی مکان‌یابی فروشنده‌ی دوره‌گرد [۹-۱۱]، یک سفر ممکن است شامل یک دیدار به بیش‌تر از دو نقطه‌ی تقاضا باشد [۱۲]. برمن و هوانگ در سال ۲۰۰۵ یک مدل شامل ترکیب مراکز پایانه‌ها یا مراکز انتقال کالا از یک وسیله به وسیله‌ی دیگر ارایه دادند که نقشی شبیه به نقطه‌ی انتقال در شبکه حمل و نقل ایفا می کند[۱۳] . برمن و همکاران در سال ۲۰۰۷ مساله‌ی مکان‌یابی نقاط انتقال را ارایه دادند. مدل پیشنهادی‌شان در شرایطی بود که نقطه‌ی یک تسهیل معلوم بود و بنا بود مکان بهینه‌ی یک مرکز انتقال تعیین شود [۱۴]. برمن و

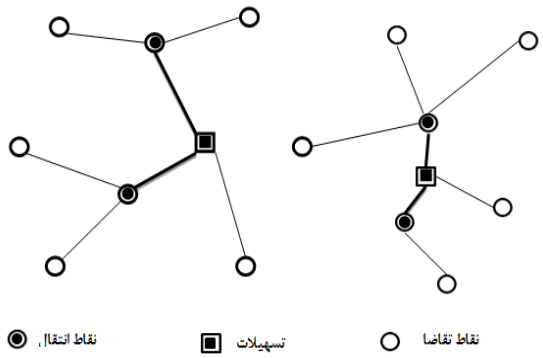
[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-30]

همکاران در سال ۲۰۰۸ مدل مکان‌یابی چندگانه‌ی نقاط انتقال (MLTP) را تجزیه و تحلیل کردند و روش‌های حل ابتکاری برای حل مساله ارایه داده‌اند[۱۵]. ساساکی و همکاران در سال ۲۰۰۸ مدل‌های عمومی مکان‌یابی چندگانه‌ی نقطه‌ی انتقال و مساله‌ی مکان‌یابی تسهیل و نقاط انتقال را بررسی کردند که مکان‌یابی چندین تسهیل را نیز امکان‌پذیر می‌نمود؛ اما آن‌ها ارتباط مستقیم بین نقاط آسیب و تسهیلات را درنظر نگرفتند. مکان تسهیلات در مساله‌ی مکان‌یابی چندگانه‌ی نقاط انتقال داده می‌شود؛ اما مکان‌های بهینه‌ی تسهیلات و نقاط انتقال باید در مساله‌ی مکان‌یابی تسهیل و نقاط انتقال انتخاب شود [۱۶].

با توجه به مطالعات صورت گرفته در مدل‌ها، تنها کمینه‌سازی هزینه‌های زمان مطرح شده است در صورتی که می‌توان هزینه‌های جریمه‌ی دیگری مانند هزینه‌ی جریمه‌ی عدم انتقال مصدومین از نقاط انتقال و نقاط آسیب را نیز لحاظ نمود که در مدل پیشنهادی لحاظ شده است. هم‌چنین محدودیت‌های دنیای واقعی در این مدل‌ها درنظر گرفته نشده است و فرض شده است که تسهیلات و نقاط انتقال دارای ظرفیت نامحدود می‌باشد، در صورتی که در دنیای واقعی دارای ظرفیتی محدود برای این نقاط می‌باشیم.

۳ تشریح مساله

در این مقاله یک سیستم سلسله مراتبی در یک شبکه متشکل از دو سطح بررسی می‌شود که در آن نقاط انتقال و تسهیلات در هر سطح قرار دارند (شکل ۲). امکان انتقال مشتریان به تسهیلات هم به طور مستقیم و هم از طریق نقاط انتقال وجود دارد. زمان سفر روی خطوط میان نقاط انتقال و تسهیلات به خاطر استفاده از سیستم حمل‌ونقل سریع‌تر، کم‌تر از سایر خطوط می‌باشد (به خطوط تیره در شکل ۲ نگاه کنید).



شکل ۲. سیستم سلسله مراتبی در یک شبکه مرکب از دو سطح[۱۶]

فرض کنید N مجموعه‌ی گره‌های موجود در شبکه باشد $(|N|=n)$ که شامل سه مجموعه‌ی I , J , K است $(N = I \cup J \cup K)$. فاکتور نرخ کاهش زمان (α) مقادیر بین صفر و یک را اختیار می‌کند $(0 < \alpha < 1)$؛ بنابراین می‌توان، زمان سفر بین نقطه‌ی انتقال j و تسهیل k را به صورت αt_{jk} نشان داد.

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-30]

۳-۱ اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای مساله

- اندیس‌ها:

i: شاخص نقاط تقاضا

j : شاخص نقاط انتقال

k : شاخص نقاط تسهیل

- پارامترها:

d_i : مقدار تقاضای گره i

t_{ij}: زمان سفر میان نقطه‌ی تقاضا i و نقطه انتقال j

t_{ik}: زمان سفر میان نقطه‌ی تقاضا i و تسهیل k

Cap_j: میزان ظرفیت نقطه‌ی انتقال j

Cap_k: میزان ظرفیت نقطه‌ی تسهیل k

π_i : هزینه‌ی عدم پاسخ‌گویی به تقاضا در نقاط تقاضا $i \in I$

h_j : هزینه‌ی عدم پاسخ‌گویی به تقاضا در نقاط انتقال $j \in J$

p : تعداد نقاط انتقال جهت انتخاب

q: تعداد نقاط تسهیل جهت انتخاب

- متغیرها:

Z_j : برابر یک است اگر گره‌ی $j \in J$ به عنوان یک نقطه‌ی انتقال انتخاب شود؛ در غیر این صورت برابر صفر است.

W_k: برابر یک است اگر گره‌ی $k \in K$ به عنوان یک تسهیل انتخاب شود، در غیر این‌صورت برابر صفر است.

ϕ_{ij}: حجم جریان میان نقطه‌ی تقاضا و نقطه‌ی انتقال.

ψ_{jk}: حجم جریان میان نقطه‌ی انتقال و تسهیل.

δ_{ik}: حجم جریان میان نقطه‌ی تقاضا و تسهیل.

S_j : میزان تقاضایی که در نقطه‌ی انتقال j پاسخ داده نشده و نگهداری می‌شود.

B_i: میزان تقاضایی از نقطه‌ی تقاضای i که به آن پاسخ داده نمی‌شود.

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-30]

۳-۲ مدل ریاضی

$$Min \sum_{i\in I}\sum_{j\in J} t_{ij}\phi_{ij} + \alpha\sum_{j\in J}\sum_{k\in K} t_{jk}\psi_{jk} + \sum_{i\in I}\sum_{k\in K} t_{ik}\delta_{ik} + \beta(\sum_{i\in I}\pi_i B_i + \sum_{j\in J} h_j S_j) \quad (۱)$$

s.t.

$$\sum_{i\in I}\phi_{ij} = \sum_{k\in K}\psi_{jk} + S_j \qquad j\in J \quad (۲)$$

$$\sum_{j\in J}\phi_{ij} + \sum_{k\in K}\delta_{ik} + B_i = d_i \qquad i\in I \quad (۳)$$

$$\sum_{i\in I}\phi_{ij} \le Cap_j Z_j \qquad j\in J \quad (۴)$$

$$\sum_{k\in K}\psi_{jk} \le MZ_j \qquad j\in J \quad (۵)$$

$$\sum_{j\in J}\psi_{jk} + \sum_{i\in I}\delta_{ik} \le Cap_k W_k \qquad k\in K \quad (۶)$$

$$\sum_{j\in J} Z_j = p \quad (۷)$$

$$\sum_{k\in K} W_k = q \quad (۸)$$

$$\phi_{ij} \ge ۰ \qquad i\in I,\ j\in J \quad (۹)$$

$$\psi_{jk} \ge ۰ \qquad j\in J,\ k\in K \quad (۱۰)$$

$$S_j \ge ۰, \qquad j\in J \quad (۱۱)$$

$$B_i \ge ۰, \qquad i\in I \quad (۱۲)$$

$$Z_j \in \{۰,۱\} \qquad j\in J \quad (۱۳)$$

$$W_k \in \{۰,۱\} \qquad k\in K \quad (۱۴)$$

تابع هدف (۱) شامل دو جزء می‌باشد: جزء اول نشان‌دهنده‌ی مجموع کل زمان سفر در طول شبکه است و جزء دوم مربوط به جریمه‌ی عدم پاسخگویی به تقاضا (افراد آسیب‌دیده) می‌باشد که برای همسان‌سازی واحدهای دو جزء تابع هدف از ضریب (β)، استفاده شده است. محدودیت‌های (۲) و (۳) محدودیت‌های تعادلی جریان در نقاط انتقال و نقاط تقاضا می‌باشد. محدودیت (۴) بیانگر محدودیت ظرفیت در نقاط انتقال است. محدودیت (۵) تضمین می‌کند در صورتی جریان از نقطه‌ی انتقال وجود دارد که تاسیس شده باشد. محدودیت (۶) بیانگر محدودیت ظرفیت در نقاط تسهیل می‌باشد. محدودیت‌های (۷) و (۸) الزام می‌کند که دقیقا p نقطه‌ی انتقال و q تسهیل باید انتخاب شود. محدودیت‌های (۹)-(۱۴) محدودیت‌های مربوط به غیرمنفی بودن و صفر و یک بودن متغیرهاست.

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-30]

٤ مطالعه‌ی موردی

در این بخش، جهت نشان‌دادن کاربردپذیری و سودمندی مدل پیشنهادی، منطقه‌ی ۴ شهرداری تهران به عنوان مطالعه‌ی موردی بررسی و مدل بر روی آن اجرا شده و نتایج و تحلیل حساسیت در ادامه آورده شده است.

٤-١ تشریح مطالعه‌ی موردی

منطقه‌ی ۴ شهرداری تهران به عنوان یکی از پرجمعیت‌ترین، وسیع‌ترین، مهاجرپذیرترین، پرساخت و سازترین، دارنده‌ی بزرگترین حریم با دارا بودن پارک جنگلی لویزان و همچنین با ویژگی‌هایی چون وجود نابرابری اجتماعی- اقتصادی شدید ، جوان بودن میانگین سنی جمعیت، وجود اقشار آسیب‌پذیر در محله‌هایی همچون خاک سفید، شمیران نو، شیان و ... از سایر محله‌های تهران قابل تمایز و تفکیک است[۱۸].

این منطقه‌ی شهرداری تهران به بیست محله بر حسب تقسیمات شهرداری، تقسیم‌بندی شده است. با توجه به نظرسنجی از خبرگان و کارشناسان شهرداری، میزان تقاضای هر محله بر اساس مجموع مجروحین، در حالت زلزله‌ای به بزرگی ۷ ریشتر، در جدول ۱ تخمین زده شده است. میزان تقاضای هر یک از محله‌ها از ضرب جمعیت آن محله در احتمال آسیب‌پذیری آن محله حاصل می‌شود که این احتمال وابسته به فاکتورهایی نظیر ۱) شدت بحران ۲) نوع بحران ۳) بافت آن محله می‌باشد. محله‌های موردنظر به عنوان نقاط تقاضا (نقاط آسیب) در نظر گرفته شده‌اند. با بررسی‌های انجام شده و نظرسنجی از خبرگان و برنامه‌ریزان شهرداری، ۹ نقطه در این منطقه به‌نام‌های فرهنگ‌سرا، پارک پلیس، علم و صنعت، دانشگاه آزاد تهران-شمال، پایگاه مدیریت بحران (خ. افشاری و گیلان)، مدرسه‌ی دولتی امت، شرکت واحد اتوبوس‌رانی، پایگاه مدیریت بحران (خ. عراقی) و زمین چمن نیروی دریایی به عنوان نقاط انتقال در نظر گرفته شده است و فاصله‌ی مراکز تقاضا تا نقاط انتقال محاسبه شده است.

جدول ۱. تعداد مجروحین در هر محله

نام محله (نقطه تقاضا)	مجموع مجروحین	نام محله (نقطه تقاضا)	مجموع مجروحین
نارمک	۱۶۰۵	اوقاف	۲۴۹۳
جوادیه۴	۳۳۷۳	شمس‌آباد و مجیدیه	۲۶۰۲
علم و صنعت	۲۲۰۶	کوهسار۴	۲۹۸۸
کالاد	۴۹۲	مجیدآباد	۱۵۶۸
خاک سفید	۴۷۵۹	قنات کوثر	۹۹۵
تهران‌پارس شرقی	۷۹۷۲	قاسم‌آباد و ده نارمک	۱۱۳۲
حکیمیه	۳۶۵۶	شمیران نو	۴۷۹۲
تهران‌پارس غربی	۲۹۶۳	شهرک ولی عصر، شیان ولویزان	۱۷۰۷
مهران	۱۳۹۴	مبارک‌آباد و حسین‌آباد	۲۶۵۸
کاظم‌آباد	۱۲۶۲	ضرابخانه و پاسداران	۱۲۴۰

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-30]

همچنین ۹ بیمارستان موجود در منطقه و مناطق مجاور به‌نام‌های آرش، تخصصی بینا، تهران‌پارس، الغدیر، لبافی نژاد، گلستان، هاشمی‌نژاد، خاتم‌الانبیا و ولیعصر به عنوان تسهیل در نظر گرفته شده است و فاصله‌ی تسهیل تا مراکز تقاضا و همچنین نقاط انتقال نیز به‌دست آمده است.

٤-٢ نتایج حل و یافته‌ها

مساله‌ی مورد نظر با استفاده از نرم افزار GAMS بر روی کامپیوتری با مشخصات PC Pentium IV-3 GHz and 1GB RAM DDR2 under Win Vista اجرا شد. نتایج حل در شکل (۳) نشان داده شده است. در این‌حالت مقدار تابع هدف برابر $1.13632*10^{8}$ شده است و نقاط خیابان افشاری، خیابان عراقی، دانشگاه علم و صنعت و دانشگاه آزاد تهران-شمال به عنوان نقاط انتقال انتخاب شده است. همچنین بیمارستان الغدیر، بیمارستان تهران-پارس و بیمارستان آرش به عنوان نقاط تسهیل در نظر گرفته شده است.



خطوط آبی نشان‌دهنده‌ی انتقال تقاضا از نقاط تقاضا به نقاط انتقال
خطوط قرمز نشان‌دهنده‌ی انتقال تقاضا از نقاط انتقال به نقاط تسهیل
خطوط سیاه نشان‌دهنده‌ی انتقال تقاضا از نقاط تقاضا به نقاط تسهیل

شکل ۳. نتایج حاصل از حل مدل برای منطقه‌ی ۴ شهرداری تهران

همان‌طور که شکل (۳) نشان می‌دهد، محله‌های حکیمیه و کوهسار از نقطه‌ی انتقال دانشگاه آزاد تهران شمال برای انتقال مجروحین به بیمارستان آرش استفاده کرده است. محله‌های شمس‌آباد و مهران از خیابان عراقی برای انتقال مجروحین به بیمارستان الغدیر استفاده کرده است. محله‌های مبارک‌آباد، کاظم‌آباد و پاسداران نیز از خیابان افشاری به عنوان نقطه‌ی انتقال استفاده کرده است. مجروحین انتقال داده شده از محله‌های مبارک‌آباد، کاظم‌آباد و پاسداران به خیابان افشاری، به بیمارستان‌های الغدیر و تهران‌پارس منتقل می‌شوند و از بقیه‌ی محله‌ها، بیماران

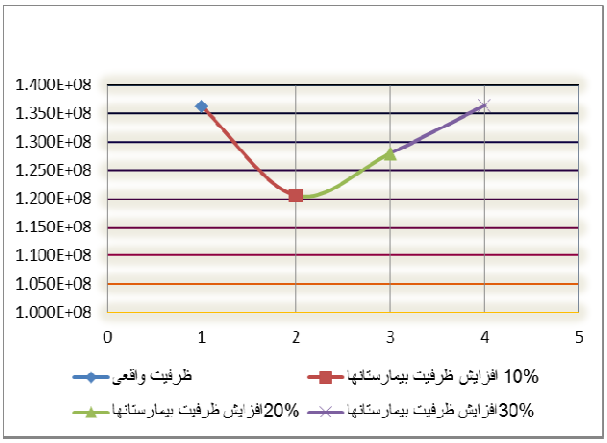
[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-30]

به‌طور مستقیم به تسهیلات انتقال داده می‌شوند. باتوجه به شکل (۳)، بیماران از نقطه‌ی انتقال خیابان افشاری به تعداد ۱۷۵۴ نفر به بیمارستان تهران‌پارس و تعداد ۳۴۰۶ نفر به بیمارستان الغدیر منتقل می‌شوند. همچنین، از محله‌ی اوقاف به‌طور مستقیم به تعداد ۱۱۹۴ نفر به بیمارستان آرش و تعداد ۱۲۹۸ نفر به بیمارستان الغدیر منتقل می‌شوند. در ادامه تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای اصلی مدل انجام شده است.



شکل ٤. تحلیل حساسیت نسبت به تغییرات تقاضا

در شکل ۴ میزان تغییرات تابع هدف به ازای تغییرات در تعداد مجروحین بررسی شد. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود با افزایش (کاهش) تقاضا مقدار تابع هدف افزایش (کاهش) می‌یابد. به عنوان مثال، افزایش ۵ درصدی در تقاضا سبب افزایش ۱۰ درصدی در میزان تابع هدف شده است و با افزایش ۲۰ درصدی در مقدار تقاضا، ۴۸ درصد مقدار تابع هدف افزایش یافته است. به همین ترتیب می‌توان برآوردی از میزان افزایش یا کاهش تابع هدف به ازای تغییرات محتمل در تقاضا را در شکل ۴ مشاهده کرد.



شکل ۵. تحلیل حساسیت نسبت به تغییرات ظرفیت بیمارستان ها

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-30]

در ادامه هزینه‌های سیستم در مقایسه با تغییر در ظرفیت تسهیلات بررسی شد. همان‌طور که در شکل (۵) ملاحظه می‌شود با افزایش و توسعه‌ی ظرفیت بیمارستان‌ها هزینه‌های کل کاهش می‌یابد. از آن‌جایی که افزایش ظرفیت بیمارستان‌ها نیز دارای هزینه می‌باشد. با توجه به شکل فوق با افزایش ۱۰٪ ظرفیت بیمارستان‌ها، هزینه‌ی کل کاهش می‌یابد؛ اما بیش از ۱۰٪ افزایش ظرفیت بیمارستان‌ها مقرون به صرفه نمی‌باشد و هزینه‌ی کل افزایش می‌یابد.

۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی

در این مقاله، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی عددصحیح مختلط برای مساله‌ی مکان‌یابی چندتسهیل و چندنقطه‌ی انتقال ارایه شده است به طوری‌که امکان انتقال هر مجروح به طور مستقیم یا از طریق نقاط انتقال به تسهیل درنظر گرفته شده بود. مدل پیشنهادی جریمه‌ی عدم ارسال مجروحین از نقاط آسیب‌دیده و از نقاط انتقال را نیز با فرض وجود محدودیت ظرفیت درنظر می‌گرفت. مدل پیشنهادی با استفاده از روش حل شاخه و کران بر روی منطقه‌ی چهار شهر تهران اجرا شد. نتایج محاسباتی، نشان از کارایی مدل پیشنهادی برای کاربرد در مسایل واقعی دارد و می‌تواند به برنامه‌ریزان مدیریت بحران در تصمیم‌گیری کمک نماید.

جهت مطالعات آتی می‌توان موارد زیر را پیشنهاد کرد: (۱) ملاحظه‌ی عدالت در امدادرسانی و انتقال مجروحین، (۲) مدل‌سازی مساله در شرایط عدم‌قطعیت در پارامترهایی نظیر میزان و نوع افراد آسیب‌دیده و زمان سفر، (۳) ارایه‌ی روش‌های ابتکاری و فراابتکاری برای حل مسایل با اندازه‌های بزرگ‌تر.

منابع

[۱] برزین پور، ف.، صفاریان، م.، تیموری، ا.، (۱۳۹۳). الگوریتم فراابتکاری برای حل مدل برنامه ریزی چندهدفه مکانیابی و تخصیص سه سطحی در لجستیک امداد. مجله تحقیق در عملیات و کاربردهای آن، ۱۱(۲)، ۵۰-۲۷.

[۱۸] سبزعلیان، م.، بقیری، م.، (۱۳۸۸). کتاب ۴: بانک اطلاعات شهرداری منطقه ۴، قویدل، مصطفی، پرستا، تهران، ویرایش اول.

[2] Berman, O., Drezner, Z., Wesolowsky, G. O., (2007). The transfer point location problem. European Journal of Operational Research 179, 978-989.

[3] Drezner, Z., Wesolowsky, G. O., (2001). On the collection depots location problem. European Journal of Operation Research, 130, 510-518.

[4] Berman, O., Drezner, Z., Wesolowsky, G. O., (2002). The disposal depots location problem on networks. Naval Research Logistics, 49, 15-24.

[5] Berman, O., Huang, R., (2004). The mini-sum collection depots location problem with multiple facilities on networks. Journal of Operational Research Society, 55, 769–779.

[6] Tamir, A., Halman, N., (2005). One-Way and Round-Trip Center Location Problems. Discrete Optimization, 2, 168-184.

[7] Chan, A. W., Hearn, D. W., (1977). A rectilinear distance round-trip location problem. Transportation Science, 11, 107–123.

[8] Drezner, Z., Wesolowsky, G. O., (1982). A trajectory approach to the round-trip location problem. Transportation Science, 16, 56–66.

[9] Burness, R. C., White, J. A., (1976). The traveling salesman location problem, Transportation Science, 10, 348–360.

[10] Berman, O., Simchi-Levi, D., (1988). Mini-sum location of traveling salesman on simple networks. European Journal of Operations Research 36, 241–250.

[11] Bertsimas, D. J., (1989). Traveling salesman facility location problems. Transportation Science, 23, 184–191.

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-30]

[12] Lapierre, S. D., Ruiz, A. B. Solarno, P., (2004). Designing distribution networks: formulation and solution heuristic. Transportation Science, 38, 174–187.
[13] Berman, O., Drezner, Z., Wesolowsky, G. O., (2005). The facility and transfer points location problem. International Transactions In Operational Research, 12, 387-402.
[14] Berman, O., Drezner, Z., Wesolowsky, G. O., (2007). The transfer point location problem. European Journal of Operational Research, 179, 978-989.
[15] Berman, O., Drezner, Z., Wesolowsky, G. O., (2008). The multiple locations of transfer points. Journal of the Operational Research Society, 59, 805-811.
[16] Sasaki, M., Furuta, T., Suzuki, A., (2008). Exact optimal solutions of the mini sum facility and Transfer points Location problems on a network. International Transactions in Operational Research, 15, 295-306.
[17] Furuta, T., Tanaka, K., (2013). Minisum and Minimax Location Models For Helicopter Emergency Medical Service Systems. The Operations Research Society of Japan, 56, 221-242.

[Downloaded from mail.jorlu.ir on 2026-11-30]