International Journal of Industrial Engineering & Production Management (2016)
September 2016, Volume 27, Number 3
pp. 403-417

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

A Location-Allocation Model for Evacuation and Relief Distribution in Response Phase

Ali Bozorgi-Amiri*, Fatemeh Sabouhi, Zeynab Sadat Tavakoli & Niloufar Moradhaseli

Ali Bozorgi-Amiri, *School of Industrial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran*
Fatemeh Sabouhi, *Department of Industrial Engineering, Iran University of Science & Technology, Tehran, Iran*
Zeynab Satad Tavakoli, *Department of Industrial Engineering, Iran University of Science & Technology, Tehran, Iran*
Niloufar Moradhaseli, *Department of Industrial Engineering, Iran University of Science & Technology, Tehran, Iran*

Keywords

Transfer point,
Hub,
Shelter,
Disaster relief

ABSTRACT

Every year, natural disasters or man-made accidents can cause many problems for communities. Planning for basic actions can reduce these damages. The main relief services such as transferring injured people to medical facilities, evacuating healthy people from affected areas to safe places and providing relief items for them has been considered in this article. We propose a mixed integer linear programming model to determine the location of transfer points and shelters with considering capacity constraint for facilities. The objective of the model is to minimize the total times of evacuation of the people and distribution of relief items. To demonstrate the efficiency and applicability of the proposed model, we select the fourth region of Tehran municipal as a case study, run the model on it and do sensitivity analysis on main parameters.

© 2016 IUST Publication, IJIEPM Vol. 27, No. 3, All Rights Reserved

نشـــریه بین المللـــی مهنـــدسی صنـــایع و مدیـــریت تولیـــد

شمـــاره ۳، جلـــد ۲۷، پاییز ۱۳۹۵

صفحـــه ۴۱۷-۴۰۴

نشریه بین المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید دانشگاه علم و صنعت ایران

ISSN: 2008-4870

http://IJIEPM.iust.ac.ir/

ارائه‌ی مدل مکان‌یابی - تخصیص برای تخلیه‌ی افراد و توزیع کمک‌های امدادی در فاز پاسخ به بحران

علی بزرگی امیری*، فاطمه صبوحی، زینب السادات توکلی و نیلوفر مرادحاصلی

کلمات کلیدی

نقطه انتقال،
هاب،
پناهگاه،
امداد بلایا

چکیده:

هر ساله وقوع بلایای طبیعی یا حوادث ساخته‌ی دست بشر، مشکلات بسیاری را برای جوامع ایجاد می‌کنند. برای کاهش خسارات ناشی از این حوادث، باید مجموعه‌ایی از اقدامات اساسی برنامه‌ریزی شوند. در این مقاله مهم‌ترین خدمات امدادی شامل انتقال مصدومان به مراکز درمانی، تخلیه‌ی افراد سالم از نقاط حادثه دیده به مکان‌های امن و تأمین اقلام مورد نیاز آن‌ها در نظر گرفته شده است. جهت تحقق این اهداف، یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی خطی عدد صحیح مختلط برای مکان‌یابی نقاط انتقال و پناهگاه‌ها با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت برای تسهیلات ارائه شده است. در این مدل ریاضی، هدف کمینه‌سازی کل زمان تخلیه‌ی افراد و توزیع اقلام امدادی است. سپس برای نشان دادن کارایی مدل پیشنهادی، منطقه‌ی چهار تهران به عنوان مطالعه‌ی موردی مورد بررسی قرار گرفته، مدل بر روی آن اجرا و نتایج و تحلیل حساسیت گزارش شده است.

۱. مقدمه

وقوع حوادث غیرمترقبه و سوانح طبیعی، معمولا با خسارات جانی و مالی زیادی همراه بوده است. تلاش‌ها در این راستا می‌تواند در دو بخش تخلیه‌ی افراد از مناطق حادثه دیده و رساندن کالاها جهت رفع احتیاجات اولیه‌ی افراد انجام شود. با انتقال به موقع افراد مصدوم به بیمارستان و افراد سالم به پناهگاه می‌توان به میزان قابل توجهی از شدت خسارات کاست. یکی از راه‌های رسیدن به این اهداف استفاده از هاب- در شرایط بحران با عنوان نقطه‌ی انتقال - است که میان نقاط حادثه دیده و بیمارستان‌ها قرار می‌گیرند و با ایجاد اتصالات غیرمستقیم و تسهیل در امر انتقال، موجب صرفه‌جویی زمان می‌شود. بنابراین مکان‌یابی نقاط انتقال و پناهگاه‌ها جزء تصمیمات استراتژیک و از مهم‌ترین اقدامات قبل از وقوع حادثه است. مسائل مرتبط با نقاط انتقال عبارتند از :

۱. مسأله‌ی مکان‌یابی نقطه‌ی انتقال (TPLP[1]) : در این حالت مکان تسهیلات مشخص است و یک نقطه‌ی انتقال وجود دارد و نقاط تقاضا می‌توانند توسط نقطه‌ی انتقال از تسهیلات خدمت بگیرند. در این مسأله هدف تعیین مکان نقطه‌ی انتقال است [۴].

۲. مسأله‌ی مکان‌یابی چندگانه‌ی نقطه‌ی انتقال (MLTP[2]) : در این حالت مکان تسهیلات مشخص هستند و بیش از یک نقطه‌ی انتقال وجود دارد و هر نقطه‌ی تقاضا می‌تواند توسط یک نقطه‌ی انتقال از تسهیلات خدمت بگیرد. در این مسأله هدف تعیین مکان نقاط انتقال است [۵].

۳. مسأله‌ی مکان‌یابی تسهیل و نقاط انتقال (FTPLP[3]) : در این حالت مکان تسهیلات و نقاط انتقال از قبل مشخص نیست و بیش از یک نقطه‌ی انتقال وجود دارد و هر نقطه‌ی تقاضا می‌تواند توسط یک نقطه‌ی انتقال از تسهیلات خدمت بگیرد. در این مسأله هدف تعیین مکان نقاط انتقال و تسهیلات است [۶].

تاریخ وصول: ۹۳/۰۸/۰۳

تاریخ تصویب: ۹۴/۰۲/۰۹

فاطمه صبوحی، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران.
sabouhi@ind.iust.ac.ir

زینب السادات توکلی، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران.
zs_tavakoli@ind.iust.ac.ir

نیلوفر مرادحاصلی، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران.
moradhaseli@ind.iust.ac.ir

*نویسنده مسئول مقاله: **دکتر علی بزرگی امیری**، دانشکده مهندسی صنایع، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران. Alibozorgi@ut.ac.ir

اولین بار مدل محور و میله‌ی چرخ برای سفر هوایی ارائه 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 [۵] یا در یک شبکه [۶] وجود دارند و خدمت‌دهنده به هر نقطه‌ی تقاضا، می‌تواند دو شیوه 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 مجموعه‌ی انبارها در مسیر برگشت. این مسأله توسط [۷-۸] به مکان‌یابی چندگانه‌ی تسهیلات در یک شبکه بسط داده شده است. در مسأله‌ی مکان‌یابی سفر رفت و برگشت، [۹-۱۰] خدمت از تسهیل شروع می‌شود دو نقطه‌ی تقاضا را به طور متوالی بازدید می‌کند و به تسهیل بر می‌گردد. در مسأله‌ی مکان‌یابی فروشنده‌ی دوره‌گرد [۱۱-۱۳]، یک سفر ممکن است شامل یک دیدار به بیشتر از دو نقطه‌ی تقاضا باشد. لیپر و همکاران در سال ۲۰۰۴ یک مدل شامل ترکیب مراکز پایانه‌ها یا مراکز انتقال کالا از یک وسیله به وسیله‌ی دیگر ارائه دادند که نقشی شبیه به نقطه‌ی انتقال را در شبکه‌ی حمل و نقل ایفا می‌کند [۱۴]. ساساکی و همکاران در سال ۲۰۰۸ مدل‌های عمومی مکان‌یابی چندگانه‌ی نقطه‌ی انتقال و مسأله‌ی مکان‌یابی چندین تسهیل را بررسی کردند اما ارتباط مستقیم بین نقاط آسیب دیده و تسهیلات را درنظر نگرفتند و تنها به مکان‌یابی تسهیل و نقاط انتقال پرداختند [۱۵]. در مطالعات پیشین مسائل در حالت قطعی بررسی شدند اما حسین‌جو و بشیری در سال ۲۰۱۲ روش‌های مختلفی برای حل مسأله‌ی مکان‌یابی چندگانه‌ی نقطه‌ی انتقال مطرح کردند و محل نقاط انتقال را در حالت تصادفی تعیین کردند [۱۶]. در سال ۲۰۱۳ فوروتا و تاناکا با مکان‌یابی نقاط انتقال و ایستگاه‌های هلی‌کوپتر جهت امدادرسانی بهتر و سریع‌تر در شرایط بحران، دو مدل را با هدف حداقل کردن زمان ارائه‌ی خدمات و همچنین حداقل نمودن حداکثر زمان خدمت‌رسانی بررسی نمودند [۱۷]. در سال ۲۰۱۳ گوابا لی و همکارانش با ادغام مدل صف‌بندی هاب و مدل‌های مکان‌یابی - تخصیص، مدل هاب‌های چندگانه را با در نظر گرفتن محدودیت ظرفیت ارائه کردند [۱۸]. کلانتری و همکارانش در سال ۲۰۱۴ مدل‌های مکان‌یابی نقاط انتقال را در حالت تصادفی و با رویکرد فازی در نظر گرفتند و در این راستا یک مدل برنامه‌ریزی غیرخطی بدون محدودیت فازی را توسعه دادند [۱۹]. بزرگی و همکاران در سال ۱۳۹۰رویکرد جدید برنامه‌ریزی امکانی چند هدفه را برای مدل‌سازی مسأله‌ی سیستم توزیع امداد با در نظر گرفتن تقاضا، عرضه، هزینه‌های راه اندازی و هزینه‌های حمل و نقل نادقیق ارائه کردند و یک رویکرد حل برنامه‌ریزی فازی تعاملی دو مرحله‌ای پیشنهاد دادند [۱]. آراسته در مطالعات خود با مکان‌یابی بیمارستان‌ها و نقاط انتقال و هم‌چنین الویت پوششی نقاط تقاضا، هزینه‌هایی مانند جریمه‌ی عدم انتقال مصدومین از نقاط انتقال و نقاط آسیب‌دیده و زمان انتقال مصدومین را کمینه کرد [۳]. نجفی و عشقی یک مدل ریاضی جهت انجام برنامه‌ریزی لجستیکی با هدف بهبود در نتایج اقدامات پاسخ به زلزله ارائه دادند تا از این طریق بتوانند تصمیمات مناسبی را برای حمل مصدومان و کالاها اتخاذ نمایند تا بهترین استفاده از منابع صورت پذیرفته و بیشترین کارایی حاصل گردد [۲].

در مطالعات صورت گرفته در مقاله‌های پیشین، تنها به افراد مجروح توجه شده است. در این مقاله علاوه بر مکان‌یابی نقاط انتقال، مکان‌یابی پناهگاه‌هایی برای اسکان افراد سالم در نظرگرفته شده است. همچنین جهت رسیدگی و رفع احتیاجات اولیه‌ی افراد سالم انبارهایی لحاظ گردیده تا بتوانند کالاهای مورد نیاز این افراد، نظیر آب، غذا، پتو و ... را تأمین کنند. برای این که مسأله به مسأله‌ی دنیای واقعی نزدیک‌تر شود برای نقاط انتقال، پناهگاه‌ها، بیمارستان‌ها و انبارها، به محدودیت ظرفیت هم توجه شده تا بتوان برنامه‌ریزی بهتری برای بحران انجام داد.

در ادامه، ساختار مقاله به صورت زیر تنظیم گردیده است: در بخش دوم تشریح مسئله‌ی مورد بررسی، در بخش سوم مدل‌سازی ریاضی مسئله، مطالعه‌ی موردی منطقه‌ی چهار شهرداری تهران در بخش چهارم، نتایج حل در بخش پنجم و در بخش ششم، نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی ارائه شده است.

۲. تشریح مسأله

در زمان وقوع شرایط بحرانی مانند سیل، زلزله، جنگ و ... یکی از اهداف مهم، انتقال افراد مجروح از مناطق آسیب‌دیده به بیمارستان‌ها در کمترین زمان ممکن می‌باشد. مناطق آسیب‌دیده به نام نقاط تقاضا شناخته می‌شوند که با توجه به بافت هر منطقه شدت خسارات در آن‌ها متفاوت است. انتقال مجروحان از نقاط تقاضا بنابر بعد مسافت و شرایط مجروح، می‌تواند به طور مستقیم به وسیله‌ی آمبولانس و یا به دلیل بیش‌تر بودن سرعت هلی‌کوپتر نسبت به سرعت آمبولانس به طور غیر مستقیم، از طریق نقاط انتقال به بیمارستان صورت گیرد. به عبارتی اگر فاصله‌ی بین نقاط حادثه دیده تا بیمارستان‌ها به اندازه‌ای باشد که وخامت حال مصدوم را بیشتر نکند می‌بایست انتقال از نقطه‌ی حادثه دیده به بیمارستان به وسیله‌ی آمبولانس صورت بگیرد. در غیر این صورت انتقال مجروحان از طریق نقاط انتقال انجام می‌شود. بدین ترتیب که

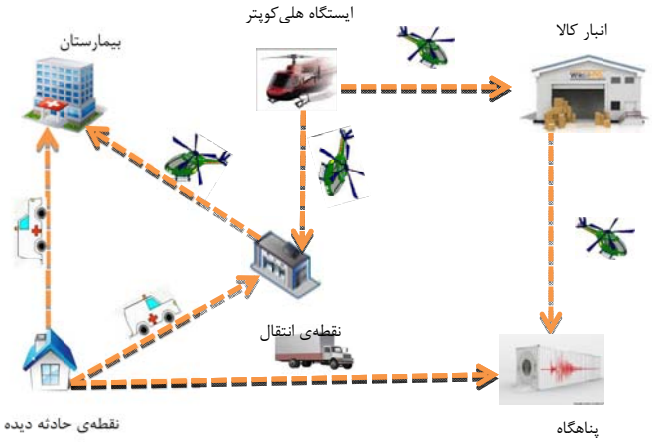
خدمه‌ی آمبولانس در محل حادثه برای اعزام مجروحان به بیمارستان درخواست هلی‌کوپتر می‌کنند و در همان زمان هلی‌کوپتر مستقر در ایستگاه هلی‌کوپتر به سمت آن مناطق پرواز می‌کند و هم‌زمان آمبولانس مجروحان را به نقاط انتقال منتقل می‌کند، در این محل‌ها مجروحان در صورت امکان و اشباع نشدن ظرفیت بیمارستان‌ها به وسیله‌ی هلی‌کوپتر، به آن مکان‌ها منتقل می‌شوند و در غیر این صورت در نقاط انتقال نگهداری می‌گردند و تا زمان رسیدن هلی‌کوپتر اقدامات اولیه‌ی پزشکی بر روی آن‌ها انجام می‌گیرد.

خطرات احتمالی پس از وقوع بحران، نظیر پس لرزه‌ها و انفجار لوله‌های گاز شهری ایجاب می‌کند که تخلیه‌ی افراد سالم هم در سریع‌ترین زمان ممکن انجام گیرد و از آن‌جا که برای افراد سالم وخامت حال مطرح نیست تخلیه‌ی آن‌ها از مناطق حادثه دیده به پناهگاه‌ها، به وسیله‌ی وسایط نقلیه‌ی عادی انجام می‌شود. همچنین نیازهای اساسی افراد سالم مانند آب، پتو، غذا و ... در پناهگاه‌ها، بایستی از طریق انبارهای تأمین کالا و به وسیله‌ی هلی‌کوپتر پاسخ داده شود.

شبکه‌ای که در شکل ۱ نشان داده شده بیان‌گر یک سیستم کمک اورژانسی (فوری) است که براساس ساعات اولیه‌ی وقوع حادثه رسم شده است و تمام افراد هر منطقه، از محل حادثه تخلیه می‌گردند. با ارائه‌ی یک مدل پیشنهادی به مکان‌یابی نقاط انتقال و پناهگاه‌ها پرداخته که هدف حداقل کردن کل زمان حمل و نقل است.

در مسأله‌ی مکان‌یابی نقاط انتقال و پناهگاه‌ها، نقاط حادثه دیده به عنوان مبدأ، نقاط انتقال به عنوان نقاط میانی یا هاب و بیمارستان‌ها و پناهگاه‌ها به عنوان مقصدهای مسأله در نظر گرفته شده‌اند که همه‌ی این مکان‌ها دارای ظرفیت محدود هستند.

تمام پارامترهای مسأله، شامل: مقدار تقاضای هر نقطه‌ی حادثه دیده، زمان سفر از نقاط حادثه دیده به بیمارستان‌ها و پناهگاه‌ها و نقاط انتقال، زمان سفر از نقاط انتقال به بیمارستان‌ها، زمان سفر از ایستگاه هلی‌کوپتر به انبارها، زمان سفر از انبارها به پناهگاه‌ها و .... در شرایط قطعی رخ می‌دهند.



شکل ۱. شبکه‌ای از سیستم کمک اورژانسی (فوری) در شرایط بحران

۳. مدل سازی ریاضی

در این بخش مسأله تشریح شده در قسمت قبل را به صورت ریاضی مدل‌سازی می‌کنیم.

۳-۱. اندیس‌ها

مجموعه اندیس‌های مسأله‌ی مکان‌یابی نقاط انتقال و پناهگاه‌ها در شرایط بحران عبارتند از :

i	مجموعه‌ی اندیس نقاط تقاضا	$i \in I$
j	مجموعه‌ی اندیس نقاط انتقال	$j \in J$
s	مجموعه‌ی اندیس پناهگاه	$s \in S$
w	مجموعه‌ی اندیس انبار	$w \in W$
h	مجموعه‌ی اندیس بیمارستان	$h \in H$
k	مجموعه‌ی اندیس ایستگاه هلی‌کوپتر	$k \in K$

۳-۲. پارامترها

پارامترهای مسأله‌ی مکان‌یابی نقاط انتقال و پناهگاه‌ها در شرایط بحران عبارتند از :

d_i	مقدارتقاضای گره‌ی i ام (وزن گره‌ی i)
t_{ij}	زمان سفر از نقطه‌ی تقاضای i ام تا نقطه‌ی انتقال j ام
t_{ih}	زمان سفر از نقطه‌ی تقاضای i ام تا بیمارستان h ام

t_{jh} زمان سفر از نقطه‌ی انتقال j ام تا بیمارستان h ام

t_{is} زمان سفر از نقطه‌ی تقاضای i ام تا پناهگاه s ام

t_{kj} زمان سفر از ایستگاه هلی‌کوپتر k ام تا نقطه‌ی انتقال j ام

t_{kw} زمان سفر از ایستگاه هلی‌کوپتر k ام تا انبار w ام

t_{ws} زمان سفر از انبار w ام تا پناهگاه s ام

t' $t' = Max\left\{\alpha_A t_{ij}, \alpha_K t_{kj}\right\} \quad \forall k \in K, \forall i \in I, \forall j \in J$

C کل بودجه‌ی در دسترس

p تعداد نقاط انتقالی که باید انتخاب شوند.

q تعداد پناهگاه‌هایی که باید انتخاب شوند.

β_i احتمال صدمه دیدن و نیاز به درمان در نقطه‌ی تقاضای i ام

α_A ضریب در نظر گرفته شده برای سرعت آمبولانس

α_K ضریب در نظر گرفته شده برای سرعت هلی‌کوپتر

M یک مقدار بزرگ

Cap_j ظرفیت نقطه‌ی انتقال j ام

Cap_h ظرفیت بیمارستان h ام

Cap_s ظرفیت پناهگاه s ام

Cap_w ظرفیت انبار w ام

h_j هزینه‌ی نگهداری و انجام اقدامات پزشکی در نقطه‌ی انتقال j ام

r اقلام مورد نیاز هر فرد سالم در پناهگاه (مانند آب، پتو، غذا و...)

۳-۳. متغیرها

متغیرهای تصمیم مسأله‌ی مکان‌یابی نقاط انتقال و پناهگاه‌ها در شرایط بحران عبارتند از :

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

y_s به عنوان یک پناهگاه انتخاب شود، در غیر این صورت برابر صفر است. $s \in S$ برابر یک است اگر گره‌ی

ψ_{ij} ام j ام تا نقطه‌ی انتقال i حجم جریان از نقطه‌ی تقاضای

δ_{ih} ام h ام تا بیمارستان i حجم جریان از نقطه‌ی تقاضای

φ_{is} ام s ام تا پناهگاه i حجم جریان از نقطه‌ی تقاضای

γ_{jh} ام h ام تا بیمارستان j حجم جریان از نقطه‌ی انتقال

θ_{ws} ام s ام تا پناهگاه w حجم جریان از انبار

I_j ام j تعداد افراد نگهداری شده در نقطه‌ی انتقال

۴-۳. مدل ریاضی

این مدل براساس حداقل کردن کل زمان حمل و نقل نوشته شده است.

$$Min \quad \alpha_A \sum_{i\in I}\sum_{h\in H} t_{ih}\delta_{ih} + \sum_{i\in I}\sum_{s\in S} t_{is}\varphi_{is} + \alpha_K \sum_{w\in W}\left(\sum_{k\in K} t_{kw} + \sum_{s\in S} t_{ws}\theta_{ws}\right) + \alpha_A \sum_{i\in I}\sum_{j\in J} t'\psi_{ij} + \alpha_K \sum_{j\in J}\sum_{h\in H} t_{jh}\gamma_{jh} \qquad (۱)$$

S.T.

$$\sum_{i\in I}\psi_{ij} = \sum_{h\in H}\gamma_{jh} + I_j \qquad \forall j \in J \qquad (۲)$$

$$\sum_{j\in J}\psi_{ij} + \sum_{h\in H}\delta_{ih} = \beta_i d_i \qquad \forall i \in I \qquad (۳)$$

$$\sum_{s\in S}\varphi_{is}=(1-\beta_i)d_i \qquad \forall i\in I \qquad (۴)$$

$$\sum_{i\in I}\psi_{ij}\le Cap_j z_j \qquad \forall j\in J \qquad (۵)$$

$$\sum_{i\in I}\varphi_{is}+\sum_{w\in W}\theta_{ws}\le Cap_s y_s \qquad \forall s\in S \qquad (۶)$$

$$\sum_{h\in H}\gamma_{jh}\le Mz_j \qquad \forall j\in J \qquad (۷)$$

$$\sum_{w\in W}\theta_{ws}\le r\sum_{i\in I}\varphi_{is} \qquad \forall s\in S \qquad (۸)$$

$$\sum_{s\in S}\theta_{ws}\le Cap_w \qquad \forall w\in W \qquad (۹)$$

$$\sum_{w\in W}\sum_{s\in S}\theta_{ws}\ge r\sum_{i\in I}\sum_{s\in S}\varphi_{is} \qquad (۱۰)$$

$$\sum_{i\in I}\delta_{ih}+\sum_{j\in J}\gamma_{jh}\le Cap_h \qquad \forall h\in H \qquad (۱۱)$$

$$\sum_{j\in J}h_j I_j\le C \qquad (۱۲)$$

$$\sum_{j\in J}z_j\le p \qquad (۱۳)$$

$$\sum_{s\in S}y_s\le q \qquad (۱۴)$$

$$z_j\in\{0,1\} \qquad \forall j\in J \qquad (۱۵)$$

$$y_s\in\{0,1\} \qquad \forall s\in S \qquad (۱۶)$$

$$\delta_{ih}\ge 0 \qquad \forall\ i\in I, h\in H \qquad (۱۷)$$

$$\varphi_{is}\ge 0 \qquad \forall\ i\in I, s\in S \qquad (۱۸)$$

$$\psi_{ij}\ge 0 \qquad \forall\ i\in I, j\in J \qquad (۱۹)$$

$$\gamma_{jh}\ge 0 \qquad \forall\ j\in J, h\in H \qquad (۲۰)$$

تابع هدف (۱) بیان کننده‌ی کل زمان سفر است. محدودیت (۲) نشان دهنده‌ی برقراری تعادل جریان در هر نقطه‌ی انتقال است. محدودیت (۳) بیان‌گر درصدی از جمعیت هر منطقه است که باید به پناهگاه منتقل شوند و نیاز به درمان ندارند. محدودیت (۴) بیان‌گر درصدی از جمعیت هر منطقه است که باید به بیمارستان‌ها انتقال یابند و نیاز به درمان دارند. محدودیت (۵) بیان کننده‌ی حداکثر ظرفیت هر نقطه‌ی انتقال است. محدودیت (۶) بیان کننده‌ی حداکثر ظرفیت هر پناهگاه برای پذیرش افراد است. محدودیت (۷) نشان دهنده‌ی این است که مجروح زمانی می‌تواند از نقطه‌ی انتقال به بیمارستان‌ها منتقل گردد، که آن نقطه‌ی انتقال فعال شده باشد. محدودیت (۸) بیان کننده‌ی حداقل اقلام مورد نیاز هر پناهگاه است. محدودیت (۹) بیان کننده‌ی حداکثر ظرفیت هر انبار، برای تأمین اقلام مورد نیاز است. محدودیت (۱۰) نشان دهنده‌ی حداقل حجم جریان اقلام مورد نیاز از انبارها به پناهگاه‌ها است. محدودیت (۱۱) بیان کننده‌ی حداکثر ظرفیت هر بیمارستان برای پذیریش مجروحان است. محدودیت (۱۲) نشان دهنده‌ی حداکثر کل بودجه‌ی در دسترس است. محدودیت (۱۳) و (۱۴) نشان دهنده‌ی این است که باید حداکثر p نقطه‌ی انتقال و q پناهگاه انتخاب گردد.

۴. مطالعه‌ی موردی

شهرداری منطقه‌ی چهار به عنوان یکی از پرجمعیت‌ترین، وسیع‌ترین، مهاجر پذیرترین، پر ساخت و سازترین، دارنده‌ی بزرگ‌ترین حریم، با دارا بودن پارک جنگلی لویزان و همچنین با ویژگی‌هایی چون وجود نابرابری اجتماعی - اقتصادی شدید در آن، جوان بودن میانگین سنی جمعیت، وجود اقشار آسیب پذیر در

محله‌هایی هم چون خاک سفید، شمیران نو و ... از سایر محله‌های تهران قابل تمایز و تفکیک است.

منطقه‌ی چهار بر حسب تقسیمات شهرداری تهران به نـه ناحیـه تقسیم بندی شده است که مطابق جدول ۱ برای هـر نقطـه‌ی تقاضـا (هر ناحیه) مرکز تقاضا را مشخص و براساس بافت هر منطقه و دیگـر عوامل مؤثر، جمعیت بازمانده در هر ناحیه تخمین زده شده است.

جدول ۱. نواحی منطقه‌ی ۴ براساس تقسیمات شهرداری تهران

ناحیه	مرکز تقاضا	جمعیت بازمانده	احتمال صدمه دیدن
۱	خیابان سیف	۳۷۵۵۸	۰.۵
۲	خیابان بخشی	۵۵۰۰۰	۰.۶
۳	میدان هروی	۹۷۷۶۱	۰.۳
۴	دانشگاه علم و صنعت	۶۸۰۰۰	۰.۴
۵	خیابان لرستانی	۸۳۹۱۱	۰.۵
۶	خیابان۱۹۲ شرقی	۱۲۹۷۴۳	۰.۷
۷	تقاطع خیابان استقلال و هنگام	۱۵۲۵۹۵	۰.۷
۸	دانشگاه عباس پور	۳۷۴۹۷	۰.۴
۹	خیابان بوستان	۵۵۵۸۵	۰.۵

شانزده بیمارستان به نام‌های انصـاری، آرش، بهرامـی، مهـراد، قمـر بنی‌هاشم (ع)، فیروزگر، کسری، اختر، ولی‌عصر (عج)، خـاتم‌الانبیـا، هاشمی‌نژاد، گلستان، الغدیر، بینا، تهران‌پارس و لبافی‌نـژاد انتخـاب شده اند.

همچنین با بررسی‌های انجام شده و نظرسنجی از خبرگان، بیست و دو نقطه به عنوان پناهگاه و نه مکان بـه عنـوان نقطـه‌ی انتقـال در نظر گرفته شده که در مسأله بایستی هفت نقطه‌ی انتقال و بیسـت پناهگاه انتخاب شوند. نقـاط کاندیـد بـرای پناهگـاه‌هـا بـه ترتیـب عبارتانـد از: مجموعـه‌ی ورزشـی آرش میراسـماعیلی، مجموعـه‌ی ورزشـی صـدف، مجموعـه‌ی ورزشـی شـیان، مدرسـه‌ی رضـوان۲، مدرسه‌ی نیایش، مدرسـه‌ی ارشـاد، مدرسـه‌ی حقیقـت، مدرسـه‌ی مریم، مدرسه‌ی چهارده معصوم، مدرسه‌ی شهید مفـتح، مدرسـه‌ی صدیقه‌ی کبری(س)، مدرسه‌ی رازی، مدرسه‌ی امیرکبیر، مدرسه‌ی شریعتی، مدرسه‌ی خواجه نصیرالدین طوسی، مدرسه‌ی امام محمد بـاقر(ع)، مدرسـه‌ی ملاصـدرا، مدرسـه‌ی هـدف، مدرسـه‌ی شـهید شـرافت، مدرسـه‌ی بنـت الهـدی، مجموعـه‌ی ورزشـی گلشـن و مجموعه‌ی ورزشی فرهنگسرای اشراق.

مکان‌های در نظر گرفته شده برای نقـاط انتقـال عبـارت اسـت از : فرهنگسرا، زمین چمن بلوار بهار، زمین چمن بزرگراه همت، زمـین بازی خیابان خلیلـی، پایگـاه بروجـردی (خیابـان گـیلان)، شـرکت واحد، دانشگاه آزاد، پایگاه عراقی (خیابان عراقی) و پارک پلیس.

علاوه بر این، برای تحقق بخـش تـدارکات، سـوله‌ی بحـران پـارک پلیس و سوله‌ی بحران حکیمیه به عنوان انبار و زمین چمن نیـروی دریایی به عنوان ایستگاه هلی‌کوپتر انتخاب شده‌اند.

در مسأله کل بودجه‌ی در دسترس را پانزده میلیارد ریـال و هزینـه‌ی نگهداری هر فرد مجروح را در هر نقطه‌ی انتقال پانصـد هـزار ریـال و ظرفیت هر یک از نقاط انتقال، پناهگاه‌ها و بیمارستان‌هـا هفـده هـزار نفر فرض شده است. با توجه به تفاوت سرعت وسـایل نقلیـه، ضـریب سرعت آمبولانس نسبت به وسایل نقیله‌ی عادی ۰.۷ و ضریب سرعت هلی‌کوپتر نسبت به وسایل نقیله‌ی عادی ۰.۱ محاسبه گردیده اسـت. همچنین تعداد کالاهای مورد نیاز هـر فـرد سـالم پـنج قلـم در نظـر گرفته شده است. زمان سفر بین نقاط، بر مبنای فاصله‌ها و با استفاده از نرم افزار گوگل ارث ۶ محاسبه گردیده است.

۵. نتایج حل و یافته‌ها

در مسئله‌ی انتخـابی بـا اسـتفاده از نـرم افـزار GAMS 23.0.2 و سـالور CPLEX بـر روی رایانـه‌ای بـا مشخصـات Intel Core i7 4702MQ 2.20GHz up to 3.20 GHz and 6GB RAMDDR3 under Win Seven اجرا شد. با حل مدل ریاضی مقدار کل زمان سفر ۲۱۱۷۲۰۰ واحـد زمـانی بـه دسـت مـی‌آیـد. فرهنگسرا، پارک پلیس، دانشگاه آزاد تهران شـمال، شـرکت واحـد اتوبوس‌رانی، زمین بازی خیابان خلیلی، زمین چمن بزرگراه همت و زمین چمن بلوار بهار به عنوان نقاط انتقال و همـه‌ی نقـاط کاندیـد پناهگاه، به جز مجموعه‌ی ورزشی شیان و مدرسه‌ی شهید مفتح به عنوان پناهگاه فعـال مـی‌شـوند. هـم‌چنـین پـس از حـل مشـخص می‌گردد که در هر مسیر حجم جریان چقدر خواهد بـود. در شـکل ۲ نقطه‌ی تقاضای خیابان ۱۹۲ شرقی به عنوان نمونه آورده شـده و در آن پناهگاه‌ها، بیمارستان‌ها و نقاط انتقالی که برای رفع نیاز ایـن مرکز تقاضا فعال شده‌اند، نشان داده شده است.

در جدول ۲ به تفصیل حجم جریان افراد سالم از نقاط تقاضا به پناهگاه‌ها که توسط وسایل نقلیه‌ی عادی منتقل می‌شوند، آورده شده است. به عنوان مثال تعداد ۱۱۵۰۲ فرد سالم از نقطه‌ی تقاضای خیابان ۱۹۲ شرقی به پناهگاه مدرسه‌ی نیایش منتقل می‌شوند.

شکل ۲. نحوه‌ی ارتباط مرکز تقاضای خیابان ۱۹۲ شرقی به پناهگاه‌ها، بیمارستان‌ها و نقاط انتقال

جدول ۲.حجم جریان از نقاط تقاضا به پناهگاه‌ها

پناهگاه / مرکز نقاط تقاضا	خیابان سیف	خیابان بخشی	میدان هروی	دانشگاه علم و صنعت	خیابان لرستانی	خیابان ۱۹۲ شرقی	تقاطع خیابان استقلال و هنگام	دانشگاه عباس پور	خیابان بوستان
مجموعه ورزشی آرش میراسماعیلی	۱۷۰۰۰	-	-	-	-	-	-	-	-
مجموعه ورزشی صدف	-	-	۱۷۰۰۰	-	-	-	-	-	-
مجموعه ورزشی شیان	-	-	۱۷۰۰۰	-	-	-	-	-	-
مدرسه رضوان ۲	-	-	-	-	۱۷۰۰۰	-	-	-	-
مدرسه نیایش	-	-	-	-	-	۱۱۵۰۲	-	۵۴۹۸	-
مدرسه ارشاد	-	-	-	-	-	-	-	-	-
مدرسه حقیقت	-	-	۱۷۰۰۰	-	-	-	-	-	-
مدرسه مریم	-	۶۷۷۹	-	-	-	-	-	-	-
مدرسه ۱۴ معصوم	۱۷۷۹	۱۵۲۲۱	-	-	-	-	-	-	-
مدرسه شهید مفتح	-	-	-	۱۵۶۲۳	۱۳۷۷	-	-	-	-
مدرسه صدیقه کبری	-	-	-	-	-	-	-	۱۷۰۰۰	-
مدرسه رازی	-	-	-	-	-	-	-	-	۱۷۰۰۰
مدرسه امیر کبیر	-	-	-	۱۷۰۰۰	-	-	-	-	-
مدرسه شریعتی	-	-	-	-	۱۷۰۰۰	-	-	-	-
مدرسه خواجه نصیر الدین طوسی	-	-	-	-	-	-	-	-	-
مدرسه امام محمد باقر	-	-	-	-	-	-	۱۷۰۰۰	-	-
مدرسه ملاصدرا	-	-	۱۴۱۸۰	-	-	-	-	-	-
مدرسه هدف	-	-	-	-	-	-	۶۲۰۸	-	۱۰۷۹۲
مدرسه شهید شرافت	-	-	-	-	-	-	۱۷۰۰۰	-	-

مدرسه بنت الهدی	-	-	۳۲۵۲	۸۱۷۷	-	-	۵۵۷۱	-	-
مجموعه ورزشی گلشن	-	-	-	-	۶۵۷۹	۱۰۴۲۱	-	-	
مجموعه ورزشی فرهنگسرای اشراق	-	-	-	-	-	۱۷۰۰۰	-	-	-

جدول ۳. حجم جریان از نقاط تقاضا به بیمارستان‌ها

بیمارستان \ مرکز نقاط تقاضا	خیابان سیف	خیابان بخشی	میدان هروی	دانشگاه علم و صنعت	خیابان لرستانی	خیابان ۱۹۲ شرقی	تقاطع خیابان استقلال و هنگام	عباس‌پور دانشگاه	خیابان بوستان
لبافی نژاد	-	-	۱۲۳۲۸	-	-	-	۴۶۷۲	-	-
تهران پارس	-	-	-	-	-	۱۷۰۰۰	-	-	-
بینا	-	-	-	۱۷۰۰۰	-	-	-	-	-
الغدیر	-	-	-	-	-	-	۱۷۰۰۰	-	-
گلستان	-	-	-	-	-	-	۱۷۰۰۰	-	-
هاشمی نژاد	۱۷۷۹	-	-	-	-	-	۱۵۲۲۱	-	-
خاتم الانبیا	-	-	۱۷۰۰۰	-	-	-	-	-	-
ولی عصر	-	-	-	-	-	-	۱۷۰۰۰	-	-
اختر	-	-	-	-	-	-	۱۷۰۰۰	-	-
کسری	۱۷۰۰۰	-	-	-	-	-	-	-	-
فیروزگر	-	-	-	۹۲۰۰	۷۴۹۱	-	-	-	-
قمر بنی هاشم(ع)	-	۱۷۰۰۰	-	-	-	-	-	-	-
مهراد	-	۱۶۰۰۰	-	۱۰۰۰	-	-	-	-	-
بهرامی	-	-	-	-	۱۷۰۰۰	-	-	-	-
آرش	-	-	-	-	۱۷۰۰۰	-	-	-	-
انصاری	-	-	-	-	-	۱۷۰۰۰	-	-	-

در جدول ۳ حجم جریان افراد مجروح از نقاط تقاضا به بیمارستان‌ها که به‌وسیله‌ی آمبولانس و به طور مستقیم اعزام می‌شوند، نشان داده شده است. به عنوان نمونه تعداد۱۷۰۰۰ نفر از افراد مجروح از نقطه‌ی تقاضای خیابان ۱۹۲ شرقی به وسیله‌ی آمبولانس و به طور مستقیم به بیمارستان تهران پارس منتقل می‌شوند.

در جدول ۴ حجم جریان افراد مجروح از نقاط تقاضا به نقاط انتقال که توسط آمبولانس منتقل می‌شوند، آورده شده است. به عنوان مثال تعداد ۱۶۵۳۵ نفر از افراد مجروح توسط آمبولانس از نقطه‌ی تقاضای خیابان ۱۹۲ شرقی به نقطه‌ی انتقال شرکت واحد منتقل می‌شوند که با توجه به این‌که حجم جریانی از نقطه‌ی انتقال شرکت واحد به بیمارستان‌ها وجود ندارد، در همان مکان نگهداری می‌گردند.

جدول ۴. حجم جریان از نقاط تقاضا به نقاط انتقال

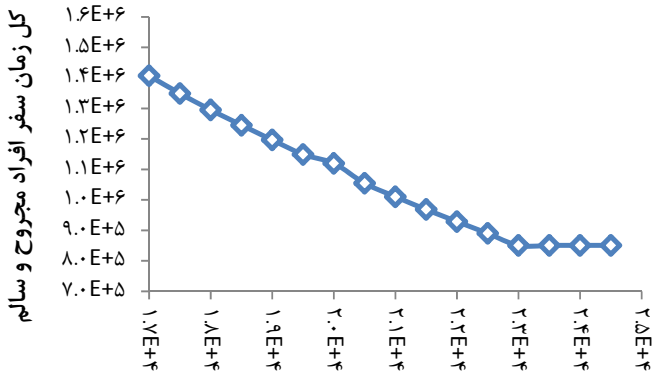
نقاط انتقال \ مرکزنقاط تقاضا	خیابان سیف	خیابان بخشی	میدان هروی	دانشگاه علم و صنعت	خیابان لرستانی	خیابان ۱۹۲ شرقی	تقاطع خیابان استقلال و هنگام	عباس‌پور دانشگاه	خیابان بوستان
فرهنگسرا	-	-	-	-	-	۱۷۰۰۰	-	-	-
پارک پلیس	-	-	-	-	-	-	-	-	۱۷۰۰۰
پایگاه عراقی (خیابان عراقی)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
دانشگاه آزاد	-	-	-	-	-	-	۱۷۰۰۰	-	-
شرکت واحد	-	-	-	-	۴۶۵	۱۶۵۳۵	-	-	-

پایگاه بروجردی (خیابان گیلان)	-	-	-	-	-		-	-	-	-
زمین بازی خیابان خلیلی	-	-	-	-	-	۱۷۰۰۰	-	-	-	-
زمین چمن بزرگراه همت	-	-	-	-	-	۴۲۸۴	۱۹۲۴	-	۱۰۷۹۲	
زمین چمن بلوار بهار	-	-	-	-	-	۲۰۰۱	-	۱۴۹۹۹	-	

جدول ۵. حجم جریان از انبارها به پناهگاه‌ها

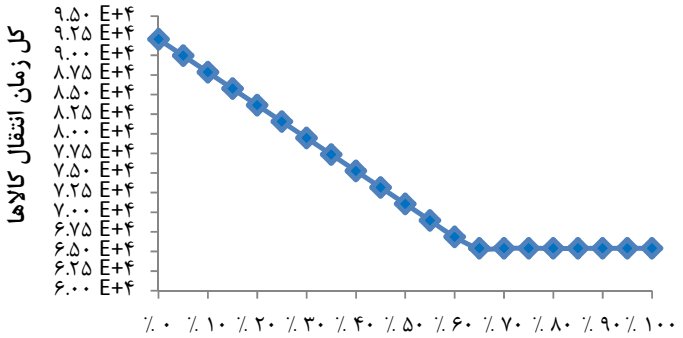
پناهگاه / انبار	سوله بحران حکیمیه	سوله بحران پارک پلیس
مجموعه ورزشی آرش میراسماعیلی	-	۸۵۰۰۰
مجموعه ورزشی صدف	-	۸۵۰۰۰
مجموعه ورزشی شیان	-	۸۵۰۰۰
مدرسه رضوان ۲	-	۸۵۰۰۰
مدرسه نیایش	۸۵۰۰۰	-
مدرسه ارشاد	-	-
مدرسه حقیقت	-	۸۵۰۰۰
مدرسه مریم	-	۳۳۸۹۵
مدرسه ۱۴ معصوم	-	۸۵۰۰۰
مدرسه شهید مفتح	۳۹۷۹۷	۴۵۲۰۳
مدرسه صدیقه کبری	۸۵۰۰۰	-
مدرسه رازی	۸۵۰۰۰	-
مدرسه امیر کبیر	۸۵۰۰۰	-
مدرسه شریعتی	۸۵۰۰۰	-
مدرسه خواجه نصیر الدین طوسی	-	-
مدرسه امام محمد باقر	-	۸۵۰۰۰
مدرسه ملاصدرا	-	۷۰۹۰۲
مدرسه هدف	-	۸۵۰۰۰
مدرسه شهید شرافت	-	۸۵۰۰۰
مدرسه بنت الهدی	-	۸۵۰۰۰
مجموعه ورزشی گلشن	۸۵۰۰۰	-
مجموعه ورزشی فرهنگسرای اشراق	۸۵۰۰۰	-

میزان جریان اقلام مورد نیاز از انبارها به پناهگاه‌ها که به وسیله‌ی هلی‌کوپتر انجام می‌شود، در جدول ۵ نشان داده شده است. به عنوان نمونه می‌توان به جریان حجم کالا از سوله‌ی بحران حکیمیه به پناهگاه مدرسه‌ی نیایش اشاره نمود که به مقدار ۸۵۰۰۰ قلم کالا می‌باشد. در ادامه دو تحلیل حساسیت بر روی ظرفیت بیمارستان‌ها و ظرفیت انبارها انجام شده است.



شکل ۳. نمودار آنالیز حساسیت مدل نسبت به ظرفیت نقاط انتقال، بیمارستان ها و پناهگاه‌ها

در شکل ۳ میزان تغییرات کل زمان سفر افراد در مدل به ازای تغییرات در ظرفیت نقاط انتقال، بیمارستان‌ها و پناهگاه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. همان‌طورکه در شکل ۳ ملاحظه می‌شود برای مثال با افزایش ظرفیت از ۱۸۰۰۰ به ۱۹۰۰۰ نفر، کل زمان سفر افراد به میزان ۱۰۰۰۰۰ واحد زمانی کاهش می‌یابد. با افزایش ظرفیت تا مقدار ۲۳۰۰۰ نفر مقدار کل زمان سفر افراد کاهش یافته، اما ظرفیت‌های بیشتر از این مقدار در مقدار کل زمان سفر تأثیری ندارد. همچنین مدل برای ظرفیت‌های کمتر از مقدار ۱۷۰۰۰ نفر، جواب موجه ندارد.



شکل ۴. نمودار آنالیز حساسیت مدل نسبت به ظرفیت انبارها

در شکل ۴ میزان تغییرات کل زمان انتقال کالاها به ازای تغییر در ظرفیت انبارها نشان داده شده است. همان‌گونه که درشکل ۴ مشاهده می‌شود برای مثال با افزایش ظرفیت انبار به اندازه‌ی ٪۱۰ کل زمان انتقال کالاها به اندازه‌ی ۵۰۰ واحد زمانی کاهش می‌یابد. با افزایش ظرفیت انبار تا میزان ٪۶۵، مقدار تابع هدف کاهش یافته اما به ازای افزایش بیشتر در ظرفیت انبار، مقدار کل زمان انتقال کالاها ثابت باقی می‌ماند.

همان‌طور که ملاحظه شد شبکه‌ی ارائه شده در این مقاله، دو بخش تخلیه‌ی افراد از مناطق حادثه دیده و توزیع اقلام امدادی را هم‌زمان با هم در نظر گرفته است. ممکن است انتظار رود که تخلیه‌ی افراد از مناطق حادثه دیده در زمان سریع‌تری نسبت به توزیع اقلام امدادی انجام شود. در این صورت می‌توان مدل پیشنهادی را با در نظر گرفتن اولویت میان این دو بخش ارائه داد. برای نشان دادن اولویت و اهمیت بالاتر بخش تخلیه نسبت به توزیع، در تابع هدف عبارات مربوط به کمینه کردن زمان بخش تخلیه در عدد دو ضرب شده است. در ادامه به بررسی رفتار مدل با در نظر گرفتن اولویت بین تخلیه‌ی افراد از مناطق حادثه دیده نسبت به توزیع اقلام پرداخته شده و نتایج آن با حالت بدون اولویت مقایسه گردیده است.

با در نظر گرفتن اولویت میان بخش تخلیه‌ی افراد و توزیع اقلام امدادی و اهمیت بیشتر بخش تخلیه، نتایج مدل برای متغیرهای جداول ۲ و ۵ تغییر کرده است. در شرایط جدید نسبت به حالت قبل، در میان پناهگاه‌ها مدرسه‌ی مریم غیرفعال و مدرسه‌ی خواجه نصیرالدین طوسی فعال گردیده است و به تبع آن حجم جریان از انبارها به پناهگاه‌ها تغییر کرده است. به عنوان نمونه با در نظر گرفتن اولویت، به تعداد ۳۳۸۹۵ عدد از کالاهای امدادی از سوله‌ی بحران پارک پلیس به مدرسه‌ی خواجه نصیرالدین طوسی ارسال می‌شود، در حالی که اگر اولویت در نظر گرفته نشود، این حجم جریان به مدرسه‌ی مریم منتقل می‌گردد. همچنین حجم جریان از برخی از مناطق حادثه دیده به پناهگاه‌ها تغییر یافته است. برای مثال از خیابان حادثه دیده‌ی سیف در حالت با اولویت به جای ۱۷۰۰۰ نفر، ۱۲۰۰۰ نفر به پناهگاه مجموعه‌ی ورزشی میراسماعیلی منتقل و بقیه به مدرسه‌ی خواجه نصیر الدین طوسی برده شده‌اند و ظرفیت باقیمانده از مجموعه‌ی ورزشی میراسماعیلی به وسیله‌ی افراد حادثه دیده‌ی خیابان بخشی تکمیل گردیده است. همان‌طور که پیش‌بینی می‌شد در بخش دیگر این شبکه، یعنی قسمت انتقال مصدومان تغییری رخ نداده است. به عبارت دیگر، در نظر گرفتن اولویت میان بخش تخلیه و توزیع در تعیین مکان نقاط انتقال و حجم جریان در محورهای انتقال مصدومان تأثیری نداشته و تنها محورهای مناطق حادثه دیده به پناهگاه‌ها، انبارها به پناهگاه‌ها و متغیرهای مکان‌یابی پناهگاه‌ها را تحت تأثیر قرار داده است.

جواب‌های مدل با در نظر گرفتن اولویت، در جداول ۶ و ۷ گزارش شده است.

جدول ۶. حجم جریان از نقاط تقاضا به پناهگاه با در نظر گرفتن اولویت

پناهگاه / مرکز نقاط تقاضا	خیابان سیف	خیابان بخشی	میدان هروی	دانشگاه علم و صنعت	خیابان لرستانی	خیابان ۱۹۲ شرقی	تقاطع خیابان استقلال و هنگام	دانشگاه عباس پور	خیابان بوستان
مجموعه ورزشی آرش میراسماعیلی	۱۲۰۰۰	۵۰۰۰	-	-	-	-	-	-	-
مجموعه ورزشی صدف	-	-	۱۷۰۰۰	-	-	-	-	-	-
مجموعه ورزشی شیان	-	-	۱۷۰۰۰	-	-	-	-	-	-
مدرسه رضوان ۲	-	-	-	-	۱۷۰۰۰	-	-	-	-
مدرسه نیایش	-	-	-	-	-	۱۱۵۰۲	-	۵۴۹۸	-
مدرسه ارشاد	-	-	-	-	-	-	-	-	-
مدرسه حقیقت	-	-	۱۷۰۰۰	-	-	-	-	-	-
مدرسه مریم	-	-	-	-	-	-	-	-	-
مدرسه ۱۴ معصوم	-	۱۷۰۰۰	-	-	-	-	-	-	-
مدرسه شهید مفتح	-	-	-	۱۵۶۲۳	۱۳۷۷	-	-	-	-
مدرسه صدیقه کبری	-	-	-	-	-	-	-	۱۷۰۰۰	-
مدرسه رازی	-	-	-	-	-	-	-	-	۱۷۰۰۰
مدرسه امیر کبیر	-	-	-	۱۷۰۰۰	-	-	-	-	-
مدرسه شریعتی	-	-	-	-	۱۷۰۰۰	-	-	-	-
مدرسه خواجه نصیر الدین طوسی	۶۷۷۹	-	-	-	-	-	-	-	-
مدرسه امام محمد باقر	-	-	-	-	-	-	۱۷۰۰۰	-	-
مدرسه ملاصدرا	-	-	۱۷۰۰۰	-	-	-	-	-	-
مدرسه هدف	-	-	-	-	-	-	۶۲۰۸	-	۱۰۷۹۲

مدرسه شهید شرافت	-	-	-	-	-	-	۱۷۰۰۰	-	-
مدرسه بنت الهدی	-	-	۴۳۲	۸۱۷۷	-	-	۵۵۷۱	-	-
مجموعه ورزشی گلشن	-	-	-	-	۶۵۷۹	۱۰۴۲۱	-	-	
مجموعه ورزشی فرهنگسرای اشراق	-	-	-	-	-	۱۷۰۰۰	-	-	-

در جدول۶ حجم جریان افراد سالم از نقاط تقاضا به پناهگاه‌ها که توسط وسایل نقلیه‌ی عادی منتقل می‌شوند، آورده شده است. به عنوان مثال تعداد ۴۳۲ فرد سالم از نقطه‌ی تقاضای میدان هروی به پناهگاه مدرسه‌ی بنت الهدی منتقل می‌شوند.

میزان جریان اقلام مورد نیاز از انبارها به پناهگاه‌ها که به وسیله‌ی هلی‌کوپتر انجام می‌شود، در جدول ۷ نشان داده شده است. به عنوان نمونه می‌توان به جریان حجم کالا از سوله‌ی بحران حکیمیه به پناهگاه مدرسه‌ی شهید مفتح اشاره نمود که به مقدار ۳۹۷۹۷ قلم کالا می‌باشد.

جدول ۷. حجم جریان از انبارها به پناهگاه‌ها با در نظر گرفتن اولویت

پناهگاه / انبار	سوله بحران حکیمیه	سوله بحران پارک پلیس
مجموعه ورزشی آرش میراسماعیلی	-	۸۵۰۰۰
مجموعه ورزشی صدف	-	۸۵۰۰۰
مجموعه ورزشی شیان	-	۸۵۰۰۰
مدرسه رضوان ۲	-	۸۵۰۰۰
مدرسه نیایش	۸۵۰۰۰	-
مدرسه ارشاد	-	-
مدرسه حقیقت	-	۸۵۰۰۰
مدرسه مریم	-	-
مدرسه ۱۴ معصوم	-	۸۵۰۰۰
مدرسه شهید مفتح	۳۹۷۹۷	۴۵۲۰۳
مدرسه صدیقه کبری	۸۵۰۰۰	-
مدرسه رازی	۸۵۰۰۰	-
مدرسه امیر کبیر	۸۵۰۰۰	-
مدرسه شریعتی	۸۵۰۰۰	-
مدرسه خواجه نصیر الدین طوسی	-	۳۳۸۹۵
مدرسه امام محمد باقر	-	۸۵۰۰۰
مدرسه ملاصدرا	-	۸۵۰۰۰
مدرسه هدف	-	۸۵۰۰۰
مدرسه شهید شرافت	-	۸۵۰۰۰
مدرسه بنت الهدی	-	۷۰۹۰۱
مجموعه ورزشی گلشن	۸۵۰۰۰	-
مجموعه ورزشی فرهنگسرای اشراق	۸۵۰۰۰	-

۶. نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی

یکی از استراتژی‌های مهم و اساسی در امدادرسانی به منظور بهبود عملکرد و کاهش زمان تأخیر، تلاش در دو بخش تخلیه‌ی افراد از مناطق حادثه دیده و رساندن کالاها جهت رفع احتیاجات اولیه‌ی افراد است. با انتقال به موقع افراد مصدوم به بیمارستان‌ها و افراد سالم به پناهگاه‌ها می‌توان به میزان قابل توجهی از شدت خسارات

کاست. در این مقاله با ارائه‌ی یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط علاوه بر مکان‌یابی نقاط انتقال، مکان‌یابی پناهگاه‌ها برای اسکان افراد سالم انجام شده است. نوآوری دیگر این مقاله نسبت به مطالعات پیشین، تخلیه و انتقال هم‌زمان مجروحان به مراکز درمانی و افراد سالم به پناهگاه‌ها است. همچنین جهت رسیدگی و رفع احتیاجات اولیه‌ی افراد سالم، انبارهایی در نظر گرفته شده تا بتوانند کالاهای مورد نیاز آن‌ها را نظیر آب، غذا، پتو و ... تأمین کنند. برای این که مسأله به مسأله‌ی دنیای واقعی نزدیک‌تر شود برای نقاط انتقال، پناهگاه‌ها، بیمارستان‌ها و انبارها محدودیت ظرفیت لحاظ گردیده است.

هدف مدل پیشنهادی حداقل کردن کل زمان حمل و نقل افراد سالم به پناهگاه‌ها، افراد مصدوم به بیمارستان‌ها و توزیع اقلام به پناهگاه‌ها در نظر گرفته شده که براساس آن، خروجی مدل شامل تعیین مکان نقاط انتقال و پناهگاه‌ها، تعیین حجم جریان افراد از نقاط حادثه دیده به پناهگاه‌ها، نقاط انتقال و بیمارستان‌ها، حجم جریان افراد از نقاط انتقال به بیمارستان‌ها و همچنین حجم جریان اقلام از انبارها به پناهگاه‌ها به دست آمده است. در ادامه به منظور نمایش کاربردپذیری مدل پیشنهادی، مدل بر روی یک مطالعه‌ی موردی اجرا و حل و تحلیل حساسیت شد. نتایج تحلیل حساسیت همچنین نشان داد که مقدار تابع هدف یعنی زمان کل حمل و نقل تمامی افراد اعم از مصدوم و سالم با افزایش ظرفیت نقاط انتقال، بیمارستان‌ها و پناهگاه‌ها کاهش یافته است. همچنین ملاحظه شد که زمان توزیع اقلام امدادی به پناهگاه‌ها با افزایش ظرفیت انبارها، یک روند کاهشی دارد.

در ادامه پیشنهادهایی جهت استفاده در تحقیقات آتی بیان می‌شود:

۱- دسته‌بندی مصدومان با سطوح مختلف جراحت در همان نقاط حادثه دیده، می‌تواند در افزایش میزان کارایی مطالعات آینده‌ی این حوزه مؤثر واقع گردد. ۲- طبقه‌بندی بیمارستان‌ها برای پاسخ‌گویی به مصدومان با درجه جراحت متفاوت، می‌تواند مدل را به واقعیت نزدیک‌تر نماید. ۳- توجه به بحث تأمین تجهیزات پزشکی در شرایط بحران، می‌تواند کارایی مطالعات آینده را افزایش دهد. ۴- در نظر گرفتن وسایل حمل و نقل متفاوت در هر محور انتقال، می‌تواند شرایط مسأله را به دنیای واقعی نزدیک‌تر سازد. ۵- ارائه‌ی مدل در حالت غیر قطعی می‌تواند کارایی برنامه‌ریزی‌های انجام شده را تا حد زیادی افزایش دهد.

پی نوشت

1. Transfer points location problem
2. The multiple location of transfer point
3. Facility and transfer point location problem

مراجع

[۱] جبل عاملی، محمدسعید؛ بزرگی امیری، علی؛ حیدری، مهدی (۱۳۹۰). ارائه مدل برنامه ریزی امکانی برای مسأله لجستیک امداد، نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، جلد ۲۲، شماره ۱، صص. ۷۶-۶۶.

[۲] عشقی، کوروش؛ نجفی، مهدی (۱۳۹۱). ارائه یک مدل برنامه ریزی لجستیکی جهت بهبود در فاز پاسخگویی به زلزله، نشریه بین‌المللی مهندسی صنایع و مدیریت تولید، جلد ۲۳، شماره ۴، صص. ۴۱۶-۴۰۱.

[۳] جبل عاملی، محمدسعید؛ آراسته، کریم؛ بزرگی امیری، علی؛ ضیاتبار، سیدحسین (۱۳۹۱). مدل مکان‌یابی همزمان تسهیلات و نقاط انتقال در شبکه، کنفرانس بین المللی مدل سازی غیرخطی و بهینه سازی.

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

[5] Berman O, Drezner Z, Wesolowsky GO. The multiple location of transfer points, Journal of the Operational Research Society, Vol. 59, (2008), pp. 805-811.

[6] Berman O, Drezner Z, Wesolowsky GO. The facility and transfer points location problem, International Transactions in Operational Research, Vol. 12, (2005), pp. 387-402.

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

[8] Tamir A, Halman N. One - way and round-trip center location problems, Discrete Optimization, Vol. 2, (2005), pp. 168-184.

[9] Chan AW, Hearn DW. A rectilinear distance round-trip location problem, Transportation Science, Vol. 11, (1977), pp. 107–123.

[10] Drezner Z, Wesolowsky GO. Trajectory approach to the round-trip location problem, Transportation Science, Vol. 16, (1982), pp. 56–66.

[11] Burness RC, White JA. The traveling salesman location problem, Transportation Science, Vol. 10, (1976), pp. 348–360.

[12] Berman O, Simchi-Levi D. Mini-sum location of traveling salesman on simple networks, European

Journal of Operations Research, Vol. 36, (1988), pp. 241-250.

[13] Bertsimas DJ. Traveling salesman facility location problems, European Journal of Operations Research, Vol. 23, (1989), pp. 184-191.

[14] Lapierre SD, Ruiz AB, Solarno P. Designing distribution networks: formulation and solution heuristic, Transportation Science, Vol. 38, (2004), pp. 174–187.

[15] Sasaki M, Furuta T, Suzuki A. Exact optimal solutions of the minisum facility and Transfer points location Problems on a network, International Transactions in Operational Research, Vol. 15, (2008), pp. 295-306.

[16] Hosseinijou SA, Bashiri M. Stochastic models for transfer point location problem, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 58, (2012), pp. 211-225.

[17] Furuta T, Tanaka K. Minisum and minimax location models for helicopter emergency medical service systems, Journal of the Operations Research Society of Japan, Vol. 56, (2013), pp. 221–242.

[18] Li G, Hu D, Su L. The model of location for single allocation multimodal hub under capacity conatrain, Procedia-social and Behavioral sciences, Vol. 96, (2013), pp. 351-359.

[19] Kalantari H, Yousefli A, Ghazanfari M, Shahanaghi K. Fuzzy transfer point location problem:possibilistic unconstrained nonlinear programming approach, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 70, (2014), pp. 1043-1051.