مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، سال چهاردهم، شماره اول (پیاپی ۵۲)، بهار ۹۶، ص ص ۹۳-۷۷
شاپا ۷۲۸۶-۲۲۵۱

مکانیابی تسهیلات امدادی با شعاع پوشش متغیر تحت عدم قطعیت (مطالعه موردی: استان خراسان)

پیمان قاسمی[۱]، امیر عباس شجاعی[۲]*
۱- دانشجوی دکتری، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، گروه مهندسی صنایع، تهران، ایران
۲- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب، گروه مهندسی صنایع، تهران، ایران

رسید مقاله: ۲۰ مهر ۱۳۹۵
پذیرش مقاله: ۱۰ اسفند ۱۳۹۵

چکیده
لجستیک امداد یکی از تاثیرگذارترین ابزارها در مدیریت بحران به شمار می‌رود. تعداد روبه رشد بلایا در سطح جهانی و حوادث و رویدادهای بحرانی در ۱۰سال گذشته در کشور ایران، اهمیت ارتقای برنامه ریزی برای لجستیک امداد را بیش از پیش نشان می‌دهد. مکان‌یابی مراکز توزیع و تخصیص منابع، ابزارهای اصلی عملیات لجستیک امداد در سه فاز قبل، حین و بعد از بحران هستند. در این مقاله، پوشش، متغیری گسسته و با تغییرات پله‌ای نسبت به هزینه فرض شده، و مدل ارایه شده مشخص می‌کند در کجا، چه نوع تسهیلات امدادی و با چه ظرفیتی استقرار یابند. عدم قطعیت در تقاضا به صورت سناریوهای محدود وارد مساله شده و مدل فوق با دو هدف بیشینه‌سازی پوشش و کمینه‌سازی بودجه فرموله شده است. درادامه مساله توسط نرم‌افزار GAMS حل و نتایج بر روی داده‌های تصادفی و داده‌های حقیقی بررسی شده‌اند. همچنین نتایج مدل بهینه پایدار با مدل بهینه تصادفی مقایسه شده است.

کلمات کلیدی: مکان‌یابی تسهیلات امدادی، لجستیک امداد، حداکثر پوشش، شعاع پوشش متغیر.

۱ مقدمه
برنامه‌ریزی ناکارآمد پیش از بحران در کشور ما سبب شده خسارات و تلفات در بلایایی مانند سیل و زمین لرزه در ۱۰سال گذشته به مراتب بیش‌تر از میانگین جهانی باشد. آمار و ارقام سازمان‌های امدادی حاکی از تاثیر قابل توجه برنامه‌ریزی استراتژیک پیش از بلایا، در کاهش تلفات و خسارات است. لجستیک امداد از کلیدی‌ترین ابزارهای این برنامه‌ریزی است. در پژوهش‌هایی که در زمینه مکان‌یابی مراکز امداد و لجستیک اضطرار طی سالیان گذشته صورت گرفته بیش‌تر به حداقل کردن فواصل اهمیت داده شده است، حال آن‌که هر نقطه بحرانی به تنهایی نیز اهمیت داشته و برآوردن تقاضای آن (کالا، امداد و یا تخلیه) در زمان منطقی هدف اصلی لجستیک

* عهده‌دار مکاتبات
آدرس الکترونیکی: a.shojaie@azad.ac.ir:

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]
[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.3.8]

بشردوستانه است. مدل‌های پوششی به این خواسته پاسخ می‌دهند؛ اما علی‌رغم اهمیت ویژه آن‌ها و انجام پژوهش‌های فراوان در این زمینه، برخی از مفروضات اساسی مطرح شده بحث برانگیز است[۱]. برای مثال در کلیه مطالعات تا سال ۲۰۰۹ شعاع پوشش (چه کلی و چه تدریجی) از پیش تعیین شده بود. مدل ارایه شده توسط برمن[۲] نیز اگر چه نتایج قابل توجهی داشته؛ اما رابطه شعاع و هزینه را تابعی یک به یک فرض کرده است. ویژگی‌های بارز مساله مکان‌یابی مراکز توزیع امداد ارایه شده، به شرح ذیل است[۳]:

ماهیت مدل: برنامه‌ریزی از نوع استراتژیک و تک‌دوره‌ای / فضای حل گسسته / رده مورد بررسی توزیع

ورودی‌ها: تعداد مراکز توزیع نامعلوم / ظرفیت مراکز توزیع نامعلوم و غیر یکسان / تک محصولی/ بیان عدم‌قطعیت تقاضا با استفاده از مجموعه‌ای از سناریوها

خروجی: مکان‌یابی مراکز توزیع / تخصیص مراکز به نقاط تقاضا / میزان برآوردن تقاضا برای هر سناریو / ظرفیت و موجودی اولیه هر مرکز

توابع هدف: بیشینه‌سازی جمعیت پوشش داده شده در مجموعه سناریوها / کمینه‌سازی هزینه‌های مربوط به استقرار مراکز توزیع امداد، ایجاد ظرفیت، تامین و نگهداری کالا و حمل ونقل از مراکز توزیع امداد به نقاط تقاضا

در این مقاله مدلی برای پوشش تقاضا در شرایط اضطرار ارایه شده که علاوه بر در نظر گرفتن شعاع متغیر، مدل‌های پیشین را اصلاح کرده و بهبود داده است. همچنین در هر شرایطی که شعاع پوشش مرکز تابعی از امکانات به کار گرفته شده باشد مدل‌سازی این مقاله قابل استفاده است. در این مطالعه، مدل با فرضیات مکان‌یابی تسهیلات امداد بلایا توسعه داده خواهد شد؛ اما به راحتی قابل بسط به زنجیره تامین تجاری است. به عنوان مثال برای ساخت فروشگاه در سطح شهر می‌توان این نکته را مد نظر قرار داد که دسترسی به تنوع زیادی از کالا و امکانات رفاهی جاذبه بیش‌تری برای مشتریان ایجاد کرده و آن‌ها علی رغم فاصله بیش‌تر به فروشگاه مجهزتر مراجعه خواهند کرد، در این صورت تابع هدف به حداکثرسازی سود تبدیل خواهد شد.

این پژوهش در هشت بخش نگارش شده است. کلیات، مفاهیم و شرایط حاکم بر فضای مساله به طور اجمالی مطرح شد و در بخش دوم مروری بر مقالات مکان‌یابی پوششی، مدل‌های پوشش با تمرکز بر روی شعاع، و کاربرد مدل‌های پوشش در زنجیره امداد انجام گرفته و شکاف‌های تحقیقاتی در ادبیات موضوع شناسایی شده-اند. در بخش سوم مربوط به بیان مساله و بخش چهارم فرضیات، نمادگذاری و مدل ریاضی برای مساله ارایه شده است. در بخش پنجم روش حل ارایه شده است. بخش ششم به توضیح رویکرد بهینه‌سازی پایدار پرداخته است. در بخش هفتم، پس از حل مدل و اعمال آن بر یک مساله حقیقی، نتایج به دست آمده بررسی شده است. در بخش هشتم نتایج حاصل از این پژوهش شرح داده شده و زمینه‌های مطالعات بیش‌تر در تحقیقات آتی معرفی شده‌اند.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.3.8]

۲ پیشینه تحقیق

در این بخش مروری بر مدل‌های پوشش در لجستیک امداد در ۱۰سال گذشته شده است. لازم به ذکر است برخی منابع مسایل مکان‌یابی اضطراری را شامل ۵ حوزه تجهیز، آمادگی، امداد، آتش نشانی و آمبولانس می‌دانند اما با توجه به تفاوت ماهیت دو حوزه آتش‌نشانی و آمبولانس که تکرار بیشتر و ریسک کم‌تری نسبت به وقوع بلایا دارند، در اینجا به فقط حوزه‌های تجهیز، آمادگی و امداد پرداخته شده است.

جیا و همکاران[۴] مدل‌های مکان‌یابی قطعی و احتمالی به کاربرده شده در فوریت‌های کوچک‌تر را مرور کرده و سه مدل معرفی کردند: ۱)مدل پوششی که تقاضای نقاط با محدودیت فاصله را پوشش می‌دهد. ۲) مدل قطعیp- میانه که کل فاصله بین تجهیزات و نقاط تقاضا را حداقل می‌سازد. ۳) مدل p- مرکز که با حداقل ساختن بیشینه فاصله بین هر نقطه تقاضا و نزدیک‌ترین مرکز سرویس به جواب بهینه می‌رسد. آن‌ها در مقاله‌ای دیگر [۵] راه‌حل ابتکاری برای مکان‌یابی منابع پزشکی در شرایط اضطراری ارایه دادند.

بالسیک و بیمون [۶] نوعی از مدل پوشش را ارایه دادند که تصمیمات مکان‌یابی و موجودی را با در نظر گرفتن محدودیت‌های بودجه و ظرفیت، یکپارچه می‌کرد. برالدی [۷] در مقاله خود یک مدل احتمالی برای تعیین محل بهینه تسهیلات در سیستم‌های اضطراری متراکم ارایه کرد. مدل حداکثر پوشش ارایه شده توسط پن [۸] مساله مکان‌یابی پناهگاه‌های اضطراری در زمان گردباد در کشور چین را در نظر گرفت. مقاله او با تاکید بر اثرات این گردبادها بر توسعه اقتصادی چین، یک مدل مکان‌یابی- توزیع یکپارچه را برای هماهنگی پشتیبانی لجستیک و تخلیه در عملیات امداد پس از بلایا بررسی نموده است.

نولز و همکاران [۹] یک راه حل دو بخشی را برای حل مساله تحویل آب آشامیدنی در موقعیت پس از حادثه معرفی کردند. تابع هدف مدل آن‌ها شامل سه قسمت است: ۱) حداقل کردن ریسک، ۲)حداقل کردن کل زمان سفر و ۳) پوشش‌دهی سیستم لجستیک. در این مساله با استفاده از دو تابع هدف اولیه هر مرکز جمعیت به نزدیک‌ترین نقطه توزیع آب تخصیص داده شده است؛حتی اگر فاصله منطقی نباشد؛ اما باید در نظر داشت اگر فاصله جمعیت تا منبع آب آشامیدنی زیاد باشد افراد ممکن است ترجیح دهند که از آب تصفیه نشده؛ اما نزدیک‌تر استفاده کنند که خطر بیماری را بالا می‌برد و ازینرو تابع حداکثر پوشش در نظر گرفته شده است.

ونگ و همکاران [۱۰] برای کارایی بیشتر، فاکتور عدم قطعیت در تقاضا، زمان پاسخ و زمان سفر وسیله نقلیه را در مدل در نظر گرفته اند. این مدل به منظور حداکثر پوشش برای مکان‌یابی منابع اضطراری و تخصیص چندین مرکز امداد به چندین نقطه تقاضا به کار گرفته شده است.

در پژوهشی دیگر مورالی و همکاران [۱۱] مساله مکان‌یابی تسهیلات به منظور تحویل دارو در پاسخ به حملات بیولوژیکی در یک شهر بزرگ را مطرح کردند. این مدل نوع خاصی از مدل حداکثر پوشش است، بطوریکه تابع پوشش وابسته به فاصله بوده و تقاضا قطعی نیست. خروجی کار آن‌ها مکان و موجودی تسیهلات و تخصیص تقاضاست و کاربرد آن نیز بر روی یک مطالعه موردی از شیوع سیاه‌زخم در لس‌آنجلس نشان داده شده است. لو و شو [۱۲] در مقاله خود حالت پوشش مجموعه را در نظر گرفتند. در این مقاله محدودیت پوشش تمام مجروحین آسیب دیده با تابع هدف حداقل احداث مراکز درمان در نظر گرفته شده است.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.3.8]

آراسته و همکاران [۱۳] یک مدل برنامه‌ریزی ریاضی عددصحیح مختلط برای مساله‌ی مکان‌یابی چند تسهیل و چند نقطه‌ی انتقال ارایه کرده است، به طوری که امکان انتقال هر مجروح به طور مستقیم یا از طریق نقاط انتقال در نظر گرفته شده بود. مدل پیشنهادی جریمه‌ی عدم ارسال مجروحین از نقاط آسیب‌دیده و از نقاط انتقال با فرض وجود محدودیت ظرفیت در نظر گرفته است. مدل پیشنهادی با استفاده از روش حل شاخه و حد بر روی منطقه ی ۴ شهر تهران اجرا شد. 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. 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 حمل و نقل سریع‌تر، کم‌تر از سایر خطوط می‌باشد.

بزرگی امیری و همکاران [۱۴] یک رویکرد برنامه‌ریزی امکانی تک هدفه برای مدلسازی مساله لجستیک امداد با تقاضاها، هزینه های راه اندازی و حمل و نقل نادقیق ارایه داده اند. مدل چند هدفه شامل مینیمم کردن هزینه کل لجستیک می‌باشد. مدل ارایه شده فرضیات اساسی زیر را در نظر گرفته است: عدم قطعیت در تقاضا و عرضه برای هر نوع کالا، عدم قطعیت در پارامترهای هزینه‌ای، حالت چندکالایی و ساختار سه سطحی زنجیره امداد. همچنین در این پژوهش سه نوع کالای امدادی (چادر، آب و نوشیدنی و بسته‌های غذایی) در نظر گرفته شده است و فقط نواحی آسیب دیده‌ای در نظر گرفته می‌شوند که امکان دسترسی از طریق شبکه حمل و نقل جاری میسر باشد. در نهایت، مدل با بکارگیری روش زیمرمن حل شد.

تقسیم‌بندی مقالات فوق بر اساس تابع هدف، پوشش، قطعیت پارامترها در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱. دسته بندی مقالات مکان یابی پوششی در لجستیک امداد

نویسنده(سال)	پوشش تقاضا		شعاع پوشش		قطعیت پارامترها	
	پوشش مجموعه	پوشش جزئی	ثابت	متغیر	احتمالی	قطعی	تابع هدف
Berman et al (2003) [۱۵]		✓	✓			✓	حداقل زمان سفر
Dekle et al (2005) [۱۶]		✓	✓			✓	حداکثر پوشش
Hale & Moberg (2005) [۱۷]	✓		✓			✓	حداقل تعداد مراکز توزیع
Jia et al (2007) [۵]		✓	✓		✓		حداقل تعداد سایت ها
Balcik & Beamon (2008) [۶]		✓	✓		✓		حداکثر پوشش
Beraldi & Bruni(2009) [۷]		✓	✓		✓		حداکثر پوشش
Pan (2010) [۸]		✓	✓			✓	حداقل هزینه استقرار
Nolz et al (2011) [۹]		✓	✓		✓		حداکثر پوشش
Murali et al (2012) [۱۱]		✓	✓			✓	حداقل حداکثر ریسک
Lu & Sheu (2013) [۱۲]	✓		✓			✓	حداقل تعداد سایت ها
آراسته و همکاران(۱۳۹۴) [۱۳]		✓	✓			✓	حداقل کل زمان سفر
بزرگی امیری و همکاران(۱۳۸۹) [۱۴]		✓	✓			✓	نقل و و حمل هزینه راه اندازی حداقل

با در نظر گرفتن مساله مورد بحث در این مقاله شکاف‌های تحقیقاتی ذیل مورد توجه است:

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.3.8]

۱) در تمام مسایلی که با تقاضای عمومی روبرو هستند، شرایط اضطراری است و یا عدالت در توزیع اهمیت دارد، مهم‌ترین هدف، برآوردن تقاضا در زمان تعریف شده و تحت محدودیت‌های حاکم بر مساله است. برای بهینه کردن این هدف، مدل‌های پوششی به کار گرفته می‌شوند، حال آنکه با مرور پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه لجستیک امداد در طی سال های گذشته مشخص شد کم‌تر از ۲۰٪ این مقالات بحث پوشش را در نظر گرفتند که با توجه به اهمیت آن در حوزه اضطرار، کار بیش‌تر در این زمینه الزامی است.

۲) از دیگر خلاهای موجود در بحث پوشش می‌توان به در نظر نگرفتن سرعت خدمت‌دهی اشاره کرد، عموم مقالات فاصله را به عنوان معیار پوشش در نظر گرفته‌اند، حال آنکه این دو رابطه کاملا مستقیمی ندارند.

۳) یکی از مسایل دیگری که باید به آن توجه کرد مساله پوشش پویاست، این فرض که در رابطه با مکان‌یابی اورژانس به کار گرفته شده است با در نظر گرفتن شرایطی است که شعاع پوشش به دلایلی مانند ترافیک مسیر می‌تواند در افق زمانی تغییر کند.

۳ بیان مساله

در این پژوهش امدادرسانی بلافاصله پس از وقوع بحران با هدف‌رساندن کمک‌های اولیه، اقلام مورد نیاز و یا نیروی امداد، در سریع‌ترین زمان ممکن، مورد توجه قرار گرفته است. ابزار مکان‌یابی و تخصیص برای پشتیبانی فعالیت‌ها و تسریع در امدادرسانی استفاده شده است. از آنجا که برای نجات افراد آسیب دیده، عملیات امداد باید در بازه زمانی محدود صورت گیرد، از مفهوم مکان‌یابی پوششی برای برنامه‌ریزی استفاده شده است. همچنین در این پژوهش بلایا از جمله حوادث طبیعی مانند زمین لرزه و طوفان در نظر گرفته شده است. عملیات پاسخ باید در ساعات اولیه صورت گیرد تا اثربخشی مطلوب را داشته باشد. به‌دلیل عدم قطعیت در مکان و شدت رویداد، تقاضا در نقاط مختلف متفاوت خواهد بود. تسهیلات که توزیع امداد را انجام می‌دهند، می‌توانند امکانات مختلفی داشته باشند که منجر به سرعت سرویس‌دهی و ظرفیت متفاوت خواهد شد.

برای این منظور مساله مکان‌یابی و تخصیص برای امداد و نجات پس از زمین‌لرزه در ۹ شهر واقع در استان خراسان با داده‌های حقیقی انجام شده است. در این مطالعه ۵ شهر از خراسان شمالی و ۴شهر در شمال خراسان رضوی در نظر گرفته شده است. مختصات این شهرها از نقشه گوگل و جمعیت آن‌ها از سالنامه آماری ایران در سال ۱۳۹۳ استخراج شده است. بر اساس موقعیت و شدت زمین لرزه تعداد افراد آسیب‌دیده و میزان تقاضا متفاوت خواهد بود. پنج سناریو با احتمالات وقوع مختلف در نظر گرفته شد. سه نوع تسهیلات برای امدادرسانی موجود است. تسهیل نوع یک مرتبط با حمل‌ونقل هوایی و دو نوع دیگر مربوط به حمل‌ونقل زمینی هستند. شش نقطه کاندید برای استقرار تسهیلات امدادی در نظر گرفته شده است. این نقاط نزدیک به مسیرهای ارتباطی اصلی و در نقاط امن (برای مثال دور از کوه و گسل‌های بزرگ) واقع شده‌اند. بنابراین تخصیص مراکز امداد به این نقاط بالقوه و همچنین تعیین شعاع پوشش هر یک از این نقاط از جمله مسایل مهم در این زمینه می‌باشد. همچنین تعیین ظرفیت هر یک از مراکز امداد و همچنین تعیین مقدار تقاضای پوشش داده شده در هر مرکز نیز از جمله دغدغه های مسئولین امداد بحران می‌باشد که در این پژوهش در نظر گرفته خواهد شد.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.3.8]

بیشینه‌سازی جمعیت پوشش داده شده در مجموعه سناریوها، کمینه‌سازی هزینه‌های مربوط به استقرار مراکز توزیع امداد، ایجاد ظرفیت، تامین و نگهداری کالا و حمل ونقل از مراکز توزیع امداد به نقاط تقاضا از جمله اهداف این پژوهش می‌باشد.

مدل ارایه شده در موارد ذیل از پژوهش‌های پیشین متمایز است:

برای اولین بار در حوزه لجستیک امداد شعاع ثابت و از پیش تعیین شده، فرض نشده است.

برای اولین بار سرعت سرویس‌دهی تسهیل که خود متغیر تصمیمی در مساله است، در ضریب پوشش در نظر گرفته شده است.

وابستگی هزینه و شعاع نه در یک تابع پیوسته بلکه بصورت پله‌ای در نظر گرفته شده است.

علاوه بر وارد کردن ظرفیت در مدل پوشش با شعاع متغیر، این عامل بصورت متغیر پیوسته آمده است که سبب استفاده بهینه هزینه می‌شود.

مدل پوشش با شعاع متغیر تقاضا را قطعی فرض کرده اما در این مساله به دلیل شرایط غیر قابل پیش‌بینی بحران و بلایا عدم قطعیت در تقاضا به صورت سناریوهایی محدود دیده شده است.

٤ مدل ریاضی حداکثر پوشش با شعاع متغیر

موارد ذیل در این مدل فرض شده‌اند:

- ✓ برنامه‌ریزی تک‌دوره ای و قبل از وقوع بحران است.
- ✓ با استفاده از آمار بلایای رخ داده در گذشته، احتمال وقوع هر سناریو، و میزان تقاضای پیش‌آمده هر نقطه تقاضا با توجه به وقوع هر سناریو از قبل معلوم است.
- ✓ زنجیره تامین، دو سطحی (انتقال کالا از مراکز توزیع امداد به مناطق آسیب‌دیده) است.
- ✓ هر نقطه آسیب یا تقاضا می‌تواند فقط توسط یک مرکز سرویس‌دهی شود و هر مرکز امداد به چندین نقطه نقاضا امدادرسانی می‌کند.
- ✓ هر نقطه تقاضا می‌تواند به طور کامل یا جزئی پوشش یابد و یا اصلا پوشش داده نشود.
- ✓ یک نوع کالای امدادی در نظر گرفته شده است.
- ✓ امکان برآورده نشدن کالا در هر سناریو وجود دارد و غیر قابل جبران است.
- ✓ انعطاف‌پذیری مدل در تعیین ظرفیت مراکز توزیع: عمده تحقیقات در این حوزه، ظرفیت تسهیلات را یکسان و با اندازه ثابت در نظر گرفتند، اما در این تحقیق، برای ظرفیت مراکز توزیع با توجه به نوع آن یک حد بالا در نظر گرفته که منتج به انتخاب بهترین ظرفیت برای هر مرکز توزیع می‌شود.
- ✓ برای راه اندازی هر مرکز امداد بسته به نوع آن یک هزینه ثابت در نظر گرفته شده است.
- ✓ برای تهیه، انبارش و نگهداری کالا هزینه متغیری بسته به نوع مرکز امداد وجود دارد که مجموع این هزینه‌ها بصورت هزینه متغیر برای هر کالا در نظر گرفته شده است.
- ✓ موجودی اولیه هر تسهیل پس از حل مدل مشخص می‌شود؛ اما مدیریت موجودی در نظر گرفته نشده

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.3.8]

است.

- ✓ حمل و نقل و موجودی در نظر گرفته شده؛ اما مسیریابی در مدل لحاظ نشده است.
- ✓ ناوگان حمل و نقل و شبکه راه‌ها جهت ارسال کالا یا انتقال افراد محدودیت خاصی ندارد.

نمادگذاری‌های ذیل برای فرموله نمودن مدل استفاده شده است:

- **اندیس ها**

I مجموعه نقاط بحرانی

J مجموعه نقاط کاندید

S مجموعه سناریوها

K مجموعه انواع مراکز توزیع امداد

- **پارامترهای مستقل**

P^s احتمال وقوع سناریوs ام

D_i^s تقاضای ایجاد شده در نقطه بحرانی i ام تحت سناریوی s

d_{ij} فاصله نقطه بحرانی i با نقطه کاندید j

t حداکثر زمان مجاز پاسخگویی به تقاضا

- **پارامترهای وابسته به نوع تسهیل**

F_k هزینه ثابت استقرار مرکزامداد نوع k

b_k هزینه ایجاد ظرفیت، تامین و نگهداری برای هر بسته امداد در مرکز امداد نوع k

G_k هزینه حمل ونقل در واحد مسافت برای هر بسته در مرکز امداد نوع k

U_k حداکثر ظرفیت تهسیل نوع k

$speed_k$ سرعت انتقال بسته امدادی با تسهیلات نوع k

α_{ijk} ضریب پوشش: اگر ارتباط بین سایت پیشنهادی j و ناحیه تقاضای i توسط مرکز توزیع k برقرار باشد برابر ۱ و در غیر این صورت برابر صفر است.

$$\alpha_{ijk} = \begin{cases} ۱ \rightarrow \left(\frac{d_{ij}}{speed_k}\right) \le t \\ ۰ \rightarrow otherwise \end{cases} \qquad (۱)$$

- **متغیرها**

y_{kj} اگر مرکز امدادی از نوع k در نقطه کاندید j ساخته شود برابر با ۱ و در غیر این صورت برابر صفر است. این متغیر علاوه بر مکان تسهیل، نوع آن و در نتیجه شعاع پوشش مربوطه را مشخص می‌کند.

Z_{ijk} اگر مرکز امداد نوع k در نقطه j به منطقه بحرانی i اختصاص یابد برابر با ۱ و در غیر این صورت

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.3.8]

برابر صفر است.

x_{ijk} مقداری از تقاضای منقطه بحرانی i که توسط مرکز امداد نوع k در نقطه j پوشش داده می‌شود.

C_{jk} ظرفیت مرکز امداد نوع k که در نقطه j ساخته شده است.

مدل به صورت برنامه ریزی عدد صحیح مختلط[1] و با نشانه‌گذاری فوق فرموله شده است:

$$z_1 = \max \sum_i \sum_j \sum_k \sum_s P^s D_i^s x_{ijk} \quad (۲)$$

$$z_2 = \min \sum_j \sum_k F_k y_{jk} + \sum_j \sum_k b_k C_{jk} + \sum_i \sum_j \sum_k \sum_s P^s D_i^s d_{ij} x_{ijk} G_k \quad (۳)$$

$$\sum_k y_{jk} \le 1 \qquad \forall j \in J \quad (۴)$$

$$z_{ijk} \le \sum_k \alpha_{ijk} y_{jk} \qquad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (۵)$$

$$\sum_j \sum_k z_{ijk} \le 1 \qquad \forall i \in I \quad (۶)$$

$$x_{ijk} \le z_{ijk} \qquad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K \quad (۷)$$

$$\sum_i \sum_s P^s D_i^s x_{ijk} \le C_{jk} \qquad \forall j \in J, \forall k \in K \quad (۸)$$

$$C_{jk} \le u_k y_{jk} \qquad \forall j \in J, \forall k \in K \quad (۹)$$

$$y_{jk} \in \{0,1\} \qquad \forall j \in J, \forall k \in K \quad (۱۰)$$

$$z_{ijk} \in \{0,1\} \qquad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K \quad (۱۱)$$

$$C_{jk} \ge 0 \qquad \forall j \in J, \forall k \in K \quad (۱۲)$$

$$x_{ijk} \ge 0 \qquad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K \quad (۱۳)$$

- **تشریح توابع هدف و محدودیت‌ها**

تابع هدف اول (۲) بیانگر بیشینه‌سازی جمعیت پوشش داده شده در مجموعه سناریوهاست. تابع هدف دوم (۳) بیانگر کمینه‌سازی مجموع هزینه‌های مربوط به استقرار مراکز توزیع امداد، ایجاد ظرفیت، تامین، نگهداری کالا و حمل‌ونقل از مراکز توزیع امداد به نقاط تقاضا، می‌باشد. قابل توجه است که حداقل کردن زمان حمل و نقل، خود باعث تسریع خدمت‌دهی می‌شود. همچنین در صورت حذف هزینه متغیر (ایجاد ظرفیت، تامین، نگهداری) از این تابع هدف، هر تسهیل حداکثر ظرفیت مربوط به نوع خود را خواهد داشت.

[1] Mixed integer programming

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.3.8]

محدودیت (۴) از استقرار بیش از یک مرکز در یک نقطه کاندید جلوگیری می‌نماید. محدودیت (۵) تضمین می‌کند زمانی مرکز j می‌تواند به نقطه i تخصیص یابد که اولا استقرار یافته باشد و ثانیا بتواند آن نقطه را پوشش دهد. محدودیت(۶) الزام می‌نماید به هر نقطه تقاضا حداکثر یک مرکز امداد اختصاص یابد.

محدودیت (۷) میزان برآورد تقاضا توسط مرکز امداد تخصیص یافته را نشان می‌دهد. این تعریف به علت محدودیت ظرفیت تسهیل است، بدین معنا که اگر چه نقطه تسهیل j به نقطه تقاضای i اختصاص یافته اما ممکن است ظرفیت آن کمتر از تقاضای آن منطقه باشد. ظرفیت مراکز در محدودیت(۸) تعیین می‌شوند بطوری که از حد بالای تعریف شده در محدودیت (۹) تجاوز نکنند. محدودیت‌های (۱۰) تا (۱۳) متغیرهای باینری و غیرمنفی‌بودن متغیرها را نشان می‌دهد.

۵ روش حل

مدل از نوع برنامه‌ریزی صحیح مختلط دو هدفه است و همه محدودیت‌های مدل خطی هستند. برای حل مدل پیشنهادی، روش تابع هدف کراندار[1] [۱۸] استفاده شده است. در این روش تصمیم‌گیرنده باید حداقل سطح قابل قبول برای هر هدف را تعیین کند. مهمترین تابع هدف ($f_s(x)$) بهینه‌سازی شده و سایر اهداف دیگر نقش محدودیت را دارند. این حالت بصورت ذیل نمایش داده شده است:

$$l_i \le f_i(x) \le \varepsilon_i \quad i = ۱,...,k \;\&\; i \ne s \qquad (۱۴)$$

l_i و ε_i به ترتیب حد پایین و بالا برای f_i هستند که تعیین آن‌ها یکی از مشکلات روش فوق است. همچنین تشخیص تابع هدف با بالاترین اولویت همیشه ساده نیست. از این رو برای بررسی بهتر در حل مساله یک‌بار تابع پوشش و یک بار تابع هزینه وارد محدودیت شده‌اند.

الف)تابع هدف حداقل هزینه و پوشش در محدودیت

حد بالای تابع هدف پوشش برابر با $\varepsilon_i = \gamma(\sum_i \sum_s \mathrm{P}^s D_i^s)$ قرار گرفته است. در این معادله γ $(\circ \prec \gamma \le ۱)$ نسبت پوشش مطلوب به متوسط تقاضا در مجموعه سناریوهاست و با نظر کارشناسان معین می‌شود. بنابراین تابع هدف پوشش به صورت معادله (۱۵) در محدودیت قرار می‌گیرد و سایر معادلات به شکل قبل برقرار است:

$$\sum_i \sum_j \sum_k \sum_s \mathrm{P}^s D_i^s x_{ijk}^s \le \gamma(\sum_i \sum_s \mathrm{P}^s D_i^s) \qquad (۱۵)$$

برای حل اولیه γ برابر ۱ فرض شده است بدین معنی که خواهان پوشش کل تقاضا هستیم. مقدار تابع هدف با مفروضات فوق برابر با ۳۴۱۳۵۹۲ واحد هزینه است.

ب)تابع هدف حداکثر پوشش و هزینه در محدودیت

با قرار دادن تابع حداقل هزینه در محدودیت بصورت معادله (۱۶) بار دیگر مدل حل شده است.

$$\sum_j \sum_k F_k y_{jk} + \sum_j \sum_k b_k C_{jk} + \sum_i \sum_j \sum_k \sum_s \mathrm{P}^s D_i^s d_{ij} x_{ijk}^s G_k \le \beta \qquad (۱۶)$$

β نشان‌دهنده بودجه در دسترس بوده که ابتدا β = ۴۷۱۶۸۲ قرار گرفته و نتیجه آن پوشش ۱۰۰٪ است. محل

[1] bounded objective function method

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.3.8]

استقرار، نوع، ظرفیت و نحوه تخصیص مشابه جواب اولیه قسمت قبل است.

٦ مدل بهینه پایدار[1] حداکثر پوشش با شعاع متغیر

برای تلفیق برنامه‌ریزی سناریو و مدل‌سازی مکان‌یابی رویکردهای مختلفی مانند بهینه‌سازی امید ریاضی عملکرد سیستم و یا بهینه‌سازی عملکرد سیستم در بدترین سناریوها وجود دارد[۱۹]. یکی دیگر از رویکردهای برنامه‌ریزی بهینه پایدار است، پایداری در اینجا به معنای آن است که خروجی مدل نسبت به مقادیر دقیق ورودی‌ها حساسیت زیادی نداشته باشد[۲۰،۲۱]. بهینه‌سازی پایدار می‌تواند گزینه مکملی برای تحلیل حساسیت و برنامه‌ریزی احتمالی باشد. بهینه سازی پایدار بر ۲ نوع است[۲۲،۲۳]:

پایداری مدل: حل در تمامی سناریوها شدنی باشد.

پایداری حل: حل در تمامی سناریوها تقریبا بهینه است. در حقیقت اگر ضرایب تابع هدف دارای عدم قطعیت باشند، جواب موجه پایداری که بدترین حالت آن از بدترین حالت سایر جواب ها بهتر باشد، جواب بهینه پایدار نامیده می‌شود.

در سال‌های اخیر تحقیقات گسترده‌ای در این زمینه صورت گرفته است. مولوی و همکاران[۲۴] ساختار برنامه‌ریزی آرمانی را با سناریوهای داده‌های مساله ترکیب کردند. آن‌ها برای نمایش مدل، متغیرها را بصورت ذیل دسته بندی نمود:

x متغیرهای طراحی[2] که مقدار بهینه آن‌ها مشروط به محقق شدن پارامترهای غیر قطعی نیست.

y متغیرهای کنترلی[3] که تحت تاثیر محدودیت با مقادیر تصادفی هستند.

مدل بهینه‌سازی با توجه به تعاریف فوق به صورت ذیل می‌باشد:

$$Min\Im_s = c^T x + d^T y \qquad (۱۷)$$

$$Ax = b \qquad (۱۸)$$

$$Bx + Cy = e \qquad (۱۹)$$

$$x, y \geq ۰ \qquad (۲۰)$$

محدودیت(۱۸) محدودیت‌های ساختاری مساله را نشان می‌دهند و ضرایب آن‌ها ثابت هستند. ضرایب محدودیت‌های (۱۹) تصادفی هستند و به آن‌ها محدودیت‌های کنترلی می‌گویند.

برای تعریف مساله مجموعه سناریوهای $\Omega = \{۱,۲,\ldots,S\}$ را در نظر بگیرید که برای هر سناریو یک زیر مجموعه $\{d_s, b_s, c_s, e_s\}$ و احتمال p_s $(\sum_{s=۱}^{S} p_s = ۱)$ برای تحقق آن سناریو در نظر گرفته شده است. $\{y_۱, y_۲, \ldots, y_s\}$ مجموعه متغیرهای کنترلی تعریف شدند. به دلیل عدم قطعیت، ممکن است مدل در برخی از

[1] Robust Optimization Model
[2] Design variables
[3] Control variables

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.3.8]

سناریوها شدنی نباشد و مجموعه خطاها $\{\delta_1, \delta_2, \ldots, \delta_s\}$ میزان غیر موجه بودن تحت سناریوهای مختلف را نشان می‌دهد. هنگامی که چند سناریو وجود دارد تابع هدف $c^T x + d^T y$ خود یک مقدار تصادفی گسسته است که مقدار $\xi_s = c^T x + d^T y$ را با احتمال p_s می‌گیرد؛ بنابراین تابع هدف به صورت میانگین $\sigma(0) = \sum_{s\in\Omega} p_s \xi_s$ است. در این صورت مساله به شکل زیر فرموله می‌شود:

$$Min\ \sigma(x, y_1, \ldots, y_s) + \omega\rho(\delta_1, \delta_2, \ldots, \delta_s) \quad (۲۱)$$

$$Ax = b \quad (۲۲)$$

$$B_s x + C_s y_s + \delta_s = e_s \qquad \forall s \in \Omega \quad (۲۳)$$

$$x, y_s, \delta_s \geq 0 \qquad \forall s \in \Omega \quad (۲۴)$$

جمله $\rho(\delta_1, \delta_2, \ldots, \delta_s)$ تابع جریمه موجه نبودن را نشان می‌دهد و w ضریب وزن‌دهی است؛ بنابراین تابع هدف فوق دو معیاره است، به طوری که بخش اول درجه بهینگی و بخش دوم موجه بودن و پایداری را اندازه می‌گیرد. استوارسازی مدل ارایه شده در این مقاله، بر روی تابع هدف حداکثر پوشش انجام شده است و مساله به شکل ذیل فرموله شده است:

ω نشانگر وزن داده شده به معیارها و $0 \leq w \leq 1$ و B حداکثر بودجه در دسترس است.

$$Z = \max(w * z_1) + (1-w)(1-z_2) \quad (۲۵)$$

$$\sum_j \sum_k F_k y_{jk} + \sum_j \sum_k b_k C_{jk} + \sum_i \sum_j \sum_k \sum_s P^s D_i^s d_{ij} x_{ijk}^s G_k \leq \beta \quad (۲۶)$$

$$\sum_k y_{jk} \leq 1 \qquad \forall j \in J \quad (۲۷)$$

$$z_{ijk} \leq \sum_k \alpha_{ijk} y_{jk} \qquad \forall i \in I, \forall j \in J \quad (۲۸)$$

$$\sum_j \sum_k z_{ijk} \leq 1 \qquad \forall i \in I \quad (۲۹)$$

$$x_{ijk} \leq z_{ijk} \qquad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K \quad (۳۰)$$

$$\sum_i \sum_s P^s D_i^s x_{ijk} \leq C_{jk} \qquad \forall j \in J, \forall k \in K \quad (۳۱)$$

$$C_{jk} \leq u_k y_{jk} \qquad \forall j \in J, \forall k \in K \quad (۳۲)$$

$$\sum_i \sum_j \sum_k \sum_s P^s D_i^s x_{ijk} / \sum_i \sum_s P^s D_i^s \leq z_1 \quad (۳۳)$$

$$z_1 - \left(\sum_i \sum_j \sum_k D_i^s x_{ijk} / \sum_i D_i^s\right) \leq z_2 \qquad \forall s \quad (۳۴)$$

$$y_{jk} \in \{0, 1\} \qquad \forall j \in J, \forall k \in K \quad (۳۵)$$

$$z_{ijk} \in \{0, 1\} \qquad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K \quad (۳۶)$$

$$x_{ijk} \geq 0 \qquad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K \quad (۳۷)$$

$$C_{jk} \geq 0 \qquad \forall j \in J, \forall k \in K \quad (۳۸)$$

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.3.8]

$$z_1 \geq 0 \qquad (۳۹)$$

$$z_2 \geq 0 \qquad (۴۰)$$

همان‌طور که در محدودیت(۳۳) و (۳۴) تعریف می‌شود متغیر z_1 نشان‌دهنده درصد پوشش مورد انتظار در کلیه سناریوها و متغیر z_2 حداکثر انحراف درصد پوشش هر یک از سناریو با این مقدار است. از آن‌جا به دنبال حداکثر پوشش و حداقل انحراف هستیم، در تابع هدف z_1 و $(1-z_2)$ بیشینه شده است. مقدار w یک پارامتر ورودی است که هر چه اهمیت پوشش مورد انتظار در کلیه سناریوها نسبت به حداکثر انحراف پوشش بیشتر باشد، مقادیر بزرگ‌تری می‌گیرد و بهترین مقدار آن با سعی و خطا مشخص می‌شود. سایر محدودیت‌ها همانند قبل تعریف می‌شوند.

۷ مطالعه موردی

استان خراسان شمالی از نظر موقعیت جغرافیایی در شمال شرق ایران و در رشته کوه‌های کپه داغ قرار گرفته است. می‌توان از کوه‌های آلاداغ در قسمت‌های مرکزی و کوه‌های جغتای در جنوب این استان به عنوان کانون‌های زمین‌لرزه یاد کرد. به همین دلیل استان خراسان شمالی یکی از مناطق با خطر بالای زمین‌لرزه در نقشه‌ها به حساب می‌آید و یکی از سه استان پرحادثه در زمینه زمین‌لرزه در کشور است. در این مثال ۵ شهر از خراسان شمالی و ۴ شهر در شمال خراسان رضوی در نظر گرفته شده است. مختصات این شهرها از نقشه گوگل و جمعیت آن‌ها از سالنامه آماری ایران در سال ۱۳۹۳ استخراج شده و در جدول۲ نمایش داده شده است. بر اساس موقعیت و شدت زمین لرزه تعداد افراد آسیب دیده و میزان تقاضا متفاوت خواهد بود. ۵ سناریو با احتمالات وقوع ۰/۱، ۰/۲۳، ۰/۲۶، ۰/۱۷ و ۰/۲۴ در نظر گرفته شد. برای تولید مقادیر تقاضای هر شهر در هر سناریو اعداد تصادفی با تابع توزیع یکنواخت در بازه ۱۰۰ تا ۷۵٪ جمعیت آن شهر تولید شده است.۳ نوع تسهیلات برای امدادرسانی موجود است. تسهیل نوع یک مرتبط با حمل‌ونقل هوایی و دو نوع دیگر مربوط به حمل‌ونقل زمینی هستند. اطلاعات هزینه $\{g_k, b_k, f_k\}$، سرعت $\{speed_k\}$ و حداکثر ظرفیت مجاز u_k این تسهیلات در جدول۳ موجود است. ۶ نقطه کاندید برای استقرار تسهیلات امدادی در نظر گرفته شده است. این نقاط نزدیک به مسیرهای ارتباطی اصلی و در نقاط امن (برای مثال دور از کوه و گسل‌های بزرگ) واقع شده‌اند و مختصات آن‌ها در جدول۴ آمده است.

کوتاه‌ترین فاصله زمینی بین نقاط کاندید و شهرهای مد نظر نیز از نقشه گوگل استخراج شده است برای محاسبه فاصله هوایی، مختصات به واحد متریک جهانی[1] تبدیل شده و فاصله مستقیم محاسبه شده است. حداکثر زمان مجاز برای رساندن امداد (شعاع پوشش) ۱/۵ ساعت در نظر گرفته شده است.

[1] Universal Transverse Mercator

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.3.8]

جدول۲. مختصات و جمعیت شهرها

شهر	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	جمعیت (نفر)
قوچان	۵۸/۵۱	۳۷/۱۰۶	۱۷۹۷۱۴
جوین	۵۷/۵۰	۳۶/۶۳۷	۵۴۱۳۹
جغتای	۵۷/۰۶	۳۶/۶۲۳	۴۷۹۲۰
فاروج	۵۸/۵۱۱	۳۷/۱۰۶	۵۲۳۶۴
بجنورد	۵۷/۳۲۳	۳۷/۴۵۲	۳۶۵۸۹۶
اسفراین	۵۷/۴۹۰	۳۷/۰۷۱	۱۲۷۰۱۲
شیروان	۵۷/۹۳۰	۳۷/۳۹۵	۱۵۷۰۱۴
جاجرم	۵۶/۳۷۳	۳۶/۹۴۸	۳۶۸۹۸
نقاب	۵۷/۴۲۱	۳۶/۷۰۸	۱۲۸۴۸

جدول۳. مشخصات و هزینه های تسهیلات امدادی

K	F_K	b_k	G_K	$speed_k\left(\frac{km}{h}\right)$	u_k
۱	۵۰۰۰۰	۶	۰/۳	۶۵	۱۱۰۰۰۰۰
۲	۴۰۰۰۰	۵,۷	۰/۲	۴۲	۱۰۰۰۰۰
۳	۴۰۰۰۰	۵,۵	۰/۱۷	۳۰	۱۰۰۰۰۰

جدول٤. نوع و ظرفیت تسهیلات امداد مستقر شده

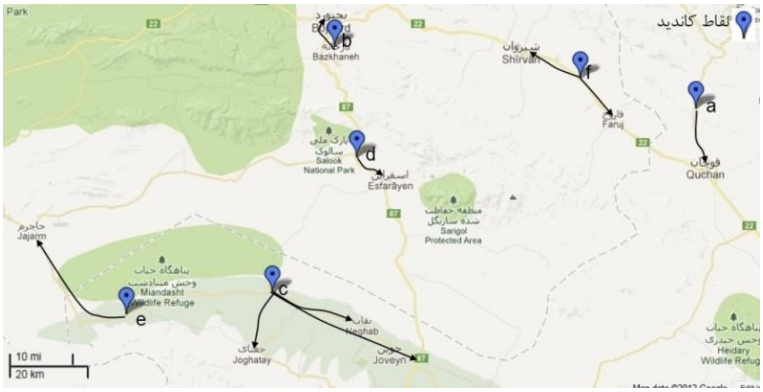
نقطه کاندید	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	$k_۱$	$k_۲$	$k_۳$
a	۴۸۰۲۳//۵۸	۲۵۶۵۷/۳۷			۷۹۱۰۲/۹۵
b	۳۳۳۱۸/۵۷	۴۱۲۷۱/۳۷			۹۷۱۱۸/۰۷
c	۱۳۴۴/۵۷	۷۹۳۷۵/۳۶		۴۲۳۱۸/۶۲	
d	۴۰۴۷۷/۵۷	۱۳۲۲۷/۳۷			۳۷۲۱۳/۴۵
e	۶۷۱۶/۵۶	۷۳۵۰۳/۳۶			۱۸۱۳۹/۴۵
f	۱۱۱۶۳/۵۸	۶۵/۳۷۳۳	۵۸۸۷۳/۸۵		

این مساله با روش تابع هدف کراندار حل شده است. ابتدا تابع هدف حداقل هزینه با محدودیت پوشش ۱۰۰٪ حل شده که در هر ۶ نقطه کاندید تسهیل قرار گرفت، ظرفیت یا موجودی اولیه و نوع این تسهیلات در جدول۴ آمده است. مقدار بودجه مورد نیاز برابر **۳۴۱۳۵۹۲** واحد پول است.

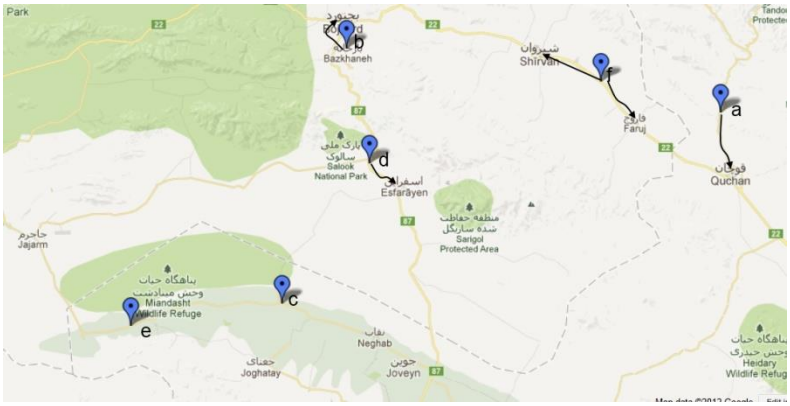
نحوه تخصیص تسهیلات امداد به نقاط تقاضا در شکل۱ نشان داده شده است. مدل با تابع هدف حداکثر پوشش و محدودیت بودجه نیز حل شده است. برای مثال با بودجه **۲۰۰۰۰۰۰** واحد پول مقدار پوشش مورد انتظار برابر با ۶۹٪ است. ۴ تسهیل فعال شده و نحوه تخصیص‌دهی در شکل۲ نمایش داده شده است.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.3.8]



شکل۱. نحوه تخصیص تسهیلات امداد به نقاط تقاضا (پوشش ۱۰۰٪)



شکل۲. نحوه تخصیص تسهیلات امداد به نقاط تقاضا (پوشش ۶۹٪)

در این مساله نیز حساسیت مقدار تابع هدف نسبت به تغییر مقدار حداکثر زمان اندک است، به طوری که در بودجه ۲۰۰۰۰۰۰ با افزایش ۱۰تا ۲۰٪ این پارامتر، جواب بهینه تغییری نمی‌کند و برابر ۶۹ درصد است. با کاهش ۱۰٪ هزینه ثابت استقرار در انواع تسهیلات، پوشش تنها ۰٫۵ درصد افزایش می‌یابد در حالی که با همین کاهش در هزینه واحد حمل و نقل و هزینه متغیر ایجاد ظرفیت مقدار پوشش به ترتیب برابر ۷۱/۲٪ و ۷۲/۵٪ خواهد بود. در ادامه مساله به‌صورت استوار حل شده و نتایج برای مقادیر مختلف بودجه و w در جدول ۵ آمده‌اند.

برای $w = ۰/۲۵$ $w = ۰/۵$ نتایج مدل استوار با مدل بهینه تصادفی یکسان است. با فرض $w = ۰/۷۵$ در تمامی بودجه‌ها حداقل پوشش سناریویی به میزان قابل توجهی بهبود یافته است. این بهبود می‌تواند به دلیل تغییر در استقرار، تخصیص و یا تغییر موجودی اولیه تسهیلات باشد. برای مثال در بودجه ۳۰۰۰۰۰۰ واحد پول، موجودی اولیه تسهیلات در جدول ۶ مقایسه شده‌اند.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.3.8]

جدول۵. جواب‌های بهینه استوار در بودجه های مختلف

بودجه	W=۰/۲۵		W=۰/۵		W=۰/۷۵		W=۱	
	پوشش کل	حداقل پوشش در سناریوها	پوشش کل	حداقل پوشش در بین سناریوها	پوشش کل	حداقل پوشش در بین سناریوها	پوشش کل	حداقل پوشش در بین سناریوها
۲۵۶۰۱۹۴	۷۶/۸۴	۷۶/۸۴	۷۶/۸۴	۷۶/۸۴	۸۱/۳۴	۷۵/۷	۸۲/۷	۶۹/۶
۲۷۳۰۸۷۴	۸۱/۳	۸۱/۳	۸۱/۳	۸۱/۳	۸۵/۸۲	۷۷/۸	۸۶/۳	۷۶
۲۹۰۱۵۵۳	۸۵/۷	۸۵/۷	۸۵/۷	۸۵/۷	۸۸/۴۹	۸۴/۲	۸۹/۳	۸۰
۳۰۷۲۲۳۳	۹۰/۳	۹۰/۳	۹۰/۳	۹۰/۳	۹۳/۵	۸۷/۸	۹۳/۷	۸۷/۱
۳۲۴۲۹۱۲	۹۵/۲۵	۹۵/۲۵	۹۵/۲۵	۹۵/۲۵	۹۶/۱	۹۴/۱	۹۶/۶۶	۹۲/۹
۳۴۱۳۵۹۲	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰

جدول ٦. مقایسه موجودی اولیه تسهیلات در حالت بهینه تصادفی با بهینه پایدار

شماره تسهیل	ظرفیت در حالت بهینه تصادفی	ظرفیت در حالت بهینه پایدار
A	۷۲۱۱۰	۶۲۰۲۲
B	۹۷۱۱۸	۷۱۱۸
C	۲۴۴۸۲	۲۴۲۳۲
D	۳۷۲۱۳	۳۷۲۱۳
E	۹۹۰۸	۱۸۱۳۹
F	۵۸۸۷۴	۵۸۸۷۴

همان‌طور که مشخص است در حالت پایدار از موجودی تسهیل اول کاسته شده و به موجودی تسهیل پنجم اضافه شده بدون اینکه نوع تسهیل تغییر کند.

۸ نتیجه‌گیری و پیشنهادها

با وجود اقدامات پیش‌بینانه و پیش‌گیرانه، از وقوع بلایا (چه طبیعی و چه ساخت دست بشر) نمی‌توان جلوگیری کرد؛ اما با برنامه‌ریزی به منظور پیش‌بینی، ساماندهی و تجهیز، می‌توان آمادگی لازم برای پاسخ به سوانح را کسب کرد و تلفات را به میزان چشم‌گیری کاهش داد. بلافاصله پس از وقوع بلایا، عملیات امداد و نجات توسط گروه‌ها و سازمان‌های دولتی و داوطلب آغاز می‌شود. تیم‌های امدادی به طور معمول امداد، توزیع و تخلیه را از نزدیک‌ترین محل شروع می‌کنند، اینجاست که انتخاب مکان بهینه مراکز توزیع و امداد نقش حیاتی در سرعت امدادرسانی و نجات مصدومان بازی می‌کند.

اکثر مدل‌های معمول مکان‌یابی با در نظر گرفتن شرایط، فرضیات و اهداف مکان‌یابی اضطراری به کار گرفته شده‌اند، که به جرات می‌توان گفت پرکاربردترین و مناسب‌ترین آن ها مدل‌های پوشش هستند. این مدل‌ها به دلیل ماهیت کاربردی خود مورد علاقه پژوهشگران بوده و توسعه زیادی بر روی آن‌ها صورت گرفته است که

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.3.8]

در بخش دوم به تعدادی از آن ها اشاره شد. در این مقاله رابطه شعاع و هزینه در یک تابع پله‌ای نشان داده شد و مدل حداکثر پوشش با شعاع متغیر بصورت ظرفیت‌دار و دو هدف بهینه شد. عدم قطعیت در مقدار تقاضای نقاط مختلف به صورت سناریوهای مجزا وارد مدل شده و در کنار مدل بهینه تصادفی، یک مدل بهینه پایدار ارایه و حل شد.

در مطالعه موردی که در استان خراسان انجام شد، نحوه تخصیص و عملکرد مدل نسبت به حداکثر زمان مجاز امدادرسانی، بودجه در دسترس و پوشش مطلوب نشان داده شد و مشخص شد تغییرات بودجه و پوشش مطلوب تاثیر زیادی در تخصیص بهینه دارند. در پایان حل مدل بهینه تصادفی با مدل بهینه پایدار مقایسه شد و مشخص شد با کاهش اندک تابع هدف نسبت به مقدار بهینه می‌توان کیفیت پاسخ در بدترین سناریوهای ممکن را بهبود داد.

در تحقیقات آتی نیز می‌توان موارد زیر را در نظر گرفت:

۱) در نظر گرفتن نقاط تقاضا به صورت مناطق پیوسته[1] به جای نقاط گسسته می‌تواند مساله را به فضای واقعی نزدیک‌تر کند.

۲) در نظر گرفتن تابع هدف احتمال زنده ماندن[2] در مساله می‌تواند به‌طور مستقیم کارایی مدل را نشان دهد.

۳) ترکیب مدل ارایه شده با مفاهیمی مانند پوشش مشترک و پوشش تدریجی می‌تواند به آن جامعیت دهد.

۴) حداکثر زمان مجاز برای دریافت امداد در سناریوهای مختلف بنا به شدت و اثر حادثه می‌تواند متفاوت باشد.

۵) در نظر گرفتن مساله به‌صورت چندکالایی نیز می‌تواند زمینه‌ای برای توسعه مدل باشد.

منابع

[۱] قاسمی، پ.، (۱۳۹۲). مدیریت لجستیک امداد بحران. ایران ، توسعه علوم، ۱ (۱)

[۳] قاسمی، پ.، (۱۳۹۳). مسیریابی و تخصیص وسایل نقلیه امدادی در فاز پاسخگویی زلزله در منطقه ۱۷ تهران. ششمین کنفرانس بین المللی مدیریت جامع بحران، (۱۵) ۳

[۱۳] آراسته، ک.، بزرگی امیری، ع.، جبل عاملی، م.، (۱۳۹۴). مکان‌یابی چندگانه تسهیلات و نقاط انتقال مجروحین در زمان بحران. مجله تحقیق در عملیات در کاربردهای آن، ۱۲(۱)، ۳۱-۲۱.

[۱۴] بزرگی امیری، ع.، جبل عاملی، م.، حیدری، م.، کریمی راد، ز.، (۱۳۸۹). برنامه ریزی امکانی چندهدفه لجستیک امداد تحت شرایط عدم قطعیت. نشریه علمی پژوهشی مدیریت فردا، ۹(۲۵)، ۹۶-۸۳.

[۱۹] قاسمی، پ.، (۱۳۹۲). مدل بهینه‌سازی استوار برای مسئله مکان‌یابی و پوشش جریان هاب دارای ظرفیت. فصلنامه علمی پژوهشی مدیریت، ۱۰(۱۱۰)، ۳۶-۲۵.

[2] Berman, O., (2009). The variable radius covering problem. European Journal of Operational Research, 196(2), 516-525.

[1] continuous area
[2] probability of survival

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.3.8]

[4] Jia, H., Ordóñez, F., Dessouky, M., (2007). A modeling framework for facility location of medical services for large-scale emergencies. IIE Transactions, 39(1), 41-55.
[5] Jia, H., Ordóñez, F., Dessouky, M., (2007). Solution approaches for facility location of medical supplies for large scale emergencies. Computers & Industrial Engineering, 52(2), 257-276.
[6] Balcik, B., Beamon, B. M.,(2008). Facility location in humanitarian relief. International Journal of Logistics, 11(2), 101-121.
[7] Beraldi, P., Bruni, M. E., (2009). A probabilistic model applied to emergency service vehicle location. European Journal of Operational Research, 196(1), 323-331.
[8] Pan, A., (2010). The applications of maximal covering model in Typhoon Emergency shelter Location Problem. International Conference of Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM).
[9] Nolz, P.C., Semet, F., Doerner, K. F., (2011). Risk approaches for delivering disaster relief supplies. OR spectrum, 33(3), 543-569.
[10] Wang, X., (2011). Emergency resource location and allocation under uncertainty of disaster degree. Express Letters, 5(2), 311-316.
[11] Murali, P., Ordóñez, F., Dessouky, M., (2012). Facility location under demand uncertainty: Response to a large-scale bio-terror attack. Socio-Economic Planning Sciences. 46(1), 78-87
[12] Lu, C. C., Sheu, J. B., (2013). Robust vertex p-center model for locating urgent relief distribution centers. Computers & Operations Research, 40, 2128–2137.
[15] Berman, O., Drezner, Z., Wesolowsky, G. O., (2003). The expected maximum distance objective in facility location. Journal of Regional Science, 43(4), 735–770.
[16] Dekle, J., Lavieri, MS., Martin, E., Emir-Farinas, H., Francis, R. L., (2005). A Florida county locates disaster recovery centers. Interfaces, 35(2), 133-139.
[17] Hale, T., Moberg, C. R., (2005). Improving supply chain disaster preparedness: A decision process for secure site location. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management, 35(3), 195-207.
[18] Hwang, C. L., Masud, A. S. M. Paidy, S. R., (1979). Multiple objective decision making, methods and applications: a state-of-the-art survey. Economics and Mathematical Systems, (164), Springer-Verlag Berlin.
[20] Zarandi, F., Davari, S., Haddad, S., (2011). The large scale maximal covering location problem. Scientia Iranica, 18(6), 1564-1570.
[21] Najafi, M., Eshghi, K., Dullaert, W., (2013). A multi-objective robust optimization model for logistics planning in the earthquake response phase. Transportation Research Part E, 49(1), 217–249.
[22] Beraldi P., Bruni, M.E., Conforti, D., (2004). Designing robust emergency medical service via stochastic programming. European Journal of Operational Research, 15(8), 183–193.
[23] Rajagopalan H. K., Saydam, C., Xiao, J., (2008). A multi period set covering location model for dynamic redeployment of ambulances. Computers and Operations Research, 35 (3), 814–826.
[24] Mulvey, J. M., Vanderbei, R. J., Zenios, S. A., (1995). Robust optimization of large-scale systems. Operations Research, 43(2), 264-281.

[Downloaded from jamlu.lahijan.iau.ir on 2026-10-31]

[DOR: 20.1001.1.22517286.2017.14.1.3.8]