آینده‌پژوهی دفاعی، سال دوم، شماره ۷، زمستان ۱۳۹۶

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۸/۱۳ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۰/۰۹

از صفحه ۷ تا صفحه ۳۰

# آینده‌پژوهی در سیستم‌های دفاعی با استفاده از رویکردی مبتنی بر برنامه‌ریزی ریاضی به‌منظور مکان‌یابی تسهیلات درمانی و تقسیم‌بندی مناطق

جواد طیبی* [۱]

سیدمحمدرضا کاظمی [۲]

اسماعیل هداوندی [۳]

**چکیده**

در این تحقیق با استفاده از ابزار برنامه‌ریزی ریاضی به تعیین مکان احداث تسهیلات درمانی و تقسیم‌بندی مناطق در سیستم‌های دفاعی به‌منظور گسترش سطح مطالعات آینده‌پژوهی پرداخته‌شده است. بدین منظور یک مدل ریاضی به‌منظور بهینه‌سازی عملیات انتقال مصدومان در هنگام جنگ ارائه شده است. در این مدل مناطق جمعیتی به گروه‌هایی بزرگ‌تر تحت عنوان پهنه تقسیم‌بندی شده و در هر پهنه یک مرکز درمانی برای سرویس‌دهی به مصدومان حضور دارد. توابع هدف مسأله شامل کمینه‌سازی هزینه‌های احداث مراکز، هزینه انتقال مصدومان و هزینه بازسازی مراکز است. مسأله شامل ۳ نوع محدودیت کلی ۱) محدودیت‌های ارسال مصدومان بین مراکز، ۲) محدودیت تخصیص موجه مناطق جمعیتی به پهنه‌ها و ۳) محدودیت ایجاد ساختارهای موجه در پهنه‌ها است. به‌منظور حل مسأله از حل‌کننده CPLEX استفاده‌شده که به‌عنوان یکی از کارآمدترین ابزار بهینه‌سازی شناخته می‌شود. نتایج حاصل از حل مسأله می‌تواند به‌عنوان یک الگوی نظام‌مند در راستای مطالعه شرایط آینده در صورت وقوع بحران‌های پدافند عامل مورد استفاده قرار گیرد.

**واژه‌های کلیدی:**

***پدافند عامل، آینده‌پژوهی، برنامه‌ریزی ریاضی، مکان‌یابی تسهیلات، تقسیم‌بندی مناطق.***

[۱]. استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی بیرجند

[۲]. مربی گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی بیرجند

[۳]. استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی بیرجند

* نویسنده مسئول: Email: javadtayyebi@birjandut.ac.ir

**مقدمه**

استفاده از ابزارهای کارا به‌منظور توسعه سطح کارایی سازمان‌های متولی دفاع از تمامیت ارضی کشور، همواره جزء مهم‌ترین وظایف مدیران این بخش است. از اساسی‌ترین اهداف سیستم‌های دفاعی در کلیه سطوح، ارائه تصویری روشن از یک جامعه امن، تربیت نیروی توانمند برای مشارکت مؤثر در ارتقاء امنیت ملی و تجهیز کامل و مناسب افراد ذی‌ربط به دانش، مهارت و توانمندی‌های لازم برای برآورده‌سازی نیازهای دفاعی و امنیتی جامعه است. چه در زمان حال و چه در زمان آینده، تغییرات شتابان در حوزه‌های مختلف اجتماعی، سیاسی، اقتصادی، فناورانه و زیست‌محیطی، آینده نظام دفاعی را با پیچیدگی و خطرپذیری مواجه می‌سازند. سیر تحولات در سیستم‌های پدافند عامل به‌عنوان چالشی جهان‌شمول است؛ لذا آینده‌اندیشی و کسب آمادگی برای رویارویی با شرایط مخاطره‌آمیز، ضرورت اصلی سیستم دفاعی و امنیتی است. عدم قطعیت نهفته در آینده، رصد تغییرات آینده؛ البته ریشه‌یابی وقایع گذشته و حال؛ منبعی گران‌بها از فرصت‌ها را برای تصمیم‌گیران به‌خصوص برنامه‌ریزان نظام آموزش دفاعی فراهم می‌نماید (Kaján et. al, 2015).

امروزه در مطالعات مربوط به آینده، واژگان بسیاری به کار می‌روند. ازجمله واژه‌های مطرح آینده‌پژوهی،"آینده‌اندیشی"،"مطالعات آینده"،"آینده‌شناسی" و درنهایت "آینده‌نگاری" است. اما هر یک از واژگان برآمده از نظریه‌های بسیارند. شاید بتوان آینده‌پژوهی را نامدار این اصطلاحات دانست. آینده‌پژوهی مشتمل بر مجموعه تلاش‌هایی است که با استفاده از تجزیه‌وتحلیل منابع، الگوها و عوامل تغییر و یا ثبات، به تجسم آینده‌های بالقوه و برنامه‌ریزی برای آن‌ها می‌پردازد (Ryan, 2014).

امروزه آمیختگی امور و تأثیر تعامل حوزه‌های مختلف منجر به ایجاد طیفی از نیازمندی‌های آموزشی در سطوح مختلف پزشکی گردیده است. لذا تأثیر رشد فناوری‌ها، رشد اقتصادی، تحولات سیاسی، فرهنگی، اجتماعی و تغییرات بنیادی بر سیستم سلامت، سازمان‌های متولی تأمین سلامت را با طیف گسترده‌ای از درخواست‌های متنوع در حیطه‌های مختلف در آینده مواجه می‌سازد. آینده‌نگاری برگ برنده موفقیت و توسعه پایدار نظام است. در سطح کلان تعیین اهداف، سیاست‌ها، همچنین طرح‌ریزی برنامه‌های راهبردی سیستم دفاعی وابسته به چشم‌اندازهایی است که از آینده ارائه می‌شود (Nikolakopoulou et al, 2016). آینده‌نگاری فرآیندی ساختارمند و مشارکتی برای خلق چشم‌اندازهای میان‌مدت و بلندمدت است. از طرفی گسترده نظام امنیتی و آموزش دفاعی کشور در پاسخگویی مناسب و حرکت در جهت سند

چشم‌انداز، تحلیل صحیح از ارزش‌های کشور و استفاده از روش‌های خلاقانه و نوین علمی و تدوین نقشه‌ای هوشمندانه در راه رسیدن به اهداف آرمانی سند چشم‌انداز را می‌طلبد. در ایران، چشم‌انداز سیستم دفاعی و امنیتی با رویکرد آینده‌پژوهی نگارش شدند. اهمیت ویژه آینده‌پژوهی در سیستم دفاعی به دلیل رسالت آن در تربیت نیروی انسانی توانمند، متخصص و متعهد است (Redmond et. al, 2015).

با توجه به مطالب ذکرشده، اهمیت آینده‌پژوهی در سیستم دفاعی به‌خوبی قابل‌مشاهده است. اما همواره یکی از جنبه‌های مجهول موجود در تمامی سازمان‌ها به‌ویژه سیستم‌های دفاعی و نظامی، استفاده از رویکردهای بهینه‌سازی به‌منظور کسب آمادگی بیشتر و تحلیل نتایج در هنگام وقوع شرایط بحرانی مانند جنگ به‌منظور پوشش مصدومان است. همان‌طور که در بسیاری از منابع و گزارش‌ها بدان پرداخته‌شده است، انتخاب بهینه ساختارهای دفاعی در شرایط مختلف از اهمیت بالایی برخوردار است. اما باید به این موضوع نیز توجه نمود که پراکندگی ساختارهای اجتماعی در نقاط مختلف هر جامعه، باعث ایجاد تفاوت اساسی در معیارهای عملکردی نظام‌های امنیتی و دفاعی در هر استان یا منطقه شده است. بنابراین ضروری به نظر می‌رسد معیارهای اساسی در موفقیت متولیان تأمین امنیت در هر بخش به‌طور جداگانه موردبررسی قرار گیرد. بدین منظور در این پژوهش به‌جای بررسی کلی نظام دفاعی و امنیتی، به بررسی سیستم‌های مواجهه با بحران نیروی انسانی هر منطقه تحت عنوان نظام سلامت در سیستم دفاعی محلی پرداخته می‌شود.

مسأله ارائه‌شده در این مقاله به بررسی دو بخش مهم از تصمیمات سطح راهبردی می‌پردازد. بخش اول شامل کمینه‌سازی هزینه‌های عملیاتی سیستم شامل هزینه‌های احداث و جابجایی مصدومان و بخش دوم شامل کمینه‌سازی هزینه‌های ناشی از خرابی مراکز درمانی و اورژانسی در صورت حمله دشمن است که باعث بیشینه‌سازی سطح قابلیت اطمینان سیستم می‌شود. بنابراین چارچوب ارائه‌شده در این تحقیق به مکان‌یابی مراکز درمانی و اورژانسی با در نظر گرفتن قابلیت اطمینان هریک از مراکز می‌پردازد. در نظر گرفتن هم‌زمان تصمیمات مربوط به انتقال مصدومان بین مراکز درمانی و اورژانسی و هم‌چنین در نظر گرفتن قابلیت اطمینان مراکز درمانی و اورژانسی، باعث تفاوت چشم‌گیر این مدل با مدل‌های اخیر شده است که نشانگر شرایط واقعی حاکم بر سیستم نظامی و دفاعی هست.

## بررسی مبانی نظری و پیشینه‌ها

انسان از دیرباز آرزوی تصرف در طبیعت و تغییر آن مطابق با میل خود را در سر پرورانده است و همواره به دنبال ابزارهایی بوده است که بتواند به این مهم نائل گردد. یکی از این ابزارها آینده‌پژوهی است که به انسان فرصت می‌دهد که آینده را به کنترل درآورده و بتواند آن را به‌گونه‌ای دلخواه معماری نماید (Angst et. al, 2017). این دانش در ابتدای شکل‌گیری خود نگاهی مفعولانه به آینده داشت و صرفاً به گمانه‌زنی درباره رخداد تحول‌ها و پیشرفت‌های آتی می‌پرداخت. اما امروزه از آینده‌پژوهی انتظار می‌رود پا را فراتر برده و با نگاهی فاعلانه به آینده بستر لازم برای طراحی و ساخت هوشمندانه آینده را فراهم نماید (Amanatkar et. al, 2017).

آینده‌پژوهی ابزاری نرم است و به‌کارگیری این دانش مستلزم توجه به سه مرحله تولید، ترویج و بهره‌برداری است. به‌عبارت‌دیگر بهره‌برداری از دانش آینده‌پژوهی به ایجاد و تقویت زیرساخت‌های فکری- فرهنگی نیاز دارد تا پشتیبانی مطلوبی از مطالعات ژرف و همه‌سویه در حوزه‌های گوناگون جامعه به عمل آید. همواره باید توجه داشت که دانش آینده‌پژوهی را به مجموعه‌ای از روش‌ها محدود نکرد. بسیاری بر این باورند که با فراگیری چند روش می‌توان در هر سطحی آینده‌پژوهی نمود و به موفقیت آن نیز امیدوار بود. این در حالی است که آینده-پژوهی در هر فرایندی مبتنی بر تعامل صاحب‌نظران و کاستن واگرایی بین نظرات آنان است. یکی از دستاوردهای کلیدی ترویج آینده‌پژوهی، چشاندن طعم پیشرفت‌های ملی حاصل از آینده‌اندیشی و توجه به مقوله‌های مطرح در آینده است که با تحقق امر می‌توان با بسیج همه‌جانبه نیروها و ظرفیت‌های بالقوه، ساختن آینده مطلوب کشور را با اهتمام کافی موردتوجه قرارداد (Dronkers et al, 2017).

برخی از روش‌های آینده‌پژوهی عبارت‌اند از:

- طوفان فکری[1]: از این روش برای کشف روندها و شناسایی فرصت‌ها، چالش‌ها و ریسک‌های آینده می‌توان استفاده کرد.
- تحلیل روند[2]: مطالعه یک‌روند مشخص به‌منظور کشف ماهیت، علل پیدایش، سرعت توسعه و پیامدهای بالقوه آن است.
- پایش روندها[1]: روندهایی که در یک جامعه یا یک بخش یا یک صنعت اهمیت دارند، باید به‌دقت پایش شوند.

---

1. Brain-storming
2. Trend Analysis

- برون‌یابی روندها[۲]: کشف روندها با رسم نمودار تغییرات و استفاده از اطلاعات آماری است که بر این اساس می‌توان آینده را در بعضی زمینه‌ها پیش‌بینی کرد.
- نظرخواهی و مشاوره: در برخی روش‌های علمی برای حصول بهترین نتیجه، نظرات خبرگان نیز در روش دخیل می گردد. به عنوان مثال، روش دلفی یک نوع نظرخواهی از خبرگان است.
- مدل‌سازی: مدل‌سازی انواع مختلف دارد. دو دسته از عمده‌ترین انواع مدل‌سازی عبارتند از: مدل‌سازی فیزیکی و مدل‌سازی ریاضی. مدل‌سازی فیزیکی بدین معناست که نمونه‌ای از یک شی یا دستگاه ساخته شود که می‌تواند در مقیاس کوچکتر یا بزرگتر از آن شی یا دستگاه باشد. به عنوان مثال ارائه ماکتی از جنگ‌های آینده، سلاح‌های آینده و یا شهرهای آینده، یک نوع مدل‌سازی فیزیکی است. مدل سازی ریاضی عبارت است از تلاش برای توسعه یک دسته روابط ریاضی که با استفاده از آن بتوان رفتار یک سامانه مشخص را توجیه کرد.
- شبیه‌سازی رایانه‌ای: نظام‌ها و سامانه‌های پیچیده را می‌توان با استفاده از معادلات و انتقال آن به رایانه شبیه‌سازی نمود.
- تحلیل تاریخی: گذشته در آینده‌پژوهشی نقشی پررنگ دارد. عمق نگاه به آینده شبیه گذشته است. روش تحلیل تاریخی مبتنی بر این گزاره است که گاهی تاریخ تکرار می‌شود. بر پایه تحلیل‌های گذشته می‌توان سرانجام برخی از وقایع آینده را پیش‌بینی کرد.
- سناریوسازی: سناریوها قصه‌هایی از رویدادهای ممکن و چندگانه‌ای هستند که احتمال وقوع آن‌ها در آینده وجود دارد؛ آمیزه‌ای از پیش‌بینی‌های تخیلی و درعین‌حال واقع‌گرایانه از رویدادهای احتمالی آینده. در هر پروژه سناریوسازی معمول یک سبد از سناریوها ساخته و پرداخته می‌شود. سپس میانگین این سناریوها به‌عنوان محتمل‌ترین آینده در نظر گرفته می‌شود. سناریو نسبت به سایر روش‌ها متفاوت است. تولید سناریو با بهره‌گیری از سایر روش‌های آینده‌پژوهی امکان‌پذیر است. به‌عبارت‌دیگر سناریو راهی برای جمع‌آوری نتایج تحقیقات آینده‌پژوهی است. در بسیاری از موارد هدف اصلی پروژه‌های آینده‌پژوهی طراحی چند سناریو به‌منظور تحقق یک آینده مطلوب است (Iversen et al, 2011).

مطالعات بسیاری در راستای توسعه مباحث مرتبط با آینده‌پژوهی انجام‌شده است که ازجمله می‌توان به تحقیق ارائه‌شده توسط اصلان و همکاران (۲۰۱۴) اشاره نمود که به بررسی

---

[1]. Trends Monitoring
[2]. Trends Projection

راهبردهایی برای آینده سیستم دفاعی بر پایه ارزیابی مقایسه‌ای و آنالیز SWOT[1] پرداختند (Aslan et al, 2014). آن‌ها تحقیق خود را بر اساس بررسی‌های انجام‌شده در ترکیه، ژاپن، مالزی و سنگاپور و همچنین تحقیقات انجام‌شده در مراکز مختلف ارائه نمودند. آن‌ها با استفاده از تکنیک تحلیل SWOT، ماتریس TOWS[2] را جهت موفقیت آینده در محیط جهانی ترسیم نمودند.

نوربی (۲۰۱۶) در پژوهش خود، از دانشجویان بخش سلامت حوزه دفاع ملی به‌عنوان اعضای نوآور در پیشرفت آینده خدمات سلامت یاد کرد. سیستم سلامت در نروژ و جهان موارد شگرفی را تجربه کرده است؛ زیرا تغییرات ناشی از عمر طولانی‌تر مصدومان همراه با شرایط پیچیده‌ای است که نیازمند مراقبت هماهنگ‌شده‌ای هست (Norbye, 2016).

پارک و همکاران (۲۰۱۶) میزان رضایت عمومی از عملکرد سیستم سلامت تحت نظارت بخش نظامی در کره جنوبی را مورد بحث و بررسی قرار دادند. هنگامی‌که اقداماتی جهت بهبود کیفیت، کاهش هزینه و اجرای اصلاحات مدنظر باشد؛ آگاهی از سطح رضایت عمومی از تخصص سلامت حائز اهمیت بالایی است. هدف از این تحقیق ارزیابی رضایت عمومی از نظام مراقبت‌های بهداشتی تحت نظارت سیستم نظامی و بررسی رابطه رضایت و عوامل اجتماعی-دموگرافیک می‌باشد (Park et al, 2016).

کیخسروخانی و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی عوامل موفقیت در توسعه iHeart به‌عنوان یک سیستم مراقبت بهداشتی مبتنی بر مصدوم در پایگاه‌های سلامت نظامی از طریق تجزیه‌وتحلیل چند گروهی[3] پرداختند. آن‌ها بیان کردند که بیماری‌های قلبی عروقی اولین علت مرگ و میر غیر طبیعی (نه‌تنها در مالزی و ایران بلکه در بسیاری از کشورها در سراسر جهان) است. اگرچه تشخیص زودهنگام برای درمان موفقیت‌آمیز مصدوم ضروری است، واکنش فوری در موارد اضطراری نیز اهمیت حیاتی در حفظ زندگی مصدوم دارد (Keikhosrokiani et al, 2018).

گاردبوئه و همکاران (۲۰۱۷) کاربردهای هوش تجاری موفقیت‌آمیز را در سیستم‌های اطلاعات سلامت بررسی و تحلیل نمودند. در این مقاله، مدل موفقیت‌آمیز DeLone و McLean IS به‌صورت تجربی بر روی یک سیستم اطلاعات کسب‌وکار در سیستم‌های اطلاعات بهداشتی در ۱۲ بیمارستان دولتی دانمارک مورد آزمایش قرارگرفته است (Gaardboe et. al, 2017).

---

1. Strengths-Weaknesses-Opportunities-Threats (SWOT)
2. Threats-Opportunities-Weaknesses-Strengths matrix
3. Multi-group analysis

وانگ و هاجلی (۲۰۱۷) به بررسی مسیر موفقیت‌آمیز تجزیه‌وتحلیل داده‌ها در مراقبت‌های بهداشتی پرداختند. اگرچه تجزیه‌وتحلیل داده‌های بزرگ دارای مزایای زیادی برای سازمان‌های بهداشتی و درمانی است، تحقیقات در حال انجام به بررسی ارزش کسب‌وکار توجه کافی نکرده‌اند. به‌منظور رفع این شکاف دانشی، این مطالعه مدل ارزش کسب‌وکار تحلیلی داده‌های بزرگ را ارائه نموده است که در آن با استفاده از نظریه مبتنی بر منابع[1] و قابلیت نمای ساخت به توضیح میزان عظمت قابلیت توسعه بررسی داده‌های بزرگ و مزایای استفاده آن در صنایع مراقبت‌های بهداشتی می‌پردازد (Wang & Hajli, 2017).

اما در راستای بهینه‌سازی مسأله مکان‌یابی مراکز ارائه خدمت نیز تحقیقاتی ارائه‌شده است. مطالعه نظری مکان‌یابی تسهیلات به‌صورت رسمی از سال ۱۹۰۹ شروع شد، هنگامی‌که آلفرد وبر تعیین موقعیت یک انبار را به‌صورت حداقل ساختن کل فاصله بین انبار و مشتریان مختلف مطرح کرد. ازآن‌پس، تئوری مکان‌یابی تسهیلات و کاربردهای آن توسط پژوهشگران در زمینه‌های مختلف مورداستفاده قرار گرفت و مدل‌های گوناگونی در این زمینه ارائه شد. ابوناصر و همکاران (Abounacer et. al, 2014) یک مسأله‌ی سه هدفه مکان‌یابی-حمل و نقل را برای پاسخ‌گویی به بلایا ارائه دادند. اهداف مسأله‌ی مکان‌یابی، تعیین تعداد، موقعیت و مأموریت مراکز توزیع کمک‌های بشردوستانه موردنیاز در منطقه آسیب‌دیده است. انتخاب مکان‌های مربوط به تسهیلات پاسخ بلایا برای ذخیره‌سازی اقلام ضروری به کیفیت خدمات ارائه‌شده پس از وقوع یک شرایط اضطراری در مقیاس بزرگ مانند زلزله، امری مهم و حیاتی است. به همین دلیل ورما و گاُکلر (Verma & Gaukler, 2015) دو مدل مکان‌یابی با لحاظ تأثیر یک فاجعه بر روی تسهیلات پاسخ بلایا و همچنین مراکز جمعیتی در نواحی اطراف ارائه دادند. مدل اول قطعی بوده که خسارات وابسته به مسافت را به تسهیلات پاسخ بلایا و مراکز جمعیتی ترکیب می‌کند. مدل دوم نیز یک مدل برنامه‌ریزی احتمالی می‌باشد که شدت آسیب را به‌عنوان یک متغیر تصادفی در نظر می‌گیرد. همچنین یک روش حل جدید مبتنی بر تجزیه بندرز که قابل‌تعمیم برای سایر مسائل برنامه‌ریزی احتمالی دومرحله‌ای است، نیز توسعه داده‌شده است. کیلکی و همکاران (Kılcı et. al, 2015) یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط، مبتنی بر متدولوژی‌های انتخاب موقعیت سایت‌های سرپناه موقت را مطرح نمودند. هدف از این مطالعه بهبود فاز آمادگی در برابر بحران در کشور ترکیه می‌باشد. پائول و مکدونالد (۲۰۱۵) یک چارچوب مدل‌سازی احتمالی را جهت تعیین مکان و ظرفیت‌های مراکز توزیع برای ذخایر

[1]. Resource-based theory

اضطراری به‌منظور بالا بردن سطح آمادگی در شرایط بحران توسعه دادند. چارچوب ارائه‌شده قابل‌استفاده در برنامه‌ریزی اضطراری است، به‌طوری‌که بایستی منابع متعدد در شرایط عدم قطعیت، ازجمله زمان‌بندی و شدت رویدادهای بالقوه و همچنین نتایج ضربات ترکیب گردند، درحالی‌که بلایا و مشخصه‌های خاص منطقه در نظر گرفته شوند (Paul & MacDonald, 2015). خیال و همکاران (۲۰۱۵) یک مدل جریان شبکه برای انتخاب پویای تسهیلات توزیع موقتی و همچنین تخصیص منابع برای برنامه‌ریزی اضطراری در فاز پاسخ ارائه دادند. مدل آن‌ها، مکان و برنامه‌های تخصیص را برای دوره‌های کوتاه توزیع در یک افق برنامه‌ریزی فراهم می‌کند. از طرفی نیز به بررسی انتقال منابع مازاد بین تسهیلات امدادی موقت فعال به‌منظور کاهش محرومیت نیز می‌پردازد (Khayal et al, 2015). توفیقی و همکاران (۲۰۱۶) مسأله طراحی شبکه‌ی لجستیک بشردوستانه‌ی دوسطحی شامل انبارهای مرکزی چندگانه و مراکز توزیع محلی را ارائه دادند. آن‌ها همچنین یک رویکرد جدید برنامه‌ریزی امکانی-احتمالی دومرحله‌ای مبتنی بر سناریو را نیز توسعه دادند (Tofighi et al, 2016). گیوتجهر و زبیور (۲۰۱۶) یک مدل دو هدفه‌ی بهینه‌سازی دوسطحی برای مکان‌یابی مراکز توزیع امداد در لجستیک بشردوستانه ارائه دادند. در سطح فوقانی، تصمیم‌گیرنده (سازمان ارائه‌کننده‌ی کمک‌های امدادی) مکان‌هایی را برای مراکز توزیع ذیصلاح انتخاب می‌کند (Gutjahr & Dzubur, 2016). در سطح پایین‌تر ذینفعان با توجه به مسافت و مقدار عرضه‌ی مورد انتظار، مراکز توزیع را انتخاب می‌کنند. اهداف سطح فوقانی شامل کمینه‌سازی کل هزینه‌های راه‌اندازی برای مراکز توزیع و کل تقاضای پوشش داده نشده می‌باشد.

با توجه به بررسی‌های انجام‌شده و مرور ادبیات تحقیق علی‌رغم این که مسأله مکان‌یابی تسهیلات سلامت و تقسیم‌بندی مناطق جمعیتی در حوزه‌های مختلف مطرح شده است اما تاکنون مسأله مکان‌یابی تسهیلات سلامت و تقسیم‌بندی مناطق جمعیتی این مسأله در سیستم دفاعی مورد بررسی قرار نگرفته است. این در حالی است که برنامه‌ریزی بهینه جهت طراحی سیستم انتقال مصدومان جنگی می‌تواند به‌عنوان یک بستر مناسب جهت توسعه ابزارهای آینده‌پژوهی در این حوزه موردتوجه قرار گیرد. بدین منظور در این تحقیق یک مدل ریاضی به‌منظور بهینه‌سازی مسأله انتقال مصدومان جنگی از طریق مکان‌یابی مناسب تسهیلات و تقسیم‌بندی مناطق جمعیتی ارائه خواهد شد.

## روش‌شناسی پژوهش

در این بخش به تشریح ساختار ریاضی مسأله پرداخته خواهد شد. در این مسأله تعدادی مناطق بالقوه جهت احداث مراکز درمانی که کار درمان نهایی را انجام می‌دهند و تعدادی نقطه بالقوه جهت احداث اورژانس‌ها که به انتقال سریع مصدومان کمک می‌کنند در نظر گرفته‌شده است. همچنین مجموعه‌ای از مناطق متقاضی دریافت خدمت که همان مناطق جبهه جنگ است، وجود داشته که متناسب با محل احداث هر مرکز درمانی تقسیم‌بندی می‌شود. در این مدل علاوه بر در نظر گرفتن هزینه‌های سیستم و سطح پوشش دهی، قابلیت اطمینان مراکز نیز در نظر گرفته‌شده است. ازآنجاکه انتخاب یک مکان با قابلیت اطمینان پایین باعث می‌شود احتمال از بین رفتن یا غیرفعال شدن سیستم بالا رود، بنابراین به‌ناچار باید بعد از غیرفعال شدن سیستم یا از بین رفتن آن، با صرف هزینه‌های زیاد اقدام به بازسازی مجدد آن مرکز کرد. بنابراین می‌توان قابلیت اطمینان سیستم را در قالب هزینه به تابع هدف مدل ارائه‌شده اضافه نمود. در مدل ارائه‌شده نیز، تابع هدف شامل هزینه‌های احداث، هزینه‌های نقل‌وانتقال مصدومان بین مراکز و هزینه شکست هر یک از مراکز است. محدودیت‌های موجود شامل تخصیصات منحصربه‌فرد، محدودیت‌های ظرفیت و محدودیت‌های عملکردی سیستم است. مفروضات شامل موارد زیر است.

۱. هزینه احداث و هزینه انتقالات مصدومان بین مراکز مشخص است.
۲. هزینه بازسازی مجدد سیستم که درواقع همان هزینه ناشی از شکست مراکز را نشان می‌دهد، مشخص است.
۳. فاصله بین لکه‌های جمعیتی مشخص است. منظور از لکه‌های جمعیتی نقاط جمعیتی و مناطق مسکونی مختلف است. به عنوان مثال هر شهر، روستا یک لکه جمعیتی به حساب می‌آید.

این مسأله جز مسائل NP–سخت به شمار می‌رود (Khayal et al, 2015). پس برای حصول جواب بهینه نیازمند استفاده از یکی از راهکارهای نرم‌افزارهای بهینه‌سازی، روش‌های دقیق نمایی و یا روش‌های ابتکاری هستیم. در این مقاله از راهکار اول استفاده شده است. بنابراین ابتدا به ارائه مدل ریاضی مسأله پرداخته و سپس به کمک نرم‌افزارهای بهینه‌سازی مسأله حل شده است. در ادامه به ارائه مدل ریاضی مسأله پرداخته می‌شود.

نمادها و مجموعه‌ها

| | | |
|---|---|---|
| $C = \{1,2,\dots,\lvert C\rvert\}$ | مجموعه نقاط جمعیتی (لکه‌ها جمعیتی) | $c, c' \in C$ |
| $D = \{1,2,\dots,\lvert D\rvert\}$ | مجموعه مراکز درمانی | $d \in D$ |
| $U = \{1,2,\dots,\lvert U\rvert\}$ | مجموعه مراکز اورژانسی | $u \in U$ |

پارامترها

| | |
|---|---|
| $CapD_d$ | ظرفیت پذیرش مصدوم در مرکز درمانی $d$ |
| $CapU_d$ | ظرفیت پذیرش مصدوم اورژانسی در مرکز درمانی $d$ |
| $M_c$ | تعداد تخمین زده شده مصدومان نیازمند به خدمات درمانی لکه جمعیتی $c$ |
| $DT_{c,c'}$ | هزینه انتقال بیمار بین لکه جمعیتی $c$ و لکه جمعیتی $c'$ |
| $CD_c$ | هزینه احداث مرکز درمانی در نقطه جمعیتی $c$ |
| $CU_c$ | هزینه احداث مرکز اورژانسی در نقطه جمعیتی $c$ |
| $DE_u$ | میزان تقاضای تخمینی مرکز اورژانسی $u$ |
| $RD_c$ | هزینه بازسازی (راه‌اندازی مجدد) مرکز درمانی در صورتی که در لکه جمعیتی $c$ احداث گردد |
| $RU_c$ | هزینه بازسازی (راه‌اندازی مجدد) مرکز اورژانسی در صورتی که در لکه جمعیتی $c$ احداث گردد |
| $M$ | عددی دلخواه مثبت و به‌اندازه کافی بزرگ |

متغیرهای تصمیم

| | |
|---|---|
| $Y_{ud}$ | اگر مرکز اورژانس $u$ به مرکز درمانی $d$ تخصیص یابد $Y_{ud}$ برابر یک و در غیر این‌صورت برابر صفر است |
| $N_{ud}$ | تعداد مصدومان ارسالی از مرکز اورژانس $u$ به مرکز درمانی $d$ |
| $Z_{dc}$ | اگر مرکز درمانی $d$ در لکه جمعیتی $c$ احداث گردد برابر یک است و در غیر این صورت برابر صفر است |
| $K_{uc}$ | اگر مرکز اورژانس $u$ در لکه جمعیتی $c$ احداث گردد برابر یک است |
| $A_{cd}$ | اگر مرکز درمانی $d$ به لکه جمعیتی $c$ اختصاص یابد مقدار آن برابر یک است و در غیر این‌صورت برابر صفر است |

مدل ریاضی

$$Min \sum_{d=1}^{|D|}\sum_{c=1}^{|C|} CD_c\, Z_{dc} + \sum_{u=1}^{|U|}\sum_{c=1}^{|C|} CU_c\, K_{uc} + \sum_{d=1}^{|D|}\sum_{u=1}^{|U|}\sum_{c=1}^{|C|}\left(\sum_{c'=1}^{|C|} K_{uc} N_{ud} Z_{dc'} DT_{c,c'}\right) + \left(\sum_{d=1}^{|D|}\sum_{c=1}^{|C|} RD_c Z_{dc} + \sum_{u=1}^{|U|}\sum_{c=1}^{|C|} RU_c K_{uc}\right) \qquad ۱$$

$s.t$

$$\sum_{u=1}^{|U|} N_{ud} \le CapU_d \qquad \forall d \qquad ۲$$

$$\sum_{d=1}^{|D|} A_{cd} = 1 \qquad \forall c \qquad ۳$$

$$\sum_{c=1}^{|C|} A_{cd}\, M_c \le CapD_d \qquad \forall d \qquad ۴$$

$$N_{ud} \le M\, Y_{ud} \qquad \forall u, d \qquad ۵$$

$$0 \le N_{ud} \qquad \forall u, d \qquad ۶$$

$$DE_u = \sum_{d=1}^{|D|} N_{ud} \qquad \forall u \qquad ۷$$

$$Z_{dc} \le \sum_{c'=1}^{|C|} A_{c'd} \qquad \forall d, c \qquad ۸$$

$$\sum_{c'=1}^{|C|} A_{c'd} \le M\, Z_{dc} \qquad \forall d, c \qquad ۹$$

$$\sum_{c=1}^{|C|} K_{uc} \le \sum_{d=1}^{|D|} N_{ud} \qquad \forall u \qquad ۱۰$$

$$\sum_{d=1}^{|D|} N_{ud} \le M \sum_{c=1}^{|C|} K_{uc} \qquad \forall u \qquad ۱۱$$

$$\sum_{u=1}^{|U|} K_{uc} \leq 1 \qquad \forall c \qquad ۱۲$$

$$\sum_{c=1}^{|C|} K_{uc} \leq 1 \qquad \forall u \qquad ۱۳$$

$$Y_{ud}, Z_{dc}, K_{uc}, A_{cd} \in \{0,1\} \qquad \forall c, d, u \qquad ۱۴$$

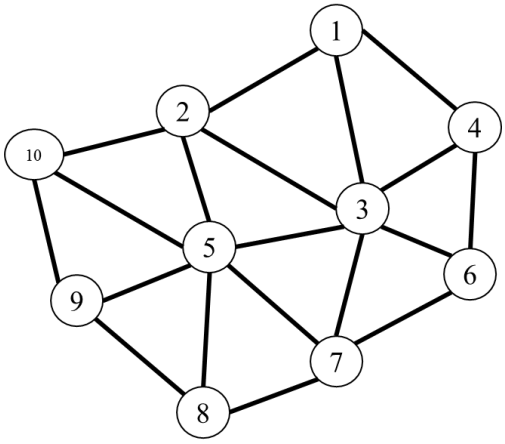
$$N_{ud} \in \mathbb{Z} \qquad 15$$

تابع هدف (۱) مسأله دارای پنج جمله است که به تفکیک ارائه می‌شود. جمله اول به هزینه احداث مراکز درمانی، جمله دوم هزینه احداث مراکز اورژانسی، جمله سوم هزینه جابجایی مصدومان بین مراکز، جمله چهارم هزینه شکست مراکز درمانی و جمله پنجم هزینه شکست مراکز اورژانسی را بیان می‌کند. ازآنجاکه کمینه‌سازی هزینه شکست نقطه مقابل بیشینه‌سازی قابلیت اطمینان است، بنابراین، کمینه‌سازی این عبارات باعث بیشینه‌سازی قابلیت اطمینان می‌شود. محدودیت (۲) تضمینی برای عدم انحراف انتقال مصدومان از ظرفیت مراکز درمانی است. محدودیت (۳) تضمین می‌کند که هر لکه جمعیتی باید به یک مرکز درمانی تخصیص یابد. این تخصیصات به‌گونه‌ای انجام خواهد شد که مسأله تحت شرایط پوشش کامل ارائه گردد. محدودیت (۴) تضمینی جهت عدم وجود انحرافات از ظرفیت مراکز اورژانسی است. محدودیت (۵) و (۶) تضمینی برای تخصیص صحیح انتقال مصدومان از مراکز اورژانسی به مراکز درمانی است. محدودیت (۷) تضمین می‌کند که تعداد مصدومان انتقالی به مراکز درمانی برابر با تعداد تقاضاهای مراکز اورژانسی باشد. محدودیت (۸) و (۹) تضمینی جهت تخصیص صحیح لکه‌های جمعیتی به مراکز درمانی است. محدودیت (۱۰) و (۱۱) تضمینی جهت تخصیص مناسب لکه‌های جمعیتی به مراکز اورژانسی و مراکز اورژانسی به مراکز درمانی است. محدودیت (۱۲) و (۱۳) نیز تضمینی جهت تخصیصات منحصربه‌فرد لکه‌های جمعیتی به مراکز اورژانسی است. در پایان (۱۴) دامنه متغیرهای مورداستفاده در مدل را بیان می‌کند.

## یافته‌های پژوهش

تمام مسائل حل شده در این بخش با یک رایانه شخصی با پردازنده ۷ هسته‌ای، حافظه موقت ۸ گیگابایت و سیستم عامل ویندوز ۱۰ اجرا شده است.

در این مثال فرض می‌شود که ناحیه‌ای با ۱۰ نقطه جمعیتی مدنظر است. مدیران سیستم قصد دارند این ناحیه را به دو پهنه تقسیم کرده و در هر پهنه یک مرکز درمانی احداث نمایند. همچنین به‌منظور برآورده‌سازی نیازهای مصدومان اورژانسی، ۳ مرکز اورژانسی نیز احداث خواهد شد. ساختار شبکه مورد مطالعه به‌صورت شکل (۱) است.




**شکل (۱) ساختار ناحیه مورد مطالعه**

داده‌های مورد نظر جهت حل مسأله به‌صورت جداول (۱) تا (۴) ارائه می‌شود.

**جدول (۱) هزینه‌های مرتبط با احداث تسهیلات**

| | **cd** | **۱** | **۲** | **۳** | **۴** | **۵** | **۶** | **۷** | **۸** | **۹** | ۱۰ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $CD_{dc}$ | **۱** | ۱۱۱ | ۱۶۱ | ۱۷۹ | ۱۵۶ | ۱۷۹ | ۱۹۰ | ۱۳۸ | ۲۰۰ | ۱۷۹ | ۱۹۸ |
| | **۲** | ۱۱۶ | ۱۲۶ | ۱۵۶ | ۱۶۰ | ۱۲۷ | ۱۶۹ | ۱۸۰ | ۱۳۹ | ۱۴۹ | ۱۳۲ |
| | **cu** | **۱** | **۲** | **۳** | **۴** | **۵** | **۶** | **۷** | **۸** | **۹** | ۱۰ |
| $CU_{uc}$ | **۱** | ۷۶ | ۵۸ | ۶۷ | ۶۸ | ۵۹ | ۶۶ | ۸۳ | ۸۷ | ۸۹ | ۶۴ |
| | **۲** | ۸۲ | ۶۱ | ۵۴ | ۶۰ | ۶۵ | ۸۹ | ۷۲ | ۵۲ | ۵۲ | ۷۲ |
| | **۳** | ۷۵ | ۷۰ | ۶۳ | ۷۴ | ۸۳ | ۷۲ | ۵۳ | ۷۰ | ۶۲ | ۸۲ |
| $M_c$ | | ۲۰ | ۲۵ | ۳۵ | ۳۰ | ۲۰ | ۴۰ | ۴۵ | ۳۰ | ۳۵ | ۲۵ |

**جدول (۲) ظرفیت مرتبط با هریک از مراکز درمانی و اورژانسی**

| | $d$ | | $U$ | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | ۱ | ۲ | ۱ | ۲ | ۳ |
| $DE_u$ | - | - | ۸۰ | ۵۰ | ۱۱۰ |
| $CapD(d)$ | ۲۰۰ | ۲۵۰ | - | - | - |
| $CapU(d)$ | ۱۲۰ | ۱۰۰ | - | - | - |

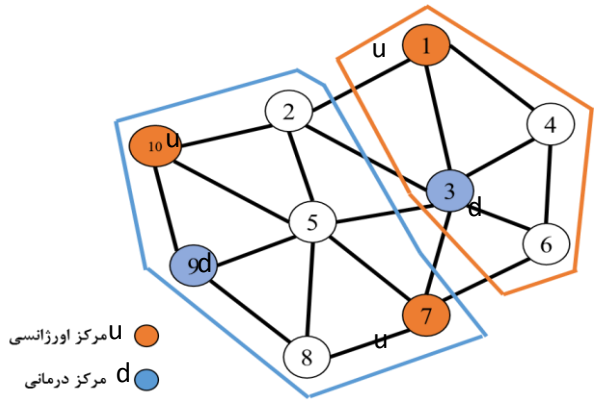
**جدول (۳) شبکه ارتباطات بین مناطق جمعیتی**

| | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۰ | ۱ | ۱ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۲ | ۱ | ۰ | ۱ | ۰ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ |
| ۳ | ۱ | ۱ | ۰ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۴ | ۱ | ۰ | ۱ | ۰ | ۰ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۵ | ۰ | ۱ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ | ۱ | ۱ | ۱ |
| ۶ | ۰ | ۰ | ۱ | ۱ | ۰ | ۰ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۷ | ۰ | ۰ | ۱ | ۰ | ۱ | ۱ | ۰ | ۱ | ۰ | ۰ |
| ۸ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ | ۰ | ۱ | ۰ | ۱ | ۰ |
| ۹ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ | ۰ | ۰ | ۱ | ۰ | ۱ |
| ۱۰ | ۰ | ۱ | ۰ | ۰ | ۱ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱ | ۰ |

**جدول (۴) هزینه‌های جابه‌جایی بین نقاط جمعیتی (در جدول M یک عدد بسیار بزرگ و ثابت است)**

| | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | M | ۴۰ | ۳۰ | ۳۵ | M | M | M | M | M | M |
| ۲ | ۴۰ | M | ۲۵ | M | ۵۰ | M | M | M | M | ۴۵ |
| ۳ | ۳۰ | ۲۵ | M | ۳۰ | ۳۵ | ۴۰ | ۲۵ | M | M | M |
| ۴ | ۳ | ۰ | ۳۰ | M | M | ۵۰ | M | M | M | M |
| ۵ | ۰ | ۵۰ | ۳۵ | M | M | M | ۶۰ | ۵۰ | ۵۰ | ۴۰ |
| ۶ | M | M | ۴۰ | ۵۰ | M | M | ۳۵ | M | M | M |
| ۷ | M | M | ۲۵ | M | ۶۰ | ۳۵ | M | ۴۰ | M | M |
| ۸ | M | M | M | M | ۵۰ | M | ۴۰ | M | ۴۵ | M |
| ۹ | M | M | M | M | ۵۰ | M | M | ۴۵ | M | ۳۵ |
| ۱۰ | M | ۴۵ | M | M | ۴۰ | M | M | M | ۳۵ | M |

حداکثر تعداد مناطقی که می‌توان در یک پهنه قرار داد نیز ۶ است. پس از حل مسأله به کمک نرم‌افزار، ساختار شبکه به‌صورت شکل (۲) حاصل می‌شود.




**شکل (۲) ساختار شبکه پس از حل به کمک نرم‌افزار**

مشاهده می‌شود که نقاط ۲، ۵، ۷، ۸، ۹ و ۱۰ به پهنه ۱ و نقاط ۱، ۳، ۴ و ۶ به پهنه دوم تخصیص یافته‌اند. دلیل این امر را می‌توان در ایجاد تعادل در هزینه پرداخت از جیب دانست. همچنین مناطق ۳ و ۹ به‌عنوان مراکز درمانی و مناطق ۱، ۷ و ۱۰ به‌عنوان مراکز اورژانسی در نظر گرفته‌شده‌اند. هزینه‌های سیستم نیز در قالب جدول (۵) ارائه می‌شود.

**جدول (۵) هزینه‌های مکان‌یابی مراکز و پهنه‌بندی سیستم**

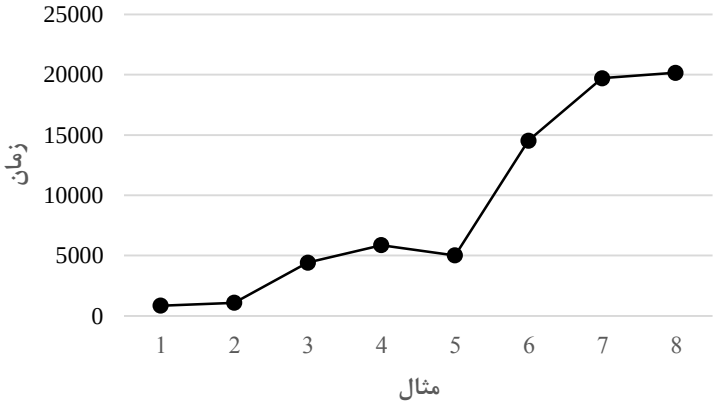
| هزینه احداث مراکز درمانی | احداث مراکز اورژانسی | هزینه جابجایی از مراکز اورژانس به مراکز درمانی | هزینه بازسازی مراکز درمانی | هزینه بازسازی مراکز اورژانسی |
|---|---|---|---|---|
| ۳۳۵ | ۲۱۱ | ۶۵۷ | ۷۴۴ | ۴۲۱ |

قابل به ذکر است که هزینه‌های احداث مراکز برحسب (میلیون) و سایر هزینه‌ها برحسب (هزار) است. همانند مثال قبل، تعدادی از مثال‌های طراحی‌شده در ابعاد مختلف در قالب جدول (۶) ارائه می‌شود.

**جدول (۶) نتایج حاصل از حل مثال‌های عددی مختلف**

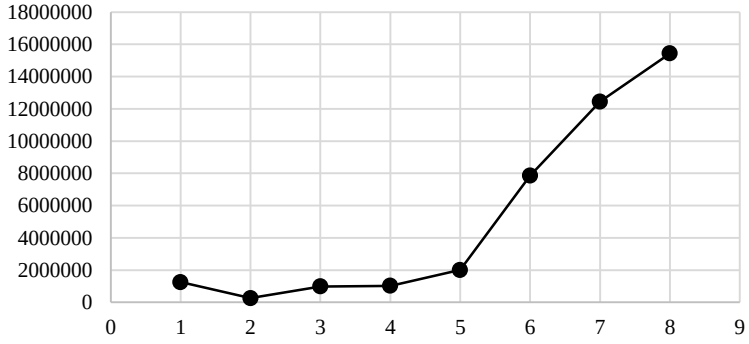
| ابعاد | تعداد مناطق | تعداد پهنه‌ها | تعداد مراکز درمانی | تعداد مراکز اورژانسی | هزینه کل | زمان حل (ثانیه) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| کوچک | ۱۰ | ۲ | ۲ | ۳ | ۱۲۵۴۸۵۱ | ۸۴۵ |
| | ۱۲ | ۲ | ۳ | ۳ | ۲۵۵۴۷۸ | ۱۰۹۱ |
| | ۱۴ | ۳ | ۳ | ۵ | ۹۸۵۶۳۳ | ۴۴۲۰ |
| | ۱۵ | ۳ | ۴ | ۵ | ۱۰۲۴۸۲۲ | ۵۸۶۳ |
| | ۱۶ | ۳ | ۴ | ۶ | ۲۰۰۴۵۵۶ | ۵۰۱۹ |
| متوسط | ۲۰ | ۴ | ۵ | ۷ | ۷۸۵۵۴۰۲ | ۱۴۵۳۳ |
| | ۲۴ | ۴ | ۵ | ۸ | ۱۲۴۴۷۸۵۲ | ۱۹۷۰۲ |
| | ۲۶ | ۵ | ۶ | ۸ | ۱۵۴۴۰۴۷۱ | ۲۰۱۵۷ |

می‌توان مشاهده کرد که با افزایش ابعاد مسأله، زمان حل به‌شدت افزایش‌یافته و همچنین هزینه‌های سیستم نیز به‌شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرد. دلیل این افزایش زمان حل مسائل را می‌توان در تعداد کمان‌های موجود بین مناطق جمعیتی جهت تضمین پیوستگی دانست. از طرفی افزایش تعداد پهنه‌ها نیز تعداد متغیرها را به‌شدت افزایش داده و بنابراین زمان حل زیاد می‌شود. شکل (۳) افزایش زمان حل با توجه به ابعاد را نشان می‌دهد.




**شکل (۳) نمودار زمان حل برای مثال‌های ارائه‌شده**

رشد نمایی زمان حل مسائل را می‌توان به‌طور کاملاً مشهود از شکل (۳) مشاهده نمود. البته در برخی از مثال‌ها، زمان حل مسأله کاهش‌یافته است که دلیل را می‌توان در کاهش تعداد یال‌های موجود بین مناطق دانست. همچنین تعداد مراکز درمانی و اورژانسی موردنیاز نیز تأثیر بسیاری در زمان حل مسأله دارد. مشابه با افزایش زمان حل، در شکل (۴) رشد هزینه‌های سیستم نیز ارائه می‌گردد.




**شکل (۴) نمودار هزینه‌های سیستم برای مثال‌های ارائه‌شده**

در ادامه به بررسی حساسیت مدل ارائه‌شده در تغییر برخی از پارامترها پرداخته می‌شود.

**تحلیل حساسیت**

در این قسمت به‌منظور بررسی دقیق‌تر رفتار مدل ارائه‌شده، حساسیت مدل تحت تغییر برخی از پارامترهای مسأله موردبررسی قرار می‌گیرد. در این تحقیق، تغییر پارامترهای ظرفیت مراکز، هزینه‌های احداث مراکز، هزینه‌های جابجایی بین مراکز مورد تحلیل قرار خواهد گرفت.

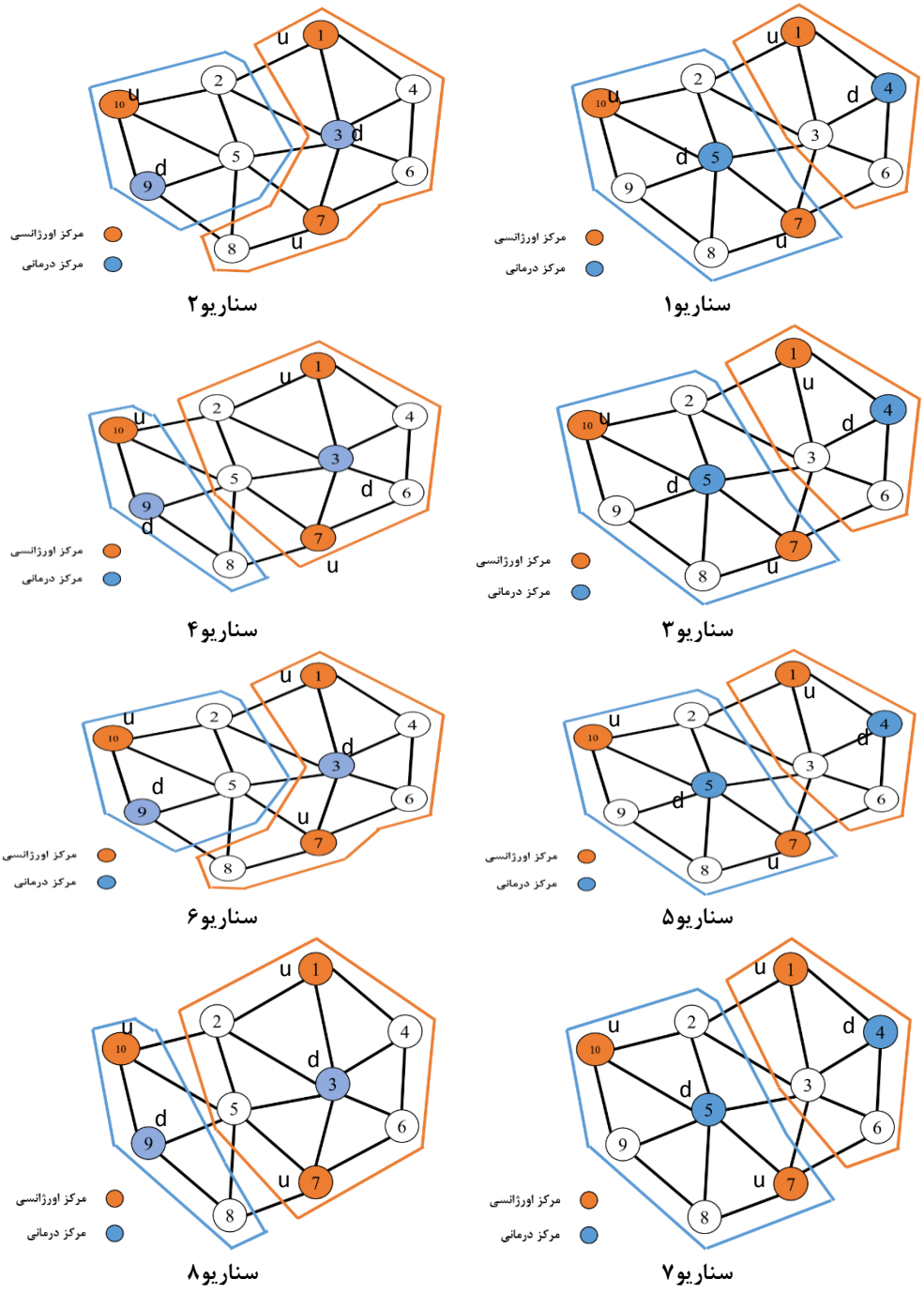
**ظرفیت مراکز**

به‌منظور بررسی رفتار مسأله تحت تغییر مقدار ظرفیت مراکز، در این قسمت فرض می‌شود که ظرفیت هر مرکز درمانی به دو شکل (یک‌بار افزایش و یک‌بار کاهش) تغییر خواهد کرد. مشخص است که مجموع ظرفیت موجود برای مراکز ثابت در نظر گرفته می‌شود. برای مراکز اورژانسی نیز به همین صورت خواهد بود. درواقع برای ۳ مرکز اورژانس، ۴ حالت وجود که عبارت‌اند از: ۱) کاهش ظرفیت مرکز اول و افزایش ظرفیت دو مرکز دیگر ۲) کاهش ظرفیت مراکز اول و دوم و افزایش ظرفیت مرکز سوم ۳) کاهش ظرفیت مراکز اول و سوم و افزایش ظرفیت مرکز دوم ۴) افزایش ظرفیت مراکز اول و سوم و کاهش ظرفیت مرکز دوم. بنابراین در جدول (۷) هشت حالت مختلف بررسی خواهد شد که تحت سناریوهای ۱ تا ۸ آمده است.

**جدول (۷) حالت‌های مختلف برای سناریوها**

| سناریو | مرکز درمانی ۱ | مرکز درمانی ۲ | مرکز اورژانسی ۱ | مرکز اورژانسی ۲ | مرکز اورژانسی ۳ |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | کاهش | افزایش | کاهش | افزایش | افزایش |
| ۲ | کاهش | افزایش | افزایش | کاهش | کاهش |
| ۳ | کاهش | افزایش | افزایش | کاهش | افزایش |
| ۴ | کاهش | افزایش | کاهش | افزایش | کاهش |
| ۵ | افزایش | کاهش | کاهش | افزایش | افزایش |
| ۶ | افزایش | کاهش | افزایش | کاهش | کاهش |
| ۷ | افزایش | کاهش | افزایش | کاهش | افزایش |
| ۸ | افزایش | کاهش | کاهش | افزایش | کاهش |

پس از حل مسأله به کمک نرم‌افزار، تغییرات اعمال‌شده در ساختار شبکه به‌صورت شکل (۵) خواهد بود.




**شکل (۵) تغییرات اعمال‌شده در ساختار شبکه**

مطابق ساختارهای ارائه‌شده در جدول فوق، مشاهده می‌شود که در سناریو ۱، تنها محل احداث مراکز درمانی تغییریافته است و در تخصیص نقاط و پهنه‌بندی انجام‌شده هیچ تغییری صورت نگرفته است. همچنین محل احداث مراکز اورژانسی نیز ثابت است. دلیل این امر را می‌توان بدین‌صورت تشریح نمود که در این سناریو به‌طورکلی، ظرفیت افزایش‌یافته است. در حقیقت، از بین مراکز مدنظر، تنها دو مرکز کاهش ظرفیت دارند و سایر مراکز طبق همان روال قبل به خدمت‌رسانی می‌پردازند. در سناریو دوم، تخصیص نقاط و ساختار پهنه‌بندی دچار تغییرات جدی شده است. این موضوع ازآن‌جهت اتفاق افتاده است که ظرفیت تمامی مراکز به‌جز یک مرکز درمانی و یک مرکز اورژانسی کاهش‌یافته است. بنابراین تخصیصات به نحوی است که تقاضای تمامی نقاط برآورده خواهد شد. سناریو سوم نیز رفتاری مشابه با سناریو ۱ دارد؛ چراکه در این حالت نیز به‌طورکلی، ظرفیت سیستم افزایش‌یافته است. در سناریو ۴ نیز ساختار نقاط دچار تغییرات کلی شده و با توجه به ظرفیت مراکز، تخصیصات نقاط تغییریافته است. البته مشخص است که با توجه به مقدار کاهش یا افزایش اعمال‌شده در ظرفیت مراکز، پهنه‌بندی و احتمالاً مکان‌یابی مراکز تغییر خواهد کرد. در سناریوهای ۵ تا ۸ نیز مشاهده می‌شود که دقیقاً مشابه ساختارهای ۱ تا ۴ است. دلیل این امر را می‌توان در کاهش یک مرکز درمانی و متقابلاً افزایش ظرفیت مرکز دیگر دانست. هزینه‌های سیستم تحت هر سناریو نیز مطابق جدول (۸) است.

**جدول (۸) هزینه‌های مکان‌یابی مراکز و پهنه‌بندی سیستم تحت سناریوهای مختلف**

| سناریو | هزینه احداث مراکز درمانی | هزینه احداث مراکز اورژانسی | هزینه جابجایی از مراکز اورژانس به مراکز درمانی | هزینه بازسازی مراکز درمانی | هزینه بازسازی مراکز اورژانسی |
|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۴۰۸ | ۳۷۱ | ۹۱۲ | ۵۴۹ | ۳۴۱ |
| ۲ | ۳۹۴ | ۵۱۸ | ۷۳۴ | ۴۳۷ | ۴۴۷ |
| ۳ | ۴۰۸ | ۳۷۱ | ۹۱۲ | ۵۴۹ | ۳۴۱ |
| ۴ | ۳۹۴ | ۵۱۸ | ۱۰۴۲ | ۶۴۴ | ۳۱۷ |
| ۵ | ۴۰۸ | ۳۷۱ | ۹۱۲ | ۵۴۹ | ۳۴۱ |
| ۶ | ۳۹۴ | ۵۱۸ | ۷۳۴ | ۴۳۷ | ۴۴۷ |
| ۷ | ۴۰۸ | ۳۷۱ | ۹۱۲ | ۵۴۹ | ۳۴۱ |
| ۸ | ۳۹۴ | ۵۱۸ | ۱۰۴۲ | ۶۴۴ | ۳۱۷ |

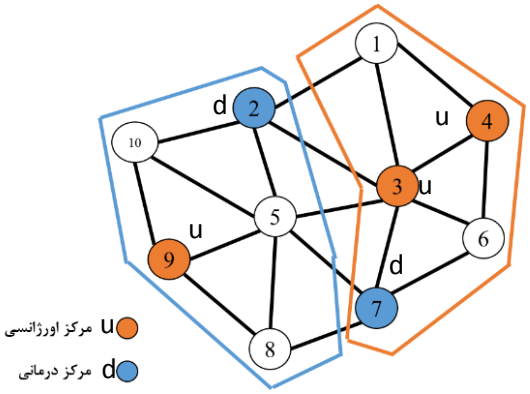
**هزینه‌های احداث**

مشابه حالت قبل، در این قسمت تغییرات ساختار سیستم تحت تغییرات در هزینه‌های احداث موردتوجه قرار می‌گیرد. به‌منظور اطمینان از صحت عملکرد مدل، هزینه احداث در دو مرکز درمانی و اورژانسی بسیار پایین‌تر در نظر گرفته می‌شود. در این حالت باید مدل ارائه‌شده، همان نقاط را به‌عنوان پاسخ نهایی انتخاب نماید. فرض کنید جدول هزینه‌های احداث به صورت جدول (۹) تغییر کند.

**جدول (۹) هزینه‌های مرتبط با احداث تسهیلات**

| | cd | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| $CD_{dc}$ | ۱ | ۱۱۱ | ۰ | ۱۷۹ | ۱۵۶ | ۱۷۹ | ۱۹۰ | ۱۳۸ | ۲۰۰ | ۱۷۹ | ۱۹۸ |
| | ۲ | ۱۱۶ | ۱۲۶ | ۱۵۶ | ۱۶۰ | ۱۲۷ | ۱۶۹ | ۰ | ۱۳۹ | ۱۴۹ | ۱۳۲ |
| | **cu** | **۱** | **۲** | **۳** | **۴** | **۵** | **۶** | **۷** | **۸** | **۹** | ۱۰ |
| $CU_{uc}$ | ۱ | ۷۶ | ۵۸ | ۶۷ | ۰ | ۵۹ | ۶۶ | ۸۳ | ۸۷ | ۸۹ | ۶۴ |
| | ۲ | ۸۲ | ۶۱ | ۰ | ۶۰ | ۶۵ | ۸۹ | ۷۲ | ۵۲ | ۵۲ | ۷۲ |
| | ۳ | ۷۵ | ۷۰ | ۶۳ | ۷۴ | ۸۳ | ۷۲ | ۵۳ | ۷۰ | ۰ | ۸۲ |

طبق اطلاعات جدول (۹) پیش‌بینی می‌شود که مراکز درمانی در نقاط ۲ و ۷ و مراکز اورژانسی در نقاط ۳، ۴ و ۹ احداث گردد. پس از حل مسأله، ساختار پهنه‌بندی به‌صورت شکل (۶) تغییر می‌کند.




**شکل (۶) ساختار شبکه پس از حل به کمک نرم‌افزار**

همان‌طور که پیش‌بینی شد، با توجه به صفر بودن هزینه احداث در نقاط تعیین‌شده و همچنین توانایی این نقاط در تأمین تقاضای لازم، مراکز درمانی و اورژانسی نیز در نقاط تعیین‌شده احداث می‌شوند.

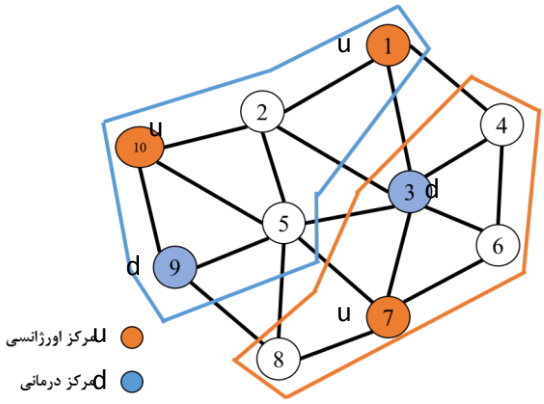
**هزینه‌های جابجایی بین مراکز**

هزینه‌های جابجایی می‌توانند تأثیر بسیاری بر ساختار سیستم بگذارند. این هزینه‌ها از آن جهت دارای اهمیت هستند که برخلاف کم بودن مقدار آن‌ها در هر جابجایی، دارای تعداد دفعات تکرار زیادی هستند. بنابراین با تکرار شدن این هزینه‌های کوچک، هزینه کل سیستم افزایش خواهد یافت. در این قسمت سعی می‌شود حساسیت مدل در تغییر هزینه‌های جابجایی مورد بررسی قرار گیرد. این تغییرات به نحوی است که هزینه جابجایی بین برخی از نقاط به‌شدت افزایش می‌یابد. بنابراین، در یک تخصیص منطقی، نباید نقاط مذکور باهم در یک پهنه قرار داشته باشند. جدول (۱۰) هزینه‌های تغییریافته را نشان می‌دهد.

**جدول (۱۰) هزینه جابه‌جایی بین نقاط جمعیتی**

| | ۱ | ۲ | ۳ | ۴ | ۵ | ۶ | ۷ | ۸ | ۹ | ۱۰ |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۱ | ۰ | ۴۰ | ۱۰۰۰ | ۱۰۰۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۲ | ۴۰ | ۰ | ۲۵ | ۰ | ۵۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۴۵ |
| ۳ | ۱۰۰۰ | ۲۵ | ۰ | ۳۰ | ۳۵ | ۴۰ | ۲۵ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۴ | ۱۰۰۰ | ۰ | ۳۰ | ۰ | ۰ | ۵۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۵ | ۰ | ۵۰ | ۳۵ | ۰ | ۰ | ۰ | ۶۰ | ۱۰۰۰ | ۵۰ | ۴۰ |
| ۶ | ۰ | ۰ | ۴۰ | ۵۰ | ۰ | ۰ | ۳۵ | ۰ | ۰ | ۰ |
| ۷ | ۰ | ۰ | ۲۵ | ۰ | ۶۰ | ۳۵ | ۰ | ۴۰ | ۰ | ۰ |
| ۸ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۱۰۰۰ | ۰ | ۴۰ | ۰ | ۴۵ | ۰ |
| ۹ | ۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۵۰ | ۰ | ۰ | ۴۵ | ۰ | ۳۵ |
| ۱۰ | ۰ | ۴۵ | ۰ | ۰ | ۴۰ | ۰ | ۰ | ۰ | ۳۵ | ۰ |

طبق داده‌های جدول (۱۰)، نباید نقاط ۱ و۳ و همچنین ۱ و ۴ و در طرف دیگر، نقاط ۵ و ۸ در یک پهنه قرار داشته باشند؛ زیرا هزینه جابجایی بین آن‌ها بسیار بالا است. پس از حل مسأله به کمک نرم‌افزار، ساختار پهنه‌بندی ناحیه مورد مطالعه به‌صورت شکل (۷) خواهد بود.




**شکل (۷) ساختار شبکه پس از حل به کمک نرم‌افزار**

مشاهده می‌شود که با توجه به بالا بودن هزینه‌های جابجایی بین نقاط ۱ و ۴، نقاط ۱ و ۳ و همچنین نقاط ۵ و ۸، بین نقاط مذکور هیچ ارتباطی برقرار نیست. توجه به تحلیل‌های انجام‌شده در بخش‌های مختلف مدل، می‌توان مشاهده کرد که نتایج دقیقاً طبق پیش‌بینی‌های انجام‌شده عمل می‌کند. بنابراین می‌توان اطمینان حاصل نمود که مدل ارائه‌شده دارای سطح اطمینان بالایی در ارائه نتایج است.

## نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این تحقیق از رویکرد برنامه‌ریزی ریاضی به‌منظور مکان‌یابی مراکز ارائه خدمت به مصدومان جنگی و تقسیم‌بندی مناطق متقاضی دریافت این خدمات که همان جبهه‌های جنگ هست، استفاده شده است. این مسأله می‌تواند به‌عنوان ابزاری جهت توسعه مطالعات آینده‌پژوهی در سیستم‌های پدافند عامل به‌منظور ارتقاء سطح آمادگی نیروها در برخورد با شرایط بحرانی قرار گیرد. جهت حل مسأله از حل‌کننده CPLEX استفاده‌شده که می‌تواند منجر به ارائه خروجی‌های بهینه سراسری شود. پس از حل مثال‌های عددی، این نتایج حاصل‌شده است که مدل ارائه‌شده به نحوی مناسب مراکز درمانی و اورژانسی را احداث کرده و همچنین متقاضیان را به این مراکز تخصیص می‌دهد. همچنین تحلیل حساسیت حاکی از استواری نتایج عددی در مقابل تغییر مقادیر برخی از پارامترها است. بنابراین می‌توان از نتایج این تحقیق به‌منظور توسعه مطالعات بعدی و همچنین ایجاد بستری مناسب جهت تحلیل نتایج نهایی برای مدیران استفاده نمود.

## منابع


- Abounacer, R. Rekik, M. & Renaud, J. (2014). An exact solution approach for multi-objective location–transportation problem for disaster response, *Computers & Operations Research*, 41: 83-93.
- Amanatkar, H.R. Papagiannopoulos, B. & Grossberg G.T. (2017). Analysis of recent failures of disease modifying therapies in Alzheimer's disease suggesting a new methodology for future studies, *Expert review of neurotherapeutics*, 17(1): 7-16.
- Angst, F., Aeschlimann, A. & Angst, J. (2017). The minimal clinically important difference raised the significance of outcome effects above the statistical level, with methodological implications for future studies. *Journal of clinical epidemiology*, 82: 128-136.
- Aslan, I., Çınar, O. & Özen, Ü. (2014). Developing strategies for the future of healthcare in Turkey by benchmarking and SWOT analysis, *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 150: 230-240.
- Gaardboe, R. Nyvang, T. & Sandalgaard, N. (2017). Business intelligence success applied to healthcare information systems, *Procedia Computer Science*, 121: 483-490.
- Gutjahr, W. J. & Dzubur, N. (2016). Bi-objective bilevel optimization of distribution center locations considering user equilibria, *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 85: 1-22.
- Iversen, T. G. Skotland, T. & Sandvig, K. (2011). Endocytosis and intracellular transport of nanoparticles: present knowledge and need for future studies, *Nano today*, 6(2): 176-185.
- Kaján, E. Tervo-Kankare, K. & Saarinen, J. (2015). Cost of adaptation to climate change in tourism: Methodological challenges and trends for future studies in adaptation, *Scandinavian Journal of Hospitality and Tourism*, 15(3): 311-317.
- Keikhosrokiani, P. Mustaffa, N. & Zakaria, N. (2018). Success factors in developing iHeart as a patient-centric healthcare system: A multi-group analysis, *Telematics and Informatics*, 35(4): 753-775.
- Khayal, D. Pradhananga, R. Pokharel, S. & Mutlu, F. (2015). A model for planning locations of temporary distribution facilities for emergency response, *Socio-Economic Planning Sciences*, 52: 22-30.
- Kılcı, F. Kara, B. Y. & Bozkaya, B. (2015). Locating temporary shelter areas after an earthquake: A case for Turkey, *European Journal of Operational Research*, 243(1): 323-332.
- Nikolakopoulou, A. Mavridis, D. & Salanti, G. (2016). Planning future studies based on the precision of network meta-analysis results, *Statistics in medicine*, 35(7): 978-1000.

- Norbye, B. (2016). Healthcare students as innovative partners in the development of future healthcare services: An action research approach, *Nurse education today*, 46: 4-9.
- Park, K. Park, J. Kwon, Y. D. Kang, Y. & Noh, J. W. (2016). Public satisfaction with the healthcare system performance in South Korea: Universal healthcare system, *Health Policy*, 120 (6): 621-629.
- Paul, J. A. & MacDonald, L. (2016). Location and capacity allocations decisions to mitigate the impacts of unexpected disasters, *European Journal of Operational Research*, 251(1): 252-263.
- Redmond, S. A. Wilcox, S. L. Campbell, S. Kim, A., Finney, K. Barr, K., & Hassan, A. M. (2015). A brief introduction to the military workplace culture, *Work*, *50*(1): 9-20.
- Ryan, C. Korman, N. J. Gelfand, J. M. Lim, H. W. Elmets, C. A., Feldman, S. R. & Van Voorhees, A. S. (2014). Research gaps in psoriasis: opportunities for future studies. *Journal of the American Academy of Dermatology*, 70(1): 146-167.
- Tofighi, S. Torabi, S. A. & Mansouri, S. A. (2016). Humanitarian logistics network design under mixed uncertainty, *European Journal of Operational Research*, 250(1): 239-250.
- Van Der Hulle, T. Le Gal, G. Kyrle, P.A. Huisman, M.V. Cannegieter, S.C. & Klok, F.A. (2017) Towards a tailored diagnostic standard for future diagnostic studies in pulmonary embolism: communication from the SSC of the ISTH, *Journal of Thrombosis and Haemostasis*, 15(5): 1040-1043.
- Verma, A. & Gaukler, G. M. (2015). Pre-positioning disaster response facilities at safe locations: An evaluation of deterministic and stochastic modeling approaches, *Computers & Operations Research*, 62: 197-209.
- Wang, Y. & Hajli, N. (2017). Exploring the path to big data analytics success in healthcare, *Journal of Business Research*, 70: 287-299.