

ترکیب بهینه ارسال نیروهای امداد زمینی و هوایی در زمان بحران با در نظرگیری قید بودجه

علی ادیسی (مسئول مکاتبات)، استادیار، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

معین عسکری، دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی عمران دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی، تهران، ایران

E-mail: edrisi@kntu.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۲۹ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۰۱

چکیده

هدف از این مقاله، بررسی تأثیر ارسال بهینه نیروهای امدادی در زمان بحران بر روی تعداد افراد نجات‌یافته است. در این پژوهش، مدلی برای محاسبه تعداد بهینه نیروهای هر مد امداد بسته به بودجه در دسترس، ارائه شده است. برای تخصیص نیروهای امداد زمینی از الگوریتم فرانک ولف استفاده شد و برای واقع‌گرایی بیشتر، تأثیر خرابی کمان‌ها پس از بحران نیز در امداد رسانی زمینی در نظر گرفته شد. مدل پیشنهادی در این پژوهش با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات حل گردید. از جمله نتایج مهم این مطالعه نشان دادن کارآیی امداد هوایی به‌طور خاص در بودجه‌های زیاد و عملکرد متغیر امداد رسانی زمینی در بودجه‌های متفاوت است. همچنین نشان داده شد که در بودجه‌های پایین تأثیر افزایش بودجه بیشتر از مقادیر بودجه زیاد است به این صورت که در بودجه‌های پایین، مقدار افزایش تعداد افراد نجات‌یافته در مقدار ثابت افزایش بودجه، از ۹۸ درصد برای بودجه‌های پایین تا ۲ درصد برای بودجه‌های بالا متغیر است.

واژه‌های کلیدی: مدیریت بحران، امداد رسانی، تاب‌آوری، امداد رسانی هوایی، قید بودجه

۱. مقدمه

کمان‌های شبکه از طریق افزایش مقاومت کمان‌ها مطرح می‌گردد که روش‌های پرهزینه و زمان‌بری هستند [Edrissi, Nourinejad and Roorda, 2015; Pitilakis et al. 2016].

مطالعات بسیاری امدادسانی پس از بحران‌های با دامنه وسیع مانند زلزله و سیل را مورد بررسی قرار داده‌اند که در اکثر این مطالعات، امدادسانی با استفاده از خودرو و شبکه حمل‌ونقل جاده‌ای مورد توجه قرار گرفته است [Nikoo, Babaei and Shariat Mohaymany, 2018; Chen and Yu, 2016; Berkoune et al. 2012]. ولی با توجه به اینکه در حال حاضر بسیاری از مراکز امدادی در کشورهای توسعه‌یافته نیز در موارد خاص از امدادسانی هوایی استفاده می‌کنند، لزوم استفاده از این مد امدادسانی چه در مطالعات دانشگاهی و چه در شرایط واقعی احساس می‌شود. به‌طور کلی امدادسانی هوایی نسبت به زمینی مزایای بسیاری دارد که از این جمله می‌توان به عدم تأثیرپذیری از شرایط در اکثر بحران‌ها، سرعت بالای امدادسانی و ظرفیت تقریباً نامحدود شبکه حمل‌ونقل هوایی اشاره کرد که البته هزینه بالای امدادسانی هوایی یکی از مهم‌ترین مشکلات آن برای تصمیم‌گیران است [Fraser, 2010].

علیرغم اینکه امدادسانی هوایی نسبت به امدادسانی زمینی دارای هزینه بیشتری است، در حال حاضر در کشورهای توسعه‌یافته امکان استفاده از این مد حمل‌ونقل به‌صورت گسترده وجود دارد. به‌طور مثال، بالگردهای امدادی در آمریکا سالانه ۱۰۰ هزار ساعت پرواز کرده و ۸۵ هزار مأموریت انجام می‌دهند که این نشان‌دهنده حجم بالای تسهیلات در دسترس امداد هوایی در این کشور است [Garcia, 2006]. با توجه به شرایط اشاره‌شده در آمریکا، در دیگر کشورهای توسعه‌یافته نیز شرایط مشابهی برقرار است که امکان‌پذیری استفاده از این مد را به‌تنهایی در بحران‌های کوچک و به‌صورت ترکیبی با امدادسانی زمینی در بحران‌های بزرگ تأیید می‌کند.

هدف از این مطالعه، بررسی تأثیر امدادسانی ترکیبی هوایی و زمینی بر کاهش تلفات ناشی از بحران‌های بزرگ با در نظرگیری قید بودجه است که در ادامه در بخش دوم به مطالعات مرتبط با امدادسانی پرداخته خواهد شد، در بخش سوم به بررسی مدل پیشنهادی، در بخش چهارم به بررسی

هرساله بحران‌های طبیعی و عمدی زیادی در سراسر دنیا رخ می‌دهد که باعث تلفات مالی و جانی زیادی می‌شوند. جلوگیری، کاهش اثرات، امدادسانی و برگشت به زمان قبل از بحران به اقداماتی نیازمند است که این اقدامات در قالب مدیریت بحران شناخته می‌شوند [Altay and Green, 2006; Hoyos, Morales and Akhavan-Tabatabaei, 2015].

به‌طور کلی مدیریت بحران شامل چهار مرحله (۱) کاهش اثرات، (۲) آمادگی، (۳) پاسخ و (۴) بازیابی هست که کاهش پیامدهای بحران نیازمند یک مدیریت جامع بر کلیه مراحل آن از قبل تا پس از بحران هست. مرحله کاهش اثرات شامل مجموعه فعالیت‌هایی می‌شود که قبل از بحران در جهت کاهش اثرات بحران صورت می‌گیرد. مرحله آمادگی سعی بر کاهش اثرات بحران با استفاده از آماده کردن جامعه در مقابل بحران دارد. در مرحله بعد که پاسخ نام دارد در مدت کوتاهی پس از بحران انجام‌شده و به دنبال کاهش اثرات بحران بر روی جان، مال، محیط‌زیست و دیگر پایه‌های اصلی هر جامعه با فعالیت‌های کوتاه‌مدت است. در مرحله آخر تصمیم‌گیران به دنبال بازگشت کامل جامعه به شرایط قبل از بحران هستند که این مرحله برخلاف مرحله قبل، یک مرحله بلندمدت است [Altay and Green, 2006; Galindo and Batta, 2013; Cheraghi and Hosseini, 2017].

کشورهایی که در مراحل قبل از بحران فعالیت‌های قابل قبولی در جهت کاهش اثرات بحران انجام نمی‌دهند، نیازمند فعالیت‌های گسترده در مراحل پس از بحران به‌طور خاص مرحله پاسخ در جهت کاهش حداکثری تلفات ناشی از بحران هستند. در این کشورها، خرابی ساختمان‌ها پس از بحران باعث زیر آوار ماندن درصدی از جمعیت هر منطقه شده که به امدادسانی و کمک نیازمندند. [Edrissi, Nourinejad and Roorda, 2015; Lipton, 2010].

بعضی از این بحران‌ها باعث مسدود شدن بخشی از شبکه حمل‌ونقل شده و باعث افزایش زمان رسیدن نیروهای امدادی به مقصد و در نتیجه آن، تلفات بیشتر می‌شوند. روش‌هایی برای بهبود امدادسانی پس از بحران از جمله افزایش تاب‌آوری

ترکیب بهینه ارسال نیروهای امداد زمینی و هوایی در زمان بحران با در نظرگیری قید بودجه

است. روش پیشنهادی بر روی شهر پونتزا اعمال شد [Goretta and Sarli, 2006].

جوتشی، گانگ و باتا (۲۰۰۹) در پژوهش خود به دنبال حل مسئله اعزام و مسیریابی خودروهای امدادی با استفاده از روش ترکیب اطلاعات بودند. پارامترهای مهم در این پژوهش اولویت بیمار و فاصله بود. مسیرها نیز با توجه به شلوغی ترافیک، خرابی راه و مسائل مربوط به آن‌ها مشخص می‌شد [Jotshi, Gong and Batta, 2009].

ویتوریانو و همکاران (۲۰۱۱) در پژوهش خود چند معیار برای مسئله توزیع کمک‌های امدادی ارائه دادند و برای در نظرگیری تمامی این معیارها، یک مدل بهینه‌سازی توسعه دادند. از این مدل برای تصمیم‌گیری و کمک به سازمان‌های مختلف استفاده می‌شود. این مدل را بر روی زلزله شهر ۲۰۱۰ هائیتی اعمال نمودند [Vitoriano et al. 2011].

کاودو، کوچیک و سباتلی (۲۰۱۶) در پژوهش خود مسئله تخصیص امداد در مدت‌زمان کوتاه پس از بحران را مورد بررسی قرار دادند. در این پژوهش یک مسئله احتمالاتی دو مرحله‌ای برای کاهش کل مسافت پیشنهاد دادند. در این مطالعه در مرحله اول تخصیص نیروهای امدادی و در مرحله دوم تصمیمات آن‌ها اعمال گردید. برای بررسی روش پیشنهادی از اطلاعات یکی از زلزله‌های کشور ترکیه استفاده کردند [Cavdur, Kose-Kucuk and Sebatli, 2016].

یه، ژان و وی (۲۰۱۷) به بررسی تخصیص کمک‌های اولیه پس از زلزله پرداختند. در روش ارائه شده سعی بر تخصیص عادلانه بین تمامی مناطق تحت بحران و کاهش زمان انتقال بوده است. همچنین روش پیشنهادی بر روی زلزله شبیه‌سازی شده شبکه شهر ونچوان اعمال گردید [Ye, Zhan and Wei, 2017].

پنا، سانتوس و پرینس (۲۰۱۷) به مسئله مسیریابی خودروهای امداد پرداختند. این مسئله شامل خودروهای متفاوت، چند دپو و سایت‌های خودرویی وابسته بود. این مسئله بر روی سناریو زلزله واقعی شهر پورتو پرینس اعمال گردید [Penna, Santos and Prins, 2017].

نتایج اعمال آن بر روی یک شبکه نمونه و در بخش آخر به نتیجه‌گیری پرداخته خواهد شد.

۲. مرور ادبیات

با توجه به اینکه همه‌ساله در سراسر دنیا بحران‌های زیادی اتفاق می‌افتد و همه این بحران‌ها به امداد رسانی نیاز دارند، پژوهشگران بسیاری نقش امداد رسانی در کاهش تلفات و چگونگی بهبود آن را تابه‌حال مورد بررسی قرار داده‌اند که تمرکز اکثر این مطالعات بر روی امداد رسانی زمینی بوده است. در این بخش در ابتدا پژوهش‌های مرتبط با امداد رسانی زمینی و پس از آن معهود مطالعات مرتبط با امداد رسانی هوایی مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

کاواکامی (۲۰۰۰) به ارائه یک متدولوژی برای تخمین عملکرد شبکه بزرگراهی پس از وقوع زلزله پرداخت. همچنین یک پروسه برای تعیین نقش هر کدام از جاده‌ها ارائه داد. در این پژوهش از شبیه‌ساز مونت کارلو برای مشخص کردن تأثیر زلزله بر روی جاده‌ها استفاده شد. در انتها از روش پیشنهادی برای مشخص کردن تأثیر زلزله بر شبکه بزرگراهی توکیو استفاده کرد [Kawakami, 2000]. سوجیتو و نوجیما (۲۰۰۰) نیز با ارائه یک مدل به شبیه‌سازی و بررسی عملکرد پس از زلزله شبکه حمل‌ونقل پرداختند. در این پژوهش از شبیه‌ساز مونت کارلو و روش تخصیص جزئی اصلاح‌شده استفاده کردند [Sugito and Nojima, 2000].

ویزوانا و پیتا (۲۰۰۳) یک مسئله حداکثر پوشش چند کالایی را برای شناسایی راه‌های بحرانی پس از زلزله مدل‌سازی کردند. این مسئله با استفاده از یک مدل دو هدفه عدد صحیح مدل‌سازی شد و برای حل آن از روش شاخه و کران استفاده گردید. این مدل بر روی منطقه جنوب غربی ایندیانا اعمال گردید [Viswanath and Peeta, 2003].

گورتی و سارلی (۲۰۰۶) در پژوهش خود به بررسی رفتار لرزه‌ای شبکه حمل‌ونقل در منطقه شهری و اندرکنش ساختمان‌ها با جاده‌ها پرداختند. در این پژوهش دو فاز بلافاصله پس از بحران و زمان طولانی پس از آن بررسی شده است و برای بررسی عدم قطعیت نیز از شبیه‌ساز مونت کارلو استفاده شده

Palmer et al. 2011] البته پژوهش‌های بیشتری در این زمینه وجود دارد که در مقاله مروری جانسون و همکاران (۲۰۱۶) قابل مشاهده هستند [Johnsen et al. 2016].

همان‌طور که بررسی گردید، در بیشتر مطالعات اشاره شده امداد رسانی زمینی مورد بررسی قرار گرفته است و مطالعات محدودی در زمینه امداد رسانی هوایی فعالیت کرده‌اند که در اکثر آن‌ها به بررسی از دیدگاه پزشکی و ارائه یک آمار توصیفی بسنده شده است. البته در یکی از مطالعات پیشین نیز اهمیت ترکیب امداد رسانی هوایی و زمینی مورد توجه قرار گرفته است. البته این مطالعه نیز امداد رسانی به موقعیت‌ها با تعداد افراد بیمار یا مصدوم کم را مورد بررسی قرار داده است. در حال حاضر با توجه به افزایش تعداد آمبولانس‌های هوایی در اکثر کشورهای دنیا و لزوم استفاده هر چه بهینه‌تر از امکانات موجود، اهمیت استفاده ترکیبی از امداد رسانی هوایی و زمینی بیش از پیش احساس می‌شود. به‌طور کلی از جمله نوآوری‌های این پژوهش می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

- ترکیب امداد رسانی هوایی و زمینی در سطح کلان که در هیچ‌یک از مطالعات پیشین در نظر گرفته نشده است؛
- بررسی امداد رسانی هوایی در بحران‌های با خرابی و تلفات زیاد؛ و
- ارائه یک شبکه فرضی برای امداد رسانی زمینی و هوایی.

۳. روش تحقیق

در این بخش، در ابتدا امداد رسانی زمینی بررسی شده که در آن از شبیه‌ساز مونت کارلو برای شبیه‌سازی خرابی جاده‌ها تحت اثر بحران و از الگوریتم تخصیص ترافیک فرانک ولف برای تخصیص خودروهای امدادی در شبکه استفاده خواهد شد و سپس ویژگی‌های امداد رسانی هوایی مورد بررسی قرار خواهد گرفت. در انتها نیز فرمول‌بندی امداد رسانی ترکیبی برای کاهش تلفات با در نظرگیری قید بودجه ارائه می‌گردد. مسئله ارائه شده در این مطالعه با استفاده از الگوریتم فراابتکاری بهینه‌سازی گروه ذرات حل می‌گردد.

در بخش امداد رسانی هوایی نیز مطالعاتی به بررسی این موضوع پرداخته‌اند که در ادامه به مرتبط‌ترین آن‌ها اشاره خواهد شد.

وسترباکا و اریکسون (۲۰۰۱) فعالیت سه دهه‌ای آمبولانس هوایی در یکی از مناطق شمالی سوئد را مورد بررسی قرار داده و به این نتیجه رسیده‌اند که با توجه به جمعیت ۵ نفر در هر کیلومتر مربع این منطقه، آمبولانس هوایی امداد رسانی سریع‌تر و منعطف‌تری را ارائه می‌کند [Vesterbacka and Eriksson, 2001]

تیلور و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی فعالیت‌های امداد هوایی با استفاده از بالگرد در استرالیا در بین سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۰۹ پرداختند. اطلاعات مورد نیاز از Geographic Information System (GIS) استخراج گردید. البته این مطالعه این حوزه را به صورت توصیفی و آماری بررسی کرده و هیچ‌گونه کار تجویزی در این پژوهش انجام نشده است [Taylor et al. 2012]. در بعضی از مطالعات نیز تأثیر مد امداد رسانی بر روی بیمار و نوع بیماری مورد بررسی قرار گرفته است که در بسیاری از آن‌ها، امداد رسانی هوایی مورد توصیه قرار گرفته است [Baylous, Tillman and Smith, 2013; Polites, Zielinsky and Fahy, 2017].

مک آرتور، گرگرسن و هاگن (۲۰۱۴) هزینه‌های جاری یک آمبولانس هوایی در نروژ را تعیین کردند. از جمله نتایج مطالعه آن‌ها تأثیر پارامترهای جمعیت شناختی، دسترسی، شهرنشینی و هرم جمعیتی بر روی هزینه‌های آمبولانس هوایی بوده است [McArthur, Gregersen and Hagen, 2014].

شهریاری و همکاران (۲۰۱۷) در پژوهش خود به بررسی جانمایی آمبولانس‌های زمینی و هوایی با توجه به هلی‌پدهای موجود برای حداقل کردن زمان امداد پرداختند. آن‌ها در پژوهش خود از اطلاعات شهر لرستان در ایران استفاده نمودند. نتایج این مطالعه حاکی از عملکرد بهتر این سیستم در مناطق با دسترسی محدود در مقایسه با حالت استفاده از امداد زمینی بود [Shahriari et al. 2017].

همچنین اکثر پژوهش‌های دیگر نیز به صورت موردی امداد هوایی را مورد بررسی قرار داده‌اند [Ohsaka et al. 2017].

ترکیب بهینه ارسال نیروهای امداد زمینی و هوایی در زمان بحران با در نظرگیری قید بودجه

۳-۱ تعریف مسئله و فرضیات

همان‌طور که پیش‌ازاین بیان شد، یک امدادسانی کارآمد به این صورت است که افراد درخطر در اولین فرصت ممکن پس از بحران، خدمات امدادی را دریافت کنند. با توجه به این مسئله، سرعت بالای امدادسانی هوایی و افزایش روزافزون آمبولانس‌های هوایی در سراسر دنیا، نیاز به استفاده جداگانه و ترکیبی از امدادسانی هوایی در بحران‌های بزرگ احساس می‌گردد. در این پژوهش یک مفهوم اولیه از استفاده ترکیبی از امدادسانی زمینی و هوایی ارائه می‌گردد. همچنین تعریف مجموعه‌ها، توابع و پارامترهایی که در این مسئله استفاده شده است در پیوست قابل مشاهده است.

در ادامه مفروضات و سؤالات این تحقیق را می‌توان به صورت زیر بیان کرد.

مفروضات مطالعه:

۱. درصد افراد نجات‌یافته با توجه به زمان رسیدن نیروهای امدادی از تابع نجات پیروی می‌کند (شکل ۱)؛
۲. نسبت اعداد فرض شده بین امداد هوایی و امداد زمینی با نسبت واقعی آن‌ها همخوانی دارد؛ و
۳. نیروهای امداد زمینی از روش تخصیص تعادل کاربر^۱ پیروی می‌کنند.

سؤالات تحقیق:

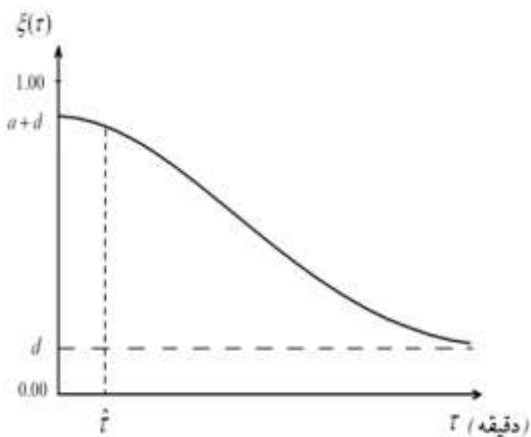
۱. آیا ترکیب استفاده از امدادسانی هوایی و زمینی می‌تواند تعداد تلفات را بهبود دهد؟؛
۲. ترکیب استفاده از امدادسانی هوایی و زمینی در بودجه‌های متفاوت چگونه است؟؛ و
۳. کارایی هر کدام از مدهای امدادسانی هوایی و زمینی در بودجه‌های متفاوت چگونه است؟.

۳-۲ امدادسانی زمینی

زمان رسیدن نیروهای امداد به محل حادثه یکی از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار در امدادسانی است. همان‌طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، تابع نجات، احتمال زنده ماندن

افراد زیر آوار را با توجه به زمان رسیدن نیروهای امدادی تخمین می‌زند. همان‌طور که انتظار می‌رود، این تابع یک شیب نزولی دارد که از یک مقدار اولیه کمتر از یک به سمت یک مقدار حداقلی همگرا می‌شود. به این صورت که در ابتدای وقوع زلزله، درصد مشخصی از افراد $(a + d)$ زیر آوار مدفون‌شده و نیاز به کمک دارند و پس از مدت‌زمانی، این مقدار به سمت یک احتمال مشخص d میل می‌کند. در تابع $\xi(\tau^{k,r})$ مدت زمان رسیدن از ناحیه k به ناحیه r هست. مقدار متغیرهای اشاره‌شده در رابطه (۱) می‌تواند محدوده‌ای از اعداد باشد که در این مطالعه به صورت رابطه (۲) در نظر گرفته شده است.

زمان رسیدن نیروهای امداد به محل حادثه یکی از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار در امدادسانی است. همان‌طور که در شکل (۱) مشاهده می‌شود، تابع نجات احتمال زنده ماندن افراد زیر آوار را با توجه به زمان رسیدن نیروهای امدادی تخمین می‌زند. این تابع همان‌طور که انتظار می‌رود یک شیب نزولی دارد که از یک مقدار اولیه کمتر از یک به سمت یک مقدار حداقلی همگرا می‌شود. به این صورت که در ابتدای وقوع زلزله، درصد مشخصی از افراد $(a + d)$ زیر آوار مدفون‌شده و نیاز به کمک نیروهای امدادی دارند و پس از مدت‌زمانی این مقدار به سمت یک احتمال مشخص d میل می‌کند که در تابع $\xi(\tau^{k,r})$ مدت زمان رسیدن از ناحیه k به ناحیه r است. مقدار متغیرهای اشاره‌شده در رابطه (۱) می‌تواند محدوده‌ای از اعداد باشد که در این مطالعه به صورت رابطه (۲) در نظر گرفته شده است.



شکل ۱. تابع احتمال نجات نسبت به زمان [Edrissi et al.

2013]

در این بخش فرمول‌بندی مسئله موردنظر ارائه می‌شود. هدف این مسئله، کاهش تعداد تلفات ناشی از بحران است. در این مسئله برای افزایش درجه واقع‌گرایی، از قید بودجه استفاده شده است که تأثیر تغییرات آن نیز بر تعداد تلفات و مشارکت هرکدام از مدهای هوایی و زمینی بررسی شده است.

در مدل ارائه‌شده، رابطه شماره ۴، تابع هدف مسئله که به دنبال حداقل کردن تعداد تلفات است را نشان می‌دهد به این صورت که تعداد افراد زیر آوار در قسمت اول این رابطه و در قسمت‌های بعدی آن نیز به ترتیب تعداد افراد نجات‌یافته با امدادسانی زمینی و هوایی از آن کسر شده است. رابطه شماره ۵، قید بودجه متناسب با مسئله را بررسی می‌کند. در این مسئله فرض شده است که هزینه هر واحد امداد زمینی (C_1) ۸۵ و هر واحد هوایی (C_2) ۳۰۰۰ است. در رابطه شماره ۶ تعداد نیروهای ارسالی به هر مقصد به تعداد موردنیاز آن محدود می‌گردد. در این مسئله فرض شده است که هر واحد امداد زمینی قابلیت امدادسانی به ۴ نفر (E_1) و هر واحد هوایی قابلیت امدادسانی به ۱۸ نفر (E_2) را دارد. رابطه‌های ۷ و ۸، تعداد واحدهای ارسال زمینی و هوایی را به تعداد به‌دست‌آمده با توجه به قید بودجه محدود می‌کنند. رابطه شماره ۹، نامنفی بودن مقدار نیروی ارسالی به هر مقصد را در مدهای هوایی و زمینی بررسی می‌کند.

$$\xi(\tau^{k,r}) = ae^{b\tau^c} + d, \quad a, c, d > 0, \quad (1)$$

$$b < 0, \quad d \ll a \quad a + d < 0,$$

$$\xi(\tau^{k,r}) = 0.8e^{-0.0001\tau^2} \quad (2)$$

در حالت پس از بحران، در شبکه زمینی موردبررسی، ممکن است شرایط گوناگونی اتفاق بیفتد که این شرایط، تحت عنوان سناریوهایی برای شبکه شبیه‌سازی شده است. این شبیه‌سازی در این مسئله با استفاده از شبیه‌ساز مونت‌کارلو انجام شده است. همچنین با توجه به تعداد زیاد سناریوها و کاهش هزینه محاسباتی، فقط تعداد محدودی از این سناریوها در نظر گرفته شده است. در هر کدام از این سناریوها، هیچ، یک و یا دو کمان خراب‌شده‌اند که تعداد آن‌ها با استفاده از رابطه (۳) (L تعداد کل کمان‌ها) ۳۰۱ سناریو به‌دست آمده است.

۳-۳ امدادسانی هوایی

امدادسانی هوایی یکی از موضوعاتی است که به آن از دیدگاه حمل‌ونقلی و با دیدگاه کاهش تلفات در بحران‌های بزرگ، کمتر توجه شده است. در این بخش، فرض شده است که راه‌های هوایی در هر شرایط، قابلیت سرویس‌دهی به مد هوایی را دارند و هیچ‌گونه محدودیتی بر روی ظرفیت باند پرواز در مبدأ و مقصد و راه‌های هوایی در نظر گرفته نشده است.

۳-۴ فرمول‌بندی مسئله

$$|Sc| = \binom{L}{0} + \binom{L}{1} + \binom{L}{2} \quad (3)$$

$$\min Y(\cdot) = \sum_s P_s - \sum_{k \in S} \sum_{s \in S} [q_{Sc}^{rsl} \cdot S(t_{Sc}^{rsl})] - \sum_{k \in S} \sum_{s \in S} [q^{rsa} \cdot S(t^{rsa})] \quad (4)$$

$$C_1 y_1 + C_2 y_2 \leq B \quad (5)$$

$$\sum_{k \in S} E_1(q_{Sc}^{rsl}) + E_2(q^{rsa}) \leq P_s \quad (6)$$

$$\sum_r \sum_s q_{Sc}^{rsl} \leq y_1 \quad (7)$$

$$\sum_r \sum_s q^{rsa} \leq y_2 \quad (8)$$

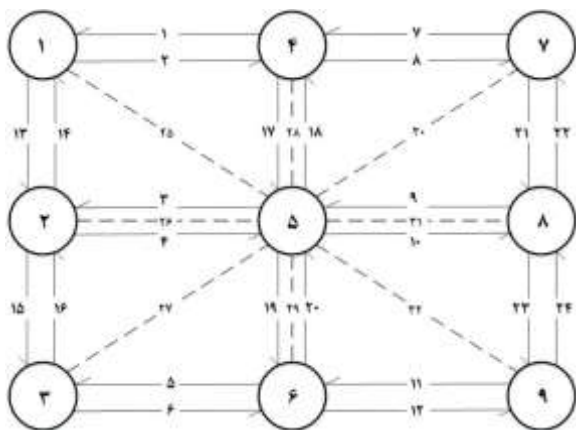
$$q_{Sc}^{rsl}, q^{rsa} \geq 0 \quad (9)$$

ترکیب بهینه ارسال نیروهای امداد زمینی و هوایی در زمان بحران با در نظرگیری قید بودجه

۴. شبکه نمونه

هدف از این بخش بررسی عملکرد مدل پیشنهادی بر روی یک شبکه نمونه و بررسی تعداد تلفات با توجه به بودجه در دسترس و سهم هر یک از مدهای امدادرسانی است. شبکه موردنظر از ۹ گره و ۲۴ کمان در حمل و نقل زمینی و ۹ گره و ۸ کمان در حمل و نقل هوایی تشکیل شده است. در این شبکه، گره شماره ۵ به عنوان محل پایگاه امداد زمینی و هوایی فرض شده است (شکل ۳).

مشخصات هر گره و کمان این شبکه در جدول‌های (۱)، (۲) و (۳) ارائه شده است. جدول شماره (۱) به جمعیت درخطر هر منطقه که پس از زلزله به دلیل خانه‌های غیرمقاوم زیر آوار خواهند ماند اشاره دارد. جدول شماره (۲) به مشخصه اصلی راه‌های هوایی بین پایگاه امدادی و مناطق دیگر یعنی زمان سفر اشاره کرده است و جدول شماره (۳)، مشخصات هر کمان زمینی، شامل زمان سفر آزاد، ظرفیت و احتمال خرابی آن در مقابل زلزله با شدت مشخص را مشخص کرده است



شکل ۳: شبکه نمونه مورد بررسی

در شکل ۲ مشاهده می‌شود که در مرحله اول بودجه بین امدادرسانی زمینی و هوایی تقسیم می‌گردد. در مرحله بعد با توجه به بودجه اختصاص یافته، تعداد واحدهای اعزامی هر کدام از مدها محاسبه می‌گردد. در مرحله بعد نیروهای امداد هوایی به مقصدهای اختصاص می‌یابند و در مرحله موازی در ابتدا ساختار جدید شبکه زمینی با توجه به سناریو بحران به دست آمده و نیروهای امداد زمینی با استفاده از تخصیص تعادل کاربر و استفاده از تابع زمان سفر BPR^۲ به مقصدها اختصاص می‌یابند. در مرحله آخر، مقدار تابع هدف با توجه به مراحل قبل محاسبه می‌گردد و پس از آن شرط توقف الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات^۳ در اینجا یعنی تعداد ارزیابی تابع هدف^۴ بررسی می‌شود و در صورت رسیدن به آن شرط، الگوریتم متوقف می‌گردد و در غیر این صورت به مرحله تخصیص بودجه بازمی‌گردد و این مراحل دوباره تکرار می‌شوند.



شکل ۲: فلوچارت روش پیشنهادی

علی ادیسی، معین عسکری

جدول ۱. جمعیت درخطر نواحی تحت بحران

ناحیه	جمعیت درخطر (نفر)	ناحیه	جمعیت درخطر (نفر)
۱	۵۳۰۰	۶	۵۳۰۰
۲	۴۸۰۰	۷	۵۴۰۰
۳	۴۸۰۰	۸	۵۱۰۰
۴	۳۱۰۰	۹	۴۹۰۰

جدول ۲. مشخصات شبکه هوایی

کمان	زمان سفر (دقیقه)	کمان	زمان سفر (دقیقه)
۲۵	۷	۲۹	۵
۲۶	۷	۳۰	۷
۲۷	۸	۳۱	۸
۲۸	۵	۳۲	۸

جدول ۳. مشخصات شبکه زمینی

ناحیه مبدأ	ناحیه مقصد	شماره کمان	زمان سفر آزاد (دقیقه)	ظرفیت (veh/hr)	احتمال خرابی
۴	۱	۱	۱۳	۷۲۰۰	۰/۳۰
۱	۴	۲	۱۴	۷۲۰۰	۰/۰۵
۵	۲	۳	۱۲	۹۶۰۰	۰/۲۰
۲	۵	۴	۱۴	۴۸۰۰	۰/۰۰
۶	۳	۵	۱۲	۷۲۰۰	۰/۲۵
۳	۶	۶	۱۵	۷۲۰۰	۰/۱۵
۷	۴	۷	۲۰	۴۸۰۰	۰/۳۰
۴	۷	۸	۱۵	۹۶۰۰	۰/۱۰
۸	۵	۹	۱۱	۷۲۰۰	۰/۲۰
۵	۸	۱۰	۱۲	۹۶۰۰	۰/۱۰
۹	۶	۱۱	۱۸	۷۲۰۰	۰/۰۵
۶	۹	۱۲	۱۷	۷۲۰۰	۰/۰۵
۱	۲	۱۳	۱۴	۷۲۰۰	۰/۳۰
۲	۱	۱۴	۱۴	۴۸۰۰	۰/۰۵
۲	۳	۱۵	۱۳	۷۲۰۰	۰/۲۰
۳	۲	۱۶	۱۵	۷۲۰۰	۰/۰۰
۴	۵	۱۷	۱۲	۴۸۰۰	۰/۳۰
۵	۴	۱۸	۱۲	۹۶۰۰	۰/۳۰
۵	۶	۱۹	۱۲	۹۶۰۰	۰/۲۰
۶	۵	۲۰	۱۷	۷۲۰۰	۰/۳۰
۷	۸	۲۱	۱۹	۴۸۰۰	۰/۲۰
۸	۷	۲۲	۱۲	۷۲۰۰	۰/۲۰
۸	۹	۲۳	۱۷	۷۲۰۰	۰/۲۰
۹	۸	۲۴	۱۸	۷۲۰۰	۰/۱۵

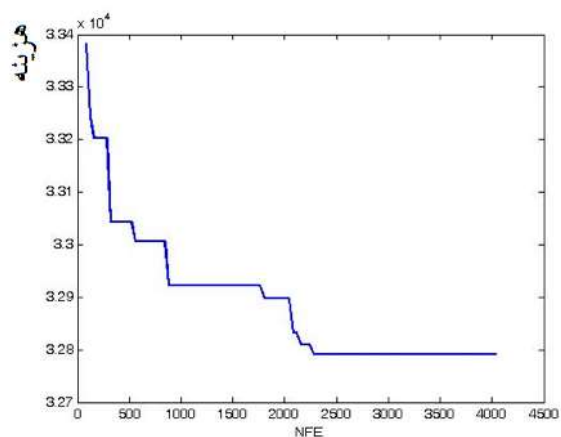
ترکیب بهینه ارسال نیروهای امداد زمینی و هوایی در زمان بحران با در نظرگیری قید بودجه

در ادامه با تحلیل حساسیت بر روی بودجه، نحوه تغییر تعداد افراد نجات یافته نسبت به تغییرات بودجه مشخص می‌گردد. همچنین به صورت دقیق تر این تغییرات بودجه بر روی هر کدام از مدهای امداد رسانی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

همان طور که در شکل شماره ۵ مشاهده می‌شود، در شبکه نمونه با افزایش مقدار بودجه در دسترس، تعداد افراد نجات یافته افزایش می‌یابد. شیب این افزایش در بودجه‌های پایین بیشتر و در بودجه‌های بالاتر، کمتر است. به این صورت که از بودجه ۰ تا ۲۰۰ هزار، نزدیک به ۶ هزار نفر به تعداد افراد نجات یافته اضافه می‌شود و از بودجه ۱۴۰۰ تا ۱۶۰۰ هزار، فقط نزدیک به ۶۰۰ نفر به این تعداد افزوده می‌شود. تعداد افراد نجات یافته با امداد رسانی زمینی در ابتدا با افزایش بودجه در دسترس، افزایش یافت و پس از یک بودجه مشخص، این تعداد روند کاهشی را طی می‌نماید. این افزایش در ابتدا می‌تواند به دلیل عدم بودجه کافی برای امداد رسانی هوایی و هزینه کمتر امداد رسانی زمینی باشد. ولی پس از افزایش بودجه، واحدهای هوایی تأمین گردیده و امداد رسانی به سمت مد هوایی تمایل پیدا می‌کند. البته دلیل دیگر این موضوع نیز می‌تواند افزایش حجم ترافیک کمان‌های امداد رسانی زمینی و افزایش زمان سفر آنها طبق تابع BPR باشد که کارایی این مد را کاهش داده است.

در ادامه این روند، در بودجه‌های بالاتر حتی امداد رسانی زمینی نسبت به امداد رسانی هوایی کارایی نداشته و استفاده از آن توصیه نمی‌شود. همچنین در بودجه‌های پایین که استفاده از امداد رسانی هوایی مورد انتظار نیست نیز نزدیک به ۵۰ درصد افراد نجات یافته شده مربوط به امداد رسانی هوایی است.

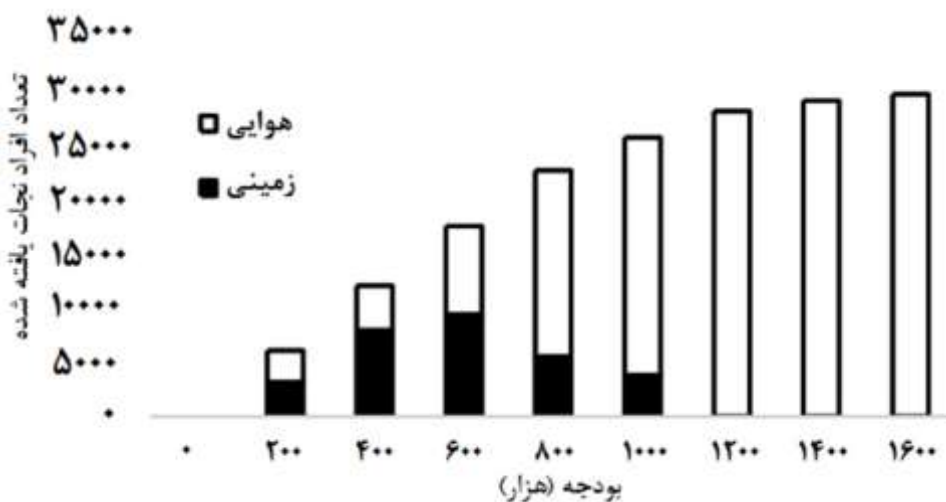
در این مسئله تعداد کل افراد در خطر برابر با ۳۸۷۰۰ نفر است که با توجه به اینکه در رابطه (۱) مقدار d برابر با صفر و مقدار a برابر با $0/8$ در نظر گرفته شد، فقط ۳۰۹۶۰ نفر در اولین لحظات پس از زلزله زنده هستند و در زیر آوار نیازمند کمک هستند. این مسئله برای هر کدام از مقادیر بودجه با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات حل گردید. در این الگوریتم از جمعیت ۴۰ نفر و تعداد تکرار ۱۰۰ بار برای حل مسئله استفاده گردید. شرط خاتمه در این الگوریتم تعداد تکرار در نظر گرفته شده است که نحوه همگرایی آن برای بودجه ۲۰۰ واحدی به صورت شکل ۴ است (NFE تعداد ارزیابی تابع است).



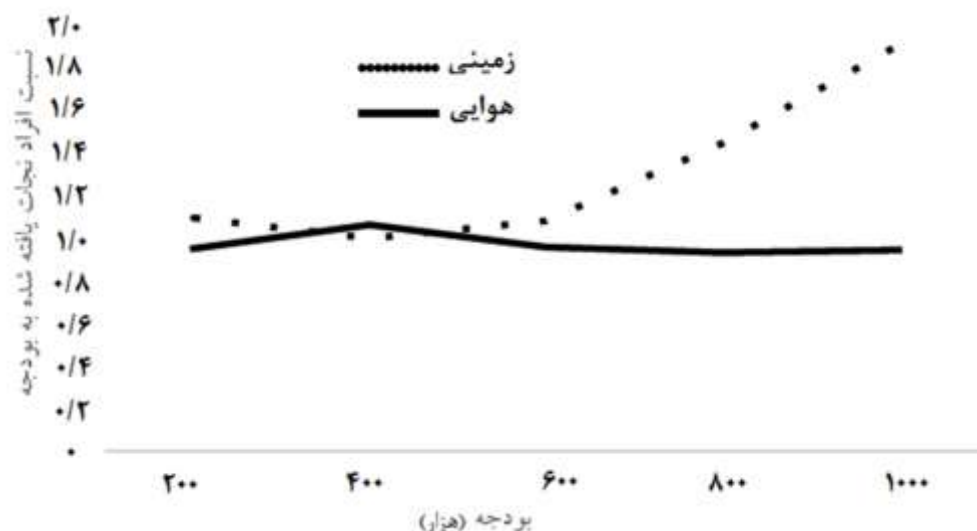
شکل ۴. روند همگرایی تابع هدف برای بودجه ۲۰۰ هزار

۴-۱ نتایج و تحلیل حساسیت

با توجه به نتایج به دست آمده و نشان داده شده در شکل‌های ۵ و ۶، در همه مقادیر بودجه بررسی شده، امداد رسانی هوایی نقش مهمی در نجات جان افراد در خطر داشته است که حتی امداد رسانی زمینی نیز تاثیرگذاری کمتری نسبت به آن در تمامی بودجه‌های مورد بررسی داشته است.



شکل ۵. تعداد افراد نجات یافته با توجه به بودجه در دسترس



شکل ۶. نسبت کارایی افراد نجات یافته بر بودجه استفاده شده در هر مد

شکل شماره ۶، سهم افراد نجات یافته شده در هر مد نسبت به سهم بودجه استفاده شده در آن مد را نشان می دهد. در این شکل فقط از مقادیر بودجه ای که هر دو مد امداد رسانی زمینی و هوایی در آن شرکت داشته اند، استفاده شده است تا این دو مد با یکدیگر مقایسه شوند. همان طور که دیده می شود، کارایی مد هوایی در تمامی بودجه ها مقداری ثابت دارد. یکی از دلایل کارایی ثابت مد هوایی در بودجه های متغیر، عدم تأثیرپذیری آن از شرایط بحران و عدم افزایش زمان سفر این مد با توجه به

در مد دیگر یعنی مد هوایی، متناسب با روند افزایش بودجه، تعداد افراد نجات یافته توسط این مد افزایش یافته است که در ابتدا شیب این روند بیشتر و در ادامه شیب این روند کاهش می یابد. در این مسئله فرض شده است که واحدهای امداد هوایی با توجه به عدم محدودیت در راه های هوایی و سرعت بالا، امکان برگشت به پایگاه و سفر به مقاصد را تا ۳ مرتبه بنا به نیاز دارا هستند.

ترکیب بهینه ارسال نیروهای امداد زمینی و هوایی در زمان بحران با در نظرگیری قید بودجه

ارائه گردید که با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی گروه ذرات برای بودجه‌های مختلف حل گردید. در این مسئله، از شبیه‌ساز مونت کارلو برای شبیه‌سازی خرابی جاده‌ها در حمل و نقل زمینی و از الگوریتم تخصیص ترافیک فرانک - ولف برای تخصیص ترافیک تعادل کاربر استفاده گردیده است. مهم‌ترین نتیجه برآمده از این پژوهش، تأثیر مهم امداد رسانی هوایی حتی با در نظر گرفتن بودجه در کاهش تلفات است. امداد رسانی هوایی در تمامی بودجه‌ها نقش مهمی دارد. همچنین اگر در شبکه نمونه برای امداد رسانی فقط به امداد رسانی زمینی اکتفا شود، کمان‌های شبکه گنجایش خدمت رسانی به این حجم خودرو را نداشته و زمان امداد رسانی بسیار زیاد شده و درصد زیادی از افراد در مناطق مختلف کشته می‌شوند. همچنین مشاهده گردید که در بودجه‌های متفاوت، امداد رسانی‌های زمینی و هوایی عملکرد متفاوتی دارند. استفاده و نقش امداد رسانی هوایی در بودجه‌های کم، از جمله مواردی است که عملکرد خوب استفاده از امداد رسانی هوایی را بیش از پیش نشان می‌دهد. از آنکه در پژوهش‌های پیشین به آن توجه کمتری شده بود. این پژوهش دارای محدودیت‌هایی است که می‌توان در مطالعات آینده آن‌ها را بهبود داد. از این جمله می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

۱. در این پژوهش تعداد واحد نیروهای امداد زمینی و هوایی پیوسته در نظر گرفته شد که بهتر است در مطالعات آتی این تعداد به صورت اعداد صحیح در نظر گرفته شود؛
۲. در امداد رسانی هوایی هیچ محدودیتی بر روی تعداد محل پرواز یا فرود نیروهای امداد هوایی در نظر گرفته نشد که بهتر است در مطالعات آتی این موارد نیز در نظر گرفته شود؛ و
۳. در امداد رسانی زمینی بهتر است اهمیت مقاوم‌سازی کمان‌ها و بودجه مصرفی آن‌ها در تابع هدف در نظر گرفته شود.

۶. پی‌نوشت‌ها:

1. User Equilibrium
2. Bureau of Public Roads
3. Particle Swarm Optimization
4. Number of Function Evaluation

تعداد کاربران آن است. البته به دلیل محدودیت تعداد پرواز و فرود هم‌زمان در فرودگاه‌های مبدأ و مقصد، در مطالعات بعدی با در نظرگیری این موضوع، کارایی این مدل مقداری کاهش می‌یابد. در سوی دیگر، برخلاف مدل هوایی و عدم تغییر کارایی آن در بودجه‌های متفاوت، مدل زمینی در بودجه‌های متفاوت دارای کارایی متفاوتی است. به این صورت که مدل زمینی در بودجه‌های کم و زیاد کارایی بیشتری نسبت به بودجه متوسط دارد که این می‌تواند ناشی از استفاده یا نیاز به نیروهای کم امداد زمینی و با توجه به این موضوع ترافیک کم جاده‌ها باشد. با توجه به تابع BPR، هر چه تعداد خودرو عبوری کمتر باشد، زمان سفر کاهش یافته و احتمال نجات افراد در خطر در مقصد بیشتر می‌شود.

با توجه به موارد اشاره شده، نتایج مثبت استفاده از امداد رسانی هوایی در بحران‌های بزرگ مشخص شده است. همچنین در بعضی از سازمان‌های امداد رسانی که در حال شکل‌گیری و سیاست‌گذاری هستند نیز می‌توان از ابتدا با توجه به این نتایج تصمیم‌گیری کرد. به‌طور مثال، در کشورهایی که به لحاظ بودجه امداد رسانی هیچ‌گونه محدودیتی ندارند، می‌توان از ابتدا کل بودجه را بر روی امداد رسانی هوایی سرمایه‌گذاری نمود. نمودار ۵ نشان می‌دهد که در ابتدا سرمایه‌گذاری بر روی امداد رسانی بسیار کارآمد بوده و در مقادیر بودجه زیاد، این کارایی کاهش می‌یابد که می‌توان به جای افزایش بودجه امداد رسانی، این بودجه را در بخش‌های دیگر مانند افزایش مقاومت ساختمان‌ها یا زیرساخت‌ها یا احداث پناهگاه در دیگر مناطق با افراد در خطر زیاد، هزینه کرد.

از جمله دیگر موارد مهم، جانمایی پایگاه امدادی با توجه به تعداد افراد در خطر هر منطقه است. این موضوع به‌طور ویژه بر روی امداد رسانی زمینی تأثیرگذار است. به این دلیل که سرعت امداد رسانی زمینی کمتر بوده و از شرایط مقاومت جاده در مقابل بحران تأثیر می‌پذیرد.

۵. نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی ترکیب بهینه ارسال نیروهای امداد به صورت هوایی و زمینی پرداخته شد. این روش تصمیم‌گیران و مدیران را برای خرید قبل و ارسال واحدهای متناسب امدادی در زمان بحران یاری می‌کند. برای این مسئله، یک مدل ریاضی

۷. مراجع

- Galindo, G. and Batta, R. (2013) "Review of recent developments in OR/MS research in disaster operations management", *European Journal of Operational Research*, Vol. 230, pp. 201–211.
- Garcia, Ana (2006-12-21) "Fatal crash raises air ambulance safety concerns", *KNBC-TV News (Los Angeles)*.
- Goretti, A. and Sarli, V. (2006) "Road Network and damaged buildings in urban areas: Short and long term", *Bulletin of Earthquake Engineering*, Vol. 4, pp. 159-175.
- Johnsen, A. S., Fattah, S., Sollid, S. J. M. and Rehn, M. (2016) "Utilisation of helicopter emergency medical services in the early medical response to major incidents: a systematic literature review" *BMJ Open*, Vol. 6, No. 2, pp. 1-10. (DOI:10.1136/bmjopen-2015-010307)
- Jotshi, A., Gong, Q. and Batta, R. (2009) "Dispatching and routing of emergency vehicles in disaster mitigation using data fusion", *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol. 43, No. 1, pp. 1-24.
- Kawakami, H. (2000) "Earthquake performance of highway system in Tokyo", *Conference on Optimization Post-Earthquake lifeline system reliability*, pp. 786-795.
- Lipton, E. (2010) "Devastation, seen from a ship", *The New York Times*. Retrieved 18-06-2014.
- McArthur, D. P., Gregersen, F. A. and Hagen, T. P. (2014) "Modelling the cost of providing ambulance services", *Journal of Transport Geography*, Vol. 34, pp. 175-184.
- Nikoo, N., Babaei, M. and Shariat Mohaymany, A. (2018) "Emergency transportation network design problem: Identification and evaluation of disaster response routes", *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Vol. 27, pp. 7-20.
- Ohsaka, H., Ishikawa, K., Omori, K., Jitsuiki, K., Yoshizawa, T. and Yanagawa, Y. (2017) "Management of mass casualties using doctor helicopters and doctor cars", *Air Medical Journal*, Vo. 36, pp. 1-4. (<https://doi.org/10.1016/j.amj.2017.02.014>).
- Altay, N. and Green, W. G. (2006) "OR/MS research in disaster operations management", *European Journal of Operational Research*, Vol. 175, pp. 475–493.
- Baylous, D., Tillman, H. J. and Smith, M. W. (2013) "Air versus ground transport for patients with ST-Elevation Myocardial Infarction: does transport type affect patient outcomes?", *Journal of Emergency Nursing*, Vol. 39, No. 5, pp. e65-e74.
- Berkoune, D., Renaud, J., Rekik, M. and Ruiz, A. (2012) "Transportation in disaster response operations", *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol. 46, pp. 23-32.
- Cavdur, F., Kose-Kucuk, M. and Sebatli, A. (2016) "Allocation of temporary disaster response facilities under demand uncertainty: An earthquake case study", *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Vol. 19, pp. 159-166.
- Chen, A. Y. and Yu, T. (2016) "Network based temporary facility location for the emergency medical services considering the disaster induced demand and the transportation infrastructures in disaster response", *Transportation Research Part B*, Vol. 91, pp. 408-423.
- Cheraghi, S. and Hosseini-Motlagh, S. M. (2017) "Optimal blood transportation in disaster relief considering facility disruption and route reliability under uncertainty", *International Journal of Transportation Engineering*, Vol. 4, No. 3, pp. 225-254.
- Edrissi A., Nourinejad M. and Roorda, M. J. (2015) "Transportation network reliability in emergency response", *Transportation Research Part E*, Vol. 80, pp. 56-73.
- Edrissi, A., Poorzahedy, H., Nassiri, H. and Nourinejad, M. (2013) "A multi-agent optimization formulation of earthquake disaster prevention and management", *European Journal of Operational Research*, Vol. 229, No. 1, pp. 261–275.
- Fraser, C. (2010) "Haitians show fortitude in face of disaster", *BBC News*. Retrieved 24-06-2014.

EMS response”, The American Journal of Emergency Medicine, Vol. 35, No. 12, pp. 1873-1881.

- Taylor, C. B., Liu, B., Bruce, E., Burns, B., Jan, S. and Myburgh, J. (2012) “Primary scene responses by helicopter emergency medical services in New South Wales Australia 2008-2009”, BMC Health Services Research, 12:402. (<https://doi.org/10.1186/1472-6963-12-402>).

- Vesterbacka, J. and Eriksson, A. (2001) “A rural ambulance helicopter system in northern Sweden”, Air Medical Journal, Vol. 20, No. 3, pp. 28-31.

- Viswanath, K. and Peeta, S. (2003) “Multi-commodity maximal covering network design problem for planning critical routes for earthquake response”, Transportation Research Record, Vol. 1857, pp. 1-10.

- Vitoriano, B., Ortuno, M. T., Tirado, G. and Montero, J. (2011) “A multi-criteria optimization model for humanitarian aid distribution”, Journal of Global Optimization, Vol. 51, No. 2, pp. 189-208.

- Ye, Y., Zhan, S. and Wei, S. (2017) “Equilibrium decision method for earthquake first-aid medicine allocation based on demand information updating”, Mathematical Problems in Engineering, pp. 1-10. (<https://doi.org/10.1155/2017/6326938>).

- Palmer, C., McMullan, J., Knight, W., Gunderman, M. and Hinckley, W. (2011) “Helicopter scene response for STEMI patient transported directly to the cardiac catheterization laboratory”, Air Medical Journal, Vol. 30, No. 6, pp. 289-292. (DOI: 10.1016/j.amj.2011.08.005).

- Penna, P. H. V., Santos, A. C. and Prins, C. (2017) “Vehicle routing problems for last mile distribution after major disaster”, Journal of Operational Research Society, Vol. 69, Issue 8, pp. 1254-1268.

- Pitilakis, K., Argyroudis, S., Kakderi, K. and Selva, J. (2016) “Systemic vulnerability and risk assessment of transportation systems under natural hazards towards more resilient and robust infrastructures”, Transportation Research Procedia, Vol. 14, pp. 1335-1344.

- Polites, S. F., Zielinski, M. D., Fahy, A. S., Wagie, A. E., Moir, C. R., Jenkins, D. H., Zietlow, S. P. and Hobermann, E. B. (2017) “Mortality following helicopter versus ground transport of injured children”, Injury, Vol. 48, No. 5, pp. 1000-1005.

- Sugito, M. and Nojima, N. (2000) “Simulation and evaluation of post-earthquake functional performance of transportation network”, Department of Civil Engineering, Gifu University, Japan.

- Shahriari, M., Bozorgi-Amiri, A., Tavakoli, S. and Yousefi-Babadi, A. (2017) “Bi-objective approach for placing ground and air ambulance base and helipad locations in order to optimize

جدول پ-۱: فهرست مجموعه‌ها، تابع و پارامترهای مسئله

مجموعه	تعریف
S	مجموعه گره‌ها
Sc	مجموعه سناریوها
K	مجموعه مسیرها
تابع	
$S(\tau)$	تابع نجات
پارامترها	
P_s	جمعیت در خطر منطقه S
q^{rs}	تقاضا بین مبدأ-مقصد r و s
f_k^{rs}	جریان بین مبدأ مقصد r و s در کمان k
C_1	هزینه هر واحد امداد زمینی
C_2	هزینه هر واحد امداد هوایی
E_1	قابلیت امداد رسانی هر واحد امداد زمینی (نفر)
E_2	قابلیت امداد رسانی هر واحد امداد هوایی (نفر)

ترکیب بهینه ارسال نیروهای امداد زمینی و هوایی در زمان بحران با در نظرگیری قید بودجه

علی ادریسی، درجه کارشناسی، کارشناسی ارشد و دکتری مهندسی عمران را از دانشگاه صنعتی شریف اخذ نمود. ایشان از سال ۱۳۹۰ عضو هیئت علمی دانشکده عمران دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی بوده و هم‌اکنون دارای درجه استادیاری است. زمینه‌های پژوهشی موردعلاقه وی، مدیریت بحران، قابلیت اطمینان و تحلیل ریسک، حمل‌ونقل هوایی، فنآوری اطلاعات و ارتباطات در حمل‌ونقل، سیستم‌های استفاده مشترک از وسایل نقلیه، مدل‌سازی و شبیه‌سازی تخلیه در شبکه حمل‌ونقل است که تألیفات متعدد و ارزشمندی در هرکدام از این زمینه‌ها دارد.



معین عسکری، درجه کارشناسی در رشته مهندسی عمران را در سال ۱۳۹۲ از دانشگاه شهید باهنر کرمان و درجه کارشناسی ارشد در رشته مهندسی عمران با گرایش برنامه‌ریزی حمل‌ونقل را در سال ۱۳۹۴ از دانشگاه تربیت مدرس اخذ نمود و در سال ۱۳۹۴ مقطع دکتری مهندسی عمران با گرایش برنامه‌ریزی حمل‌ونقل را در دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی آغاز نمود. زمینه‌های پژوهشی موردعلاقه ایشان، مدیریت بحران، خودروهای خودران، تئوری جریان ترافیک و تقاضای حمل‌ونقل است.

