

مدل طراحی شبکه امداد یکپارچه برای برنامه‌ریزی حمل و نقل تحت شرایط عدم قطعیت

مهلا یادگاری (کارشناسی ارشد)

بابک جوادی* (استادیار)

گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشکدگان فارابی، دانشگاه تهران، ایران

مهندسی صنایع و مدیریت شریف، زمستان ۱۴۰۲ (۱۴۰۲)
دربی ۳۹، شماره ۲، صص. ۱۵-۲۳، (پژوهشی)

قرار دادن تسهیلات در مناطق کاندید و تخصیص کالاهای امدادی به این تسهیلات به منظور پاسخ اضطراری پیش از وقوع بحران، یک رویکرد معمول برای افزایش اثربخشی لجستیک امداد است. در این تحقیق، شبکه‌های لجستیک بشردوستانه و تعمیر مسیرهای آسیب دیده در قالب شبکه‌ای یکپارچه ارائه می‌شوند، به طوری که مسیرهای آسیب دیده توسط خدمه‌های تعمیراتی برای توزیع کالاهای امدادی بازسازی می‌شوند. در این پژوهش، یک مسئله برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای پیشنهاد می‌شود که هزینه‌های اجتماعی مسئله را پس از وقوع بحران تحت هر سناریو، حداقل کند. جهت تطبیق مدل با دنیای واقعی، دو نوع عدم قطعیت ساختاری و عملکردی در نظر گرفته شده است. در این راستا، از رویکرد برنامه‌ریزی تصادفی فازی - استوار جهت حل مدل پیشنهادی، استفاده شده است. مدل ارائه شده برای مطالعه موردی ۳۹ منطقه از شهر استانبول پیاده‌سازی شده است که نتایج محاسباتی نشان‌دهنده بهره‌وری مؤثر این مدل در کاهش هزینه‌های اجتماعی در مسئله لجستیک بشردوستانه است.

واژگان کلیدی: شبکه‌های توزیع امداد و تعمیر مسیرها، عدم قطعیت ترکیبی، لجستیک بشردوستانه، هزینه‌های اجتماعی.

mahla.yadegari@ut.ac.ir
babakjavadi@ut.ac.ir

۱. مقدمه

۱.۱. کلیات

بلایای طبیعی مانند زلزله، سیل و طوفان، هر ساله خسارات قابل توجه مالی و جانی به بار می‌آورند. در کشورهای توسعه یافته، نگرانی اصلی، بازگشت سریع شهر به حالت پیش از وقوع بحران است، درحالی‌که کشورهای درحال توسعه مانند ایران، به دنبال تلاش برای نجات افراد بیشتر در فاز پاسخ به بحران هستند.^[۱] آمارها حاکی از آن است که در زلزله منجیل (سال ۱۹۹۰) و بم (سال ۲۰۰۳) تقریباً تمامی مسیرهای کم‌عرض در شهر کاملاً مسدود شده بودند که این امر موجب تأخیر در عملیات امداد و نجات شده بود. با افزایش بلایای طبیعی در دهه‌های اخیر و وابستگی شدید کشورهای درحال توسعه به سیستم حمل و نقل، نیاز به مطالعه بروی حمل و نقل قابل اطمینان در شرایط بحران افزایش یافته است.^[۲]

* نویسنده مسئول

تاریخ: دریافت ۱۴۰۷/۷/۱۴، اصلاحیه ۱۴۰۷/۸/۲، پذیرش ۱۴۰۷/۸/۲۳

۲.۱. مسئله تحقیق

هنگامی که بحرانی رخ می‌دهد، باید کالاها و کمک‌های اضطراری هرچه سریع‌تر به نقاط آسیب دیده برسند. این کالاها می‌توانند از منابع محلی و یا منطقه‌ای تهیه شوند، اما به دلیل میزان بالای عدم قطعیتی که پس از بحران به وجود می‌آید، استفاده از این منابع دچار چالش می‌شود. به عنوان مثال، ممکن است در صورت استفاده از منابع محلی، با مشکل کمبود منابع در مقابل تقاضا روبه‌رو شویم. همچنین، ممکن است با استفاده از منابع منطقه‌ای، هزینه و زمان زیادی را صرف تأمین کالاها شود. در نتیجه، مکان‌یابی تسهیلات حمل کالا و قرار دادن کالاهای امدادی در آن مکان‌های معین شده پیش از وقوع بحران، موجب افزایش بهره‌وری در پاسخ به بحران می‌شود. این کالاهای اضطراری پس از وقوع بحران، از تسهیلات امدادی با استفاده از شبکه راه‌ها، به نقاط متقاضی کمک، ارسال می‌شوند. برخی از نقاط تقاضا تنها به واسطه تخریب و آسیب مسیرهای ارتباطی شبکه، نمی‌توانند کالا دریافت کنند. برای برقراری ارتباط تسهیلات و نقاط تقاضا، برخی از مسیرهای آسیب دیده توسط

استناد به این مقاله:

یادگاری، مهلا، و جوادی، بابک، ۱۴۰۲. مدل طراحی شبکه امداد یکپارچه برای برنامه‌ریزی حمل و نقل تحت شرایط عدم قطعیت. دانشکده مهندسی صنایع و مدیریت شریف،

DOI:10.24200/J65.2022.58572.2240. ۲۳-۱۵، صص. ۲۳-۱۵، (۲۰۲۳)

دادن جاده‌های آسیب‌دیده و ترمیم شده شبکه که می‌توانند برای توزیع امداد استفاده شوند، مورد نیاز است.^[۱۲]

مدل‌های لجستیک بشردوستانه سنتی، در درجه اول به حداقل رساندن هزینه‌های عملیاتی و هزینه‌های حمل و نقل متمرکز می‌شوند. در لجستیک بشردوستانه پس از بحران، باید هزینه‌های رنج انسان که در آن مردم طی یک مدت زمانی قادر به دسترسی منابع حیاتی نیستند، در نظر گرفته شود. مدت زمانی که یک شخص از کالاهای اساسی محروم می‌شود، به‌عنوان زمان محرومیت شناخته شده است و به هزینه محرومیت مربوط می‌شود.^[۱۳] آلم و هم‌کاران، یک مدل برای بهینه‌سازی مکان، حمل‌ونقل موثر و تصمیم‌گیری در مورد ناوگان ارائه داده‌اند. نتایج تجربی براساس داده‌ها از سیل ۲۰۱۱ در کشور برزیل نشان می‌دهد که در نظر گرفتن هزینه‌های محرومیت در مدل، موجب کمک سریع‌تر به قربانیان و به طور طبیعی توزیع عادلانه به مناطق بحران شده است.^[۱۴]

در پژوهش صورت گرفته توسط کانتیاو و همکاران، یک مدل مکان‌یابی تسهیلات برای از پیش قرار دادن منابع در مرحله آماده‌سازی برای بلایا ارائه شده است. ویژگی اصلی این فرمول‌بندی این است که به صراحت هزینه‌های محرومیت در تابع هدف آن در نظر گرفته شده است که هزینه‌های اجتماعی کلی را به حداقل می‌رساند. مدل ارائه شده با استفاده از اطلاعات واقعی در منطقه کاریبین کلمبیا^۱ که در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۱ تحت تأثیر سیل قرار گرفت، اجرا شده است. نتایج نشان می‌دهد که هزینه‌های محرومیت بیش از ۵۰ درصد از کل هزینه اجتماعی را شامل می‌شود.^[۱۵]

۴.۱. تحلیل شکاف تحقیقاتی

با توجه به مرور پژوهش‌های صورت گرفته، تنها در مقالات اسلان و همکاران و دسکین همکاران، مکان‌یابی تسهیلات امداد و پیچیدگی‌های مسائل شبکه ترمیم در نظر گرفته شده است که در این میان، مدل دسکین با در نظر گرفتن منابع تعمیر محدود، توسعه‌ای بر مدل اسلان است. لازم به ذکر است، وجود برخی فرضیات محافظه کارانه در مدل دسکین، موجب بروز برخی نارسایی‌ها در این مسئله شده است. از جمله نارسایی‌ها می‌توان به در نظر گرفتن مقدار بالا برای پارامتر هزینه تقاضای برآورده نشده به دلیل انجام عملیات توزیع اشاره کرد. همچنین، توجه به ماهیت عدم قطعیت‌های شبکه‌های تعمیر در پژوهش‌های صورت گرفته، بسیار کم بوده است.

۱.۵. نوآوری

در پژوهش حاضر، با یکپارچه‌سازی شبکه امداد کالاها و شبکه بازسازی مسیره‌ها، مدل‌های ارائه شده در ادبیات موضوع بهبود داده شده است. همچنین، با در نظر گرفتن پارامترهای غیرقطعی ترکیبی، سعی شده است که مدل ارائه شده به مسائل دنیای واقعی نزدیک‌تر شود. سپس، با در نظر گرفتن هزینه‌های اجتماعی، هزینه‌های لجستیک بشردوستانه و هزینه‌های محرومیت ناشی از رنج انسان در مواقعی که امکان دستیابی افراد به منابع حیاتی پس از وقوع بحران وجود ندارد، مورد بررسی قرار گرفته است.

۲. مدل‌سازی

۱.۲. شرح مسئله

مدل پیشنهادی این پژوهش، طراحی شبکه امداد با برنامه‌ریزی تصادفی فازی - استوار در مرحله‌ای است که به صورت یکپارچه برای حمل کالاهای امدادی در شرایط

تجهیزات تعمیر بازسازی می‌شوند. به منظور تسریع در امر بازسازی و توزیع کالاهای اساسی، مکان‌یابی تجهیزات تعمیر در شبکه بازسازی و نحوه حرکت آن‌ها روی مسیره‌ها برای رسیدن به مسیر آسیب‌دیده انتخابی برای تعمیر، در نظر گرفته شده است. در نهایت، توزیع کالاهای امدادی و شبکه عملیات بازسازی با هم در یک شبکه یکپارچه در نظر گرفته شده‌اند.

۳.۱. تاریخچه

مسئله قرار دادن کالاهای امدادی در تسهیلات پیش از وقوع بحران، برای اولین بار توسط بالسیک و بیمون مطرح شد. پس از آن، پژوهش‌های زیادی با این رویکرد ارائه شدند که تمامی آنها نشان‌دهنده افزایش بهره‌وری این مدل‌ها در حوزه لجستیک بشر دوستانه هستند.^[۴-۸] در زمینه شبکه‌های یکپارچه که شامل شبکه‌های لجستیک و تعمیر مسیره‌های آسیب‌دیده می‌شود، می‌توان به تحقیقات شین و همکاران اشاره کرد که بازسازی راه‌ها و بهینه‌سازی زمان‌بندی تحویل را مورد بررسی قرار داده‌اند. در مدل آنها، تنها از یک نوع خدمه برای ترمیم و یک نوع وسیله نقلیه برای توزیع استفاده شده است.^[۹] اسلان و سلیک، شبکه‌ای چند انباره برای پاسخ بشردوستانه ارائه کرده‌اند که برای اولین بار شبکه یکپارچه تصمیمات تعمیر و از پیش قرارگیری کالاها را بررسی کردند.^[۶] دسکین و همکاران، یک مسئله مربوط به امدادسانی ارائه کرده‌اند که فعالیت‌های توزیع به دلیل آسیب برخی از جاده‌ها مختل شده است که این آسیب‌ها توسط تیم‌های تعمیر با استفاده از تجهیزات ترمیم، قابل بازیابی هستند. آنها یک مدل برنامه‌نویسی تصادفی دو مرحله‌ای یکپارچه را پیشنهاد کرده‌اند که به‌طور همزمان دو شبکه توزیع امداد و ترمیم راه‌های تخریبی را در نظر می‌گیرد. در فاز نخست، مکان‌یابی تجهیزات توزیع امداد و تعیین محل قرارگیری تسهیلات ترمیم تعیین شده و پس از آن، در فاز پس از بحران، به تصمیم‌گیری‌های مربوط به توزیع اقلام امدادی و ترمیم شبکه برای هر بحران صورت می‌گیرد. در نتیجه، مسیره‌های بین مکان تسهیلات برای حمل کالاهای امدادی و گره‌های تقاضای غیر قابل دسترس، در طول افق برنامه‌ریزی، قابل دسترس می‌شوند.^[۸]

یک مدل مسیره‌یابی و مکان‌یابی توزیع امداد پس از وقوع بحران توسط وی و همکاران ارائه شده است که به دنبال طراحی یک سیستم تخصیص ناوگان امداد و نجات از مجموعه‌ای از کاندیدهای انبار برای تحویل منابع امدادی به مناطق آسیب‌دیده پس از وقوع یک فاجعه است. هر منطقه آسیب‌دیده، با یک پنجره زمانی در ارتباط است و انتظار می‌رود در طی آن منابع امدادی را دریافت کند. هدف کلی، یافتن انبارهای انتقال باز، تعداد وسایل نقلیه استفاده شده و مسیر هر وسیله نقلیه استفاده شده به منظور شناسایی تقریبی مرز پارتو شامل تعامل بین اهداف متعارض است.^[۱۰] حائری و همکاران، یک مدل رویکرد برنامه‌نویسی چند هدفه دو مرحله‌ای برای طراحی یک شبکه توزیع و مکان‌یابی با توجه به مراحل آماده‌سازی و پاسخ در شرایط بحران را توسعه داده‌اند. چارچوب مدل، برنامه‌ریزی همزمان توزیع دارو و خون را در نظر می‌گیرد و موارد امدادی در میان قربانیان بحران و انتقال مصدومان به بیمارستان جهت کاهش اثرات مخرب بلایای احتمالی در مرحله واکنش را در بر می‌گیرد.^[۱۱]

به دلیل وجود پیچیدگی‌های وابسته به چندین منبع عدم اطمینان در مدل‌های برنامه‌نویسی تصادفی دو مرحله‌ای، دسکین و همکاران، یک الگوریتم عدد صحیح I - شکل برای حل مدل یکپارچه مکان‌یابی و بازسازی شبکه پیشنهاد داده‌اند که شامل یک مدل برنامه‌نویسی تصادفی دو مرحله‌ای است که تعداد و مکان‌های تسهیلات پاسخ اضطراری و منابع ترمیم راه‌ها را تحت عدم قطعیت تعیین می‌کند. الگوریتم ارائه شده، شامل متغیرهای تصمیم‌بایبری مرحله دوم است که برای نشان

$$Q(z, v, s) = \min \left[\sum_t \left[\sum_{(i,j) \in a} \left(\sum_k \tilde{c}_{ij}^s \tilde{d}_k^s (y_{ijkt}^s + y_{jikt}^s) + \tilde{c}_{ij} \backslash (y_{ijkt}^s + y_{jikt}^s) \right) + \sum_k \Gamma_{kt}^s \eta_k \right] \right] \quad (6)$$

$$\sum_{j \in a(i,j)} y_{jikt}^s + w_{ikt}^s + u_{it}^s = \sum_{j \in a(i,j)} y_{ijkt}^s + v_{ikt}^s \quad \forall i, k, s, t = 1 \quad (7)$$

$$\sum_{j \in a(i,j)} y_{jikt}^s + u_{it}^s = \sum_{j \in a(i,j)} y_{ijkt}^s + u_{it-1}^s \quad \forall i, k, s, t \in \{1\} \quad (8)$$

$$\sum_{j \in a(i,j)} y_{jikt}^s + w_{ikt}^s = \sum_{j \in a(i,j)} y_{ijkt}^s \quad \forall i, t, s, k \in \{i\} \quad (9)$$

$$\sum_t \sum_k \tilde{d}_k^s w_{ikt}^s \leq (1 - \rho_i^s) \sum_{l \in I^f} q_l z_{il} \quad \forall i \in n^f, s \quad (10)$$

$$w_{ikt}^s \leq \sum_{l \in I^f} z_{il} \quad \forall i \in n^f, k, t, s \quad (11)$$

$$w_{ikt}^s = 0 \quad \forall i \in n^f, k, t, s \quad (12)$$

$$y_{ijkt}^s \leq x_{ijt}^s \quad \forall i, j \in a(i, j), \forall k, t \quad (13)$$

$$y_{jikt}^s \leq x_{ijt}^s \quad \forall i, j \in a(j, i), \forall k, t \quad (14)$$

$$\sum_{j \in a(j,i)} y_{jikt}^s + \sum_{l \in I^e} v_{il} = \sum_{j \in a(i,j)} y_{ijkt}^s + w_{ikt}^s \quad \forall i \in n^e, t, s \quad (15)$$

$$\sum_{j \in a(j,i)} y_{jikt}^s = \sum_{j \in a(i,j)} y_{ijkt}^s + w_{ikt}^s \quad \forall i \in n^e, t, s \quad (16)$$

$$y_{jikt}^s \leq M x_{ijt}^s \quad \forall i, j \in a(i, j), \forall t, s \quad (17)$$

$$y_{jikt}^s \leq M x_{ijt}^s \quad \forall i, j \in a(j, i), \forall t, s \quad (18)$$

$$\sum_{j \in a(i,j)} h_{jit}^s \leq w_{ikt}^s \quad \forall i, t, s \quad (19)$$

$$p_{ij}^s x_{ijt}^s = 0 \quad \forall i, j \in a(i, j), t = 1, s \quad (20)$$

$$p_{ij}^s x_{ijt}^s \leq \sum_{t=1}^{t-1} (h_{ijt}^s + h_{jit}^s) \quad \forall i, j \in a(i, j), \forall t \in \{1, s\} \quad (21)$$

$$\sum_{t=1}^t (h_{ijt}^s + h_{jit}^s) \leq p_{ij}^s \quad \forall i, j \in a(i, j), \forall t, s \quad (22)$$

$$(h_{ijt}^s + h_{jit}^s) \leq p_{ij}^s \sum_k u_{kt}^s \quad \forall i, j \in a(i, j), \forall t, s \quad (23)$$

$$\Gamma_{kt}^s \geq (e^{(1,5 \cdot 21 + 0,1172t)} - e^{1,5 \cdot 21}) u_{kt}^s \quad \forall k, t, s \quad (24)$$

$$0 \leq y_{ijkt}^s, y_{jikt}^s, w_{ikt}^s, u_{kt}^s \leq 1 \quad (25)$$

$$y_{ijkt}^s, y_{jikt}^s, w_{ikt}^s, h_{ijt}^s, h_{jit}^s \in \mathbb{Z}^+, x_{ijt}^s \in \{0, 1\} \quad (26)$$

تابع هدف ۱، هزینه‌های کلی شبکه را حداقل می‌کند. این هزینه‌ها شامل هزینه‌های مکان‌یابی تسهیلات امداد و تجهیزات تعمیر و هزینه‌های اجتماعی (هزینه‌های لجستیک و هزینه‌های محرومیت) است. محدودیت ۲ و ۳ بیان می‌کنند که در هر مکان، کاندید برای قرارگیری تسهیلات و تجهیزات تعمیر، حداکثر یک سطح می‌تواند قرارگیرد. محدودیت‌های ۴ و ۵ نشان می‌دهند که متغیرهای تصمیم مسئله مرحله اول، باینری هستند.

عدم قطعیت و نحوه تعمیر مسیرهای آسیب‌دیده، کارآمد باشد. در این مدل، مرحله پیش از وقوع بحران و پس از وقوع بحران با استفاده از سناریوهای مختلف، در نظر گرفته می‌شوند که در آن، چندین تجهیز برای تعمیر مسیرها و چندین نوع تسهیل برای تحویل کالاهای امدادی، بررسی می‌شوند. در مرحله اول، به مکان‌یابی تجهیزات تعمیر و مکان‌یابی تسهیلات موجود برای ارسال کالاهای حیاتی پرداخته شده است و در مرحله بعد، توزیع کالاها و نحوه حرکت کامیون‌ها، انتخاب مسیرها برای تعمیر و ارسال تجهیزات برای تعمیر راه‌ها، مورد بررسی قرار گرفته است. در نتیجه، هدف از این مدل، کاهش هزینه‌های اجتماعی شبکه امداد خواهد بود که با استفاده از تابع نمای برای هزینه‌های محرومیت، در کمترین زمان، تقاضای کالاهای حیاتی برطرف شود. دلیل استفاده از تابع هزینه محرومیت، دشواری تخمین پارامتر هزینه در مدل‌های لجستیک سنتی است که عموماً از اقدامات پروکسی^۲ برای محاسبه رنج بازماندگان و محاسبه دقیق نرخ فراینده محرومیت با گذشت زمان که می‌تواند موجب افزایش خسارات و یا حتی قربانیان، پس از بحران شود، بهره می‌برند. مفروضات مدل پیشنهادی به شرح زیر است:

۱. افق زمانی مسئله برای توزیع کالاها، ۷۲ ساعت پس از وقوع بحران در نظر گرفته شده است؛
۲. فقط یک کالای امدادی یا یک بسته از چندین کالای حیاتی برای توزیع مد نظر قرار گرفته است؛
۳. فرض شده است که تقاضا فقط یکبار و آن هم بلافاصله پس از وقوع بحران اتفاق می‌افتد؛
۴. جریان کالاهای امدادی از یک‌گه به گره بعد، در یک زمان یکسان انجام می‌شود، زیرا زمان حمل در مقایسه با زمان تعمیر راه‌ها بسیار ناچیز است و در نظر گرفته نمی‌شود؛
۵. منابع عدم قطعیت فازی موجود در مدل شامل هزینه‌های حمل و نقل کامیون‌ها و تجهیزات تعمیر روی مسیرها می‌شود. تقاضای نقاط تقاضا یک عدد فازی در هر سناریو است. همچنین، شدت آسیب در هر گره و زمان تعمیر لازم برای قابل عبور شدن هر مسیر در هر سناریو، غیرقطعی در نظر گرفته شده‌اند.
۶. در این مدل، فرض شده است که مسیرهای عملیاتی می‌توانند در هر دو جهت خطوط ترافیکی جریان داشته باشند.

۲.۲. مدل ریاضی پیشنهادی

مدل ریاضی پیشنهادی:

$$\min g = \sum_{i \in n^f} \sum_{l \in I^f} \tilde{f}_l z_{il} + \sum_{i \in n^e} \sum_{l \in I^e} \tilde{c}_l v_{il} + E[Q(z, v, s)] \quad (1)$$

s.t :

$$\sum_{l \in I^f} z_{il} \leq 1 \quad i \in n^f \quad (2)$$

$$\sum_{l \in I^e} v_{il} \leq 1 \quad i \in n^e \quad (3)$$

$$z_{il} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in n^f, l \in I^f \quad (4)$$

$$v_{il} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in n^e, l \in I^e \quad (5)$$

در این پژوهش نیز از تلفیق هر دو برنامه‌ریزی تصادفی استوار و امکانی استوار استفاده شده است. این نوع عدم اطمینان، زمانی ایجاد می‌شود که مقدار پارامترهای تحت سناریوهای مختلف، هم‌زمان دارای یک عدم اطمینان مرتبط با دانش نیز باشند. این نوع عدم قطعیت‌ها را «سناریوهای فازی» می‌نامند.^[۱۶] معمولاً به دلیل تکرار نشدنی بودن، ناقص بودن و سایر ویژگی‌های هر سناریو، داده‌های کافی برای تخمین پارامترهای هر سناریو در دست نیست تا بتوان توزیع احتمال آنها را تخمین زد. برای مقابله با عدم قطعیت وابسته به دانش در این مدل، از رویکرد برنامه‌نویسی محدودکننده اعتبار^۴ استفاده شده است.^[۱۷] این روش، مبتنی بر مفاهیم قوی ریاضی است و می‌تواند انواع مختلفی از اعداد فازی را پشتیبانی کند. علاوه بر این، این رویکرد برای حل مسائل خطی فازی از لحاظ محاسباتی کارآمد است، زیرا این روش می‌تواند خطی بودن آن را حفظ کرده و تعداد توابع هدف و محدودیت‌ها را افزایش ندهد. روش ارائه شده را می‌توان به‌عنوان کلی‌سازی از رویکرد استوار کلاسیک با هر دو عدم قطعیت گسسته و فاصله‌ای بررسی کرد.

در این تحقیق، از تعریف کارلسون و همکاران برای محاسبه میانگین اعداد فازی استفاده شده است.^[۱۸] در این تعریف، مقادیر میانگین امکانی حد بالا و پایین از یک عدد فازی معرفی شده است و آنها را به‌عنوان توزیع‌های احتمالی در نظر گرفته‌اند. تعریف آنها با اصل گسترش و مجموعه سطوح برش زاده، سازگار است. در این بخش، از فرم فشرده شده مدل لجستیک بشر دوستانه استفاده شده است که به شرح زیر است:

$$\begin{aligned} & \text{Min } \tilde{f}x + \tilde{c}y_s \Gamma + \eta_s \\ & \text{s.t. } w_s \tilde{d}_s \leq (1 - \rho_s) \sum_{l \in I^f} q_l x_l \\ & \sum_{l \in I^f} x_l \leq 1 \\ & x_l \in \{0, 1\}, y_s \geq 0 \end{aligned} \quad (27)$$

x و y به ترتیب متغیرهای باینری و مثبت هستند f و c ، بردارهای پارامتر است q و η قطعی شناخته شده هستند که به ترتیب ظرفیت تسهیلات و تعداد افراد موجود در هر گره می‌باشند، درحالی‌که f و c ، به ترتیب متغیرهای فازی مربوط به هزینه‌های تأسیس تسهیلات و تجهیزات تعمیر و هزینه‌های مربوط به حمل و نقل آنها هستند. در مدل پیشنهادی، برای تشکیل مدل برنامه‌نویسی محدودیت‌های شانس احتمالی، از مقدار میانگین امکانی برای مدل‌سازی تابع هدف استفاده شده است. از اندازه اعتبار نیز برای تبدیل محدودیت‌های احتمالی به محدودیت‌های قطعی آن، استفاده شده است.^[۱۹] با توجه به توضیحات فوق، مدل اصلی برنامه‌نویسی تصادفی فازی را می‌توان به‌صورت زیر فرموله کرد:

$$\begin{aligned} & \text{Min } \bar{M} [\tilde{f}] x + \sum_s p \lambda_s (\bar{M} [\tilde{c}] y_s \Gamma + \eta_s) \\ & \text{s.t. } Cr \left(w_s \tilde{d}_s \leq (1 - \rho_s) \sum_{l \in I^f} q_l x_l \right) \geq \varphi_s \quad \forall s \\ & \sum_{l \in I^f} x_l \leq 1 \\ & x_l \in \{0, 1\}, y_s \geq 0 \end{aligned} \quad (28)$$

اکنون، $\tilde{g}_s(x, y_s) = \tilde{f}_s x + \tilde{c}y_s$ هزینه فازی برای یک حل (x, y_s) تحت سناریو s

هزینه‌های مسئله مرحله دوم برای متغیرهای تصمیم مسئله مرحله اول تحت هر سناریو خاص، در محدودیت ۶ آمده است. این هزینه‌ها شامل هزینه‌های حمل و نقل برای کالاهای امدادی، حرکت تجهیزات تعمیر روی مسیرها و هزینه‌های محرومیت برای تمامی افراد موجود در هر گره در افق زمانی تعیین شده است. محدودیت‌های ۷ و ۸، جریان تسهیلات برای حمل‌ونقل کالاهای امدادی روی مسیرها را نشان می‌دهند، برای زمانی‌که $i = k$ است. در زمان $t = 1$ ، تقاضای همه گره‌های شبکه باید تأمین شود و اگر در گره‌ای هیچ‌گونه راه اتصال عملیاتی وجود نداشت، دچار کمبود می‌شود. محدودیت ۹ برای جریان تسهیلات امدادی است، زمانی‌که $i \neq k$ باشد که در این صورت گره i فقط یک گره عبوری است.

محدودیت ۱۰ تضمین می‌کند که مجموع کل تقاضای برآورده شده توسط هر تسهیل، بیشتر از ظرفیت باقیمانده هر تسهیل پس از آسیب در بحران، نباشد. محدودیت ۱۱ تضمین می‌کند تنها گره‌ای که جزو نقاط کاندید برای مکان تسهیل است و اگر تسهیلی در آن قرار گیرد، می‌تواند تقاضایی را برآورده کند. در محدودیت ۱۲ تأکید شده است که اگر گره‌ای جزو گره‌های کاندید برای قرارگیری تسهیلات نباشد، نمی‌تواند هیچ تقاضایی را برآورده کند. محدودیت‌های ۱۳ و ۱۴ برای جلوگیری از عبور تسهیلات حاوی کالاهای امدادی روی مسیرهایی است که عملیاتی نیستند. محدودیت‌های ۱۴ تا ۱۷ را می‌توان محدودیت‌های لازم جهت توزیع کالاهای امدادی به نقاط تقاضا در نظر گرفت.

محدودیت‌های مسیر یابی شبکه تعمیر راه‌ها از ۱۵ تا ۲۳ می‌باشند. محدودیت‌های ۱۵ و ۱۶، جریان تجهیزات تعمیر روی مسیرها را برای گره‌های کاندید قرارگیری تجهیزات و دیگر گره‌ها نشان می‌دهند. محدودیت‌های ۱۷ و ۱۸ نشان می‌دهند که اگر مسیری عملیاتی نباشد، آنگاه تجهیزات تعمیر در هیچ جهتی از آن مسیر نمی‌توانند عبور کنند. محدودیت ۱۹ بیان می‌کند که تعداد کل تجهیزات تعمیری که مسیرهای منتهی به یک گره را تعمیر می‌کنند، نمی‌توانند از تعداد کل تجهیزات تعمیر موجود در آن گره، بیشتر باشند. محدودیت ۲۰ بیان می‌کند که در زمان $t = 1$ ، مسیری عملیاتی است که زمان تعمیرش صفر باشد. همچنین، مسیری که آسیب دیده و غیر عملیاتی است، اگر به اندازه نیازش تا زمان $t - 1$ تجهیزات تعمیری دریافت کرده باشد، آنگاه آن مسیر در زمان t عملیاتی خواهد شد که این موضوع با محدودیت ۲۱ نشان داده شده است.

محدودیت ۲۲ نشان می‌دهد که تجهیزات تعمیری تخصیصی به هر مسیر، فقط تا زمان خاصی آن مسیر را تعمیر می‌کنند که این زمان، همان زمان تعمیر لازم برای قابل عبور شدن مسیر است. محدودیت ۲۳ تضمین می‌کند که به محض اینکه تقاضا برای کالاهای امدادی برای تمامی گره‌ها برآورده شده باشد، تجهیزات تعمیری بیشتری به این مسیرها تخصیص نمی‌یابد. محدودیت ۲۴ مقدار هزینه محرومیت برای هر فرد در هر گره k را محاسبه می‌کند. محدودیت‌های ۲۵ و ۲۶ محدودیت مقادیر متغیرهای تصمیم مسئله است.

۳. روش حل

مدل ارائه شده، یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دو مرحله‌ای سناریو محور است که با استفاده از رویکرد «امید ریاضی مقدار مورد انتظار جواب سناریو‌ها»^۲ حل شده است.

در فرایندهای تصمیم‌گیری مسائل واقعی، اغلب با یک عدم قطعیت ترکیبی مواجه خواهیم بود که شامل هر دو عدم قطعیت ساختاری و عملکردی است.

تحت عدم قطعیت ترکیبی، فرموله شده است. مدل پیشنهادی، براساس میانگین و انحراف مطلق از اعداد فازی، به صورت زیر بازنویسی شده است:

$$\begin{aligned} \text{Min } g + \lambda v(\tilde{g}) + \gamma \sum_s p \lambda_s (|\bar{M}(M(\tilde{g}) - \tilde{g}_s)| + \Gamma_s \eta) \\ + \omega \sum_s p \lambda_s [(\bar{d}_s + \beta_s) - (2 - 2\varphi_s) \bar{d}_s - (2\varphi_s - 1)(\bar{d}_s + \beta_s)] w_s \\ w_s x_l \in \{0, 1\}, y_s \geq 0 \end{aligned} \quad (34)$$

اولین قسمت در تابع هدف، میانگین امکانی وزنی تابع هدف را نشان می‌دهد. قسمت‌های دوم و سوم، به ترتیب استواری بهینه تحت عدم قطعیت عملیاتی و اختلال را بیان می‌کنند که تغییرپذیری امکانی و تغییرپذیری سناریو تابع هدف (با ضرایب λ و γ) نام‌گذاری می‌شوند. کاهش مقدار تغییرپذیری که با افزایش ضرایب آنها انجام می‌شود، می‌تواند استواری بهینه را افزایش دهد. در قسمت دوم، انحراف وزن‌دار مطلق امکانی تابع هدف (\tilde{g}) از مدل را می‌توان به صورت زیر نوشت:

$$\begin{aligned} v(\tilde{g}) = (\bar{M} |\tilde{g} - \bar{M}(\tilde{g})|) = \bar{g} - g + \frac{M+N}{\Gamma} = \\ \sum_I (\bar{f}_i - \underline{f}_i + \frac{\alpha_i + \beta_i}{\Gamma}) x_i + \sum_j \sum_s p \lambda_s (\bar{c}_{ij} - \underline{c}_{ij} + \frac{\alpha_{ij} + \beta_{ij}}{\Gamma}) y_{js} \end{aligned} \quad (35)$$

همچنین، در قسمت سوم، انحراف مطلق از میانگین امکانی وزنی از تفاوت بین \tilde{g}_s و $\bar{M}(\tilde{g})$ و تحت همه سناریوها، به دست می‌آید که در آن γ وزن قرار داده شده در این قسمت را بیان می‌کند. این قسمت، تغییرات سناریوها را کنترل می‌کند. اکنون، در نظر گرفته می‌شود:

$$v(\tilde{g}_s, \tilde{g}) = \sum_s p \lambda_s |\bar{M}(M(\tilde{g}) - \tilde{g}_s)| \quad (36)$$

یک متغیر اضافی θ^s با دو محدودیت، برای خطی‌سازی معادله ۳۵ معرفی می‌شوند. در نتیجه، فرم خطی میانگین امکانی قطعی به صورت زیر تبدیل می‌شود:

$$\begin{aligned} \bar{M}(M(\tilde{g}) - \tilde{g}_s) = \\ \left(\frac{(g_s - \frac{1}{\Gamma} M - \bar{g}_s) + (\bar{g} + \frac{1}{\Gamma} N - g_s)}{\Gamma} + \frac{N_s - M_s}{\Gamma} \right) \\ \bar{M}(\tilde{g}_s - M(\tilde{g})) = \left(\frac{(g_s - \bar{g} - \frac{1}{\Gamma} N) + (\bar{g}_s - g + \frac{1}{\Gamma} M)}{\Gamma} + \frac{M_s - N_s}{\Gamma} \right) \end{aligned} \quad (37)$$

در واقع، این دو قسمت می‌توانند قدرت اطمینان تحت عدم قطعیت ترکیبی را کنترل کنند. قسمت چهارم، سطح اطمینان هر محدودیت شانس را تعیین می‌کند که در آن ω واحد مجازات نقض احتمالی محدودیت‌های شامل پارامتر(های) غیردقیق است. در نهایت، فرم فشرده شده مدل فازی - استوار پیشنهادی بصورت زیر تعریف می‌شود:

$$\begin{aligned} \min g + \lambda v(\tilde{g}) + \gamma \sum_s p \lambda_s (\theta_s + \Gamma_s \eta) + \omega \sum_s p \lambda_s \\ [(\bar{d}_s + \beta_s) - (2 - 2\varphi_s) \bar{d}_s - (2\varphi_s - 1)(\bar{d}_s + \beta_s)] w_s \end{aligned}$$

است. فرض می‌شود که هزینه‌های تأسیس تسهیلات و تجهیزات مسئله طراحی شده $\tilde{f}_i = (f_i, \bar{f}_i, \alpha_i, \beta_i)_{LR}$ و هزینه‌های حمل $\tilde{C}_{ij} = (c_{ij}, \bar{c}_{ij}, \alpha_{ij}, \beta_{ij})_{LR}$ با اعداد فازی دوزنقه‌ای توصیف می‌شوند.

بنابراین، می‌توان از اصل معروف زاده برای جمع و ضرب استفاده کرد. معادله ۲۹، هزینه‌های فازی را روی هر سناریو نشان می‌دهد که به عنوان $\tilde{g}_s(x, y_s)$ نشان داده می‌شود:

$$\begin{aligned} \tilde{g}_s = \left(\begin{aligned} & \sum_i \underline{f}_i x_i + \sum_{i,j} \underline{c}_{ij} y_{js} + \sum_i \bar{f}_i x_i \\ & + \sum_{i,j} \bar{c}_{ij} y_{js} + \sum_i \alpha_i x_i + \\ & \sum_{i,j} \alpha_{ij} y_{js} + \sum_i \beta_i x_i + \sum_{i,j} \beta_{ij} y_{js} \end{aligned} \right)_{LR} \\ = (\underline{g}_s, \bar{g}_s, M_s, N_s)_{LR} \end{aligned} \quad (29)$$

بنابراین، \tilde{g}_s یک فاصله فازی دوزنقه‌ای است. همچنین، محاسبه \tilde{g} به صورت زیر است:

$$\begin{aligned} \tilde{g} = \left(\begin{aligned} & \sum_i \underline{f}_i x_i + \sum_j \sum_s p \lambda_s \underline{C}_{ij} y_{js} + \sum_i \bar{f}_i x_i + \\ & \sum_j \sum_s p \lambda_s \bar{c}_{ij} y_{js} + \sum_i \alpha_i x_i + \\ & \sum_j \sum_s p \lambda_s \alpha_{ij} y_{js} + \sum_i \beta_i x_i + \sum_j \sum_s p \lambda_s \beta_{ij} y_{js} \end{aligned} \right)_{LR} \\ = (\underline{g}, \bar{g}, M, N)_{LR} \end{aligned} \quad (30)$$

با استفاده از تعریف، میانگین احتمالی هزینه‌های تحت هر سناریو (g_s) و مقدار میانگین امکانی بالقوه تابع هدف (g) را می‌توان به شکل زیر بیان کرد:

$$\begin{aligned} g_s = \bar{M}(\tilde{g}_s) = \sum_i \bar{M}(\underline{f}_i) x_i + \sum_j \bar{M}(\bar{c}_{ij}) y_{js} = \\ \sum_i \left(\frac{\underline{f}_i + \bar{f}_i}{\Gamma} + \frac{\beta_i - \alpha_i}{\Gamma} \right) x_i + \sum_j \left(\frac{\underline{c}_{ij} + \bar{c}_{ij}}{\Gamma} + \frac{\beta_{ij} - \alpha_{ij}}{\Gamma} \right) y_{js} \\ s = 1, \dots, S \\ = \bar{M}(\tilde{g}) = \sum_i \bar{M}(\underline{f}_i) x_i + \sum_j \sum_s p \lambda_s \bar{M}(\bar{c}_{ij}) y_{js} = \\ \sum_i \left(\frac{\underline{f}_i + \bar{f}_i}{\Gamma} + \frac{\beta_i - \alpha_i}{\Gamma} \right) x_i + \sum_j \sum_s p \lambda_s \left(\frac{\underline{c}_{ij} + \bar{c}_{ij}}{\Gamma} + \frac{\beta_{ij} - \alpha_{ij}}{\Gamma} \right) y_{js} \end{aligned} \quad (31)$$

با توجه به توضیحات فوق و با فرض $\bar{d}_s = (d_s, \bar{d}_s, \alpha_s, \beta_s)_{LR}$ مدل اصلی برنامه‌نویسی تصادفی فازی امکانی را می‌توان به صورت زیر فرموله کرد:

$$\begin{aligned} \text{Min } g + \sum_s p \lambda_s \Gamma_s \eta \\ \text{s.t. } (1 - \rho_s) \sum_{l \in I^f} q_l x_l \geq \left[\begin{aligned} & (2 - 2\varphi_s) \bar{d}_s + \\ & (2\varphi_s - 1)(\bar{d}_s + \beta_s) \end{aligned} \right] w_s \quad (32) \\ \sum_{l \in I^f} x_l \leq 1 \\ x_l \in \{0, 1\}, y_s \geq 0 \end{aligned} \quad (33)$$

زمانی که φ_s ، حداقل سطح اطمینان تصمیم‌گیرنده برای رضایت از محدودیت شانس احتمالی تحت هر سناریو تعریف می‌شود.

در این قسمت، مدل پیشنهادی جدید تصادفی فازی - استوار برای از بین بردن دشواری مربوط به تعیین حداقل سطح اطمینان و رفع انحراف از عملکرد تابع هدف

جدول ۱. مقایسه نتایج مدل پیشنهادی بر داده‌های شهر استانبول با مدل‌های موجود.

نام مدل	هزینه‌های کمیود کالا (دلار)	هزینه‌های احداث (دلار)	میانگین هزینه‌های کلی شبکه (دلار)	نوع مدل	روش حل
مدل دسکین با در نظر گرفتن هزینه تقاضای برآورده نشده	۱۷/۷۹۸/۷۱	۳۱/۵۰۰/۰۰۰	۶۱/۷۱۷/۸۸۰	برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح مختلط	میانگین اندازه نمونه
مدل پیشنهادی با در نظر گرفتن هزینه محرومیت	۲/۲۵۹/۶۵۲	۳۴/۲۸۰/۰۰۰	۴۵/۵۰۶/۱۱۰	برنامه‌ریزی غیرخطی عدد صحیح مختلط	تصادفی فازی - استوار

جدول ۲. تأثیر استفاده از هزینه محرومیت در تابع هدف و هزینه‌های کمیود.

سایز مسئله	نوع مدل	هزینه کل (دلار)	هزینه احداث (دلار)	هزینه کمیود
تعداد گره‌ها = ۶	بدون تابع محرومیت	۴۰۹,۳۰۵	۱۴۸/۰۰۰	۸۸/۴۰۰
تعداد گره‌ها = ۶	با تابع محرومیت	۹۱۸/۷۳۲	۳۲۳/۸۰۰	۳۲/۲۹۰
تعداد گره‌ها = ۳۹	بدون تابع محرومیت	۶۴۷/۵۰۸/۰۰۰	۱۹/۵۲۰/۰۰۰	۳۱/۶۷۳/۶۱۰
تعداد گره‌ها = ۳۹	با تابع محرومیت	۶۵۷/۷۶۲/۲۰۰	۳۴/۲۸۰/۰۰۰	۲/۲۵۹/۶۵۲

طبق JICA مقادیردهی شده‌اند.^[۲۰] مقایسه نتایج مدل پیشنهادی با مدل دسکین و همکاران، در جدول ۱ آمده است. میانگین هزینه‌های کلی مدل پیشنهادی در مقایسه با مدل دسکین، حدود ۱۶/۲۱۱/۷۷۰ دلار کمتر است و این نشان‌دهنده بهره‌وری موثر مدل ارائه شده است. بدیهی است که در مدل پیشنهادی، با توجه به اضافه کردن هزینه‌های محرومیت، تعداد تسهیلات قرارگرفته شده و متعاقباً هزینه‌های احداث در مقایسه با مدل دسکین، افزایش می‌یابد. همچنین، اضافه شدن پارامترهای فازی در مدل پیشنهادی موجب افزایش هزینه‌های جانبی به مدل می‌شوند، اما هزینه‌های محرومیت در مدل پیشنهادی در مقایسه با مدل دسکین و همکاران که برای هزینه‌های تقاضای برآورده نشده محاسبه شده است، بسیار کمتر (حدود ۱۵/۵۳۹/۲۱۹ دلار) است.

۵. نتایج

در این تحقیق، مفهوم تابع محرومیت برای محاسبه میزان درد و رنج انسان در اثر عدم دسترسی به کالاهای حیاتی ارائه شده است تا مدل‌های موجود در پژوهش‌های صورت گرفته توسعه داده شود و ماهیت فزاینده‌ی نمایی میزان درد و رنج انسان حفظ شود. تأثیر استفاده از تابع محرومیت در جدول ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که در جدول فوق مشخص است، با اضافه کردن تابع محرومیت، مدل تمایل دارد تا کالاهای اساسی را در اسرع وقت به افراد در نقاط آسیب‌دیده برساند.

s.t :

$$\left(\frac{(g - \frac{1}{\tau}M - \bar{g}_s) + (\bar{g} + \frac{1}{\tau}N - g_s)}{2} + \frac{N_s - M_s}{6} \right) + \theta_s \geq 0$$

$$\left(\frac{(g_s - \bar{g} - \frac{1}{\tau}N) + (\bar{g}_s - g + \frac{1}{\tau}M)}{2} + \frac{M_s - N_s}{6} \right) + \theta_s \geq 0$$

$\forall s$

$$(1 - \rho_s) \sum_{l \in I^f} q_l x_l \geq [(2 - 2\varphi_s) \bar{d}_s] + (2\varphi_s - 1) (\bar{d}_s + \beta_s) w_s$$

$$\sum_{l \in I^f} x_l \leq 1$$

$$x_l \in \{0, 1\}, y_s \geq 0, 0.5 \leq \varphi_s \leq 1$$

$$(4), (5), (7) - (9), (11) - (26). \quad (38)$$

۴. مطالعه موردی

در این بخش، از مدل ریاضی و روش راه‌حل پیشنهادی این تحقیق استفاده شده است تا یک طرح پیش‌بینی شده برای زمین لرزه احتمالی در مناطق ۳۹ گانه استانبول تهیه شود. در این مسئله، داده‌های مربوط به بدترین سناریو و محتمل‌ترین سناریو

به دلیل ویژگی‌های پیچیده این حوادث ناگوار، تلاش می‌کنند تا یک پاسخ هماهنگ و مؤثر در برابر بلایا ارائه دهند. درد و رنج انسان از نظر نگرانی‌های اجتماعی باید تا حد امکان کاهش یابد، اما کمبود منابع اغلب این کار را با چالش‌هایی مواجه می‌کند. در این تحقیق، سعی شده است با ارائه یک مدل توزیع امداد یکپارچه تحت عدم قطعیت با استفاده از هزینه‌های محرومیت، با این پیچیدگی مقابله شود. با توجه به نتایج حاصل شده از این پژوهش، پیشنهاد می‌شود که مدیران سازمان‌های مقابله با بحران شهر استانبول، برنامه‌ریزی‌هایی جهت احداث تسهیلات در مکان‌های محاسبه شده و قرار دادن کالاهای حیاتی در این مناطق انجام دهند. همچنین، تجهیزات تعمیر مانند بلدز، بیل مکانیکی و یا کمکتورها را در مکان‌های تعیین شده در انبارها قرار دهند تا در صورت وقوع شرایط بحرانی پس از زلزله، سیل و دیگر بلایا، مسیرهای آسیب‌دیده انتخاب شده توسط مدل را تعمیر کنند تا تمامی مناطق شهر برای امداد رسانی قابل دسترس شوند. دولت‌ها و سازمان‌های مربوطه باید بودجه‌ای برای سرمایه‌گذاری‌های پیش از وقوع بحران اختصاص دهند تا امداد رسانی به بازماندگان و رسیدن کالاهای حیاتی به آنها در اسرع وقت صورت گیرد. با توجه به لحاظ کردن هزینه‌های محرومیت در مدل پیشنهادی، می‌توان از پیامدهای ناگوار و قربانیان پس از وقوع بحران کاست.

نمادها

• اندیس‌ها

i, j, k : کل نقاط؛

n^f : نقاط کاندید برای مکان تسهیلات؛

n^e : نقاط کاندید برای مکان تجهیزات تعمیر؛

t : افق زمانی کلی (دوره‌ها) برای فاز پاسخ به بحران؛

l^f : سطوح مختلف برای تسهیلات؛

l^e : سطوح برای تجهیزات تعمیر؛

$a(i, j)$: مسیرهای موجود؛

s : سناریوها.

• پارامترهای قطعی مدل ریاضی

M : عدد خیلی بزرگ؛

q_1 : ظرفیت تسهیل در سطح l ؛

w_l : تعداد تجهیزات تعمیر در سطح l ؛

η_k : جمعیت افراد موجود در گره k .

• پارامترهای غیر قطعی مدل ریاضی

\tilde{d}_i^s : تقاضا در گره i تحت سناریو s ؛

\tilde{f}_i : هزینه ثابت افتتاح تسهیل در سطح l ؛

\tilde{e}_i : هزینه ثابت افتتاح تجهیزات تعمیر در سطح l ؛

\tilde{c}_{ij} : هزینه سفر برای عبور هر تسهیل روی مسیر (i, j) ؛ \tilde{c}_{ij} : هزینه سفر برای عبور

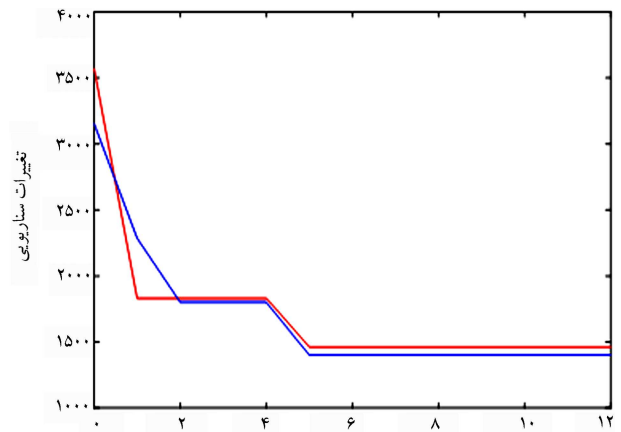
هر تجهیز تعمیر روی مسیر $p_{ij}^s(i, j)$ زمان تعمیر مسیر (i, j) تحت سناریو s

احتمال وقوع سناریو s sp_i^s شدت آسیب در هر گره i تحت سناریو s .

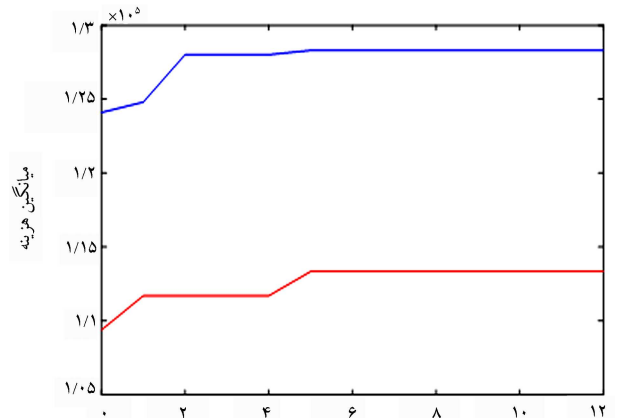
• متغیرهای تصمیم مدل مرحله اول:

$z_{il} = 1$: اگر تسهیل با سطح l در گره i قرار گیرد؛

$v_{il} = 1$: اگر تسهیل با سطح l در گره i قرار گیرد.



شکل ۱. مقایسه تغییرات سناریویی برای مدل فازی - استوار و مدل استوار ملوی برای سطوح مختلف ۶.



شکل ۲. مقایسه میانگین هزینه برای مدل فازی-استوار و مدل استوار ملوی برای سطوح مختلف ۶.

در نتیجه، هزینه محرومیت در این روش کاهش چشم‌گیری دارد. تعداد تسهیلات احداث شده پس از حل مدل افزایش می‌یابد. بنابراین، هزینه‌های مرحله اول که شامل هزینه‌های احداث است، بیشتر از مدل بدون تابع محرومیت است. این امر در مثال با سایز کوچک و در بررسی مناطق ۳۹ گانه استانبول دیده می‌شود. لازم به ذکر است که هدف از اضافه کردن هزینه‌های محرومیت، کاهش مدت زمانی است که افراد به منابع حیاتی دسترسی ندارند و تنها افزایش هزینه‌های کلی شبکه در این مسئله مطرح نیست.

همچنین، برای نشان دادن کارایی راه‌حل پیشنهادی برای مقابله با عدم قطعیت‌های ترکیبی، روش فازی - استوار ارائه شده با روش استوار ملوی^۵ مقایسه شده است.^[۲۱] همانطور که در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است، مقدار میانگین هزینه در روش فازی-استوار نسبت به روش فازی، کاهش یافته است. همچنین، تغییرپذیری سناریو دو مدل، تفاوت معناداری با یکدیگر ندارند. بنابراین، رویکرد فازی - استوار استفاده شده برای مسئله، قادر است تغییرپذیری سناریوها را به اندازه رویکرد استوار بصورت دقیق کنترل کند.

۶. دیدگاه‌های مدیریتی

در کشورهای در حال توسعه، ارگان‌های اداری مسئول فعالیت‌های مدیریت بحران

• متغیرهای تصمیم مدل مرحله دوم:

$x_{ijt}^s = 1$: اگر مسیر (i, j) در زمان t عملیاتی شود در سناریو s : g : متغیر آزاد در علامت برای مقدار تابع هدف:

y_{ijt}^s, y_{jkt}^s : تعداد خدمه‌های تعمیراتی جریان یافته روی مسیر (i, j) در زمان t در سناریو s :

wr_{it}^s : تعداد خدمه‌های تعمیراتی موجود در گره i در زمان t در سناریو s تعداد خدمه تعمیراتی که روی مسیر (i, j) در زمان t کار می‌کنند تحت سناریو s : Γ_{kt}^s : هزینه محرومیت در گره k به ازای هر فرد در زمان t تحت سناریو.

کسری از تقاضای گره k که روی مسیر (i, j) در زمان t جریان دارد تحت سناریو s : y_{ijkt}^s, y_{jkt}^s

کسری از تقاضای گره k که توسط تسهیل موجود در گره i در زمان t ارضا می‌شود در سناریو s : wl_{it}^s

کسری از تقاضای برآورده نشده گره k در زمان t در سناریو s : u_{kt}^s

پانوشته‌ها

1. Colombian Caribbean
2. Proxy Measures
3. Expected result of using the Expected Value
4. Credibility Constrained Programming approach
5. Mulvey

منابع (References)

1. Ashtari Jafari, M., 2016. *Lessons Learned From the Recent Earthquakes in Iran, In Earthquakes and Their Impact on Society*. S. D'Amico, Editor. Springer International Publishing: Cham. p. 459-474. https://doi.org/10.1007/978-3-319-21753-6_18.
2. Khademi, N., Balaei, B., Shahri, M., Mirzaei, M., Sarrafi, B., Zahabiun, M. & Mohaymany, A.S., 2015. Transportation network vulnerability analysis for the case of a Disaster Risk Reduction, *12*, p.234-254. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2015.01.009>.
3. Muriel-Villegas, J.E., Alvarez-Urbe, K.C., Patino-Rodriguez, C.E. & Villegas, J.G., 2016. Analysis of transportation networks subject to natural hazards-Insights from a Colombian case. *Reliability Engineering & System Safety*, *152*, p.151.165. <https://doi.org/10.1016/j.res.2016.03.006>.
4. Balcik, B., Beamon, B.M. and Smilowitz, k., 2008. Last mile distribution in humanitarian relief. *Journal of Intelligent Transportation Systems*, *12*(2), pp.51-63. *Relief. Journal of Intelligent Transportation Systems*, *12*(2), pp.51-63. <https://doi.org/10.1080/15472450802023329>.
5. Liu, Y., Lei, H., Zhang, D. & Wu, Z. 2018. Robust optimization for relief logistics planning under uncertainties in demand and transportation time. *Applied Mathematical Modelling*, *55*, pp.262-280. <https://doi.org/10.1016/j.apm.2017.10.041>.
6. Aslan, E. and Çelik, M., 2019. Pre-positioning of relief items under road/facility vulnerability with concurrent restoration and relief transportation. *IISE Transactions*, *51*(8), pp.847-868. <https://doi.org/10.1080/24725854.2018.1540900>.
7. Hu, S., Han, C., Dong, Z.S. & Meng, L., 2019. A multi-stage stochastic programming model for relief distribution considering the state of road network. *Transportation Research Part B: Methodological*, *123*, pp.64-87. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2019.03.014>.
8. Sanci, E. and Daskin, M.S., 2019. Integrating location and network restoration decisions in relief networks under uncertainty. *European Journal of Operational Research*, *279*(2), pp.335-350. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2019.06.012>.
9. Shin, Y., Kim, S. and Moon, I., 2019. Integrated optimal scheduling of repair crew and relief vehicle after disaster. *Computers & Operations Research*, *105*, pp.237-247. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2019.01.015>.
10. Wei, X., Qiu, H., Wang, D., Duan, J., Wang, Y. and Cheng, T.C., 2020. An integrated location-routing problem with post-disaster relief distribution. *Computers & Industrial Engineering*, *147*, p.106632. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106632>.
11. Haeri, A., Hosseini-Motlagh, S.M., Samani, M.R. and Rezaei, M. 2020. A bi-level programming approach for improving relief logistics operations: A real case in Kermanshah earthquake. *Computers & Industrial Engineering*, *145*, p.106532. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2020.106532>.
12. Sanci, E. and Daskin, M.S. 2021. An integer L-shaped algorithm for the integrated location and network restoration problem in disaster relief. *Transportation Research Part B: Methodological*, *145*, pp.152-84. <https://doi.org/10.1016/j.trb.2021.01.005>.
13. Holguin-Veras, J., Perez, N., Jaller, M., Van Wassenhove, L. N. & Aros-Vera, F., 2013. On the appropriate objective function for post-disaster humanitarian logistics models. *Journal of Operations Management*, *31*(5), pp. 262-280. <https://doi.org/10.1016/j.jom.2013.06.002>.
14. Moreno, A., Alem, D., Ferreira, D. & Clark, A., 2018. An effective two-stage stochastic multi-trip location-transportation model with social concerns in relief supply chains. *European Journal of Operational Research*, *269*(3), pp.105-1071. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2018.02.022>.
15. Cotes, N. and Cantillo, V., 2019. Including deprivation costs in facility location models for humanitarian relief logistics. *Socio-Economic Planning Sciences*, *65*, pp.89-100. <https://doi.org/10.1016/j.seps.2018.03.002>.

16. Farrokh, M., Azar, A., Jandaghi, G. and Ahmadi, E., 2018. A novel robust fuzzy stochastic programming for closed loop supply chain network design under hybrid uncertainty. *Fuzzy Sets and Systems*, 341, pp.69-91. <https://doi.org/10.1016/j.fss.2017.03.019>.
17. Liu, B. and Iwamura, K., 1998. Chance constrained programming with fuzzy parameters. *Fuzzy Sets and Systems*, 94(2), pp.227-237. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(96\)00236-9](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(96)00236-9).
18. Carlsson, C. and Fullér, R., 2001. On possibilistic mean value and variance of fuzzy numbers. *Fuzzy Sets and Systems*. 122(2), pp.315-26. [https://doi.org/10.1016/S0165-0114\(00\)00043-9](https://doi.org/10.1016/S0165-0114(00)00043-9).
19. Liu, B., 2004. *Uncertainty Theory: An Introduction to Its Axiomatic Foundations*, Springer Verlag, Berlin. <https://doi.org/10.1007/978-3-540-39987-2>. https://doi.org/10.1007/978-3-642-13959-8_1.
20. JICA., 2002. The study on a disaster prevention/mitigation basic plan in Istanbul including seismic microzonation in the Republic of Turkey. Japan International Co-operation Agency Final Report.
21. Mulvey, J.M., Vanderbei, R.J. and Zenios, S.A., 1995. Robust optimization of large-scale systems. *Operations Research*, 43(2), pp.268-281. <https://doi.org/10.1287/opre.43.2.264>.