Archive of SID

ارائهٔ الگوریتم حل مسئلهٔ چندمرحله‌ای مسیریابی امداد با داده‌های تصادفی

سحر اولادی[۱]، مهدی بشیری[۲*]، عرفانه نیک‌زاد[۳]

۱. فارغ التحصیل کارشناسی ارشد، دانشکدهٔ فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران

۲. استاد گروه مهندسی صنایع، دانشکدهٔ فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران

۳. دانشجوی دکتری، دانشکدهٔ فنی و مهندسی، دانشگاه شاهد، تهران

(تاریخ دریافت: ۹۶/۰۴/۱۳، تاریخ دریافت روایت اصلاح‌شده: ۹۷/۰۱/۰۳، تاریخ تصویب: ۹۷/۰۷/۰۱)

چکیده

در مسائل مربوط به بحران، معمولاً عدم قطعیت در اطلاعات وجود دارد که در مراحل مختلف و با گذر زمان و دریافت اطلاعات لحظه‌ای کاهش می‌یابد، اما همچنان سطحی از آن مشاهده می‌شود؛ بنابراین در مسائلی که اطلاعات در چند مرحله به‌روزرسانی می‌شوند، ضروری است مسئله به‌صورت بهینه‌سازی تصادفی چندمرحله‌ای، مدل‌سازی و حل شود تا تصمیم‌ها به واقعیت نزدیک‌تر شوند. در این مقاله، مدل چندمرحله‌ای مسیریابی برای امداد و نجات مسائل بحران ارائه شده است که در هر مرحله با دریافت اطلاعات به‌موقع، نقاط بازدیدنشده بار دیگر مسیریابی می‌شود. همچنین روش تقریبی مبتنی بر برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای ارائه شده است که تقریب مناسبی از مدل چندمرحله‌ای خواهد بود. نتایج مقایسه‌ای این روش با نتایج مدل قطعی نشان می‌دهد تعداد نجات‌یافتگان با استفاده از روش تقریبی بیشتر از مدل قطعی است. ضرورت استفاده از رویکرد پیشنهادی نیز بیان شده است.

واژه‌های کلیدی: امداد و نجات، بحران، عدم قطعیت، مدل‌سازی چندمرحله‌ای، مسیریابی.

مقدمه

براساس تعریف سازمان بین‌المللی هلال‌احمر و صلیب سرخ، بحران واقعه‌ای ناگهانی است که موجب اختلال در عملکرد جامعه و بروز صدمات جبران‌ناپذیری می‌شود که از توانایی جامعه برای مقابله با آن بیشتر است [۱]. هدف از مدیریت عملیاتی بحران، آماده‌سازی جامعه و کاهش شدت آسیب‌های ناشی از آن‌هاست [۱]. به‌طورکلی چهار فاز اصلی کاهش، آمادگی، پاسخ و بازیابی برای مقابله با بحران تعریف شده است [۱]. فازهای کاهش و آمادگی، پیش از بحران و فازهای پاسخ و بازیابی پس از بحران کاربرد دارند. در فاز پاسخ، واکنش به شرایط اضطراری صورت می‌گیرد. این فاز شامل اقداماتی برای نجات جان انسان‌ها و جلوگیری از صدمهٔ بیشتر در شرایط اضطراری است. مسائل این فاز بیشتر در دو زمینهٔ کلی مسیریابی و زنجیرهٔ تأمین متمرکز است [۲]. مسیریابی امداد و نجات شامل امدادرسانی، حمل‌ونقل مجروحان و جست‌وجو و نجات است [۲]. براساس آمار رسمی، در زلزلهٔ ۶/۶ ریشتری بم در سال ۱۳۸۲، بیش از ۲۵۰۰۰ نفر کشته شدند [۳]. با توجه به بازهٔ طلایی که در امدادرسانی وجود دارد (حداکثر ۷۲ ساعت پس از وقوع بحران [۲])، چنانچه عملیات امدادرسانی در ساعات اولیه زلزلهٔ بم رخ می‌داد، شاید تعداد جان‌باختگان این زلزله کاهش می‌یافت. در زلزلهٔ ۷ ریشتری هائیتی در سال ۲۰۱۰ [۴] تنها فرودگاه این جزیره تخریب شد[۴]؛ از این‌رو نیروهای امدادی در زمان بیشتر و از راه دریا برای کمک‌رسانی و امداد و نجات اعزام شدند. این تأخیر در امدادرسانی سبب افزایش تعداد مرگ‌ومیرهای ناشی از زلزله شد. باید توجه داشت اهمیت امدادرسانی در ساعات اولیهٔ پس از وقوع بحران، اهمیت توجه به عدم قطعیت و مدل‌سازی چندمرحله‌ای را نشان می‌دهد. در این مقاله، مدل چندمرحله‌ای برای مسیریابی و امداد و نجات ارائه شد که نتایج آن با مسائل قطعی بررسی خواهد شد. از آنجا که زمان حل مسئلهٔ چندمرحله‌ای امداد و نجات با افزایش تعداد نقاط آسیب‌دیده به‌شدت افزایش می‌یابد، روش حل تقریبی مبتنی بر برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای ارائه شد. روش تقریبی استفاده‌شده نیز بر مبنای تجزیه براساس مراحل صورت گرفت. در این مقاله، ابتدا به بیان ادبیات موضوع پرداخته شد. سپس به شرح مدل ریاضی برنامه‌ریزی چندمرحله‌ای و

*نویسندهٔ مسئول، تلفن: ۰۹۱۲۳۱۵۰۳۵۵

Email: bashiri@shahed.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

همچنین مدل استفاده‌شده برای تقریب مدل چندمرحله‌ای پرداخته و الگوریتم تقریبی برای حل آن ارائه شد. در ادامه، نتایج تحلیل عددی و نتیجه‌گیری و پیشنهادهای آتی مطرح شد.

پیشینهٔ پژوهش

با افزایش تعداد بحران‌های طبیعی و بشرساخت، پژوهش در حوزهٔ بحران‌های غیرروزانه در سه دههٔ اخیر افزایش یافته است. برای مثال، نخستین بار نات در سال ۱۹۸۷ مسئلهٔ مسیریابی کالاهای امدادی را مطرح کرد [۱]. به‌طورکلی عملیات موجود در بحران شامل مکان‌یابی تسهیلات، برنامه‌ریزی حمل‌ونقل عمومی، مسیریابی، تعمیر و بازیابی جاده‌ها و زنجیرهٔ تأمین است [۲]. در مدل‌های ارائه‌شده در برخی مطالعات به‌صورت هم‌زمان تصمیم‌گیری می‌شود [۲]. نخستین بار ایدهٔ جداسازی عملیات جست‌وجو و نجات در مقالهٔ فردریچ مطرح شد [۵]. وی با طبقه‌بندی مناطق در سه دسته (مناطقی که به عملیات جست‌وجو و نجات نیاز دارند، مناطقی که نیازمند عملیات تخلیه و تثبیت هستند و مناطقی که باید عملیات بازسازی اولیه در آن‌ها صورت بگیرد) و با بیان نرخ مرگ‌ومیر به ارائهٔ مدلی پرداخت که درنهایت تابع هدف آن حداقل‌کردن تعداد کل مرگ‌ومیرها بود. ایدهٔ مدل‌سازی عملیات جست‌وجو و نجات برای تیم‌های امدادرسانی را نخستین بار چن و هوکز [۶] مطرح کردند. آن‌ها مدل چندمرحله‌ای با دوره‌های زمانی مشخصی را درنظر گرفتند. پیش از وقوع بحران در هر مرکز تعدادی تیم حضور دارند. همچنین برنامهٔ اولیه برای هر تیم با توجه به شرایط هر منطقه و اطلاع از وضعیت ساختمان‌ها، خطر و... درنظر گرفته می‌شود تا در صورت وقوع بحران، تیم‌ها براساس برنامهٔ اولیه که در آن باید به برخی مناطق خدمت‌رسانی شود، عمل کنند. با وقوع بحران در مرحلهٔ اول و پیش از کسب اطلاعات دربارهٔ شرایط، تیم‌ها براساس برنامهٔ اولیهٔ خود عمل می‌کنند. پس از گذشت یک مرحله با دستیابی به اطلاعات جدید درمورد شدت بحران و مناطق آسیب‌دیده می‌توان برنامهٔ اولیهٔ تیم‌ها را تغییر داد. با توجه به ماهیت برنامه‌ریزی چندمرحله‌ای فرض شده است که در ابتدای هر مرحله اطلاعات جدیدی در دسترس هستند. این روند تا اتمام دورهٔ جست‌وجو و نجات ادامه دارد. در ادامه به بررسی برخی مطالعات می‌پردازیم که به ارائهٔ مدل‌های برنامه‌ریزی تصادفی دو و سه‌مرحله‌ای در حوزهٔ مسیریابی و امدادرسانی پرداخته‌اند.

توفیقی و همکاران [۷] مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای را برای طراحی شبکهٔ نجات در تهران ارائه دادند. همچنین به مدل آمیختهٔ تصادفی امکانی[۱] پرداختند و در آن داده‌هایی را که عدم قطعیت فازی و تصادفی داشتند، درنظر گرفتند. در مرحلهٔ اول این مدل، مکان تسهیلات ذخیره‌سازی تجهیزات و ظرفیت آن‌ها تعیین می‌شود. متغیر مرحلهٔ دوم، برنامه‌ریزی توزیع درنظر گرفته شده است. آلم[۲] و همکاران [۸] مدل دومرحله‌ای را با درنظرگرفتن شاخص مربوط به ریسک (Value at risk) برای برنامه‌ریزی انتقال کمک‌های بشردوستانه به مجروحان تحت شرایط بحران ارائه دادند. اریکو[۳] و همکاران [۹] نیز مدل دومرحله‌ای را برای مسئلهٔ مسیریابی با پنجرهٔ زمانی ارائه دادند و از الگوریتم شاخه و برش برای حل آن استفاده کردند. در مرحلهٔ اول این مدل، یک تور اولیه ایجاد می‌شود. در مرحلهٔ ۲ و با آشکارشدن مقادیر پارامترهای تصادفی، تصمیم‌گیری جبرانی برای حفظ شدنی بودن تور اولیه صورت می‌گیرد. در مدل ارائه‌شده دو نوع تابع بازگشتی[۴] شامل صرف‌نظر از مشتری فعلی و صرف‌نظر از مشتری بعدی درنظر گرفته شده است. هونگ[۵] و همکاران [۱۰] مدل دومرحله‌ای و یک مدل را با درنظرگرفتن محدودیت احتمالی برای طراحی شبکه تحت شرایط بحران ارائه کردند. در این مدل، ظرفیت و مکان تسهیلات برای پاسخ به بحران و حجم موجودی که باید در این مراکز نگهداری شود تا سطحی از قابلیت اطمینان به‌دست بیاید تعیین می‌شود. رنمو[۶] و همکاران [۱۱] مدل سه مرحله‌ای را برای مکان‌یابی تسهیلات و مسیریابی تحت شرایط بحران پیشنهاد دادند. در این مدل مکان‌یابی تسهیلات متغیر مرحلهٔ اول، تعیین تور اولیهٔ متغیر مرحلهٔ دوم و تغییر در تور اولیه با توجه به اطلاعات به‌روزشدهٔ متغیر مرحلهٔ سوم است. ورما و گاکلر[۷] [۱۲] یک مدل قطعی و یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای را برای مسئلهٔ مکان‌یابی تسهیلات به‌منظور پاسخگویی در شرایط بحرانی پیشنهاد دادند. در جدول ۱، دسته‌بندی مقالات در حوزهٔ بحران با درنظرگرفتن عدم قطعیت آمده است. با توجه به پژوهش‌ها می‌توان دریافت تنها در تعداد معدودی از آن‌ها در حوزهٔ بحران، عدم قطعیت در داده‌ها درنظر گرفته شده است. همچنین در این مطالعات با توجه به عدم قطعیت عمدتاً مدل‌های ارائه‌شده به‌صورت برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای آمده‌اند.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. دسته‌بندی مطالعات در حوزه بحران با در نظر گرفتن پارامتر تصادفی

نوع مسئله	متغیرهای تصمیم																								تعداد مراحل			مطالعات
	سایر مراحل		مرحلهٔ سوم			مرحلهٔ دوم												مرحلهٔ اول										
	م.م		م.م			ت.ا	مس	ب.ت	کم	ح	م.م	ز.ح	مو	ح	مس	ظ	ک	م	ح	مس	ظ	ک	م	چند	۳	۲	
طراحی شبکهٔ توزیع										❋				❋				❋	❋				❋			❋		[۷]
تجهیزات برنامه‌ریزی حمل‌ونقل														❋			❋	❋								❋		[۸]
مسیریابی با پنجرهٔ زمانی											❋				❋											❋		[۹]
طراحی شبکه مکان‌یابی تسهیلات و مسیریابی									❋									❋	❋				❋			❋		[۱۰]
			❋				❋											❋	❋				❋		❋			[۱۱]
مکان‌یابی تسهیلات برنامه‌ریزی موجودی										❋				❋				❋								❋		[۱۲]
شبکهٔ حمل‌ونقل									❋					❋			❋	❋				❋				❋		[۱۳]
شبکهٔ حمل‌ونقل									❋	❋			❋					❋	❋				❋			❋		[۱۴]
مسیریابی	❋		❋								❋													❋				مقالهٔ حاضر
						❋			❋	❋				❋			❋									❋		[۱۵]

م: مکان‌یابی، ک: کمیت، ظ: ظرفیت، مس: مسیریابی، ح: حمل‌ونقل، ز. ح: زمان حمل‌ونقل، مو: موجودی، کم: کمبود، ب. ت: برنامه توزیع، ت. ا: تیم امداد، م. م: مسیریابی مجدد.

درحالی‌که در شرایط بحران، داده‌ها در طول زمان آشکار می‌شوند. همچنین با توجه به داده‌های جدید باید در تصمیم‌های پیشین بازنگری شود؛ بنابراین درنظرگرفتن مسئلهٔ برنامه‌ریزی تحت شرایط بحران به‌صورت برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای سبب تصمیم‌گیری‌های دقیق‌تر می‌شود. در مقالهٔ حاضر، یک مدل برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای برای مسئلهٔ مسیریابی تیم‌های جست‌وجو و نجات در شرایط بحران ارائه شده است. در مسائل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای و چندمرحله‌ای، آنچه اهمیت داردحفظِ شدنی بودن مسیری است که در مرحله اول ایجاد شده است. به عبارت دیگر، به‌دلیل عدم قطعیت در تقاضا یا زمان سفر ممکن است مسیر ایجادشده در مرحلهٔ اول پس از آشکارشدن مقدار دقیق پارامتر تصادفی شدنی نباشد؛ بنابراین در این نوع از مسائل به مسیریابی مجدد نیاز است. به عبارت دیگر مسیر اولیهٔ ایجادشده بازنگری می‌شود؛ برای مثال در مدلی که اریکو و همکاران [۹] ارائه دادند، مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای برای مسئله مسیریابی بیان شد که در این مقاله برای حفظ شدنی بودن مسیر اولیه از بازدیدکردن برخی از مشتریان صرف‌نظر شده است. در یکی از مطالعات [۱۶] مرور و دسته‌بندی بر مقالات در حوزهٔ مسیریابی تصادفی[۸] صورت گرفته و زمینه‌های پژوهشی جدید در این حوزه بررسی شده است. از آنجا که در مدل ارائه‌شده در این مقاله زمان سفر پارامتر تصادفی به‌شمار می‌آید، ممکن است با توجه به مقدار این پارامتر، امکان سرویس‌دهی به مشتری در بازهٔ تعیین‌شده امکان‌پذیر نباشد؛ بنابراین به تغییر در تور اولیه و به عبارت دیگر بازنگری در تور اولیه نیاز است.

همچنین با توجه به بزرگ‌بودن مسائل، برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای به‌صورت دقیق تنها با درنظرگرفتن

www.SID.ir

Archive of SID

تعداد محدودی سناریو یا به عبارت دیگر تنها در سایز کوچک امکان‌پذیر است؛ بنابراین برای حل این دسته از مسائل از روش‌های تخمینی استفاده می‌شود که دسته‌بندی روش‌های ارائه‌شده در مقالهٔ Birge and Louveaux [۱۷] به تفضیل بیان شده است. از جمله روش‌های ارائه‌شده برای حل مسائل برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای در حالتی که تابع بازگشت خطی است، روش تجزیهٔ آشیانه‌ای[۹] است که در آن مراحل پیشین به‌عنوان زیرمسئله‌ها[۱۰] برای مسئله در مرحلهٔ فعلی (مسئلهٔ اصلی)[۱۱] در نظر گرفته می‌شوند. به عبارت دیگر از مسائل مراحل پیشین برای ساخت ستون در مسئلهٔ فعلی استفاده می‌شود. روش‌های ارائه‌شده برای حل مسائل برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای در حالتی تابع بازگشت شامل متغیرهای عدد صحیح است، بسیار اندک هستند و بیشتر آن‌ها روش‌های ابتکاری و روش‌های مبتنی بر تجزیه براساس سناریو محسوب می‌شوند. چن و هوکز [۶] روشی تخمینی برای حل مسائل برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای در زمانی که تابع بازگشت شامل متغیرهای عدد صحیح است، ارائه کردند. این روش مبتنی بر تجزیهٔ مسئله برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای براساس مرحله است. در این مقاله، روش تخمین دومرحله‌ای برای حل مسائل برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای ارائه شده است. این الگوریتم بر پایهٔ تجزیهٔ مدل براساس مراحل است.

فرض کنید زلزله یا حادثه‌ای با صدمات بسیار زیادی رخ دهد. با توجه به بازهٔ طلایی که برای امداد و نجات افراد وجود دارد، باید هرچه سریع‌تر، امدادرسانی به نقاط آغاز شود. در ابتدا و پیش از دردسترس‌بودن اطلاعات هوایی و ماهواره‌ای، تیم‌های امدادرسانی فعالیت خود را با اطلاعاتی که قبل از وقوع زلزله داشته‌اند (فاصلهٔ میان نقاط زلزله‌زده، شرایط ساختمان‌ها، زیرساخت‌ها و...) و اطلاعات اولیه‌ای که دربارهٔ زلزله به‌دست آورده‌اند، آغاز می‌کنند. اطلاعات اولیهٔ مذکور، خطای بالایی دارد، اما به‌تدریج و با دسترسی به اطلاعات جدیدتر هوایی و ماهواره‌ای، شرایط راه‌ها، میزان آسیب‌دیدگی نقاط زلزله‌زده و زیرساخت‌ها و... مشخص می‌شود و تیم‌های امدادرسانی می‌توانند مشخص کنند کدام نقاط زلزله‌زده در اولویت بالاتری برای امدادرسانی قرار دارند. همچنین با توجه به آسیب زیرساخت‌ها و راه‌ها کدام نقاط زلزله‌زده در دسترس هستند و نحوهٔ ترتیب امدادرسانی نقاط زلزله‌زده باید چگونه باشد؛ زیرا این مسئله به‌گونه‌ای است که در هر مرحله اطلاعات جدید به‌دست می‌آید که باید به‌صورت چندمرحله‌ای مدل‌سازی و حل شود. در ادامه، مدل مسیریابی چندمرحله‌ای و مدل استفاده‌شده برای تقریب آن مبتنی بر برنامه‌ریزی دومرحله‌ای ارائه شده است. نوآوری‌های این پژوهش عبارت است از: ارائهٔ مدل مسیریابی برای تیم‌های جست‌وجو تحت شرایط عدم قطعیت در زمان سفر میان نقاط آسیب‌دیده و ارائهٔ روش حل تخمینی برای حل مسائل چندمرحله‌ای مبتنی بر تجزیه مسئلهٔ به مسائل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای.

تعریف مسئله

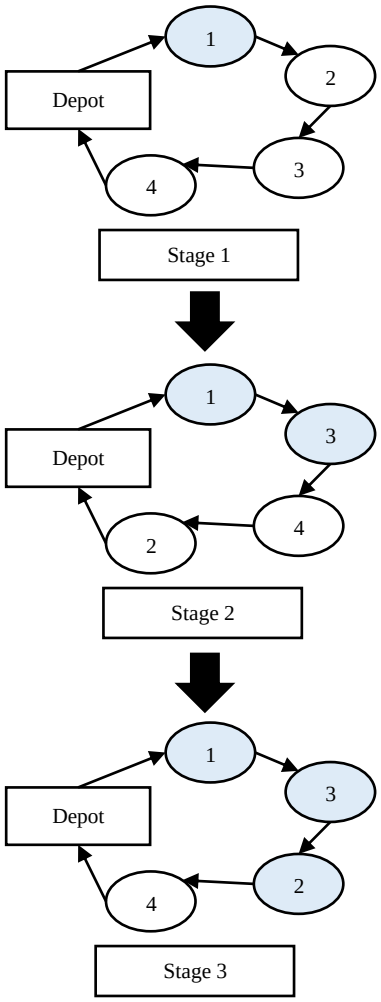
پیش از بیان مسئلهٔ اصلی، به‌مرور مدل برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای پرداخته می‌شود. در این مدل، ابتدا دربارهٔ مرحلهٔ اول با توجه به تمام وقایع محتمل در مرحلهٔ دوم تصمیم‌گیری می‌شود. در ادامه، اطلاعاتی درمورد پارامتر تصادفی آشکار می‌شود و تصمیم مرحلهٔ دوم با توجه به تصمیم مرحلهٔ اول و مقدار آشکارشدهٔ پارامتر تصادفی صورت می‌گیرد. مسائل برنامه‌ریزی تصادفی چندمرحله‌ای را می‌توان توسعه‌یافتهٔ این رویکرد دانست. در این مسائل، در هر مرحله با توجه به اطلاعات در دسترس و به‌روزشده، تصمیم‌گیرنده می‌تواند تصمیم‌گیری کند که درمجموع اثر نامطلوب حاصل از عدم قطعیت بر تصمیم‌گیری‌های مراحل پیشین را کاهش دهد. به بیان دیگر، در برنامه‌ریزی چندمرحله‌ای، اطلاعات پارامترهای تصادفی در هر مرحله آشکار می‌شود و تصمیم مرحلهٔ بعد با توجه به تصمیم‌گیری‌های مراحل قبل و مقدار پارامتر آشکارشده صورت می‌گیرد. چنانچه سناریوهای محتمل پارامترهای تصادفی مورد نظر، به‌صورت مجتمع در تصمیم‌گیری هر مرحله درنظر گرفته شود، کارایی برنامه‌ریزی بیشتر می‌شود و ارزش شاخص‌های تصادفی مرتبط، مقادیر بالاتری را دربرخواهد داشت. همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، حل مسائل برنامه‌ریزی تصادفی به‌صورت دقیق مشکل است؛ بنابراین در بسیاری از مطالعات از روش‌های حل تقریبی برای حل این نوع مسائل استفاده می‌شود. برای درک بهتر مسئلهٔ مورد نظر و ارائهٔ مناسب‌تر

www.SID.ir

Archive of SID

روش تقریبی دومرحله‌ای برای حل مسئله چندمرحله‌ای مسئلهٔ زیر را در نظر بگیرید.

فرض کنید ۱۰ نقطه از منطقه‌ای دچار بحران زلزله شده‌اند. با توجه به شدت بحران و سایر عوامل مرتبط، مدت‌زمان عبور میان نقاط زلزله‌زده پارامتر تصادفی است که در هر مرحله (زمان) مقادیر آن به‌کمک سناریوها تعیین می‌شود. با گذر زمان و دریافت اطلاعات دقیق‌تر از شدت حادثه، همچنین سایر اطلاعات مربوط به محورهای مواصلاتی و زیرساخت‌های تخریب‌شده، مقادیر این پارامتر و میزان تصادفی‌بودن آن تغییر می‌کند. هدف تعیین ترتیب امدادرسانی نقاط زلزله‌زده است. بدین‌ترتیب که تصمیم‌گیرنده در مرحلهٔ اول مشخص می‌کند از مرکز اصلی خدمت‌رسانی ابتدا به کدام نقطهٔ زلزله‌زده حرکت کند. پس از رسیدن به نقطهٔ زلزله‌زدهٔ اول و عملیات خدمت‌رسانی به آن، تصمیم‌گیرنده اطلاعات بیشتری دربارهٔ شدت آثار ناشی از بحران از جمله میزان تخریب راه‌های مواصلاتی، وضعیت زیرساخت‌ها، دسترسی به نقاط زلزله‌زده باقی‌مانده و... دریافت می‌کند که با استفاده از آن‌ها دربارهٔ مرحلهٔ دوم تصمیم‌گیری می‌کند. در مرحلهٔ دوم مشخص می‌شود که از نقطهٔ زلزله‌زدهٔ اول به کدام نقطهٔ زلزله‌زده دیگر باید حرکت کرد (نقطهٔ زلزله‌زدهٔ دوم). با رسیدن به نقطهٔ زلزله‌زده دوم و عملیات امدادرسانی در آن، اطلاعات تصمیم‌گیرنده بار دیگر به‌روز می‌شود. این امر به تصمیم‌گیری مرحلهٔ سوم یعنی تعیین نقطهٔ زلزله‌زده سوم می‌انجامد. این فرایند تا $n-1$ (۹) بار تکرار می‌شود؛ زیرا با تعیین نقطهٔ زلزله‌زدهٔ نهم، نقطهٔ زلزله‌زدهٔ باقی‌مانده از ۱۰ نقطه کاملاً مشخص است.



شکل ۱. مسئلهٔ مورد نظر در پژوهش

www.SID.ir

Archive of SID

شکل ۱ مسئلهٔ مورد نظر در این پژوهش را به‌صورت مشخص‌تر نشان می‌دهد. در این شکل فرض شده است ۴ نقطهٔ زلزله‌زده برای امدادرسانی وجود دارد و روند ذکرشده برای این ۴ نقطه مشخص است. تعداد مراحل ۳ تاست. همان‌طور که در این شکل مشخص است، نخست نقطهٔ زلزله‌زدهٔ اول با توجه به همهٔ سناریوهای آشکارشده تعیین می‌شود. همچنین ادامهٔ مسیر نیز در مرحلهٔ اول مشخص است، اما با توجه به اطلاعات جدیدتری که در انتهای مرحلهٔ اول دریافت می‌شود، در مرحلهٔ دوم، نقطهٔ زلزله‌زدهٔ شمارهٔ ۳ دومین نقطه برای بازدید است. درنهایت در مرحلهٔ سوم با آشکارشدن اطلاعات جدیدتر، سومین نقطهٔ زلزله‌زده، نقطهٔ آسیب‌دیدهٔ شمارهٔ ۲ است که برای ادامهٔ مسیر مشخص خواهد شد. از آنجا که از میان ۴ نقطهٔ زلزله‌زده، سه نقطهٔ ۱ تا ۳ بازدید شده‌اند، نقطهٔ چهارم تنها نقطهٔ باقی‌مانده است که در آخر مسیر بازدید خواهد شد.

مدل تقریب چندمرحله‌ای بر مبنای برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای (مدل ۲) ارائه می‌شود. فرض بر این است که وسایل نقلیه یکسان و همگن هستند و تعداد ثابتی دارند. همچنین ظرفیت این وسایل ثابت و از قبل مشخص است.

برای هر نقطهٔ زلزله‌زده، یک بازهٔ زمانی[۱۲] امدادرسانی که دیرترین زمان رسیدن وسیلهٔ نقلیه به آن نقطه را نشان می‌دهد مشخص شده است. زمان خدمت‌رسانی در هر نقطهٔ زلزله‌زده نیز مشخص است و ثابت درنظر گرفته می‌شود، اما زمان سفر میان نقاط زلزله‌زده به‌صورت احتمالی و وابسته به سناریوهای مختلف مدنظر قرار گرفته است.

مدل ریاضی مسئله

پیش از بیان مدل، به بیان اندیس‌ها، متغیرهای تصمیم و پارامترها پرداخته می‌شود. جدول ۲ و ۳ به‌ترتیب نشان‌دهندهٔ اندیس‌ها، پارامترها و متغیرهای تصمیم هستند.

می‌توان مسئلهٔ چندمرحله‌ای را به‌صورت تقریبی و مبتنی بر برنامه‌ریزی دومرحله‌ای و ترکیبی از این مسائل درنظر گرفت. بدین‌ترتیب که برای حل یک مسئله m-*stage* می‌توان به تعداد m بار مسئله را به‌صورت دومرحله‌ای حل کرد [۶]. با استفاده از این روش جواب‌های به‌دست‌آمده تقریب مناسبی از مدل چندمرحله‌ای خواهند بود [۶].

جدول ۲. اندیس‌ها و پارامترهای به‌کاررفته در مدل برنامه‌ریزی احتمالی چندمرحله‌ای و تقریب چندمرحله‌ای

پارامترها		اندیس‌ها و مجموعه‌ها	
ss_i	زمان سرویس به شهر i	0	انبار
d_i	تقاضا به شهر i	i/j	شهرها
b_i	دیرترین زمان رسیدن به شهر i	k	وسیلهٔ نقلیه
Q	ظرفیت وسیلهٔ نقلیه	S	مجموعهٔ سناریوها
tt_i	زمان سفر بین شهر i و j	t	مرحله
		N	مجموعهٔ شهرها
		K	مجموعهٔ وسایل نقلیه

جدول ۳. متغیرهای تصمیم به‌کاررفته در مدل برنامه‌ریزی احتمالی چندمرحله‌ای و تقریب چندمرحله‌ای

متغیرهای تصمیم	
x^S_{0ik}: ۱ اگر شهر $\boldsymbol{i}$ ام دقیقاً بعد از مبدأ توسط ماشین $\boldsymbol{k}$ تحت سناریو $\boldsymbol{S}$ ویزیت شود.	در غیر این صورت صفر.
x^S_{ijk}: ۱ اگر شهر $\boldsymbol{j}$ ام دقیقاً بعد از شهر $\boldsymbol{i}$ ام توسط ماشین $\boldsymbol{k}$ تحت سناریو $\boldsymbol{s}$ ویزیت شود.	در غیر این صورت صفر.
t^S_i: زمان رسیدن به شهر $\boldsymbol{i}$ ام تحت سناریو $\boldsymbol{s}$	
y_{it}: ۱ اگر شهر $\boldsymbol{i}$ ام در مرحله $\boldsymbol{t}$ یا مراحل پیشین آن ویزیت شده باشد.	در غیر این صورت صفر.
$\overline{x}_{0ik}$: متغیر کمکی	

www.SID.ir

Archive of SID

مدل تقریب چندمرحله‌ای مبتنی بر برنامه‌ریزی دومرحله‌ای به شرح زیر است:

$$\min z = \sum_{i\in N}\sum_{k\in K}\sum_{s\in S} p_s tt_{oi} x^s_{0ik} + \sum_{i\in N}\sum_{j\in N\cup\{0\}}\sum_{k\in K}\sum_{s\in S} p_s tt_{ij} x^s_{ijk} \quad (۱)$$

s.t:

$$\sum_{j\in N} x_{0jk} = \sum_{i\in N} x_{iok} = 1 \quad \forall k \in K \quad (۲)$$

$$\sum_{j\in N\cup\{0\}} x^s_{ijk} = \sum_{j\in N\cup\{0\}} x^s_{jik} \quad \forall k\in K, i\in N\cup\{0\}, s\in S \quad (۳)$$

$$\sum_{\substack{j\in N\cup\{0\}\\ i\neq j}}\sum_{k\in K} x^s_{ijk} = 1 \quad \forall i\in N, s\in S \quad (۴)$$

$$t^s_i + tt^s_{ij} + ss_i - t^s_j \le M(1-x^s_{ijk}) \quad \forall i\in N\cup\{0\}, j\in N, k\in K, s\in S \quad (۵)$$

$$t^s_i \le b_i \quad \forall i\in N,\ s\in S \quad (۶)$$

$$\sum_{i\in N\cup\{0\}}\sum_{\substack{j\in N\cup\{0\}\\ i\neq j}} d_j x^s_{ijk} \le Q \quad \forall k\in K, s\in S \quad (۷)$$

$$x^s_{0ik} = \bar{x}_{0ik} \quad \forall i\in N, s\in S, k\in K \quad (۸)$$

$$x^s_{ijk}, \bar{x}_{0ik} \in \{0,1\} \quad \forall i,j\in N\cup\{0\}, k\in K, s\in S \quad (۹)$$

$$t^s_i \ge 0 \quad \forall i\in N\cup\{0\}, s\in S \quad (۱۰)$$

رابطهٔ ۱، تابع هدف را نمایش می‌دهد که مینیمم‌سازی زمان سفر میان نقاط زلزله‌زده است. تابع هدف از دو قسمت تشکیل شده است. قسمت اول نشان‌دهندهٔ هزینهٔ جابه‌جایی از مرکز به نقطهٔ زلزله‌زدهٔ اول است. قسمت دوم بیان‌کنندهٔ امید ریاضی هزینهٔ جابه‌جایی به نقطهٔ زلزله‌زدهٔ دوم است. براساس محدودیت ۲، هر وسیلهٔ نقلیه حداقل یک نقطهٔ زلزله‌زده را بازدید می‌کند و شروع و پایان حرکت آن به مرکز ختم می‌شود. محدودیت ۳ و ۴ برای اطمینان از اینکه هر نقطهٔ زلزله‌زده به‌کمک یک وسیلهٔ نقلیه بازدید می‌شود استفاده شده‌اند. محدودیت ۵، محدودیت حذف زیر تور است. محدودیت ۶ بازهٔ زمانی دیرترین زمان رسیدن به هر نقطهٔ زلزله‌زده را مشخص می‌کند. براین‌اساس زمان رسیدن وسیلهٔ نقلیه به هر نقطه زلزله‌زده باید در این بازه باشد و نمی‌تواند از آن بازه عبور کند. محدودیت ۷، محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه است که نمی‌تواند از حد مشخص ظرفیت درنظر گرفته‌شده بیشتر شود. محدودیت ۸ محدودیت قیود نبود ناهماهنگی است. محدودیت ۹ و ۱۰ نیز نوع متغیرها را نشان می‌دهند که به‌ترتیب باینری و مثبت هستند.

الگوریتم حل

برای حل مدل چندمرحله‌ای *m-stage* به‌صورت تقریبی، مدل دومرحله‌ای m بار حل می‌شود. روش حل بدین‌صورت است که ابتدا به ازای هر سناریو حل مسئلهٔ مدل ۲ صورت می‌گیرد.

$$\min z(s) = \sum_{i\in N}\sum_{k\in K} tt_{oi} x^s_{oik} + \sum_{i\in N\cup\{0\}}\sum_{j\in N\cup\{0\}}\sum_{k\in K} tt_{ij} x^s_{ijk} \quad (۱۱)$$

محدودیت‌های ۲ تا ۷ و ۹ و ۱۰:s.t

فرض می‌شود ۱۰ نقطهٔ زلزله‌زده و ۵ سناریو درنظر گرفته شده است. ابتدا با حل مدل ۲ به ازای هر سناریو یک تور اولیه مشخص می‌شود، سپس مقدار متغیر مرحلهٔ اول برابر با مقدار به‌دست‌آمده برای این متغیر تحت سناریوی ۱ مدنظر قرار می‌گیرد و بار دیگر مدل ۲ به ازای تمامی سناریوها و مقادیر تابع هدف به ازای هر سناریو مشخص می‌شود. محاسبهٔ میانگین توابع هدف به‌دست‌آمده نیز صورت می‌گیرد، سپس مقدار متغیر مرحلهٔ اول برابر با مقدار به‌دست‌آمده برای این متغیر تحت سناریوی ۲ مدنظر قرار می‌گیرد و بار دیگر مدل ۲ به ازای تمامی سناریوها حل می‌شود. محاسبهٔ مقادیر تابع هدف به‌دست‌آمده نیز صورت می‌گیرد. این کار برای تمام سناریوهای باقی‌مانده نیز تکرار می‌شود. مقادیر میانگین‌های به‌دست‌آمده با یکدیگر مقایسه می‌شوند و با توجه به کمترین مقدار میانگین به‌دست‌آمده برای تابع هدف، نقطهٔ زلزله‌زده اول که باید خدمت‌دهی شود، مشخص می‌شود (تصمیم مرحلهٔ اول). این رویه برای سایر شهرها نیز برقرار است تا تمامی نقاط زلزله‌زده بازدید شوند. بدیهی است تعداد مراحل برابر با n-۱ است که در آن n تعداد نقاط زلزله‌زده محسوب می‌شود. مراحل الگوریتم به شرح زیر است:

۱.مدل ۲ را به ازای هر سناریو حل می‌کنیم.

www.SID.ir

Archive of SID

۲. ۱. $S = 1$ و $i = 1$ (S تعداد کل سناریوها و i شمارنده نقاط زلزله‌زده).

۲. ۱. در سناریوی s نقطهٔ زلزله‌زده k (k اندیس نقاط زلزله‌زده) را درنظر گرفته و در مابقی سناریوها ثابت می‌شود. بار دیگر نیز مدل ۲ را به ازای تمامی سناریوها حل کنید و پس از محاسبهٔ توابع هدف حاصل از هر سناریو، میانگین آن را به‌دست آورید.

۲. ۲. آیا $s = S$ (s تعداد سناریوها)؟ بله به ۲-۳ بروید. خیر به ۲-۲-۱ برگردید.

۲. ۲. ۱. گام ۲-۱ را با فرض $S = s + 1$ تکرار کنید.

۲. ۳. میانگین توابع هدف به‌دست‌آمده در گام ۲-۱ را مقایسه کنید و هریک را که مقدار کمتری دارد، نقطهٔ زلزله‌زده k را برای آن به‌عنوان i امین نقطه درنظر بگیرید.

۲. ۴. آیا $k = N$ (N تعداد شهرها)؟ بله الگوریتم پایان می‌یابد. خیر، $i = i+1$ و به ۲ بروید.

شکل ۲ روند این الگوریتم را برای یک مثال با ۴ شهر ۱، ۲، ۳ و ۴ و سه سناریو مشخص کرده است. پس از حل مسئله به ازای تمام سناریوها، در اولین مرحله یعنی اولین شهری که بلافاصله بعد از مرکز باید بازدید شود تعیین می‌شود. همان‌طور که در شکل مشخص است، با حل مسئله به ازای تمامی سناریوها تصمیم مرحلهٔ اول یکسان است. پس از آن در دومین مرحله، یعنی انتخاب شهر دوم با درنظرگرفتن اطلاعات جدید به‌دست‌آمده صورت می‌گیرد. این تصمیم نیز به ازای تمامی سناریوها با حل مسئله یکسان خواهد بود و در مرحلهٔ دوم دو شهر ۱ و ۳ برای تمامی سناریوها ثابت است. برای انتخاب سومین شهر (شهر ۲) در مرحلهٔ سوم مطابق با الگوریتم معرفی‌شده عمل می‌شود و تور بهینه‌ای برای تمامی سناریوها به‌صورت ثابت ایجاد خواهد شد که امید ریاضی تابع هدف آن از حل مسئله به‌صورت قطعی بهتر است. برای مقایسهٔ نتایج حل مسئله به‌صورت مدل ۱ و حل مسئله به‌صورت مدل ۲ طبق الگوریتم ارائه‌شده، برای ۵ شهر و ۵ سناریو این دو مسئله حل شده است. مسیرهای به‌دست‌آمده برای هر مدل و تعداد افراد نجات‌یافته به شرح زیر است:

مدل ۱: مسیر ۰-۴-۳-۵-۱-۲-۰ و تعداد افراد ۴۲ واحد نفر.

مدل ۲: مسیر ۰-۴-۳-۵-۱-۲-۰ و تعداد افراد ۴۲ واحد نفر. همان‌طور که از تحلیل نتایج برمی‌آید، مدل ۲ تقریب مناسبی از مدل چندمرحله‌ای است.

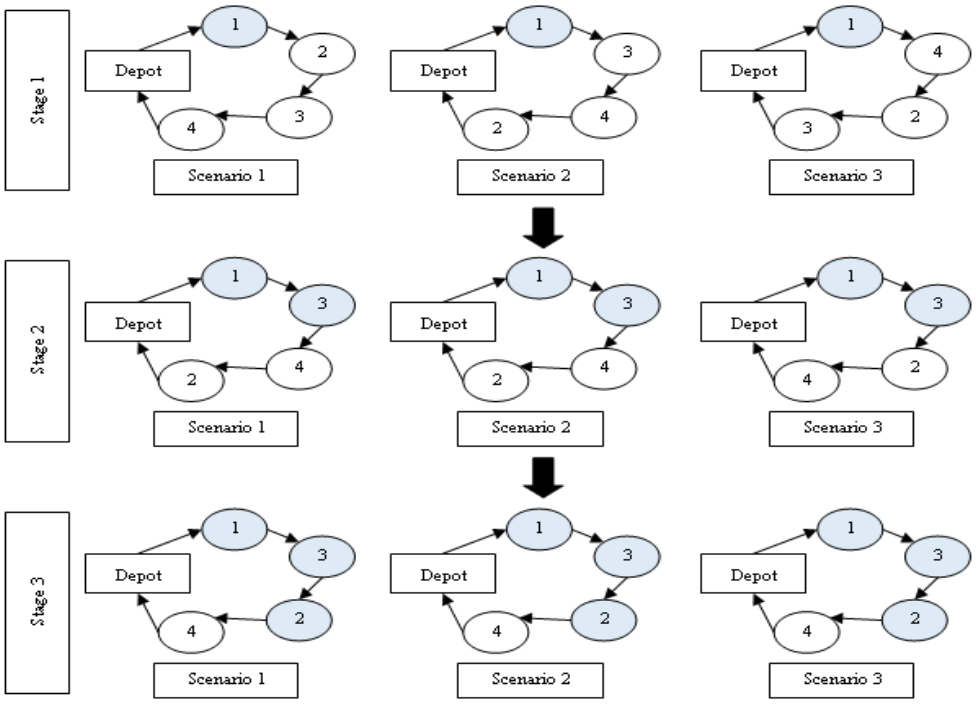
بحث و یافته‌ها

برای حل مدل ۲ مثال‌هایی گوناگون با سایزهای مختلف درنظر گرفته شده است. فرض بر این است که ۱۰ نقطهٔ زلزله‌زده از بحران زلزله تأثیر پذیرفته‌اند. با استفاده از داده‌های سلمن [۱۸]، زمان خدمت‌رسانی، دیرترین زمان رسیدن به هر نقطهٔ زلزله‌زده است. همچنین با استفاده از این داده‌ها زمان سفر میان نقاط زلزله‌زده و میزان تقاضای این نقاط با توجه به سناریوهای مختلف احتمالی درنظر گرفته شده است. برای تحلیل نتایج به‌ترتیب، ۵، ۱۰ و ۱۵ سناریو برای زمان سفر میان نقاط زلزله‌زده مدنظر است. در هر نقطهٔ زلزله‌زده تعداد نیازمندان به امداد مشخص شده است که با گذشت زمان و انجام‌ندادن عملیات امدادرسانی به‌تدریج کاهش می‌یابند؛ یعنی ترتیب امدادرسانی هر نقطه درنهایت در امتیاز به‌دست‌آمده از تورهای ایجادشده تغییر ایجاد خواهد کرد. شکل ۳، تفاوت در امتیاز کسب‌شده با تغییر در ترتیب بازدید از نقاط آسیب‌زده را نشان می‌دهد. دایره‌ها نشان‌دهندهٔ نقاط بحران‌زده هستند. با توجه به شکل ۳، در شکل a امتیاز به‌دست‌آمده ۷۰ و در شکل b ۱۰۰ است. بدین‌ترتیب تور بهینه، به شکل b مربوط است. برای درنظرگرفتن امتیاز و نشان‌دادن کارایی مدل چندمرحله‌ای در مقایسه با مدل دقیق فرض می‌شود تعداد افرادی که نیاز به خدمات دارند دارای تابع توزیع یکنواخت در طول پنجره زمانی آن‌ها هستند. مثلاً فرض کنید برای شهر i ام تعداد نیازمندان خدمت در لحظهٔ t از رابطهٔ $\frac{b_i - t}{b_i} \times d_i$ محاسبه می‌شود. در شکل ۴ تعداد نجات‌یافتگان با توجه به تور به‌دست‌آمده از حل مدل قطعی و چندمرحله‌ای مقایسه و نشان داده شده است.

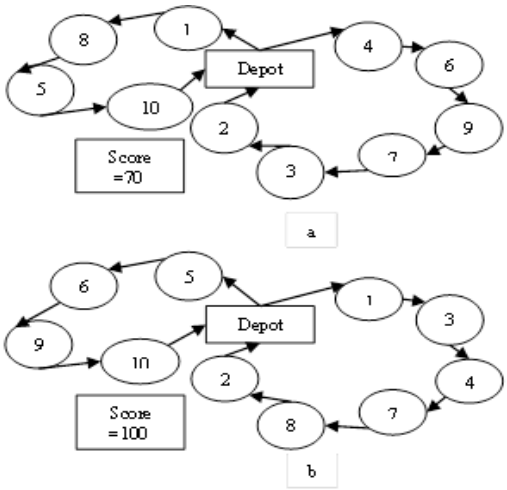
تحلیل صورت‌گرفته برای ده نقطهٔ زلزله‌زده و تعداد سناریو برابر ۵، ۱۰، ۱۵ در شکل ۴ نشان داده شده است. براین‌اساس استفاده از مدل چندمرحله‌ای به‌جای مدل قطعی سبب افزایش تعداد نجات‌یافتگان خواهد شد.

www.SID.ir

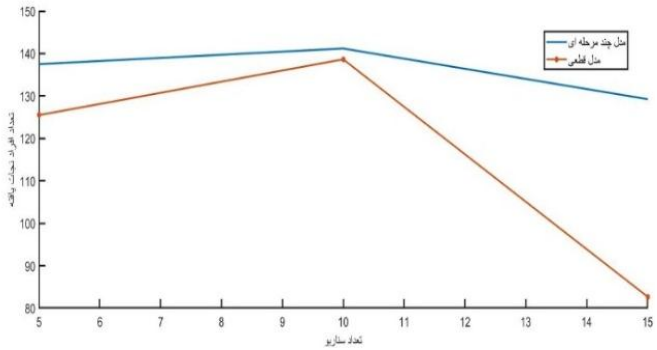
Archive of SID



شکل ۲. روند بررسی در الگوریتم برای یک مثال با ۴ نقطهٔ زلزله‌زده و ۳ سناریو



شکل ۳. تأثیر تفاوت در بازدید نقاط آسیب‌دیده در امتیاز حاصل‌شده



شکل ۴. مقایسهٔ تعداد نجات‌یافتگان در مدل قطعی و چندمرحله‌ای

www.SID.ir

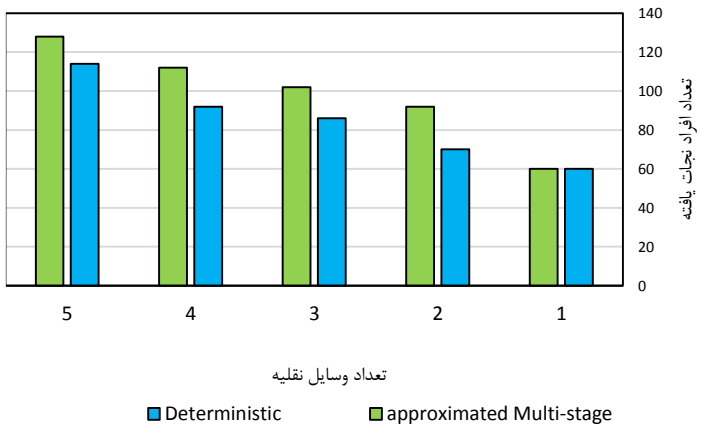
Archive of SID

تور بهینهٔ به‌دست‌آمده از حل مدل قطعی و مدل چندمرحله‌ای با روش تخمینی در جدول ۴ آمده است. برای مثال در حالتی که ۱۵ سناریو وجود دارد، تور حاصل از مدل قطعی بعد از به‌روزرسانی اطلاعات، نشدنی می‌شود؛ زیرا امکان سرویس‌دهی به برخی شهرها در محدودهٔ پنجرهٔ زمانی آن‌ها با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده نیست؛ بنابراین تمامی مصدومان در این شهرها جان خود را از دست خواهند داد که همین امر سبب کاهش معنادار افراد نجات‌یافته در این حالت شده است. همچنین در برخی موارد مسیرهای به‌دست‌آمده از مدل قطعی و چندمرحله‌ای با هم شباهت دارند؛ یعنی اطلاعات به‌روزشده تفاوت معناداری با اطلاعات پیشین در این مسیرها ندارد؛ بنابراین مسیر بهینه همان مسیر پیشین خواهد بود، اما هنگامی‌که تفاوت معناداری در زمان سفر میان شهرها حاصل شود، مسیرهای حاصل از این دو مدل با یکدیگر تفاوت خواهند داشت. همان‌طور که مشاهده می‌شود شهرهای اولیه که در هریک از مسیرها خدمت‌دهی می‌شوند، در مدل قطعی و چندمرحله‌ای تقریباً یکسان هستند.

همچنین برای نشان‌دادن صحت مدل ارائه‌شده، اثر تعداد ماشین‌ها بر تعداد نجات‌یافتگان بررسی می‌شود. با افزایش تعداد وسایل نقلیه و با توجه به افزایش تعداد تورهای به‌دست‌آمده، امدادرسانی سریع‌تر صورت می‌گیرد و تعداد نجات‌یافتگان بیشتر خواهد شد. شکل ۵ نشان‌دهندهٔ تأثیر تعداد وسایل نقلیه در دو روش حل مسئله به‌صورت قطعی و تقریب چندمرحله‌ای با درنظرگرفتن ۱۰ سناریوست.

جدول ۴. مسیرهای حاصل از حل مدل قطعی و چندمرحله‌ای برای مقادیر مختلف سناریو

تعداد سناریو	نوع مدل	شمارهٔ ماشین	تور حاصل
۵	قطعی	۱	۰-۸-۱۰-۹-۶-۰
		۲	۰-۵-۲-۱-۷-۳-۴-۰
	چندمرحله‌ای	۱	۰-۵-۲-۱-۳-۴-۷-۹-۱۰-۰
		۲	۰-۸-۶-۰
۱۰	قطعی	۱	۰-۵-۲-۱-۷-۳-۴-۱۰-۹-۸-۰
		۲	۰-۶-۰
	چندمرحله‌ای	۱	۰-۵-۲-۱-۷-۴-۳-۰
		۲	۰-۶-۹-۱۰-۸-۰
۱۵	قطعی	۱	۰-۵-۲-۱-۷-۴-۳-۰
		۲	۰-۶-۹-۱۰-۸-۰
	چندمرحله‌ای	۱	۰-۵-۲-۱-۴-۳-۷-۱۰-۹-۸-۰
		۲	۰-۶-۰



شکل ۵. اثر تعداد وسایل نقلیه بر میزان تعداد نجات‌یافتگان

www.SID.ir

Archive of SID

نتیجه‌گیری

در این مقاله، مسئلهٔ مسیریابی امداد و نجات به‌صورت چندمرحله‌ای ارائه شده است. از آنجا که با افزایش نقاط آسیب‌دیده زمان حل افزایش چشمگیری پیدا می‌کند، برای حل مسئله آن را به‌صورت مدل تقریب چندمرحله‌ای مبتنی بر برنامه‌ریزی تصادفی دومرحله‌ای درنظر می‌گیریم و الگوریتمی جهت حل ارائه می‌دهیم. با توجه به تحلیل نتایج، با افزایش عدم قطعیت حل مسائل به‌صورت تقریب چندمرحله‌ای جواب‌های بهتری درباره حل مسئله به‌صورت قطعی وجود دارد. نتایج تحلیل حساسیت مسئله نشان می‌دهد اگر تعداد سناریوها یا تغییرپذیری در داده‌ها افزایش یابد، مسائل تقریبی چندمرحله‌ای جواب‌های بهتری به حالت قطعی ارائه می‌دهند. همچنین با افزایش تعداد وسایل نقلیه (افزایش منابع موجود) تعداد نجات‌یافتگان در مدل تقریب چندمرحله‌ای نسبت به قطعی بیشتر خواهد شد.

با افزایش تعداد وسایل نقلیه (افزایش منابع موجود) نیز تعداد نجات‌یافتگان در مدل تقریب چندمرحله‌ای نسبت به قطعی بیش‌تر خواهند شد. با توجه به اینکه مسئله بررسی‌شده در اصل مسیریابی با درنظرگرفتن پنجره زمانی است، می‌توان برای پژوهش‌های آتی علاوه‌بر امداد و نجات افراد، به توزیع و تخصیص کالا در هر مرحله پرداخت. همچنین می‌توان به‌جز زمان سفر، که در مسئله به‌صورت احتمالی درنظر گرفته شده است، تعداد وسایل نقلیه را نیز به‌صورت احتمالی مدنظر قرار داد و تأثیر آن را بررسی کرد.

منابع

1. Luis, E., Dolinskaya, I. S. And Smilowitz, K. R., (2012). "Disaster Relief Routing: Integrating Research and Practice", *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol. 46, No. 1, PP. 88-97.
2. Hoyos, M. C., Morales, R. S., and Akhavan Tabatabaei, R., (2015). "OR Models With Stochastic Components in Disaster Operations Management: A Literature Survey", *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 82, No. 1, PP. 183-197.
3. Https://En.Wikipedia.Org/Wiki/2003_Bam_Earthquake//.
4. Https://En.Wikipedia.Org/Wiki/2010_Haiti_Earthquake//.
5. Fiedrich, F., Gehbauer, F., and Rickers, U., (2000). "Optimized Resource Allocation for Emergency Response After Earthquake Disasters", *Safety Science*, Vol. 35, No. 1, PP. 41-57.
6. Chen, L., and Miller-Hooks, E., (2012)."Optimal Team Deployment in Urban Search And Rescue", *Transportation Research Part B: Methodological*, Vol. 46, No. 8, PP. 984-999.
7. Tofighi, S., Torabi, S. A., and Mansouri, S. A., (2016). "Humanitarian Logistics Network Design Under Mixed Uncertainty", *European Journal of Operational Research*, Vol. 250, No. 1, PP. 239-250.
8. Alem, D., Clark, A., and Moreno, A., (2016). "Stochastic Network Models for Logistics Planning in Disaster Relief", *European Journal of Operational Research*, Vol. 255, No. 1, PP. 187-206.
9. Errico, F. et al. (2016). "A Priori Optimization with Recourse for the Vehicle Routing Problem with Hard Time Windows and Stochastic Service Times", *European Journal of Operational Research*, Vol. 249, No. 1, PP. 55-66.
10. Hong, X., Lejeune, M. A., and Noyan, N., (2015). "Stochastic Network Design for Disaster Preparedness", *IIE Transactions*, Vol. 47, No. 4, PP. 329-357.
11. Rennemo, S. J. et al. (2014). "A Three-Stage Stochastic Facility Routing Model for Disaster Response Planning", *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, Vol. 62, No. 1, PP. 116-135.
12. Verma, A., and Gaukler, G. M., (2015). "Pre-Positioning Disaster Response Facilities at Safe Locations: An Evaluation of Deterministic and Stochastic Modeling Approaches", *Computers and Operations Research*, Vol. 62, No. 1, PP. 197-209.
13. Davis, L. B. et al. (2013). "Inventory Planning and Coordination in Disaster Relief Efforts", *International Journal of Production Economics*, Vol. 141, No. 2, PP. 561-573.
14. Bozorgi Amiri, A. et al. (2012). "A Modified Particle Swarm Optimization for Disaster Relief Logistics Under Uncertain Environment", *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 60, No. 1, PP. 357-371.

www.SID.ir

Archive of SID

15. Salmerón, J., and Apte, A., (2010)."Stochastic Optimization for Natural Disaster Asset Prepositioning", *Production and Operations Management*, Vol. 19, No. 5, PP. 561-574.
16. Gendreau, M., Jabali, O., and Rei, W. (2016). "50th Anniversary Invited Article—Future Research Directions in Stochastic Vehicle Routing". *Transportation Science*, Vol. *50*, No. 4, PP. 1163-1173.
17. Birge, J. R., and Louveaux, F., (2011). "Introduction to Stochastic Programming", Springer Science and Business Media.
18. Https://Www.Sintef.No/Projectweb/Top/Vrptw/Solomon-Benchmark//.

واژه‌های انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1. Disaster
2. Uncertainty
3. Mixed Possibilistic-Stochastic
4. Stochastic Vehicle Routing Problem
5. Nested Decomposition Procedure
6. Sub-Problems
7. Master Problem
8. Time Window

پی‌نوشت

1. Mixed possibilistic-stochastic
2. Alem
3. Errico
4. Recourse function
5. Hong
6. . Rennemo
7. Verma and Gaukler
8. Stochastic vehicle routing problem.
9. Nested Decomposition Procedure
10. Sub-problems
11. Master problem
12. Time window

www.SID.ir