شناسه: ۲۲۰۹

مدل سازی و حل مسئله ی توسعه یافته ی حمل و نقل با کاربرد در مواقع بحران

رضا اشتهادی، مجید سالاری، سمیه الهیاری، مجتبی طالبیان شریف

گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، reza_eshtehadi@yahoo.com

گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، salarimajid@yahoo.com

بحران‌های طبیعی به علت گستردگی حوزه‌ی اثر و ناگهانی بودن، شرایطی ایجاد می‌کنند که فرآیند تصمیم‌گیری و مدیریت بحران را برای مدیران دشوار می‌سازند. در چنین مواقعی معمولاً به علت اتخاذ تصمیمات شتاب‌زده، بخش قابل توجهی از منابع سازمانی و ملّی به صورتی ناکارآمد به هدر رفته؛ اثربخشی و کارایی خدماتِ ارائه شده به شکل محسوسی کاهش می یابد. از این رو بهره‌گیری از روش‌هایی که توانایی ارائه‌ی راهکارهای بهینه در موضوعاتی مانند امدادرسانی به آسیب‌دیدگان و به طور خاص حمل و نقل کالاهای امدادی را داشته باشند، اهمیت ویژه‌ای دارند.

مسئله‌ی ارائه شده در این مقاله به بیان مدلی با رویکرد سیاست بهینه برای امدادرسانی و با هدف حداکثرسازی ارزشِ تقاضای تحویل داده شده به آسیب‌دیدگان می‌پردازد. در این مسئله به دلیل کمبودِ منابع، بلافاصله پس از وقوع حادثه، تقاضای نقاط را برای هر کالا، متشکل از دو سطحِ نیازِ حیاتی (حداقل نیاز هر نقطه) و عادی در نظر گرفتیم؛ به طوری که اولویت با بخش حیاتی است.از جمله فرضیاتِ کاربردی این مسئله عدم امکانِ امدادرسانی مستقیم به برخی از نقاط به علت در دسترس نبودن راه‌های ارتباطی می‌باشد؛ لذا تعدادی از نقاط با تحت پوشش قرار گرفتن توسط نقاط ملاقات-شده، خدمت خود را دریافت می کنند. این مسئله علاوه بر دارا بودن محدودیت‌هایی چون ظرفیت انبارها و وسایل‌نقلیه، محدودیتی مهم را در بر دارد تا حداکثر زمان تحویل کالا به هر یک از نقاط ملاقات‌شده یا تحت پوشش قرار گرفته از حد معینی بیشتر نشود. در نهایت این مدل بر روی مجموعه‌ای از داده‌های تصادفی با روش دقیق اجرا شده است.

واژگان کلیدی: مسیریابی وسایل نقلیه‌ی ظرفیت‌دار، مدیریت بحران، پوشش تدریجی، زمان خدمت دهی.

مدل‌سازی و حل مسئله‌ی توسعه یافته‌ی حمل و نقل با کاربرد در مواقع بحران

رضا اشتهادی [۱،*]، مجید سالاری [۲]، سمیه الهیاری، مجتبی طالبیان شریف

مشهد، میدان آزادی، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی صنایع، reza_eshtehadi@yahoo.com

مشهد، میدان آزادی، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه مهندسی صنایع، تلفن: ۰۵۱۱۸۸۰۵۱۱۳ ، salarimajid@yahoo.com

چکیده

بحران‌های طبیعی به علت گستردگی حوزه‌ی اثر و ناگهانی بودن شرایطی ایجاد می‌کنند که فرآیند تصمیم‌گیری را برای مدیران دشوار می‌سازند. در چنین مواقعی معمولاً به علت اتخاذ تصمیمات شتاب‌زده بخش قابل توجهی از منابع سازمانی و ملّی به صورتی ناکارآمد به هدر رفته و اثربخشی و کارایی خدمات ارائه شده به شکل محسوسی کاهش می‌یابد. از این رو بهره‌گیری از روش‌هایی که توانایی ارائه‌ی راهکارهای بهینه در موضوعاتی مانند امدادرسانی به آسیب دیدگان و به طور خاص حمل و نقل کالاهای امدادی را داشته باشند، اهمیت ویژه‌ای دارند.

مسئله‌ی ارائه شده در این مقاله به بیان مدلی با رویکرد سیاست بهینه برای امداد رسانی و با هدف حداکثرسازی ارزش تقاضای تحویل داده شده به مشتری می‌پردازد. در این مسئله فرض شده است که برخی از نقاط به علت در دسترس نبودن راه‌های ارتباطی امکان امدادرسانی نخواهند داشت. سایر نقاط آسیب‌دیده نیز یا به طور مستقیم ملاقات می‌شوند و یا با تحت پوشش قرار گرفتن توسط نقاط ملاقات‌شده، خدمت خود را دریافت می‌کنند. این مسئله علاوه بر دارا بودن محدودیت‌هایی چون ظرفیت انبارها و وسایل نقلیه، محدودیتی مهم را در بر دارد تا حداکثر زمان تحویل کالا به هر یک از نقاط ملاقات شده یا تحت پوشش قرار گرفته از حد معینی بیشتر نشود. در نهایت این مدل بر روی مجموعه‌ای از داده-های تصادفی با روش دقیق اجرا شده است.

واژه‌های کلیدی: مسیریابی وسایل نقلیه‌ی ظرفیت‌دار، مدیریت بحران، پوشش تدریجی، زمان خدمت دهی.

۱- مقدمه

بروز بحران‌های طبیعی (زلزله، سیل، طوفان و...) و غیر طبیعی (جنگ، حوادث تروریستی و صنعتی، تصادفات جاده‌ای و ...) آثار زیان‌بار قابل توجهی بر سرنوشت جوامع و سازمان‌ها داشته و منجر به بروز آسیب‌ها و تهدیدات گوناگونی در حوزه‌های مختلف سازمانی، ملی و فراملی می‌شود. مدیریت موثر بحران و استفاده بهینه از منابع برای بقاء و حفظ امنیت مجموعه‌ی سازمان‌ها و جوامع امری حیاتی است. مدیریت بحران شامل ۴ مرحله است که در طول چرخه عمر سانحه اتفاق می‌افتد (پیش-گیری، آمادگی، پاسخ، بهبود).

---

۱ و *- نویسنده مسئول: دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی صنایع- صنایع

۲- استادیار گروه مهندسی صنایع دانشگاه فردوسی مشهد- دکتری تحقیق در عملیات

- *پیش‌گیری*[1]: مجموعه اقداماتی است که پیش از وقوع حادثه با هدف جلوگیری از وقوع مخاطرات یا کاهش آثار زیان‌بار آن انجام می‌شود.

- *آمادگی*[2]: مجموعه اقداماتی است که توانایی جامعه، دولت و مردم را در انجام مراحل مختلف مدیریت حادثه افزایش می‌دهد.

- *پاسخ*[3]: شامل ارائه خدمات اضطراری به دنبال وقوع حادثه با هدف حفاظت از منابع مختلف جامعه یا سازمان برای جلوگیری از گسترش خسارات مالی و انسانی حادثه است.

- *بازسازی*[4]: شامل بازگرداندن شرایط یک جامعه یا سازمان آسیب‌دیده پس از حادثه به شرایط عادی یا در نظر گرفتن ویژگی‌های سازمان موفق و کلیه ضوابط ایمنی می‌باشد.

در اهمیت مدیریت بحران برای جوامع و سازمان‌ها می‌توان گفت که سالیانه به طور میانگین حدود ۵۰۰ سانحه‌ی طبیعی و غیر طبیعی رخ می‌دهد که باعث مرگ ۷۵۰۰۰ نفر می‌شود و بر بیش از ۲۰۰ میلیون نفر اثر می‌گذارد [1]، به طوری که تنها در سال ۲۰۰۸، ۲۴۰۵۰۰ نفر، جان باختند [2].

مدیریت زنجیره تأمین و به طور خاص لجستیک، مهم‌ترین نقش را در عملیات بشردوستانه ایفا می‌کند [3]. با این حال، برنامه‌ریزی سیستماتیک لجستیک در حوزه‌ی بحران معمولاً نادیده گرفته می‌شود. به عنوان مثال می‌توان به زلزله‌ی «هائیتی» در سال ۲۰۱۰ اشاره نمود که در نتیجه‌ی فقدان کارشناس برنامه‌ریزی، فعالیت‌های امدادی به تأخیر افتاد و بسیاری از کمک‌ها تحویل داده نشد [4].

لجستیک بحران، کلیه فرایندهای برآورد، تأمین، حمل و نقل، نگهداری و توزیع کالاها، تجهیزات و خدمات مورد نیاز آسیب‌دیدگان و تیم‌های امدادگر و مجروحین را در بر می‌گیرد. بنابراین با برخورداری عملیات لجستیکی از یک سیستم منسجم و علمی می‌توان تا حدود زیادی به موفقیت در مدیریت کارا و اثربخش بحران امیدوار بود.

یک جزء بحرانی و چالش برانگیز در هنگام وقوع بحران، توزیع خدمات و کالاهای امدادی در کمترین زمان ممکن به حادثه دیدگان است. با توجه به اهمیت بالای توزیع کالاها حیاتی امدادی به حادثه دیدگان، ما در این مقاله، بر مهم‌ترین جنبه‌ی فاز پاسخ (یعنی لجستیک بحران) تمرکز کرده و با توجه به اینکه غالباً مسائل لجستیک به صورت انواعی از «مسئله‌ی مسیریابی وسایل نقلیه[5] (VRP)» مدل‌سازی می‌شوند، به ارائه‌ی مدل جدیدی از مسئله‌ی مسیریابی وسایل نقلیه‌ی امدادی و نحوه‌ی امدادرسانی به حادثه دیدگان پس از وقوع بحران می‌پردازیم.

به طور کلی VRP به دنبال مسیریابی برخی از وسایل نقلیه (که در انبارها قرار گرفته‌اند)، برای ارسال کالاها و خدمات تحت قیودی مشخص (مانند ظرفیت انبارها یا وسایل نقلیه و محدودیت طول مسیرها)، با هدف کمینه کردن هزینه‌ها (همچون هزینه‌های مسیریابی، هزینه‌های ثابت و متغیر وسایل نقلیه)، زمان خدمت‌رسانی و مجموع تقاضاهای از دست رفته است.

همان‌طور که اشاره گردید VRP یکی از مسائل شناخته شده در حوزه تحقیق در عملیات و پرکاربرد در حوزه‌ی فاز پاسخ در مدیریت بحران بوده و تاکنون مقالات و کتب بسیاری وقف مسئله‌ی VRP شده‌اند. از آن جمله می‌توان به کتاب [5] و مقاله‌ی مروری جامع [6] که اخیراً به این مسئله پرداخته است اشاره نمود.

مسائل VRP در سال‌های اخیر پیچیده‌تر شده و برای کاربردهای دنیای واقعی طراحی شده‌اند. در این بین می‌توان به کاربرد مدل‌های پیچیده‌تر مسیریابی در شرایط اورژانسی اشاره نمود.

---

[1] Mitigation
[2] Preparedness
[3] Response
[4] Recovery
[5] Vehicle Routing Problem

از سال ۱۹۸۰ فعالیت در حوزه‌ی امور غیر منتظره و اضطراری با ارائه‌ی مدل مسیریابی در حوزه‌ی بحران توسط مرجع [7]، شروع شد. مرجع [8] به مرور تحقیقات OR/MS در حوزه‌ی عملیات بحران پرداخته است. برای آگاهی بیشتر از کارهای انجام‌شده در حوزه لجستیک بحران به یک مقاله‌ی مروری موجود [9] مراجعه شود.

نوآوری این مقاله برای در نظر گرفتن شرایط واقعی در هنگام بحران، در ترکیب «مسئله‌ی مسیریابی وسایل نقلیه با مسیرهای باز[1] (OVRP)» با «مسئله‌ی پوشش فروشنده‌ی دوره‌گرد[2] (CSP)» و «مسئله‌ی تور پوشش‌دهنده[3] (CTP)» می‌باشد؛ به طوری که با هدف بیشینه کردن ارزش تقاضای تأمین شده، کاربردهای بالقوه‌ای در زمینه‌ی مدیریت بحران (فاز پاسخ) دارد.

OVRP نیز نوعی از مدل کلاسیک VRP است که بجای یافتن دورهای همیلتونی، به دنبال یافتن مسیرهای همیلتونی است؛ بدین معنی که پس از ملاقات کردن آخرین مشتری توسط وسیله‌ی نقلیه، نیازی به برگشتن آن وسیله به انبار نیست.

در CSP به دنبال تعیین حداقل هزینه‌ی مسیر بر روی یک زیر مجموعه از نقاط هستیم به طوری که هر نقطه‌ای که توسط وسیله‌ی نقلیه ملاقات نمی‌شود، در فاصله‌ی پوششی از پیش تعیین شده از یک نقطه‌ی موجود روی مسیر، قرار گیرد.

در CTP نقاط تقاضا دو دسته‌اند: نقاطی که باید ملاقات شوند و نقاطی که باید توسط نقاط ملاقات شده درون فاصله‌ی مشخصی پوشش داده شوند؛ در این مسئله به دنبال توری (مسیری بسته از نقاط) با طول کمینه هستیم.

در ادامه به برخی کارهای قبلی منتشر شده در زمینه‌ی این مسائل اشاره می‌کنیم.

مرجع [10] به ارائه‌ی یک مدل جایابی- توزیع اقلام امدادی طی فاز پاسخ بحران می‌پردازد. این مرجع با هدف کمینه کردن تقاضا های برآورد نشده مسئله را به صورت چند دوره‌ای، چند کالایی با تقاضاهای تحویل دادنی[4] و تحویل گرفتنی[5] به جایابی مراکز توزیع موقت و تعیین مسیرهای وسایل نقلیه می‌پردازد.

CTP برای اولین بار توسط [11] معرفی شد و از کاربردهای آن در زمینه‌ی بحران می‌توان به مرجع [12] اشاره نمود. در این مرجع به مکان‌یابی مراکز توزیع ماهواره‌ای (SDCs) برای ارسال کالاهای امدادی به مصدومین و افراد تحت تأثیر سانحه می‌پردازد. از آنجایی که برای تیم‌های امدادی امکان بازدید از مکان‌های سکونت همه‌ی مصدومین میسر نمی‌باشد، این مسئله به صورت CTP فرموله شده است.

CSP برای اولین بار توسط [13] معرفی و مدل‌سازی شد و برای حل آن روشی ابتکاری با سه گام ارائه گردید. برای آگاهی از برخی مقالات در این زمینه به مرجع [14] مراجعه کنید.

با توجه به آگاهی نویسندگان این مقاله، مدلی که مسائل مرتبط مذکور را به گونه‌ای کاربردی ترکیب و یکپارچه کند، وجود ندارد. ما در این مقاله به دنبال توسعه‌ی چنین مدلی هستیم.

باقیمانده‌ی این مقاله به صورت زیر سازماندهی می‌شود: در بخش ۲، به معرفی و مدل‌سازی مسئله می‌پردازیم. در بخش ۳، ابتدا نحوه‌ی تولید داده را بیان کرده و سپس نتایج محاسباتی را ارائه می‌کنیم. در نهایت بخش ۴، به نتیجه‌گیری و جمع‌بندی می‌پردازد.

۲- معرفی و مدل‌سازی

در این قسمت ابتدا به معرفی مسئله پرداخته و سپس برای حل دقیق آن به مدل‌سازی برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح و حل آن با CPLEX 12.3 Solver می‌پردازیم.

---

[1] Open Vehicle Routing Problem
[2] Covering Salesman Problem
[3] Covering Tour Problem
[4] Delivery
[5] Pickup

۲-۱- معرفی

توزیع کالاهای امدادی (مانند آب، غذا، دارو و نیازهای حیاتی)، بلافاصله پس از وقوع بحران آغاز می‌شود. این کالاها در انبارهایی با مکان و موجودی مشخص برای هر کالای امدادی قرار دارد.

برای واقعی در نظر گرفتن شرایط، برای هر نقطه‌ی تقاضا (شامل دسته[1]ای از افراد حادثه دیده می‌باشد)، تقاضای هر کالا را متشکل از دو سطح حیاتی و عادی با ضرایب مشخص اهمیت، در نظر گرفتیم؛ به طوری که بخش حیاتی حداقل نیاز هر نقطه‌ی تقاضا به هر کالای امدادی می‌باشد. در هر انبار تعدادی وسیله‌ی نقلیه با ظرفیت معین موجود بوده که با شروع از انبارها کالاهای امدادی را اعم از بخش حیاتی و عادی (اولویت با بخش حیاتی است)، به نقاط حادثه دیده می‌فرستند.

از آنجایی که تنها ارسال کالاها به نقاط تقاضا در زمان تعریف شده مهم است، لذا از زمان برگشت وسایل نقلیه به انبارها صرف نظر می‌کنیم و مسئله را به صورت نوعی تعمیم‌یافته از OVRP فرموله می‌کنیم.

از آنجایی که در عمل امکان امدادرسانی مستقیم، به یکایک نقاط تقاضا وجود ندارد؛ در این مسئله، فرض کاربردی جدیدی در نظر گرفتیم که به دو طریق تقاضای نقاط تأمین می‌شود: ۱- ملاقات ۲- پوشش. در حالت اول، تعدادی از نقاط تقاضا توسط وسایل نقلیه‌ی امدادی به طور مستقیم ملاقات می‌شوند، برخی از آن‌ها تنها تقاضای خود را پاسخ می‌دهند و برخی دیگر به عنوان یک مرکز توزیع موقت عمل کرده و علاوه بر تقاضای خود، تقاضای برخی نقاط دیگر را که ملاقات نشده و در فاصله‌ی پوشش آن مرکز توزیع قرار گرفته‌اند، می‌پوشانند. در حالت دوم نیز، نقاط تقاضا توسط برخی از نقاطِ ملاقات شده (با سفر به طور پیاده به نقاط ملاقات شده) پوشانده می‌شوند؛ لذا مسئله را به صورت نوعی تعمیم‌یافته از CSP فرموله می‌کنیم.

به منظور در نظر گرفتن شرایط بحرانی آسیب‌دیدگان فرضی جدید را با هدف کمینه کردن میزان مسافتی که نقاط تقاضا به طور پیاده طی می‌کنند، در نظر گرفتیم؛ بدین منظور تابع ارزشی به صورت تدریجی لحاظ کردیم؛ به طوری که با افزایش زمان سفر نقاط تقاضا به مراکز توزیع موقت، تصمیم گیرنده ارزش کمتری را برای تأمین نیازمندی آن‌ها قائل می‌شود.

با در نظر گرفتن محدودیت‌های موجود در دنیای واقعی (به عنوان مثال تخریب راه‌های ارتباطی به یک نقطه‌ی تقاضا که در نتیجه، آن نقطه قابلیت ملاقات شدن، توسط وسیله‌ی نقلیه به طور مستقیم را نداشته و فقط می‌تواند پوشش یابد)، نقاط تقاضا به دو دسته تقسیم شده‌اند: ۱- نقاطی که باید ملاقات شوند، ۲- نقاطی که می‌توانند ملاقات شوند، ۳- نقاطی که می‌توانند پوشش داده شوند؛ لذا مسئله را به صورت شکلی از CTP فرموله می‌کنیم.

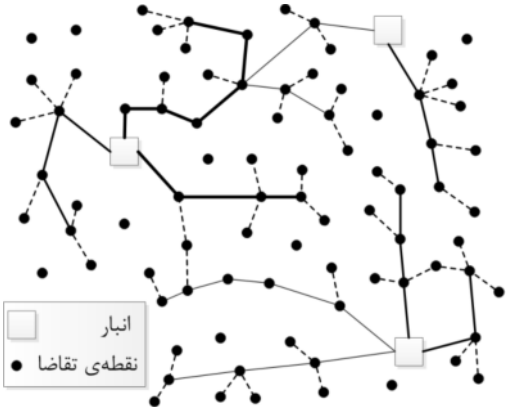
برای واقعی‌تر شدن این مسئله، به دلیل ضرورت انتقال بخش حیاتی کالای امدادی، در یک زمان مشخص فرض جدیدی را در نظر گرفتیم، به طوری که تمامی تقاضاهای پاسخ داده شده (چه ملاقات شود و چه تحت پوشش قرار گیرد) حداکثر باید در زمان مشخصی تأمین شود. زمان تخلیه‌ی کالا در نقاط ملاقات شده را نیز در مسئله لحاظ کردیم.

هدف مسئله‌ی ما، تعیین مسیرهای وسایل نقلیه با هدف بیشینه کردن میزان ارزش تقاضای کالاهای امدادی تأمین شده، تحت قیود مذکور می‌باشد.

به عنوان مثال، شکل ۱، شبکه‌ای شامل ۳ انبار، ۸۴ نقطه تقاضا و ۹ وسیله‌ی نقلیه را نشان می‌دهد که ۳۰ نقطه از آن‌ها بر روی مسیر قرار دارند و ۲۵ تا از آن‌ها به عنوان مرکز توزیع موقت، برخی از نقاط مجاور خود را می‌پوشانند. به تقاضای ۱۰ نقطه نیز پاسخ داده نشده است.

حال شبکه‌ی $G = (N, A)$ را به صورت یک گراف کامل جهت‌دار در نظر بگیرید، به طوری که $N = N_{C1} \cup N_{C2} \cup N_D$، که در آن مجموعه‌ی N_{C1}، از گره‌هایی ساخته شده است که می‌توانند ملاقات شوند یعنی یا ملاقات می‌شوند یا پوشش داده می‌شوند و یا به تقاضای آن‌ها پاسخ داده نمی‌شود. این مجموعه شامل گره‌هایی می‌شود که باید ملاقات شوند $(T \in N_{C1})$. N_{C2} مجموعه‌ی گره‌هایی است که می‌توانند ملاقات شوند، یعنی یا پوشش داده می‌شوند یا به تقاضای آن‌ها پاسخ داده نمی‌شود. N_D مجموعه‌ی انبارها می‌باشد. مجموعه‌ی یال‌ها $A = \{(i,j) | i,j \in N\}$ می‌باشد.

[1] Cluster



شکل ۱- مثالی از شبکه‌ی مورد بررسی

دو ماتریس زمان سفر $C = (c_{ij})$ و $C' = (c'_{ij})$، روی A تعریف شده است، که در آن C، زمان سفر در مسیرهایی است که توسط وسیله‌ی نقلیه طی می‌شوند و C'، زمان سفری است که نقاط تقاضا برای تأمین تقاضای خود تا مرکز توزیع مجاورشان در حرکتند و طبیعتاً هزینه‌ای بیشتر از اولی را برای پوشش تقاضای خود متحمل می‌شوند.

همان‌طور که ذکر گردید لازم است که برای تأمین نیاز نقطه‌ی تقاضای i توسط مرکز توزیع j باید نقطه‌ی i در فاصله‌ی پوشش از پیش تعیین شده‌ای نسبت به مرکز j قرار داشته باشد؛ در این صورت پارامتر a_{ij}، مقدار یک و در غیر این صورت صفر می‌گیرد.

مقدار نیاز نقطه‌ی تقاضای $i \in N_{C1} \cup N_{C2}$ به سطح حیاتی کالای امدادی نوع n با ضریب اهمیت α_n، مقدار d_{1i}^n است و نیز مقدار نیاز نقطه‌ی تقاضای $i \in N_{C1} \cup N_{C2}$ به سطح عادی کالای امدادی نوع n با ضریب اهمیت β_n، مقدار d_{2i}^n می‌باشد. زمانی به نیاز عادی از یک کالای هر نقطه‌ی تقاضا پاسخ داده می‌شود که سطح حیاتی آن کالا برای آن نقطه تأمین شده باشد.

از نقطه نظر استراتژیک تعداد کل وسایل نقلیه محدود بوده و به تعداد p می‌باشد و هر کدام از این وسایل با موجودی مشخص IV_{pk}^n برای هر کالا متعلق به یک انبار مشخص $k \in N_D$ با موجودی ID_k^n برای هر کالا است.

تابع ارزش (۱) به صورت تدریجی برای نقاط تقاضایی که نیاز آن‌ها با پوشش تأمین می‌شود، تعریف شده است؛ به طوری که از یک فاصله‌ی کمینه $(r_{min}(i))$ تا یک فاصله‌ی بیشینه‌ی مشخص $(r_{max}(i))$، برای هر نقطه، ارزش پوشش به طور خطی بر حسب فاصله کاهش می‌یابد و پس از این فاصله‌ی بیشینه، ارزش پوشش، صفر می‌شود.

$$b_{ij} = \begin{cases} 1; (i,j)\text{فاصله} \le r_{min}(i) \\ \frac{r_{max}(i) - distance(i,j)}{r_{max}(i) - r_{min}(i)}; r_{min}(i) \le (i,j)\text{فاصله} \le r_{max}(i) \\ 0; r_{max}(i) \le (i,j)\text{فاصله} \end{cases} \quad (۱)$$

مسئله، تعیین مسیرهای باز وسایل نقلیه با هدف تأمین نیاز نقاط تقاضا به دو صورت ملاقات یا پوشش، تحت شرایط زیر است به طوری که مجموع ارزش تقاضای کالاهای امدادی تأمین شده، بیشینه شود.

- هر وسیله‌ی نقلیه باید حداکثر به یک مسیر تخصیص یابد.
- وسیله‌ی نقلیه‌ی مربوط به هر انبار از آن انبار شروع به حرکت کرده، تعدادی از نقاط تقاضا را ملاقات می‌کند و دیگر به آن بر نمی‌گردد.

- برای تأمین نیاز سطح عادی هر نقطه‌ی تقاضا، باید ابتدا کل نیاز سطح حیاتی آن برآورده شود.
- تقاضای هر مشتری تنها توسط یک وسیله‌ی نقلیه برآورده می‌شود.
- بخشی از نقاط مستقیماً توسط وسایل نقلیه ملاقات شده؛ بخشی دیگر از نقاط باقیمانده نیز توسط مراکز توزیع موقت پوشش داده می‌شوند و نیاز باقیمانده‌ی نقاط تأمین نمی‌شود.
- در هر مسیر، مجموع مقادیر تقاضاهای تحویل دادنی به نقاط تقاضای ملاقات شده روی آن مسیر و نیز نقاط تقاضای پوشش داده شده توسط نقاط ملاقات شده‌ی (یا همان مراکز توزیع موقت) روی همان مسیر، نباید از ظرفیت وسیله-ی نقلیه‌ای که آن مسیر را طی می‌کند، تجاوز کند.
- کلیه‌ی تقاضاهای تخصیص داده شده به هر انبار در تمامی مسیرهای متعلق به آن نباید از ظرفیت آن انبار تجاوز کند.

۲-۲- مدل‌سازی

مدل‌های VRP با توجه به تاریخچه بر اساس تعداد محدودیت‌ها به دو دسته‌ی ۱) مدل‌های با اندازه‌ی نمایی[1] و ۲) مدل‌های با اندازه‌ی چند جمله‌ای[2]، تقسیم‌بندی می‌شوند؛ به طوری که در اولی تعداد قیود بر اساس تعداد گره‌های گراف، رشد نمایی و در دومی رشد چند جمله‌ای دارد.

با توجه به دانش ما از تاریخچه‌ی مسئله‌ی VRP، مدل‌های ارائه شده برای این مسئله را می‌توان بر اساس تعریف متغیرهای دیگر (Additional Variable) به دو دسته‌ی ۱) گره محور[3] و ۲) جریان محور[4]، تقسیم‌بندی نمود به طوری که در اولی متغیرهای اضافی روی گره‌های گراف و در دومی بر روی یال‌های گراف تعریف می‌شوند [15].

در ادامه یک مدل با اندازه‌ی چند جمله‌ای برای این مسئله در ارائه نموده‌ایم. محدودیت‌های حذف زیر تور با توجه به مراجع [15,16] توسعه یافته‌اند. قبل از ارائه‌ی مدل برنامه‌ریزی خطی، متغیرهای تصمیم را معرفی می‌کنیم.

قبل از ارائه‌ی مدل برنامه‌ریزی خطی، متغیرهای تصمیم را معرفی می‌کنیم.

متغیرهای تصمیم:

x_{ijP_k}: اگر وسیله‌ی نقلیه P که متعلق به انبار k است مستقیماً از نقطه $i \in N$ به نقطه $j \in N$ برود، این متغیر مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

$w^n_{ijp_k}$: اگر تقاضای عادی کالای nام نقطه‌ی تقاضای i با وسیله نقلیه‌ی P که متعلق به دپوی k است و توسط مرکز توزیع j (که ملاقات شده است)، برآورده شود، این متغیر مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

$w'^n_{ijp_k}$: اگر تقاضای عادی کالای nام نقطه‌ی تقاضای i با وسیله نقلیه‌ی P که متعلق به دپوی k است و توسط مرکز توزیع j (که ملاقات شده است)، برآورده شود، این متغیر مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

u_{ijP_k}: مقدار تقاضایی که به نقاط تقاضای بعد از نقطه i، $i \in N$ (چه نقاط روی مسیر که بعد از i هستند، چه نقاطی که توسط نقاطِ بعد از نقطه‌ی i پوشش داده می‌شوند)، توسط وسیله نقلیه‌ی P که متعلق به دپوی k است، از طریق یال (i,j) ارسال می‌شود.

در ادامه پس از ارائه‌ی مدل پیشنهادی به توضیحات قیود پرداخته می‌شود.

$$max\ z = \sum_{i\in N_C}\sum_{j\in N_C}\sum_{P_k}\sum_{n} b_{ij}\left(\alpha_n d^n_{1i} w^n_{ijp_k} + \beta_n d^n_{2i} w'^n_{ijp_k}\right) \quad (۲)$$

$$\sum_{p_k}\sum_{j\in N_{c1}\cup N_D} x_{ijp_k} = 1 \quad \forall i \in T \quad (۳)$$

[1] Exponential-size formulation
[2] Polynomial-size formulation
[3] Node-based
[4] Flow-based

$$\sum_{j\in N_{c1}\cup N_D} x_{ijp_k} = \sum_{j\in N_{C1}\cup N_D} x_{jip_k}\ \forall i \in N_{c1}\cup N_D, \forall P_k \quad (۴)$$

$$\sum_{P_k}\sum_{\substack{j\in N_{c1}\\ j\in X_i}} w^n_{ijp_k} \le 1 \quad \forall i \in N_{c1}\cup N_{c2}, \forall n \quad (۵)$$

$$\sum_{P_k}\sum_{\substack{j\in N_{c1}\\ j\in X_i}} w'^n_{ijp_k} \le 1 \quad \forall i \in N_{c1}\cup N_{c2}, \forall n \quad (۶)$$

$$\sum_{\substack{l\in N_{c1}\cup N_D,\\ l\neq i}} a_{ij}x_{ljp_k} \ge w^n_{ijp_k}\ \forall i \in N_{c1}\cup N_{c2}, \forall j \in \quad N_{c1}, j\in X_i, \forall P_k, \forall n \quad (۷)$$

$$\sum_{\substack{l\in N_{c1}\cup N_D,\\ l\neq i}} a_{ij}x_{ljp_k} \ge w'^n_{ijp_k}\ \forall i \in N_{c1}\cup N_{c2}, \forall j \in \quad N_{c1}, j\in X_i, \forall P_k, \forall n \quad (۸)$$

$$\sum_{j\in N_{c1}\cup N_D} x_{ijp_k} \le 1 \quad \forall i \in N_{c1}\cup N_D, \forall P_k \quad (۹)$$

$$\sum_{j\in N_{c1}\cup N_D} x_{ijp_k} \le \sum_n w^n_{iip_k} \quad \forall i \in N_{c1}, \forall P_k \quad (۱۰)$$

$$\sum_{j\in N_{c1}\cup N_D} x_{ijp_k} \le \sum_n w'^n_{iip_k} \quad \forall i \in N_{c1}, \forall P_k \quad (۱۱)$$

$$w'^n_{ijp_k} \le w^n_{ijp_k} \quad \forall i \in N_{c1}\cup N_{c2}, \forall j \in N_{c1}, j\in X_i, \forall P_k \quad (۱۲)$$

$$\sum_P \sum_{i\in N_{c1}\cup N_{c2}} \sum_{j\in N_{c1}} \left(d^n_{1i}w^n_{ijp_k} + d^n_{2i}w'^n_{ijp_k}\right) \le ID^n_k \forall k \in N_D, \forall n \quad (۱۳)$$

$$\sum_{i\in N_{c1}\cup N_D} \sum_{\substack{m\in N_D\\ m\neq k}} x_{imP_k} = 0 \quad \forall P_k \quad (۱۴)$$

$$\sum_{j\in N_{c1}\cup N_D} u_{jip_k} - \sum_{j\in N_{c1}\cup N_D} u_{ijp_k} = \sum_{j\in N_{c1}\cup N_{c2}} \sum_n \left(d^n_{1j}w^n_{jip_k} + d^n_{2j}w'^n_{jip_k}\right)\ \forall i \in N_{c1}, \forall P_k \quad (۱۵)$$

$$\sum_{j\in N_{c1}} u_{kjp_k} = \sum_{i\in N_{c1}\cup N_{c2}} \sum_{j\in N_{c1}} \sum_n \left(d^n_{1i}w^n_{ijp_k} + \quad d^n_{2i}w'^n_{ijp_k}\right) \forall P_k \quad (۱۶)$$

$$\sum_{i\in N_{c1}} u_{ikp_k} = 0 \forall P_k \quad (۱۷)$$

$$u_{ijp_k} \le \sum_n (IV^n_{p_k} - d^n_{1i} - d^n_{2i})\, x_{ijp_k} \quad \forall i \in N_{c1}\cup \quad N_D, \forall j \in N_{C1}\cup N_D, \forall P_k \quad (۱۸)$$

$$\sum_n \left(d^n_{1j} + d^n_{2j}\right) x_{ijp_k} \le u_{ijp_k} \forall i \in N_{c1}\cup N_D, \forall j \in \quad N_{c1}, \forall P_k \quad (۱۹)$$

$$\sum_{i\in N} \sum_{j\in N_{c1}} c_{ij}x_{ijp_k} \le D \ \forall P_k \quad (۲۰)$$

$$w^n_{ijp_k} \in \{0,1\} \quad \forall i \in N_{c1}\cup N_{c2}, \forall j \in N_{c1}, \forall P_k, \forall n \quad (۲۱)$$

$$w'^n_{ijp_k} \in \{0,1\} \quad \forall i \in N_{c1}\cup N_{c2}, \forall j \in N_{c1}, \forall P_k, \forall n \quad (۲۲)$$

$$x_{ijP_k} \in \{0,1\} \forall i,j \in N_{c1}\cup N_D, \forall P_k \quad (۲۳)$$

تابع هدف (۲) مجموع ارزش تقاضای کالاهای امدادی تأمین شده را بیشینه می‌نماید. رابطه‌ی (۳) نشان می‌دهد که هر نقطه‌ی تقاضای $i \in T$ باید توسط وسیله‌ی نقلیه ملاقات شود. رابطه‌ی (۴) تعداد یال‌های ورودی به هر نقطه‌ی $i \in N_{c1}\cup N_D$، باید با تعداد خروجی‌های آن برابر باشد. روابط (۵) و (۶) روابط (۷) و (۸) تضمین می‌کند که اگر $i \in N_{c1}\cup N_{c2}$ بخواهد توسط $j \in N_{c1}$ که مستقیماً با وسیله‌ی نقلیه ملاقات می‌شود، پوشش داده شود باید حتماً در شعاع پوشش j قرار داشته باشد. محدودیت (۹) بیان می‌کند که از هر نقطه‌ی تقاضای $i \in N_{c1}\cup N_D$ در هر مسیر حداکثر یک یال خروجی موجود می‌باشد. محدودیت (۱۰) و (۱۱) نشان می‌دهد که اگر $i \in N_{c1}$ بخواهد ملاقات شود، باید تقاضای خودش به خودش تخصیص یابد.

محدودیت‌های (۱۲) تضمین می‌کنند که زمانی به نیاز عادی از یک کالای هر نقطه‌ی تقاضا پاسخ داده شود که سطح حیاتی آن کالا برای آن نقطه تأمین شده باشد. محدودیت (۱۳) تضمین می‌کند که کل بار تحویل‌دادنی از هر انبار برای هر کالا از موجودی آن کالا در آن انبار افزایش نیابد. محدودیت (۱۴) نشان می‌دهد که هر وسیله‌ی نقلیه باید به انباری که از آن آمده برگردد.

محدودیت (۱۵)، قید توازن جریان است و برای حذف زیرتورها نیز بکار می‌رود. محدودیت (۱۶) تضمین می‌کند که کل بار ارسالی هر وسیله‌ی نقلیه (در هر مسیر) نباید از تقاضاهای تخصیص‌یافته به آن وسیله (به نقاط تقاضای ملاقات شده روی آن مسیر و نیز نقاط تقاضای پوشش داده شده توسط برخی نقاط ملاقات شده‌ی روی همان مسیر) نباید از ظرفیت آن وسیله‌ی نقلیه تجاوز کند. محدودیت (۱۷) ضمانت می‌کند که هیچ تقاضای تحویل‌دادنی‌ای نباید به هر انبار تحویل داده شود. محدودیت

های (۱۸) و (۱۹) نیز حدود متغیرهای جریان می‌باشند. محدودیت (۲۰) قید طول مسیر می‌باشد. قیود (۲۱-۲۳) نیز قیود صفر و یک هستند.

۵- نتایج محاسباتی

به منظور ارزیابی مدل تعداد ۴۸ داده در قالب چهار اندازه‌ی ۱۰، ۱۵، ۲۰ و ۲۵ تایی با در نظر گرفتن پارامترهای مختلفی برای ظرفیت وسایل و محدودیت مسیر و همچنین مختصات تصادفی نقاط تولید شده‌اند. مسئله به صورت دقیق به کمک CPLEX 12.3 Solver بدون تغییر تنظیمات پیش‌فرض با محدودیت زمانی دو ساعت حل شده است. سیستم مورد استفاده دارای پردازنده‌ای با قدرت 2.93GHz و حافظه‌ی 3.21GB بوده است. جدول (۱) خلاصه‌ای از نتایج را ارایه می‌دهد. علی‌رغم قابلیت بسیار خوب مدل در حل مسایلی با ابعاد کوچک و متوسط، امکان حل مسایلی با ابعاد بزرگ (۳۰ نقطه و بیشتر) برای نرم‌افزار وجود نداشت.

جدول (۱): خلاصه‌ی نتایج حل به روش دقیق

ابعاد داده‌ی ورودی	تعداد نقاط تقاضا	شماره‌ی نمونه	فاصله تا بهینگی	بهترین کران بالا	زمان حل (ثانیه)
کوچک	۱۰	۱	٪۰.۰۰	۷۳۳/۹۲	۰/۵۴
		۲	٪۰.۰۰	۸۰۹	۰/۵۲
		۳	٪۰.۰۰	۸۰۲/۷۰	۰/۲۹
	۱۵	۱	٪۰.۰۰	۱۳۱۳/۲۱	۹۸/۶۲
		۲	٪۰.۰۰	۱۲۱۲	۸۳/۱۷
		۳	٪۰.۰۰	۱۱۸۸	۲/۸۸
متوسط	۲۰	۱	٪۰.۰۰	۱۸۴۶	۲۹۹/۲۲
		۲	٪۰.۶۰	۱۶۸۳/۷۹	۳۶۲۶/۲
		۳	٪۰.۰۰	۱۷۸۴/۸۴	۶۳/۴۲
	۲۵	۱	٪۰.۰۰	۲۱۷۰	۲۰۵/۵۲
		۲	٪۱.۲۶	۲۱۷۲/۶۹	۷۲۰۰
		۳	٪۰.۲۷	۲۲۶۶	۳۱۳۹/۲۹

۶- نتیجه و جمع بندی

این مقاله به معرفی مدلی برای مسئله‌ی مسیریابی وسیله‌ی نقلیه در گام پاسخ بحران می‌پردازد که تمرکز اصلی آن حداکثرسازی ارزش تقاضای برآورده شده با در نظر داشتن حداکثر زمان تحویل کالا به آسیب‌دیدگان است.

در نظر گرفتن فرضیاتی همچون ظرفیت وسایل نقلیه، ظرفیت انبارها، تقاضای حیاتی و غیر حیاتی آسیب دیدگان و موارد ذکر شده‌ی دیگر به واقعی‌تر شدن ویژگی‌های مدل کمک شایانی کرده است.

مدل ارائه شده بر روی مجموعه‌ای از داده های جدید اجرا شدند و کیفیت نتایج مورد بررسی قرار گرفته است. به دلیل وجود برخی محدودیت‌های نرم‌افزاری توسعه‌ی روش‌های ابتکاری و فرا ابتکاری برای حل مسئله در ابعاد بزرگ‌تر پیشنهاد می‌گردد.

مراجع

[۱]Wassenhove, L. N.V.,“Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear”, TheJournal of the Operational Research Society, No.57(5), pp. 475-489, 2006.

[۲]Enz. R., Zimmerli. P., Schwarz. S., “natural catastrophes and man-made disasters in 2008”,Sigma,North America and Asia suffer heavy losses, No. 2, 2009, Available from: http://www.swissre.com/sigma

[۳] Van Wassenhove, L.N., “Humanitarian aid logistics: supply chain management in high gear”, J Operat Res Soc, No. 57, pp. 475-489, 2006.

[۴] Hake, T.,"Haiti earthquake relief efforts hampered by logistics problems", Examiner Website,Available from, http://www.examiner.com/natural-disasters-innational/ Haitiearthquakereliefeffortshamperedbylogisticsproblems; January 15, 2010 [accessed 26.11.10.].
[۵] Golden, B., Raghavan, S., Wasil, E.,**The vehicle routing problem**, Latest advances and new challenges, Springer, 2008.
[۶] Eksioglu, B., Vural, A.V., Reisman, A., "The vehicle routing problem: a taxonomic review", Computers and Industrial Engineering, No. 57, pp. 1472-1483, 2008.
[۷] Knott, R., "The logistics of bulk relief supplies Disasters", No. 11 (2), pp. 113-115, 1987.
[۸] Altay, N., Green,W. G., "OR/MS research in disaster operations management", European Journal of Operational Research, No. 175, 475-493, 2006.
[۹] Aakil, M. C., Xiaofeng, N., Shaligram, P., "Optimization models in emergency logistics: A literature review", Socio-Economic Planning Sciences,No. 46,pp. 4-13, 2012.
[۱۰] Ozdamar, L., Ekinci, E., Kucukyazici, B.,"Emergency logistics planning in naturaldisasters", Annals of the Operations Research, No. 129, pp. 217-245, 2004.
[۱۱] Current, J. R.,"Multiobjective design of transportation networks", PhD thesis, Department of Geography and Environmental Engineering, John Hopkins University, 1981.
[۱۲] Naji-Azimi, Z., Renaud, J., Ruiz, A.,Salari, M., "A coveringtourapproach to the location of satellite distribution centers to supply humanitarian aid", European Journal of Operational Research, No. 222(3), pp. 596-605, 2012.
[۱۳] Current, J. R., Schilling, D. A.,"The covering salesman problem", Transportation Science,No. 23(3), pp. 208-213, 1989.
[۱۴] Golden, B., Naji-Azimi, Z., Raghavan, S., Salari, M., Toth, P., "The generalized covering salesman problem", INFORMS Journal on Computing, doi:10. 1287/ijoc.1110.0480, 2011.
[۱۵] Kara, I.,"Two ındexed polynomial size formulations for vehicle routing problems", Technical report, 2008/01, Baskent University, Ankara/Turkey 2008.
[۱۶] Kara, I., Laporte, G., Bektas, T., "A note on the lifted Miller–Tucker–Zemlinsubtour elimination constraints for the capacitated vehicle routing problem", European Journal of Operational Research, No. 158, pp. 793-795, 2004.

پنجمین کنفرانس ملی و سومین کنفرانس بین المللی لجستیک و زنجیره تامین

«گواهینامه ارائه مقاله»

بدینوسیله گواهی می‌شود که مقاله ارسال شده با عنوان

مدل‌سازی و حل مسئله‌ی توسعه یافته‌ی حمل و نقل با کاربرد در مواقع بحران

توسط

رضا اشتهادی، مجید سالاری ، سمیه الهیاری، مجتبی طالبیان شریف

پس از ارزیابی توسط کمیته علمی پنجمین کنفرانس ملی و سومین کنفرانس بین المللی لجستیک و زنجیره تامین پذیرفته شده و در بخش شفاهی کنفرانس ارائه شده است. این کنفرانس در تاریخ ۲۶ و ۲۷ آذرماه سال ۱۳۹۱ در مرکز همایش‌های برج میلاد تهران برگزار گردید.

دکتر ابراهیم نیموری
دبیر کنفرانس
و رئیس انجمن لجستیک ایران

دکتر مهدی فتح اله
دبیر علمی کنفرانس
و رئیس موسسه مطالعات و پژوهش های بازرگانی