مدل‌سازی مسئله‌ی تور پوششی در شرایط امدادرسانی برای مدیریت بحران

حسین جمالی*: استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران Hjamali2022@gmail.com
مهدی بشیری: استاد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه شاهد، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۹۶/۶/۱۲
تاریخ پذیرش: ۹۸/۹/۲۶

چکیده

این مقاله به بررسی مکان‌یابی مراکز امدادرسانی افرادی که در یک ناحیه‌ی بحران زده قرار دارند، می‌پردازد و یک مدل‌سازی جدید برای آن ارائه می‌دهد. در چنین وضعیتی به دلیل محدودیت امکانات، این امر که تیم امدادرسان همه‌ی نقاط آسیب‌دیده را بازدید کند ممکن نیست و مردم روستاها باید برای به دست آوردن کالاهای حیاتی به شهرها مراجعه نمایند. شهرها باید در یک فاصله‌ی قابل دسترسی برای اهالی روستاها قرار گیرند. هدف این مسئله تشکیل یک تور همیلتونی روی زیر مجموعه‌ای از این شهرها با حداقل زمان (طول) است، به‌طوری‌که همه‌ی روستاهای حادثه‌دیده نیز پوشش یابند. برای حل مسئله‌ی مذکور در ابعاد بزرگ، الگوریتم فراابتکاری ژنتیک ارائه و استفاده شده است. به‌منظور اعتبارسنجی مدل پیشنهادی، سه مسئله با ابعاد کوچک حل شده و جواب‌های به دست آمده از الگوریتم ژنتیک پیشنهادی با جواب‌های دقیق به دست آمده توسط نرم‌افزار گمز (Gams) مقایسه شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهند که الگوریتم پیشنهادی کارا و همگرا به جواب بهینه است. همچنین مسئله‌ی تور پوششی و مسئله‌ی فروشنده‌ی دوره‌گرد متناظر با آن، توسط الگوریتم ژنتیک حل گردیده و جواب‌ها نشان می‌دهند که استفاده از مسئله‌ی تور پوششی برای مسائل امدادرسانی به مراتب کاراتر است. همچنین این مقاله به تحلیل حساسیت مسئله‌ی تور پوششی می‌پردازد که نتایج بررسی، شرایط الزام استفاده از مدل تور پوششی برای مسائل امدادرسانی را معین می‌کند.

واژه‌های کلیدی: *مسئله‌ی تور پوششی، مدل‌سازی، پنجره‌های زمانی سخت، امدادرسانی، الگوریتم ژنتیک*

Modeling for the Covering Tour Problem in Relief Condition for Disaster Management

Hossein Jamali*[1], Mahdi Bashiri[2]

Abstract

This paper deals with examining the locations of crisis relief zone for events of disruption and crisis to present a new modeling for it. Due to limited resources in such situations, it may be impossible for rescue teams to visit all the places; therefore, people in rural areas need to travel to the cities for seeking essential commodities. Cities should be located in an accessible distance for rural areas. The goal of this paper is to develop a Hamiltonian tour on a subset of cities located at the shortest distance in order to cover all affected rural areas during disaster. A genetic algorithm was proposed to solve the large-scale problems. In order to validate the proposed model, three small-scale problems were solved and the associated results were compared with optimum solutions obtained by GAMS software. The obtained results indicated that the proposed algorithm was efficient and convergent to optimal solutions. In addition, the corresponding covering tour problem and traveling salesmen problem were solved by the proposed algorithm. The comparison of results indicated that the covering tour problem was more efficient. Also, the sensitivity analysis was conducted for the covering tour problem identifying essential conditions of using the covering problem for crisis relief problems.

Keywords: *Covering tour Problem, Modeling, Hard Time Windows, Relief, and Genetic Algorithm.*

1. Assistant Professor of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Payam-e-Noor University, Tehran, Iran, Hjamali2022@gmail.com
2. Professor of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Shahed University, Tehran, Iran

مقدمه

تعداد زیاد بلایای طبیعی در سال‌های اخیر و آسیب‌های فراوان ناشی از این بلایا باعث شده است که علاقه‌مندی مجامع علمی در حوزه‌ی حمل و نقل اورژانسی در این سال‌ها افزایش یابد [۱]. مسئله‌ی تور پوششی، تعمیمی از مسئله‌ی فروشنده‌ی دوره‌گرد[1] است. به عبارت دقیق‌تر، مسئله‌ی تور پوششی ترکیبی از مسئله‌ی فروشنده‌ی دوره‌گرد و مسئله‌ی پوشش مجموعه[2] است. مسئله‌ی تور پوششی در حوزه‌ی مسائل لجستیک و به‌خصوص حمل و نقل قرار می‌گیرد که می‌توان از آن در حل مسائل دنیای واقعی بهره برد. برای درک بهتر مسئله، فرض کنید مجموعه‌ی معینی از رئوس وجود دارند که باید بازدید شوند، همچنین رأس‌هایی موجود است که می‌توانند برای بازدید شدن مورد استفاده قرار گیرند. مجموعه‌ی سومی از رئوس نیز موجودند که باید حداقل به‌وسیله‌ی یک شهر بازدید شده تحت پوشش قرار گیرند. منظور از پوشش این است که رأس در یک شعاع از پیش تعیین شده‌ای نسبت به یک شهر بازدید شده قرار گیرد. هدف در اینجا عبارت است از یافتن کوتاه‌ترین مسیری که از مجموعه‌ای از رئوس گذشته و مقاصد پوشش و نقاط لازم برای بازدید را به طور کامل در بر گیرد.

این مقاله به بررسی مسئله‌ی تور پوششی در شرایط امدادرسانی با پنجره‌های زمانی سخت (RCTPHTW)[3] برای افرادی که در یک ناحیه‌ی بحران‌زده قرار گرفته‌اند، می‌پردازد و یک مدل‌سازی جدید برای آن ارائه می‌دهد. فرض کنید حادثه‌ای در یک منطقه‌ی جغرافیایی رخ داده است. در چنین وضعیتی این امر که تیم امدادرسان همه‌ی خانه‌ها را یکی‌یکی بازدید کند ممکن نیست و در عوض مردم روستاها نیاز دارند برای به دست آوردن کالاهای اساسی به شهرها مراجعه نمایند. شهرها باید در یک فاصله‌ی قابل دسترسی با پای پیاده توسط اهالی روستاها قرار گیرند. معمولاً در حوادث طبیعی نظیر سیل و زلزله و غیره، شهرها و روستاها آسیب می‌بینند و شدت این آسیب‌ها در نواحی مختلف متفاوت است. هدف امدادرسانی به شهرها و روستاهای حادثه دیده است، بنابراین در این مسئله تعدادی شهر و روستا وجود دارد که در شرایط بحرانی بعد از وقوع حادثه قرار دارند. شهرها به دو گروه تقسیم می‌شوند: شهرهایی که حادثه دیده‌اند و شهرهایی که حادثه ندیده‌اند. شهرهایی که حادثه دیده‌اند باید حتماً در تور مورد نظر قرار بگیرند و آن دسته از شهرهایی که حادثه ندیده‌اند برای پوشش روستاهای حادثه‌دیده می‌توانند در تور قرار گیرند. به همین ترتیب روستاها نیز به دو دسته تقسیم می‌شوند: دسته‌ی اول شامل روستاهایی است که حادثه دیده‌اند و باید الزاماً توسط شهرهای بازدید شده پوشش یابند و دسته‌ی دیگر شامل روستاهایی است که حادثه ندیده‌اند و لازم نیست پوشش یابند. منظور از اینکه یک روستا پوشش یابد این است که در یک فاصله‌ی از پیش تعریف شده‌ی شهری در تور قرار گیرد. بنابراین در این مسئله چهار مجموعه از رئوس داریم؛ مجموعه‌ی اول شامل شهرهایی است که حادثه دیده‌اند و باید در تور قرار بگیرند. مجموعه‌ی دوم شامل شهرهایی است که حادثه ندیده‌اند و می‌توانند در تور قرار بگیرند. مجموعه‌ی سوم شامل روستاهایی است که حادثه دیده‌اند و باید پوشش داده شوند و در نهایت مجموعه‌ی چهارم شامل روستاهایی است که حادثه ندیده‌اند و لازم نیست پوشش داده شوند. هدف این مقاله تشکیل یک تور همیلتونی بر روی زیر مجموعه‌ای از این شهرهاست، به‌طوری که همه‌ی روستاهای حادثه‌دیده پوشش یابند. این تور باید شامل همه‌ی شهرهای حادثه‌دیده باشد، همچنین تعدادی از شهرهایی که حادثه ندیده‌اند نیز می‌توانند در این تور وجود داشته باشند. در این مقاله به تحلیل حساسیت مسئله‌ی تور پوششی از نظر شعاع پوشش، چیدمان نقاط، رابطه‌ی بین تعداد روستاها و تعداد شهرها و شعاع پوشش پرداخته شده است. در ابتدا مسئله در ابعاد کوچک به صورت دقیق توسط نرم‌افزار Gams حل شده است. از آنجایی که مسئله‌ی تور پوششی جزء مسائل Np-hard محسوب می‌شود [۲] و با بزرگ‌تر شدن ابعاد مسئله، روش‌های دقیق برای حل مسئله مناسب نیستند، لذا برای ابعاد بزرگ‌تر مسئله از روش فراابتکاری الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. با مقایسه‌ی جواب‌های مسئله که برای نمونه‌های کوچک، با استفاده از هر دو روش دقیق و فراابتکاری به دست آمده است، کارایی الگوریتم مورد بررسی قرار می‌گیرد. همچنین با استفاده از الگوریتم ژنتیک، مسئله‌ی تور پوششی و مسئله‌ی فروشنده‌ی دوره‌گرد متناظر با آن در محیط نرم‌افزار متلب (Matlab) کدنویسی شده و جواب آن‌ها با هم مقایسه شده‌اند.

کارنت و اسچیلینگ [۳] مقاله‌ای با عنوان مسئله‌ی فروشنده‌ی پوششی ارائه نمودند. در مسئله‌ی فروشنده‌ی پوششی (CSP)[4] هدف شناسایی یک تور با حداقل هزینه بر روی P شهر است، به طوری که هر شهری که بر روی تور قرار نگرفته است در یک فاصله‌ی پوشش از پیش تعیین شده از یک شهر واقع در تور باشد. آن‌ها از CSP در مسیریابی تیم‌های مراقبت‌های بهداشتی در کشورهای در حال توسعه استفاده کردند، به‌طوری‌که تیم باید یک زیر مجموعه از روستاها را بازدید کند و بقیه‌ی افراد باید در یک فاصله‌ی قابل پیاده‌روی از شهرهای بازدید شده قرار گیرند. آن‌ها در این پژوهش از یک رویکرد برنامه‌ریزی عددی صحیح و یک روش ابتکاری دو مرحله‌ای به نام روش کاوتور[5] بر پایه‌ی مسئله‌ی پوشش مجموعه استفاده کردند. در این مسئله حداکثر به p نقطه می‌توان سرکشی نمود، بنابراین هدف انتخاب p نقطه از مجموعه نقاط کاندیدا است، آنچنان که ضمن رعایت اصل TSP حداکثر پوشش نقاط تقاضا نیز تأمین شود. مسئله‌ی فروشنده‌ی پوششی به صورت یک مسئله‌ی برنامه‌ریزی خطی صفر و یک فرمول‌بندی شده است. همچنین این نویسندگان در مقاله‌ای [۴] یک مدل دو معیاره از مسئله‌ی فروشنده‌ی پوششی (CSP) را معرفی نمودند که مسئله‌ی تور میانه (MTP)[6] و مسئله‌ی تور پوششی حداکثر (MCTP)[7] نامیده شد. در هر دو مسئله تور تنها باید p روستا از n روستا را بازدید کند و طول این تور باید مینیمم باشد. بنابراین هدف اول هر دو مسئله مینیمم کردن کل طول تور است و هدف دوم هر دو مسئله ماکزیمم‌سازی دسترس‌پذیری تور برای گره‌هایی است که مستقیماً در تور قرار نمی‌گیرند. روشی که برای حل این مسئله در نظر گرفته شده است، یک روش ابتکاری به نام مدتور[8]

است. ژندریو و همکاران [۲] برای اولین بار از ترکیب مسائل SCP[۹] و TSP[۱۰] مسئله‌ی تور پوششی را تعریف کردند، آن‌ها در این مقاله یک مدل برنامه‌ریزی خطی ارائه دادند و سپس مسئله را با استفاده از یک روش دقیق و یک روش ابتکاری حل نمودند.

هاچیچا و همکاران [۵] مسئله‌ی تور پوششی چند وسیله‌ای[۱۱] را مطرح کردند. در این مسئله حداکثر m وسیله‌ی نقلیه در ایستگاه موجود است. در این مسئله سه مجموعه از رئوس وجود دارد. همچنین نویسندگان سه روش ابتکاری برای حل مسئله با نام‌های ذخیره‌سازی‌های تعدیل شده، رفت و برگشت تعدیل شده، مسیر- اول/خوشه- دوم ارائه و نتایج آن‌ها را با یکدیگر مقایسه نمودند. موتا و همکاران [۶] یک الگوریتم فراابتکاری GRASP[۱۲] برای یک تعمیم از مسئله‌ی پوشش تور ارائه کردند. بالداسی و همکاران [۷] یک مدل دو کالایی از مسئله‌ی تور پوششی به همراه سه روش حل ابتکاری جستجوی پراکنشی ارائه نمودند. ژوزفویز و همکاران [۸] تعمیمی از مسئله‌ی پوشش تور با عنوان مسئله‌ی پوشش تور دوهدفه[۱۳] را مطرح کردند که در آن فاصله‌ی پوشش و محدودیت‌های مربوطه، با یک محدودیت جدید جایگزین می‌گردد. مسئله‌ی تور پوششی دو هدفه به دنبال تعریف یک تور روی زیر مجموعه‌ای از رئوس V است، به‌طوری‌که شامل همه‌ی رئوس T باشد و دو هدف مینیمم‌سازی طول تور و مینیمم‌سازی فاصله‌ی پوشش را برآورده سازد. منظور از فاصله‌ی پوشش در هدف دوم، بزرگ‌ترین فاصله بین یک رأس $v_1 \in W$ و نزدیک‌ترین رأس $v_k \in V$ است که بازدید شده است. برای حل این مسئله از یک روش دقیق دو هدفه بر اساس رویکرد ε-محدودیت[۱۴] همراه با یک الگوریتم شاخه و برش استفاده شده است. همچنین از یک الگوریتم تکاملی چند هدفه به نام $NSGA-II$ استفاده شده است.

نولز و همکاران [۹] یک مسئله‌ی تور پوششی چند هدفه[۱۵] را پیشنهاد دادند که در آن یک ایستگاه مرکزی و مجموعه‌ای از وسایل نقلیه‌ی یکسان فرض شده بود. در این مسئله تقاضای هر گره باید دقیقاً توسط یک حامل برآورده شود. هدف مسئله، کمینه‌سازی معیار مکان‌یابی تسهیلات mini-sum و کل طول تور و دیرترین زمان رسیدن به یک گره است. در پایان یک روش فراابتکاری جستجوی همسایگی و الگوریتم $NSGA-II$ پیشنهاد شده است. تریکور و همکاران [۱۰] مسئله‌ی تور پوششی تصادفی دو هدف[۱۶] را پیشنهاد دادند. در این مسئله یک مدل از مسئله‌ی تور پوششی دو هدفه با تقاضای تصادفی فرمول‌بندی شده است، به طوری که دو هدف زیر در این مسئله آورده شده است: ۱. هزینه (هزینه‌ی بازگشایی مراکز توزیع به‌علاوه هزینه‌ی مسیریابی یک ناوگان از وسایل نقلیه)، ۲. تقاضای پوشش داده نشده‌ی مورد انتظار. در این مدل فرض شده است که بسته به مسافت، درصد معینی از مشتری‌ها از خانه‌هایشان به سوی نزدیک‌ترین مرکز توزیع روانه می‌شوند. برای حل مسئله از یک روش دقیق مبتنی بر تکنیک شاخه و برش و همچنین از یک روش ابتکاری به نام H1 استفاده شده است. ناجی عظیمی و همکاران [۱۱] مسئله‌ی تور پوششی برای مکان‌یابی مراکز توزیع را ارائه دادند. این مسئله به بررسی مکان‌یابی مراکز توزیع برای کمک به ارائه‌ی خدمات بشردوستانه برای همه‌ی افرادی که در یک ناحیه‌ی حادثه دیده قرار گرفته‌اند، می‌پردازد. در چنین وضعیتی این امر که تیم‌های امدادرسان، همه‌ی خانه‌ها را یکی یکی بازدید نمایند، غیر ممکن است. اما مردم حادثه‌دیده نیاز دارند که به یک مرکز توزیع امداد برای به دست آوردن کالاهای ضروری و حیاتی بروند. برای حل این مسئله از روش ابتکاری Multi-start استفاده شده است. سالاری و ناجی عظیمی [۱۲] نوعی از مسئله‌ی مشهور فروشنده‌ی دوره‌گرد به نام مسئله‌ی فروشنده‌ی پوششی را بررسی نمودند. روش پیشنهادی که در این مسئله برای مسئله‌ی فروشنده‌ی پوششی استفاده شده است، SN نامیده شده است که در آن تکنیک‌های برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح (ILP)[۱۷] و جستجوی هیوریستیکی با هم ترکیب شده است.

ابراهیمی و صحرائیان [۱۳] مسئله‌ی تور پوششی با بیشینه پشتیبانی تخصیص یافته را ارائه نمودند. در این مقاله مسئله‌ی تور پوششی که برای مسیریابی تیم‌های خدمات پزشکی سیار در کشورهای در حال توسعه به کار می‌رفت، توسعه داده شد. هدف مقاله، یافتن کوتاه‌ترین دور همیلتونی روی زیر مجموعه‌ای از نقاط کاندیدای توقف تیم‌های سیار است به گونه‌ای که تمامی نقاط متقاضی خدمات، در یک فاصله‌ی از پیش تعیین شده از نقاط توقف قرار گیرند. در مسئله‌ی ارائه شده، ماکزیمم‌سازی پوشش پشتیبانی به‌منظور افزایش امنیت خاطر متقاضیان از دسترسی به بیش از یک نقطه‌ی توقف، خواه در شعاع اول یا در شعاع دوم پوشش، به مدل مسئله‌ی تور پوششی افزوده شده است. این مسئله با استفاده از یک روش دقیق و کلاسیک بهینه‌یابی چند هدفه با عنوان روش معیار سراسری[۱۸] و همچنین الگوریتم فراابتکاری ترکیبی $NSGA-II$ و SA حل شده است. اولیویرا و همکاران [۱۴] نوعی از مسئله‌ی تور پوششی چند وسیله‌ای به نام m-CTP[۱۹] را بررسی نمودند. این مسئله شباهت زیادی به مسئله‌ی تور پوششی چند وسیله‌ای که هاچیچا و همکارانش در سال ۲۰۰۰ مطرح نمودند، دارد. این مسئله به طراحی چندین مسیر برای گشت‌زنی پلیس در شهر سائوپائولوی برزیل می‌پردازد. در این مسئله بررسی می‌شود که چگونه یک ناوگان از وسایل نقلیه با تعداد مشخص می‌توانند عملیات گشت‌زنی یک ناحیه‌ی جغرافیایی را به صورت مطلوبی انجام دهند. این مسئله، یک مسئله‌ی برنامه‌ریزی عدد صحیح مدل‌سازی شده است که در آن هدف، حداقل‌سازی طول کل مسیرها است. برای حل این مسئله از چهار روش ابتکاری استفاده شده است. لوپز و همکاران [۱۵] یک الگوریتم شاخه و قیمت (BP)[۲۰] و یک روش ابتکاری به نام CGH[۲۱] را برای مسئله‌ی تور پوششی چند وسیله‌ای ارائه نمودند. نتایج محاسباتی حاصل از حل مثال‌های مختلف نشان می‌دهند که کران‌های پایین به دست آمده توسط روش دقیق BP و کران‌های بالای به دست آمده توسط روش ابتکاری CGH از کیفیت خوبی برخوردار هستند. یک حالت خاص از مسئله‌ی تور پوششی چند وسیله‌ای که در آن محدودیتی بر روی طول تور در نظر گرفته نشده است توسط هوانگ‌ها و همکاران [۱۶] ارائه شده

است. نویسندگان در این مقاله روش دقیق شاخه و برش و یک روش فراابتکاری را پیشنهاد دادند. برای توسعه‌ی الگوریتم شاخه و برش از یک فرمول‌بندی برنامه‌ریزی عدد صحیح بر پایه‌ی یک مدل جریان دوکالایی[۲۲] استفاده شده است. روش فراابتکاری نیز بر پایه‌ی روش جستجوی محلی تکاملی (ELS)[۲۳] پیشنهاد شده توسط پرینس [۱۷] است. در این مقاله برای آزمودن روش‌های حل از مثال‌های موجود در پایگاه اطلاعاتی TSPLIB استفاده شده است. نتایج نشان دادند که روش شاخه و برش پیشنهادی کاراتر از الگوریتمی است که توسط ژوزفوویز و همکاران [۸] ارائه شده است. الهیاری و همکاران [۱۸] تعمیمی از مسئله‌ی مسیریابی وسایل حمل و نقل ظرفیت‌دار چند ایستگاهیMDCVRP[۲۴] با در نظر گرفتن امکان پوشش را که در آن فرض بازدید شدن تمامی متقاضیان وجود ندارد، پیشنهاد دادند. آن‌ها این مسئله را MDC-TVRP[۲۵] نام‌گذاری نمودند. در این مقاله چند ایستگاه و تعدادی متقاضی وجود دارد. مقدار تقاضای هر متقاضی می‌تواند به صورت مستقیم با بازدید شدن در تور و یا به صورت غیرمستقیم با پوشش یافتن توسط تور برآورده گردد. نویسندگان دو فرمول‌بندی برنامه‌ریزی عدد صحیح مختلط و یک الگوریتم فراابتکاری هیبریدی که ترکیبی از GRASP، SA و یک جستجوی محلی تکراری است را برای این مسئله گسترش دادند. کامون و همکاران [۱۹] در مقاله‌ای به حل مسئله‌ی تور پوششی چند وسیله‌ای با استفاده از روش ابتکاری جستجوی همسایگی متغیر (VNS)[۲۶] پرداختند. مسئله‌ی بیان شده در این تحقیق مانند مسئله‌ی تعریف شده توسط ژندریو و همکاران [۲] است با این تفاوت که در این مسئله چند وسیله‌ی نقلیه به مدل اضافه شده است. نویسندگان این مقاله با استفاده از حل چندین مثال معین از پایگاه اطلاعاتی TSPLIB نشان دادند که روش حل ارائه شده توسط آن‌ها کاراتر از روش حل ارائه شده توسط هوانگ‌ها و همکاران [۱۶] است. جدول ۱ به‌طور خلاصه ویژگی‌های برخی از کارهای انجام شده در حوزه‌ی مسئله‌ی تور پوششی را نشان می‌دهد.

با مشاهده‌ی جدول ۱، واضح است که تعریف مسئله‌ی تور پوششی با پنجره‌های زمانی سخت و مدل‌سازی آن، به کارگیری مسئله برای شرایط امدادرسانی، طراحی الگوریتم فراابتکاری ژنتیک برای حل مسئله در اندازه‌های واقعی و تحلیل حساسیت آن و همچنین مقایسه‌ی این مسئله با مسئله‌ی TSP تاکنون مورد مطالعه قرار نگرفته و لذا می‌توان از آن‌ها به‌منزله‌ی نوآوری‌های تحقیق نام برد. مقاله‌ی حاضر به صورت زیر سازماندهی شده است که در بخش دوم، مسئله‌ی تور پوششی در شرایط امدادرسانی و مدل ریاضی آن بیان شده است. در بخش سوم روش حل مسئله توضیح داده شده است. بخش چهارم شامل ساختار الگوریتم ژنتیک پیشنهادی برای حل مسئله است، بخش پنجم مثال‌های عددی حل شده را در بر دارد، بخش شش شامل تحلیل حساسیت مسئله است، در بخش هفت به استفاده از طراحی آزمایش‌ها برای تنظیم پارامترهای مسئله پرداخته شده و نهایتاً بخش هشتم به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری اختصاص یافته است.

تعریف مسئله‌ی تور پوششی با پنجره‌های زمانی سخت در شرایط امدادرسانی و مدل ریاضی آن

مسئله‌ی تور پوششی در شرایط امدادرسانی با پنجره‌های زمانی سخت (RCTPHTW)[۲۷] بیان شده در این تحقیق بر روی یک گراف بی‌جهت $G=(V\cup W,E)$ که در آن $V\cup W$ مجموعه رئوس و E مجموعه یال‌هاست تعریف می‌شود. V مجموعه‌ای از n رأس (شهر) است که به دو قسمت تقسیم می‌شود؛ قسمت اول شامل زیر مجموعه‌ای از رئوس V به نام T است که باید بازدید شوند و قسمت دوم شامل بقیه‌ی رئوس مجموعه V است که می‌توانند برای بازدید شدن انتخاب شوند. بنابراین رأس v_0 که بیانگر مرکز است به مجموعه‌ی T تعلق دارد. W مجموعه‌ای از رئوس (مجموعه نقاط تقاضا) است که به دو قسمت روستاهای حادثه‌دیده و روستاهای حادثه ندیده تقسیم می‌شود. زیر مجموعه‌ای از W که شامل روستاهای حادثه‌دیده هستند و باید پوشش داده شوند با Z نشان داده می‌شوند. پوشش بدین معناست که هر رأس $v_1\in Z$ باید در یک فاصله‌ی معینی از حداقل یک رأس روی تور قرار گیرد. به بیان ریاضی یک رأس پوشیده می‌شود اگر حداقل یک رأس $v_k\in V$ روی تور وجود داشته باشد، به‌طوری‌که $d_{lk}\le r$ باشد، آنچنان که d_{lk} فاصله‌ی دو رأس v_l و v_k است و r فاصله‌ی پوشش است. ماتریس فاصله و یا زمان مسافرت $C=c_{ij}$ طول نامنفی یال برای تمام رئوس مجموعه $V\cup Z$ در مجموعه یال‌های $E=\{(v_i,v_j):v_i,v_j\in V\cup Z, i<j\}$ را نشان می‌دهد به گونه‌ای که نامساوی مثلثی برای اعضای این مجموعه برقرار باشد. تئوری نامساوی مثلثی بیان می‌کند که طول یک ضلع معین در هر مثلث باید از مجموع طول دو ضلع دیگر کمتر باشد و در عین حال از تفاوت آن‌ها بیشتر باشد. در این مدل، برای هر نقطه یک بازه‌ی زمانی $[es_i, ls_i]$ تعریف شده است که بیانگر این موضوع است که باید در این بازه به این نقطه امدادرسانی صورت گیرد. در اینجا es_i زودترین زمان شروع دریافت خدمات امدادرسانی و ls_i دیرترین زمان شروع دریافت خدمات امداد در نقطه‌ی i است. یکی از علل تعریف این بازه می‌تواند میزان شدت آسیب به نقاط حادثه دیده باشد. هدف از این موضوع اولویت‌بندی نقاطی است که آسیب بیشتری دیده‌اند و نیاز به امدادرسانی سریع‌تری از زمان بروز حادثه دارند. در حالت پنجره‌های زمانی سخت، متقاضی باید خدمت را فقط در بازه‌ی زمانی تعریف شده دریافت نماید ولی در حالت پنجره‌ی زمانی نرم، اگر متقاضی خدمت مورد نظر را در بازه‌ی زمانی تعریف شده دریافت نکند آنگاه جریمه‌ای به مدل مسئله تحمیل می‌شود. در نظر گرفتن حالت پنجره‌ی زمانی نرم برای مسائل امدادرسانی بعد از وقوع حادثه که با جان مردم سروکار دارد، توصیه نمی‌شود. بنابراین از آنجایی که در این مسئله با جان افراد سروکار داریم و باید حتماً به افراد حادثه دیده امدادرسانی صورت گیرد، از پنجره‌های زمانی سخت استفاده شده است.

تصویر ۱ مثالی از مسئله‌ی مورد بررسی را نشان می‌دهد که در آن یک تور پوششی گذرنده از شش شهر مشتمل بر چهار شهر آسیب دیده و دو شهر آسیب ندیده تشکیل شده است. در تور مذکور دوازده

جدول ۱: مقایسه‌ی مطالعات مرتبط انجام شده در حوزه‌ی مسئله‌ی تور پوششی

نویسندگان	سال	مدل‌سازی ریاضی	نوع محدودیت			فاصله‌ی پوششی		گره های دارای تقاضا	ظرفیت وسایل نقلیه		تعداد مراکز بالقوه		روش حل دقیق	روش حل ابتکاری	روش حل فراابتکاری					
			پنجره های زمانی	وابسته به جریان	حذف زیرتور	یکسان	متفاوت		یکسان	متفاوت	معین	آزاد			GRASP[28]	SA[29]	ILS[30]	NSGA II[31]	Based on ELS[32]	GA[33]
کارنت و اسچیلینگ	۱۹۸۹	*		*			*				*			*						
کارنت و اسچیلینگ	۱۹۹۴	*			*	*		*			*			*						
ژندریو و همکاران	۱۹۹۷	*			*	*						*	*	*						
هاچیچا و همکاران	۲۰۰۰	*			*	*			*		*			*						
موتا و همکاران	۲۰۰۱					*						*			*					
بالداسی و همکاران	۲۰۰۵	*		*		*								*						
ژوزفوویز و همکاران	۲۰۰۷						*					*	*					*		
نولز و همکاران	۲۰۱۰	*			*	*		*	*			*	*					*		
ابراهیمی و صحرائیان	۲۰۱۲	*			*		*	*				*	*			*		*		
تریکور و همکاران	۲۰۱۲	*			*		*	*		*		*	*	*						
سالاری و ناجی عظیمی	۲۰۱۲	*			*		*				*			*						
ناجی عظیمی و همکاران	۲۰۱۲	*			*	*		*		*		*		*						
اولیویرا و همکاران	۲۰۱۳	*			*	*			*			*		*						
لوپز و همکاران	۲۰۱۳	*			*	*			*				*	*						
هوانگ ها و همکاران	۲۰۱۳	*		*		*		*	*			*	*						*	
الهیاری و همکاران	۲۰۱۴	*			*		*	*	*			*			*	*	*			
کامون و همکاران	۲۰۱۵					*			*			*		*						
تحقیق حاضر		*	*		*	*						*	*							*

روستای آسیب دیده توسط شهرهای بازدید شده، تحت پوشش قرار گرفته‌اند.

هدف مسئله RCTPHTW یافتن یک دور همیلتونی با کوتاه‌ترین طول روی زیر مجموعه‌ای از رئوس Vاست آنچنان که هر رأس $v_l \in Z$ توسط تور تشکیل یافته پوشش داده شود. تور مورد نظر از $v_0 \in T$ آغاز شده و در آن خاتمه می‌یابد. این تور به وسیله‌ی زیر مجموعه‌ی معینی از V تعریف می‌شود، به‌طوری‌که همه‌ی رئوس زیر مجموعه T بازدید شده و هر رأس مجموعه Z در یک فاصله‌ی از پیش تعیین شده r از حداقل یک رأس متعلق به تور قرار گیرد. مسئله‌ی تور پوششی در شرایط امدادرسانی می‌تواند به عنوان یک مسئله‌ی برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح فرمول‌بندی شود. پارامترهای استفاده شده در این مدل به صورت زیر تعریف می‌گردد:

M عددی بسیار بزرگ

c_{ij} طول مسافت از رأس i تا رأس j

t_{ij} مدت زمان طی مسیر از رأس i تا رأس j

es_i زودترین زمان رسیدن به نقطه‌ی i

ls_i دیرترین زمان رسیدن به نقطه‌ی i

st_i مدت زمان ارائه سرویس به نقطه‌ی i

همچنین متغیرهای مورد نیاز در این مدل به صورت زیر معرفی می‌شوند:

y_k: برای هر $v_k \in V$ متغیر باینری y_k برابر یک است اگر رأس v_k بازدید شود و در غیر این صورت متغیر y_k برابر صفر خواهد بود. واضح است که چنانچه $v_k \in T$ باشد، آنگاه متغیر y_k همواره باید برابر یک باشد.

x_{ij}: برای هر $v_i, v_j \in V$ که $i < j$ است، متغیر باینری برابر یک است اگر بین دو رأس مذکور یال (v_i, v_j) شکل گیرد و در غیر این صورت صفر خواهد بود.

δ_{lk}: ضریب باینری معادل یک است اگر و تنها اگر رأس $v_l \in Z$ بتواند به‌وسیله‌ی رأس $v_k \in V$ پوشش داده شود. بدین معنا که فاصله‌ی d_{lk} بین دو رأس $v_l \in Z$ و $v_k \in V$ کوچک‌تر از یا مساوی شعاع پوششی از پیش تعیین شده r باشد، در غیر این صورت ضریب δ_{lk} معادل صفر است.

S_l: زیر مجموعه‌ی $S_l = \{v_k \in V \mid \delta_{lk} = 1\}$ حاوی رئوسی از مجموعه V است که می‌توانند رأس $v_l \in Z$ در فاصله‌ی پوشش r پوشش دهند. این مجموعه برای تمام اعضای مجموعه Z تعریف می‌شود. از مفروضات لازم برای این مسئله، شرط عدم امکان تشکیل تور تک رأسی v_0 است.

TW_i: متغیری نامنفی که زمان رسیدن یک وسیله‌ی نقلیه به نقطه‌ی i را نشان می‌دهد.

حال با تعاریف فوق می‌توان مسئله‌ی تور پوششی در شرایط امدادرسانی را به صورت زیر نشان داد:

رابطه‌ی ۱:
$$Min \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=i+1}^{n} c_{ij} x_{ij}$$

$Subject\ \ to:$

رابطه‌ی ۲:
$$\sum_{k \in V} x_{0k} = 1$$

رابطه‌ی ۳:
$$\sum_{\forall j \in V} x_{ij} \le 1 \quad ; \ \forall i \in V$$

رابطه‌ی ۴:
$$\sum_{\forall i \in V} x_{ij} \le 1 \quad ; \ \forall j \in V$$

رابطه‌ی ۵:
$$\sum_{v_k \in S_l} y_k \ge 1 \ ; \left(\forall l \in W \ , S_l = \{v_k \in V \mid \delta_{lk} = 1\} \ , \ \delta_{lk} = \begin{cases} 1 & if \ d_{lk} \le r \\ 0 & ow \end{cases} \right)$$

رابطه‌ی ۶:
$$\sum_{i=0}^{k-1} (x_{ik} + x_{ki}) + \sum_{j=k+1}^{n} (x_{kj} + x_{jk}) = 2y_k \ ; \forall v_k \in V$$

رابطه‌ی ۷:
$$es_i \le TW_i \le ls_i \quad ; \ \forall i \in V$$

رابطه‌ی ۸:
$$TW_0 + +t_{0k} - M(1 - x_{0k}) \le TW_k \qquad ; \forall k \in V$$

رابطه‌ی ۹:
$$TW_k + st_k + t_{kj} - M(1 - x_{kj}) \le TW_j \quad ; \forall k, j \in V$$

رابطه‌ی ۱۰:
$$TW_j + st_j + t_{j0} - M(1 - x_{j0}) \le TW_0 \quad ; \ \forall j \in V$$

رابطه‌ی ۱۱:
$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad ; \quad \forall i, j \in V, i < j$$

رابطه‌ی ۱۲:
$$y_k \in \{0,1\} \quad ; \quad \forall v_k \in V \setminus T$$

رابطه‌ی ۱۳:
$$y_k = 1 \quad ; \quad \forall v_k \in T$$

تابع هدف ۱ کل مسافت پیموده شده برای دسترسی به تمامی رئوس مجموعه T و برخی از رئوس مجموعه را به‌منظور پوشش همه‌ی رئوس مجموعه Z حداقل می‌کند. محدودیت ۲ بیان می‌کند که تور مورد نظر دقیقاً یکبار از پایگاه امداد مرکزی خارج می‌گردد. محدودیت ۳ اطمینان می‌دهد که تور مذکور می‌تواند حداکثر یکبار از هر شهر خارج گردد و محدودیت ۴ نیز بیان می‌دارد که این تور حداکثر می‌تواند یکبار به هر شهر وارد شود. محدودیت ۵ تضمین می‌کند که تور مورد نظر حداقل از یکی از شهرهایی که روستای حادثه دیده $v_l \in Z$ را پوشش می‌دهد، عبور می‌کند. محدودیت ۶ مربوط به درجه رئوس است و این اطمینان را می‌دهد که تور به هر شهری که وارد شود باید از آن شهر نیز خارج گردد. محدودیت‌های ۷ تا ۸ مربوط به پنجره‌های زمانی هستند. محدودیت‌های ۹ و ۱۰ و ۱۱ اطمینان می‌دهند که متغیرهای x_{ij} و y_k باینری بوده و مدل را تبدیل به یک مسئله‌ی برنامه‌ریزی عدد صحیح می‌کنند و y_k همواره برابر یک است اگر $v_k \in T$.

روش حل مسئله

برای حل این مسئله از هر دو روش دقیق و فراابتکاری در این مقاله استفاده می‌شود. در ابتدا مسئله در ابعاد کوچک به صورت دقیق توسط نرم‌افزار Gams حل می‌شود. از آنجایی که مسئله‌ی تور پوششی جزء مسائل Np-hard محسوب می‌شود و با بزرگ‌تر شدن ابعاد مسئله، روش‌های دقیق برای حل مسئله مناسب نیستند، لذا برای ابعاد بزرگ‌تر مسئله از روش فراابتکاری الگوریتم ژنتیک استفاده می‌شود، به این صورت که مسئله‌ی مذکور در نرم‌افزار Matlab کدنویسی شده و سپس حل می‌شود. با مقایسه‌ی جواب‌های مسئله که برای نمونه‌های کوچک، با استفاده از هر دو روش دقیق و فراابتکاری به دست آمده است و اینکه جواب‌ها یکسان هستند، عملکرد مناسب الگوریتم حل ارائه شده قابل تأیید است.

الگوریتم ژنتیک پیشنهادی برای حل مسئله

نمایش جواب و تولید جواب شدنی

تولید جواب شدنی برای مسائل یکی از مهم‌ترین گام‌ها است که در مسئله‌ی مورد نظر نحوه‌ی نمایش جواب با یک مثال ۱۶ رأسی توضیح داده می‌شود. مشخصات این مثال به صورت زیر است:

$$V=[1,2,3,4,5,6,7,8],\ T=[1,2,5,8],\ V\setminus T=[3,4,6,7]$$

$$Z=[9,10,11,12,13,14,15,16],\ r=3.5$$

به عبارتی در این مثال ۱۶ رأس وجود دارد که از این تعداد رئوس، ۸ رأس به مجموعه V و ۸ رأس نیز به مجموعه Z تعلق دارد. از مجموعه رئوس V، ۴ رأس به مجموعه T و ۴رأس به مجموعه $V\setminus T$ تعلق دارد. مجموعه T شامل رئوسی هستند که باید بازدید شوند و مجموعه رئوسی هستند که می‌توانند برای بازدید شدن مورد استفاده قرار گیرند. فاصله‌ی پوششی برابر ۳،۵ در نظر گرفته شده است و مجموعه Z همگی باید توسط مجموعه V پوشش داده شوند. در ادامه به تشریح روند تولید جواب شدنی پرداخته شده است. در ابتدا برای تعیین شدنی یا نشدنی بودن مسئله، ماتریس نقاط پوشش‌دهنده‌ی روستاها (ماتریس S) به صورت زیر ساخته می‌شود:

$$\forall i\in Z, j\in V\ ; If\ d(i,j)\le r \Rightarrow s(i,k)=j\quad ; k\in N$$

برای مثال چنانچه ماتریس S بر اساس چیدمان رئوس و فاصله‌ی پوششی به یکی از صورت‌های زیر باشد:

$$S_1=\begin{bmatrix}2&8\\2&0\\8&0\\2&8\\2&8\\4&0\\5&0\\5&0\end{bmatrix}\qquad S_2=\begin{bmatrix}2&8\\2&0\\8&0\\2&0\\0&0\\4&0\\5&0\\5&0\end{bmatrix}$$

در آن صورت بر اساس ماتریس S_1 که تعداد سطرها برابر با تعداد اعضای ماتریس Z است، مثلاً سطر اول دارای اعداد ۲ و ۸ است، یعنی عنصر اول ماتریس Z توسط رئوس شماره‌ی ۲ و ۸ ماتریس V پوشش داده شده است و یا سطر ششم ماتریس S_1 به این معناست که عنصر ششم ماتریس Z فقط توسط رأس شماره‌ی ۴ از ماتریس V پوشش داده می‌شود. همان‌طور که ملاحظه می‌شود تمام سطرهای ماتریس S_1 دارای عدد هستند و این بدان معناست که همه‌ی رئوس ماتریس Z تحت پوشش قرار گرفته‌اند و لذا S_1 نشان می‌دهد که مسئله‌ی مورد نظر شدنی است. از آنجایی که سطر پنجم ماتریس S_2 فقط عدد صفر است و این یعنی رأس پنجم ماتریس Z توسط هیچ رأسی از ماتریس Z پوشانده نشده است، بنابراین S_2 نشان می‌دهد که مسئله‌ی تور پوششی مذکور شدنی نیست. ماتریس S با در نظر گرفتن همه‌ی رئوس V و Z ساخته می‌شود و لذا این ماتریس نشان‌دهنده‌ی شدنی یا نشدنی بودن مسئله است. در این مقاله فرض بر این است که مسئله‌ی تور پوششی مورد نظر یک مسئله‌ی شدنی است. حال برای تولید یک جواب شدنی به صورت زیر عمل می‌شود. یک جواب اولیه (نه الزاماً شدنی) از مجموعه V به صورت زیر در نظر گرفته می‌شود:

$$initial\ solution=[3-4-6-7-1-2-5-8]$$

باید توجه شود که اندازه‌ی بردار اولیه (initial solution) برابر با اندازه‌ی بردار V و اعضای آن همان اعضای V هستند با این شرط که ۴ عنصر اول بردار، اعضای بردار $V\setminus T$ هستند که می‌توانند بازدید شوند و ۴ عنصر آخر بردار، اعضای بردار T هستند که باید بازدید شوند و به صورت تصادفی در نظر گرفته شده‌اند. بردار Z به طول بردار اولیه (initial solution) و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$z=[binomial\ rand\quad 1-1-1-1]$$

بردار Z مانند بردار اولیه از دو قسمت تشکیل شده است: در قسمت اول، به تعداد اعضای بردار $V\setminus T$ عدد تصادفی صفر و یک، و در قسمت دوم به تعداد اعضای بردار T عدد یک وجود دارد. بنابراین ۴ درایه‌ی اول بردار، اعداد تصادفی صفر و یک و بقیه درایه‌ها همگی عدد یک هستند. برای مثال بردار Z و initial solution را در نظر بگیرید:

$$z=[\underbrace{1-1-0-0}-1-1-1-1]$$

$$initial\ solution=[\underbrace{3-4-6-7}-1-2-5-8]$$

با در نظر گرفتن بردار Z و initial solution، بردار tour plan به‌منزله‌ی یک جواب شدنی به این صورت ساخته می‌شود: در بردار z هر درایه‌ای که یک باشد عدد متناظر با آن در بردار initial solution، عیناً در بردار tour plan قرار می‌گیرد و هر درایه‌ای که صفر باشد عدد متناظر با آن در tour plan قرار نمی‌گیرد، بنابراین داریم:

$$tour\ plan=[3-4-1-2-5-8]$$

در تولید بردار tour plan اعداد اول، دوم و چهار درایه آخر از بردار initial solution استفاده شده است. (توجه شود که لازم نیست حتماً اندازه‌ی بردار tour plan برابر با بردار initial solution گردد) از آنجایی که چهار درایه‌ی آخر بردار initial solution عضو

بردار T است لذا باید حتماً در تور قرار گیرند و به همین علت همواره برای این مثال، چهار درایه‌ی آخر بردار Z برابر یک در نظر گرفته شده است. این یک جواب تولید شده به صورت تصادفی است که ممکن است شدنی باشد یا نباشد و لزوماً از همه‌ی اعضای بردار V تولید نشده است. برای تعیین شدنی بودن یا نشدنی بودن این جواب کافی است مشخص شود که آیا جواب تولید شده همه‌ی اعضای بردار Z را پوشش می‌دهد یا خیر؟ یا به عبارتی باید مشخص گردد که آیا همه‌ی اعضای بردار Z در شعاع پوشش (r=3.5) رئوس بازدید شده در تور قرار می‌گیرند یا خیر؟ برای این کار کافیست که بردار tour plan با ماتریس S_1 در نظر گرفته شده مقایسه گردد. با مشاهده‌ی ماتریس S_1 مشخص می‌گردد که برای پوشش تمام نقاط مجموعه Z کافیست که رئوس ۲ و ۴ و ۵ و ۸ در تور مورد نظر قرار گیرند. بنابراین توری شدنی است که حداقل شامل رئوس گفته شده باشد. از آنجایی که tour plan شامل رئوس فوق است، پس نتیجه می‌شود که tour plan یک جواب شدنی برای مسئله است. در اینجا تولید یک جواب شدنی برای مسئله مطرح گردید. واضح است که برای مسئله‌ی مذکور با توجه به الگوریتم ژنتیک، چندین جواب شدنی با هزینه‌های مختلف در هر مرحله تولید و بهینگی آن‌ها طی الگوریتم بررسی می‌شود.

عملگر تقاطع

این عملگر به دنبال جست‌وجوی محلی در فضای پاسخ است و دارای انواع مختلفی مانند یک نقطه‌ای، دو نقطه‌ای، چند نقطه‌ای و غیره است. در این مقاله به‌منظور تولید دو مسیر جدید از دو مسیر اولیه از عملگر تقاطع یک نقطه‌ای استفاده شده است. فرض کنید Oldroute1 و Oldroute2 نشان‌دهنده‌ی والد اول و والد دوم، Cross point نقطه‌ی تقاطع، Newroute1 و Newroute2 فرزند اول و فرزند دوم، Part11 و Part21 به ترتیب قسمت ابتدایی تا نقطه‌ی تقاطع والد اول و والد دوم باشند همچنین Selection1 و Selection2 به ترتیب، بخش‌هایی از والد دوم و اول هستند که در Part11 و Part21 قرار ندارند، است. برای مثال نحوه‌ی به دست آمدن دو مسیر جدید از دو مسیر اولیه مانند زیر است:

$$Crosspoint=5$$

$$Oldroute1=[6-5-4-3-2-1-7-8-9]$$

$$Oldroute2=[1-3-5-7-9-2-4-6-8]$$

$$Part11=Oldroute1(1:Crosspoint)=[6-5-4-3-2]$$

$$Part21=Oldroute2(1:Crosspoint)=[1-3-5-7-9]$$

$$Newroute1=[Part11-Selection1]=[6-5-4-3-2-1-7-9-8]$$

$$Newroute2=[Part21-Selection2]=[1-3-5-7-9-6-4-2-8]$$

عملگر جهش

بعد از اجرای عملگر تقاطع که روی مسیرهای اولیه $(Oldroute)$ صورت گرفت، باید عملگر جهش برای مسیرهای جدید تولید شده $(Newroute)$ اجرا شود. ابتدا به طور تصادفی از مسیرهای جدید، مسیرهایی انتخاب می‌شوند سپس برای یک مسیر جدید جای دو مقدار با هم به طور تصادفی عوض می‌شود که این امر باعث ایجاد جهش در فضای پاسخ‌ها خواهد شد. به عنوان مثال فرض کنید دو عدد تصادفی برابر ۳ و ۶ به دست آمده است، این بدان معناست که برای $Newroute1$ جای دو تسهیل شماره‌ی ۳ و ۶ با هم عوض شده و مسیر جهش یافته به وجود آید.

$$Newroute1=[6-5-4-3-2-1-7-9-8]$$

مسیر جهش یافته به صورت زیر خواهد بود:

$$MutatedRoute=[6-5-1-3-2-4-7-9-8]$$

عملگر انتخاب

عملگر انتخاب عملگری است که برای تولید نسل جدید از آن استفاده می‌شود. نسل جدید همواره شامل تعدادی از مسیرهای برتر نسل قبل، مسیرهای جدید تولید شده و مسیرهای جهش یافته است. این عمل با استفاده از عملگر چرخ رولت[1] صورت می‌پذیرد. درصد مربوط به هر کدام از این قسمت‌ها با توجه به طراحی آزمایش‌ها برای هر مثال به دست آمده است. مثلاً برای مثال ۱۶ رأسی، ۵۰ درصد جمعیت نسل جدید از عملگر تقاطع، ۳۵ درصد از عملگر جهش و ۱۵ درصد بقیه نیز از جمعیت برتر نسل قبل به وجود آمده‌اند.

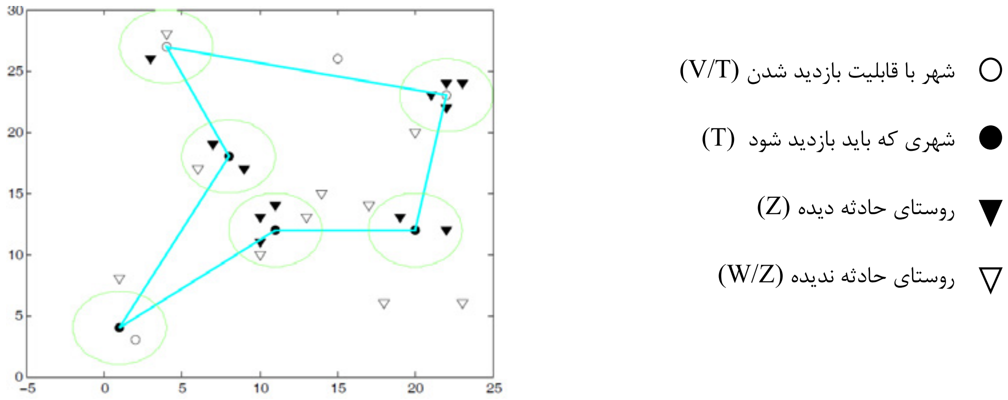
مثال‌های عددی

در ادامه ۱۲ مثال برای مسئله‌ی تور پوششی در اندازه‌های مختلف در نظر گرفته شده است. در ابتدا سه مثال اول مسئله با استفاده از نرم‌افزار Gams به صورت دقیق حل و جواب‌ها به دست آمده‌اند، سپس با استفاده از الگوریتم ژنتیک برای سه مثال اول مسئله در نرم‌افزار متلب کدنویسی صورت گرفته و حل گردیده‌اند. مشاهده می‌گردد که نتایج حل مسئله با استفاده از روش دقیق و فراابتکاری یکسان است، لذا کد مسئله‌ی ژنتیک نوشته شده کارا است و می‌توان از آن برای حل مسئله در ابعاد بزرگ بهره برد؛ بنابراین مثال‌های دیگر با استفاده از الگوریتم ژنتیک حل گردیده‌اند. نتایج در جدول ۲ قابل مشاهده است.

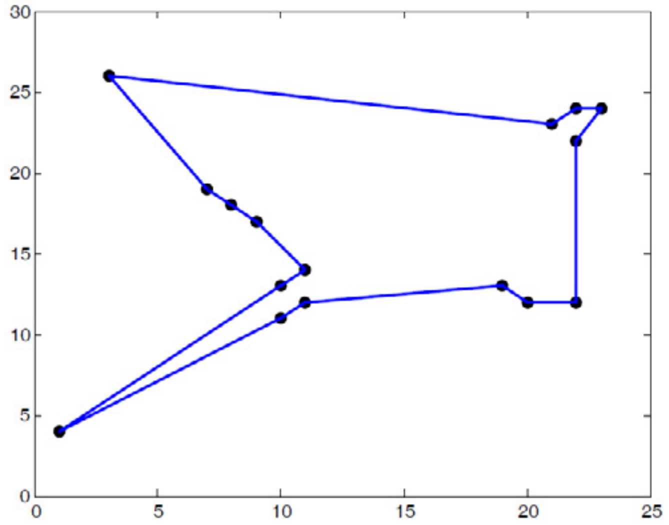
تصویر ۱ راه حل بهینه‌ی مثال ۲ از مسئله‌ی مورد بررسی در این مقاله را به تصویر می‌کشد. در این مثال تعداد اعضای مجموعه‌ی V برابر با ۸، مجموعه T برابر با ۴، مجموعه W برابر با ۲۲ و تعداد اعضای مجموعه Z برابر با ۱۲ و شعاع پوشش برابر با ۳,۵ کیلومتر است، زمان امدادرسانی (طول تور حاصل شده) برابر با ۷۶,۹۲۷۰ است. گاهی اوقات به دلیل محدودیت امکانات، زمان، هزینه و غیره امکان اینکه تیم‌های امدادرسان همه‌ی نقاط حادثه دیده را بازدید کنند وجود ندارد و همین دلیل محکمی بر موجودیت مسئله‌ی تور پوششی است. اگر هدف بازدید تمامی نقاط حادثه دیده از طرف تیم امدادرسان باشد، باید به مسئله‌ی TSP پرداخته شود. در مثال بالا اگر همه‌ی نقاط مشکی (شهرهایی که باید در تور قرار بگیرند به‌علاوه روستاهای حادثه دیده) بازدید شوند، مسئله‌ی CTP به نوعی از مسئله TSP با تعداد رئوس ۱۶ تبدیل شود که زمان امدادرسانی و یا طول تور حاصل شده برابر با

جدول ۲: حل مثال‌های تور پوششی با استفاده از نرم‌افزار Gams و الگوریتم ژنتیک

	مشخصات مسئله	Gams	الگوریتم ژنتیک	Gap
مثال ۱	$\lvert V\rvert = 8, \lvert T\rvert = 4,\ \lvert Z\rvert = 8,\ n = 16,\ r = 3.5$	۶۸،۲۶۶۳	۶۸،۲۶۶۳	۰
مثال ۲	$\lvert V\rvert = 8, \lvert T\rvert = 4,\ \lvert Z\rvert = 12, n = 20,\ r = 3.5$	۷۶،۹۲۷۰	۷۶،۹۲۷۰	۰
مثال ۳	$\lvert V\rvert = 9, \lvert T\rvert = 4,\ \lvert Z\rvert = 16, n = 25,\ r = 3.5$	۷۸،۸۳۴۸	۷۸،۸۳۴۸	۰
مثال ۴	$\lvert V\rvert = 9, \lvert T\rvert = 4,\ \lvert Z\rvert = 26, n = 35,\ r = 3.5$	–	۷۷،۱۵۸۸	–
مثال ۵	$\lvert V\rvert = 10, \lvert T\rvert = 4, \lvert Z\rvert = 35, n = 45,\ r = 3.5$	–	۸۱،۰۹۵۷	–
مثال ۶	$\lvert V\rvert = 11, \lvert T\rvert = 5, \lvert Z\rvert = 44, n = 55,\ r = 3.5$	–	۸۱،۰۹۵۷	–
مثال ۷	$\lvert V\rvert = 12, \lvert T\rvert = 5, \lvert Z\rvert = 48, n = 60,\ r = 3.5$	–	۸۶،۹۵۷۴	–
مثال۸	$\lvert V\rvert = 13, \lvert T\rvert = 5, \lvert Z\rvert = 48, n = 61,\ r = 3.5$	–	۸۵،۰۱۱۲	–
مثال ۹	$\lvert V\rvert = 15, \lvert T\rvert = 5, \lvert Z\rvert = 55, n = 70,\ r = 3.5$	–	۹۶،۵۲۳۳	–
مثال ۱۰	$\lvert V\rvert = 18, \lvert T\rvert = 5, \lvert Z\rvert = 62, n = 80,\ r = 3.5$	–	۱۰۱،۴۳۸۲	–
مثال ۱۱	$\lvert V\rvert = 20, \lvert T\rvert = 5, \lvert Z\rvert = 70, n = 90,\ r = 3.5$	–	۱۰۲،۲۹۵۵	–
مثال ۱۲	$\lvert V\rvert = 23, \lvert T\rvert = 5, \lvert Z\rvert = 77, n = 100, r = 3.5$	–	۱۰۳،۰۶۲۴	–



تصویر ۱: مثالی از یک راه حل شدنی برای مسئله‌ی تور پوششی در شرایط امدادرسانی

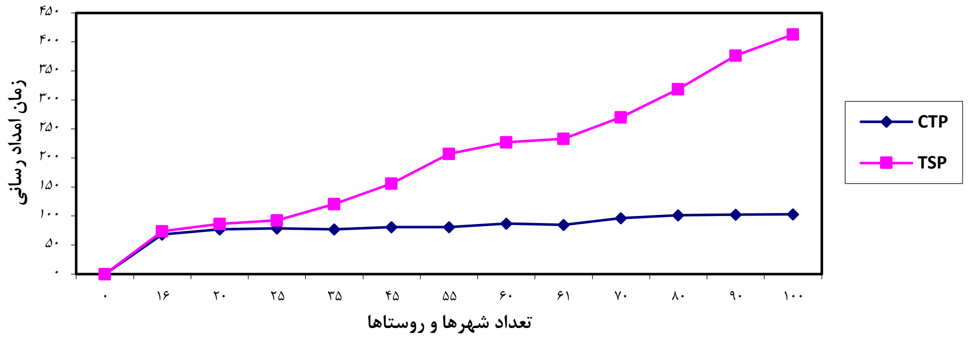


تصویر ۲: راه حل بهینه‌ی مسئله‌ی TSP در شرایط امدادرسانی

۸۶،۲۹۷۳ است. تصویر ۲ مسئله‌ی TSP حاصل شده از مسئله‌ی CTP را با تور به دست آمده از الگوریتم ژنتیک نشان می‌دهد. در ادامه برای مثال‌های قبل، مسئله‌ی تور پوششی و مسئله‌ی فروشنده‌ی دوره‌گرد متناظر با آن با استفاده از الگوریتم ژنتیک، در محیط نرم‌افزار متلب کدنویسی شده و جواب آن‌ها در جدول ۳ آورده شده و در تصویر ۳ نشان داده شده است. جواب‌ها نشان می‌دهند که استفاده از مسئله‌ی تور پوششی به مراتب کاراتر از مسئله‌ی فروشنده دوره‌گرد است و باعث کاهش چشمگیر زمان

جدول ۳: مقایسه‌ی جواب‌های مسئله‌ی تور پوششی و فروشنده‌ی دوره‌گرد مرتبط در اندازه‌های مختلف

	مشخصات مسئله	جواب *CTP* با الگوریتم ژنتیک	مشخصات مسئله *TSP*	جواب *TSP* با الگوریتم ژنتیک	*Gap*
مثال ۱	$\|V\| = 8,\ \|T\| = 4, \|Z\| = 8,\ n = 16,\ r = 3.5$	۶۸،۲۶۶۳	$n = 12$	۷۳،۵۵۹۲	۵،۲۹۲۹
مثال ۲	$\|V\| = 8,\ \|T\| = 4, \|Z\| = 12, n = 20,\ r = 3.5$	۷۶،۹۲۷۰	$n = 16$	۸۶،۲۹۷۳	۹،۳۷۰۳
مثال ۳	$\|V\| = 9,\ \|T\| = 4, \|Z\| = 16, n = 25,\ r = 3.5$	۷۸،۸۳۴۸	$n = 20$	۹۲،۳۶۹۶	۱۳،۵۳۸۴
مثال ۴	$\|V\| = 9,\ \|T\| = 4, \|Z\| = 26, n = 35,\ r = 3.5$	۷۷،۱۵۸۸	$n = 30$	۱۲۰،۹۲۷۲	۴۳،۷۶۸۴
مثال ۵	$\|V\| = 10, \|T\| = 4, \|Z\| = 35, n = 45,\ r = 3.5$	۸۱،۰۹۵۷	$n = 39$	۱۵۵،۸۵۴۱	۷۴،۷۵۸۴
مثال ۶	$\|V\| = 11, \|T\| = 5, \|Z\| = 44, n = 55,\ r = 3.5$	۸۱،۰۹۵۷	$n = 49$	۲۰۷،۰۶۵۴	۱۲۵،۹۶۹۷
مثال ۷	$\|V\| = 12, \|T\| = 5, \|Z\| = 48, n = 60,\ r = 3.5$	۸۶،۹۵۷۴	$n = 53$	۲۲۶،۹۰۷۷	۱۳۹،۹۵۰۳
مثال ۸	$\|V\| = 13, \|T\| = 5, \|Z\| = 48, n = 61,\ r = 3.5$	۸۵،۰۱۱۲	$n = 53$	۲۳۳،۳۷۶۸	۱۴۸،۳۶۵۶
مثال ۹	$\|V\| = 15, \|T\| = 5, \|Z\| = 55, n = 70,\ r = 3.5$	۹۶،۵۲۳۳	$n = 60$	۲۷۰،۲۰۹۴	۱۷۳،۶۸۶۱
مثال ۱۰	$\|V\| = 18, \|T\| = 5, \|Z\| = 62, n = 80,\ r = 3.5$	۱۰۱،۴۳۸۲	$n = 67$	۳۱۸،۶۴۱	۲۱۷،۲۰۲۸
مثال ۱۱	$\|V\| = 20, \|T\| = 5, \|Z\| = 70, n = 90,\ r = 3.5$	۱۰۲،۲۹۵۵	$n = 75$	۳۷۶،۲۹۶۶	۲۷۴،۰۰۱۱
مثال ۱۲	$\|V\| = 23, \|T\| = 5, \|Z\| = 77, n = 100, r = 3.5$	۱۰۳،۰۶۲۴	$n = 82$	۴۱۲،۷۰۶۳	۳۰۹،۶۴۳۹



تصویر ۳: مقایسه‌ی زمان امدادرسانی در CTP و TSP برای مثال‌های بیان شده

امدادرسانی و تلفات احتمالی می‌گردد. منظور از مسئله‌ی فروشنده دوره‌گرد متناظر با مسئله‌ی تور پوششی آن است که در مسئله‌ی فروشنده‌ی دوره‌گرد، اهداف و مقاصد مسئله‌ی تور پوششی برآورده شوند، یعنی همه‌ی روستاها و شهرهای حادثه‌دیده توسط تیم‌ها، امدادرسانی شوند. جدول ۳ نشان می‌دهد که با افزایش تعداد رئوس اختلاف مدت زمان امدادرسانی در مسئله‌ی تور پوششی و مسئله‌ی فروشنده‌ی دوره‌گرد متناظر به طور صعودی افزایش می‌یابد.

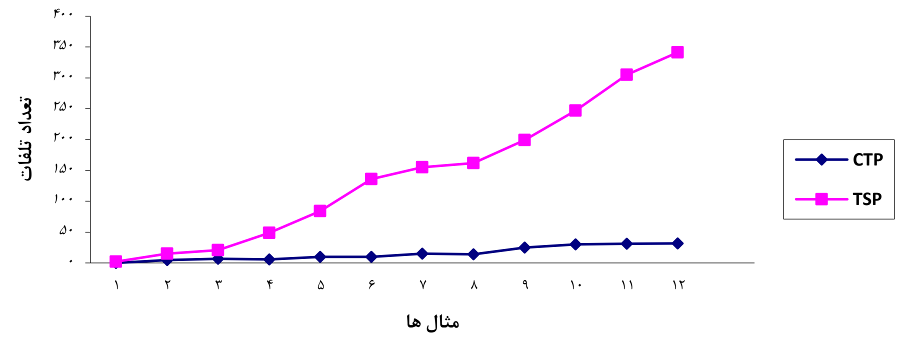
در تصویر ۳ زمان امدادرسانی (طول تورها) برای مسائل TSP و CTP متناظر با هم آورده شده‌اند. همان‌گونه که از نمودار مشخص است با افزایش تعداد رئوس طول تور TSP تشکیل شده نسبت به طول تور تشکیل شده در CTP به مراتب بیشتر می‌شود یا به عبارتی با افزایش تعداد رئوس اختلاف مدت زمان امدادرسانی در TSP و CTP به شدت در حال افزایش است.

زمانی که یک حادثه‌ی طبیعی فاجعه‌بار رخ می‌دهد، عملیات امدادرسانی اورژانسی (فوری) برای نجات جان افراد بسیار حیاتی است. بسیاری از افراد در نواحی فاجعه دیده در زیر ساختمان‌های فرو پاشیده و یا در زیر آوار زلزله به دام افتاده‌اند و ممکن است شانس بزرگی برای ادامه‌ی زندگی داشته باشند، اگر آن‌ها در ۷۲" ساعت طلایی"[۳] بعد از وقوع فاجعه نجات یابند[۲۰]. بر اساس تجربیات و آمارهای موجود در زمان حوادث، اگر تا ۷۲ ساعت پس از وقوع بحران امدادرسانی به خوبی انجام گیرد، می‌توان ادعا کرد که این بحران به خوبی مدیریت شده است و بی‌شک میزان تلفات جانی و مالی به طور چشمگیری کاهش می‌یابد اما پس از این زمان ساعت شنی خالی شده و دیگر امدادرسانی مگر در مواردی معجزه‌آسا، نمی‌تواند باعث نجات افراد حادثه دیده شود. همچنین بر اساس مطالعات صورت گرفته، کشور ما با توجه به مخاطرات موجود همچون زلزله و سیل و رانش زمین و غیره جزو کشورهای سانحه‌خیز دنیاست. همچنین اگر سطح خطرپذیری تنها با استفاده از مخاطره‌ی زلزله مورد بررسی قرار گیرد ششمین کشور دنیا از نظر خطرپذیری هستیم.

برای توضیح بیشتر، مثال ۲ را در نظر می‌گیریم. فرض کنید حادثه‌ای رخ داده است که داده‌های آن مطابق با داده‌های مثال ۲ باشد. در مسئله‌ی امدادرسانی CTP مدت زمان امداد برابر با ۷۶،۹۲۷ و در مسئله‌ی TSP متناظر با آن، مدت زمان امدادرسانی برابر با ۸۶،۲۹۷ واحد (ساعت) شده است. با توجه به اینکه مدت زمان امدادرسانی در این مسئله بیشتر از ۷۲ ساعت است بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که ممکن است در برخی از نقاط حادثه

جدول ۴: مقایسه‌ی تلفات به دست آمده در مسئله‌ی تور پوششی و فروشنده‌ی دوره گرد مرتبط در اندازه‌های مختلف

مثال	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
مسئله‌ی تور پوششی	0	5	7	6	10	10	15	14	25	30	31	32
مسئله‌ی فروشنده‌ی دوره‌گرد	2	15	21	49	84	136	155	162	199	247	305	341



تصویر ۴: مقایسه‌ی تعداد تلفات به دست آمده در CTP و TSP برای مثال‌های بیان شده

جدول ۵: تحلیل حساسیت مسئله‌ی تور پوششی با شعاع‌های پوشش متفاوت

	مشخصات مسئله	$r = 3.5$	$r = 5$	$r = 7$	$r = 10$
مثال ۱	$\lvert V\rvert = 8, \lvert T\rvert = 4, \lvert Z\rvert = 8, n = 16$	۶۸,۲۶۶۳	۶۸,۲۶۶۳	۶۸,۲۶۶۳	۵۰,۸۷۵۱
مثال ۲	$\lvert V\rvert = 8, \lvert T\rvert = 4, \lvert Z\rvert = 12, n = 20$	۷۶,۹۲۷۰	۷۶,۹۲۷۰	۷۶,۹۲۷۰	۶۳,۵۰۵۱
مثال ۳	$\lvert V\rvert = 9, \lvert T\rvert = 4, \lvert Z\rvert = 16, n = 25$	۷۸,۸۳۴۸	۷۶,۹۲۷۰	۷۶,۹۲۷۰	۶۳,۵۰۵۱
مثال ۴	$\lvert V\rvert = 9, \lvert T\rvert = 4, \lvert Z\rvert = 26, n = 35$	۷۷,۱۵۸۸	۷۷,۱۴۹۱	۷۷,۱۴۹۱	۷۶,۹۲۷۰
مثال ۵	$\lvert V\rvert = 10, \lvert T\rvert = 4, \lvert Z\rvert = 35, n = 45$	۸۱,۰۹۵۷	۸۱,۰۸۵۹	۸۱,۰۸۵۹	۷۳,۲۱۹۰
مثال ۶	$\lvert V\rvert = 11, \lvert T\rvert = 5, \lvert Z\rvert = 44, n = 55$	۸۱,۰۹۵۷	۸۱,۰۸۵۹	۸۱,۰۸۵۹	۸۰,۸۶۳۹
مثال ۷	$\lvert V\rvert = 12, \lvert T\rvert = 5, \lvert Z\rvert = 48, n = 60$	۸۶,۹۵۷۴	۸۶,۳۹۰۵	۸۶,۳۹۰۵	۸۰,۸۶۳۹
مثال ۸	$\lvert V\rvert = 13, \lvert T\rvert = 5, \lvert Z\rvert = 48, n = 61$	۸۵,۰۱۱۲	۸۴,۵۲۵۹	۸۴,۵۲۵۹	۸۰,۸۶۳۹
مثال ۹	$\lvert V\rvert = 15, \lvert T\rvert = 5, \lvert Z\rvert = 55, n = 70$	۹۶,۵۲۳۳	۹۵,۹۵۰۹	۹۵,۹۵۰۹	۹۲,۹۶۰۹
مثال ۱۰	$\lvert V\rvert = 18, \lvert T\rvert = 5, \lvert Z\rvert = 62, n = 80$	۱۰۱,۴۳۸۲	۹۹,۵۴۶۶	۹۵,۶۹۵۰	۸۹,۶۲۴۴
مثال ۱۱	$\lvert V\rvert = 20, \lvert T\rvert = 5, \lvert Z\rvert = 70, n = 90$	۱۰۲,۲۹۵۵	۱۰۰,۰۲۲۳	۹۰,۴۷۳۹	۹۰,۲۳۱۷
مثال ۱۲	$\lvert V\rvert = 23, \lvert T\rvert = 5, \lvert Z\rvert = 77, n = 100$	۱۰۳,۰۶۲۴	۱۰۱,۴۵۶۴	۹۰,۸۲۳۰	۸۱,۹۵۳۸

دیده تلفاتی وجود داشته باشد. همچنین فرض کنید که به ازای هر ساعت بیشتر از ۷۲ ساعت یک نفر تلفات وجود داشته باشد. بنابراین واضح است که اگر این حادثه با CTP مدیریت گردد، تعداد ۵ نفر تلفات وجود دارد و اگر با TSP مدیریت گردد تعداد ۱۵ نفر تلفات خواهد داشت. بنابراین به وضوح مشخص است که امدادرسانی با کمک مسئله‌ی CTP باعث کاهش تلفات خواهد شد. در جدول زیر برای ۱۲ مثال تعداد تلفات با در نظر گرفتن مسئله‌ی CTP و TSP محاسبه شده است.

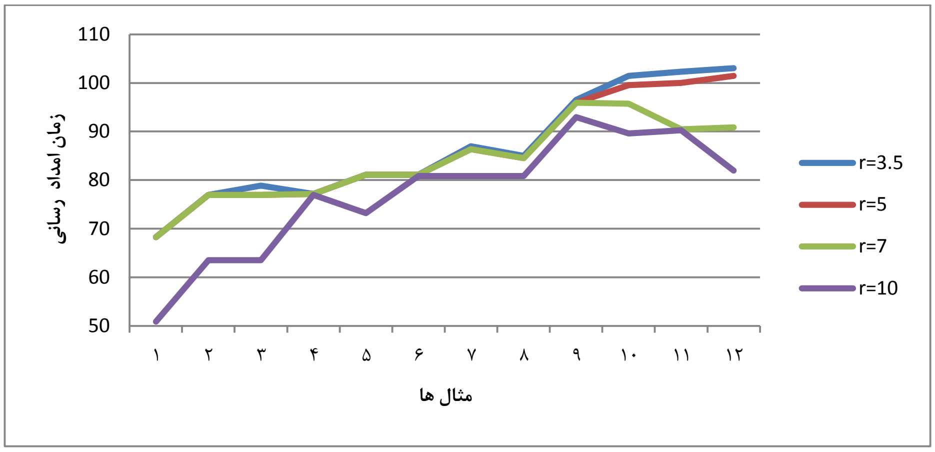
در تصویر ۴ مقایسه‌ی بین تعداد تلفات حاصل از امدادرسانی با در نظر گرفتن هر دو مسئله TSP و CTP آورده شده است. همان‌گونه که از نمودار مشخص است با افزایش تعداد نقاط حادثه دیده، تعداد تلفات حاصل شده در مسئله‌ی TSP نسبت به تعداد تلفات در CTP به مراتب بیشتر است یا به عبارتی با افزایش تعداد نقاط حادثه دیده، اختلاف تعداد تلفات حاصل شده در TSP و CTP به شدت در حال افزایش است.

تحلیل حساسیت مسئله RCTP

در این قسمت، پارامترهای مؤثر در مسئله مورد بررسی قرار گرفته و تحلیل حساسیت متناظر با آن‌ها انجام شده است.

شعاع پوشش

برای انجام تحلیل حساسیت، ۱۲ مثال برای مسئله در نظر گرفته شده و در جدول ۵ آورده شده‌اند. مثال‌ها در ابعاد مختلف از ۱۲ رأس تا ۱۰۰ رأس و با چهار شعاع پوشش ۳،۵، ۵، ۷ و ۱۰ در نظر گرفته شده‌اند. همان‌گونه که از این جدول قابل مشاهده است، با افزایش شعاع پوشش زمان امداد (طول تور) کاهش می‌یابد.



تصویر ۵: طول تور مربوط به مثال‌های مسئله‌ی تور پوششی به ازای شعاع‌های پوششی مختلف

جدول ۶: تحلیل حساسیت مسئله‌ی CTP نسبت به تعداد نقاط مجموعه‌ی Z

	مشخصات مسئله	جواب مسئله *CTP*	جواب مسئله *TSP* متناظر	اختلاف *CTP* و *TSP*
مرحله‌ی ۱	$n=55, \lvert V\rvert=11, \lvert T\rvert=5, \lvert Z\rvert=44, r=3.5$	۸۱،۰۹۵۷	۲۰۷،۰۶۵۴	۱۲۵،۹۶۹۷
مرحله‌ی ۲	$n=55, \lvert V\rvert=11, \lvert T\rvert=10, \lvert Z\rvert=39, r=3.5$	۸۵،۴۸۴۹	۲۰۷،۰۶۵۴	۱۲۱،۵۸۰۵
مرحله‌ی ۳	$n=55, \lvert V\rvert=11, \lvert T\rvert=15, \lvert Z\rvert=34, r=3.5$	۹۰،۸۴۷۵	۲۰۷،۰۶۵۴	۱۱۶،۲۱۷۹
مرحله‌ی ۴	$n=55, \lvert V\rvert=11, \lvert T\rvert=20, \lvert Z\rvert=29, r=3.5$	۱۱۰،۱۲۱۷	۲۰۷،۰۶۵۴	۹۶،۹۴۳۷
مرحله‌ی ۵	$n=55, \lvert V\rvert=11, \lvert T\rvert=25, \lvert Z\rvert=24, r=3.5$	۱۱۹،۸۳۷۶	۲۰۷،۰۶۵۴	۸۷،۲۲۷۸
مرحله‌ی ۶	$n=55, \lvert V\rvert=11, \lvert T\rvert=30, \lvert Z\rvert=19, r=3.5$	۱۲۴،۷۳۷۶	۲۰۷،۰۶۵۴	۸۲،۳۲۷۸
مرحله‌ی ۷	$n=55, \lvert V\rvert=11, \lvert T\rvert=35, \lvert Z\rvert=14, r=3.5$	۱۴۴،۵۶۳۰	۲۰۷،۰۶۵۴	۶۲،۵۰۲۴
مرحله‌ی ۸	$n=55, \lvert V\rvert=11, \lvert T\rvert=40, \lvert Z\rvert=9, r=3.5$	۱۷۴،۰۱۶۱	۲۰۷،۰۶۵۴	۳۳،۰۴۹۳
مرحله‌ی ۹	$n=55, \lvert V\rvert=11, \lvert T\rvert=45, \lvert Z\rvert=4, r=3.5$	۱۹۰،۶۷۰۹	۲۰۷،۰۶۵۴	۱۶،۳۹۴۵
مرحله‌ی ۱۰	$n=55, \lvert V\rvert=11, \lvert T\rvert=49, \lvert Z\rvert=0, r=3.5$	۲۰۶،۰۵۴۵	۲۰۷،۰۶۵۴	۱،۰۱۰۹

تصویر ۵ مدت زمان امدادرسانی به ازای چهار شعاع پوشش متفاوت را برای مسئله‌ی تور پوششی نشان می‌دهد. همان‌گونه که از این تصویر مشخص است، با افزایش شعاع پوشش، مدت زمان امدادرسانی کاهش می‌یابد و همچنین مشاهده می‌شود که نمودار مربوط به شعاع پوشش $r=10$ که بیشترین شعاع پوششی است دارای کمترین زمان امداد به ازای مثال‌های مختلف است.

تعداد نقاط تقاضا

در اینجا به تحلیل حساسیت مسئله از نظر تعداد نقاط مجموعه‌ی Z پرداخته شده است. در هر مرحله تعداد نقاط مجموعه‌ی Z کم و به مجموعه T افزوده می‌شود و جواب آن با استفاده از الگوریتم ژنتیک به دست می‌آید. این عمل برای مثال ۶ انجام گرفته و نتیجه‌ی آن در جدول ۶ قابل مشاهده است. در این جدول طی چندین مرحله از رئوس مجموعه‌ی Z کاسته شده و به رئوس مجموعه‌ی T افزوده شده است. در هر مرحله جواب مسئله CTP با استفاده از الگوریتم ژنتیک به دست آمده است. با مشاهده‌ی جدول ۶ نتیجه‌گیری می‌شود که با کاهش تعداد رئوس از مجموعه‌ی Z و افزودن آن رئوس به مجموعه‌ی T در هر مرحله، طول تور تشکیل یافته مسئله CTP به تور TSP متناظر در حال نزدیک‌تر شدن است، به طوری که در مرحله‌ی ۱۰، طول تور CTP و TSP متناظر تقریباً برابر است و این خطای کوچک نیز ناشی از تعداد رئوس تقریباً زیاد مسئله و اجرای الگوریتم ژنتیک است. به بیان دیگر مسئله‌ی CTP زمانی از اهمیت بیشتری برخوردار خواهد بود که تعداد روستاهای آسیب‌دیده که امکان بازدید مستقیم آن‌ها توسط تیم امدادی وجود ندارد، زیاد باشد.

استفاده از طراحی آزمایش‌ها برای تنظیم پارامترها

پارامترهای الگوریتم حل، نرخ جهش، نرخ تقاطع، جمعیت و تعداد تکرارها هستند. برای اینکه اثر تغییر این پارامترها را روی کیفیت جواب‌های تابع هدف بسنجیم از طرح آزمایشی تاگوچی در طراحی آزمایش‌ها استفاده شده است. برای هر یک از عوامل، سه سطح در نظر گرفته شده است؛ نرخ تقاطع ۰،۷ و ۰،۷۵ و ۰،۸ ، نرخ جهش ۰،۲ و ۰،۱۵ و ۰،۱ ، جمعیت ۴۰ و ۵۰ و ۶۰ و برای حداکثر تکرارها ۴۰۰ و ۵۰۰ و ۶۰۰ در نظر گرفته شده‌اند؛ برای حل هر یک از مسائل تنظیم پارامترها انجام شده و نهایتاً مسئله با الگوریتم تنظیم شده حل شده است. برای نمونه در جدول ۷ برای مثال ۶، طرح آزمایش تاگوچی دارای ۹ آزمایش است که توسط نرم‌افزار مینی‌تب به دست آمده است، در ستون پاسخ، جواب الگوریتم ژنتیک به صورت میانگین بعد از ۵ بار تکرار آورده شده است.

با در نظر گرفتن ستون میانگین در نرم‌افزار مینی‌تب، طرح ۳-۲-۲-۲ به عنوان بهترین طرح معرفی می‌گردد، یعنی برای

جدول ۷: نتایج طرح آزمایش تاگوچی برای پارامترهای الگوریتم ژنتیک مثال ۶ در مسئله‌ی TSP

شماره طرح	طرح آزمایش	تکرار ۱	تکرار ۲	تکرار ۳	تکرار ۴	تکرار ۵	میانگین
۱	۱-۱-۱-۱	۲۵۹,۳۶۰۴	۲۵۳,۵۵۹۵	۲۱۱,۵۱۰۱	۲۴۶,۲۳۰۴	۲۲۷,۲۸۹۸	۲۳۹,۵۹۰۰۴
۲	۱-۲-۲-۲	۲۵۴,۴۴۵۰	۲۲۲,۹۰۴۳	۲۳۶,۷۵۱۸	۱۹۹,۶۲۷۳	۲۰۹,۴۱۷۳	۲۲۴,۶۲۹۱۴
۳	۱-۳-۳-۳	۲۲۳,۷۹۵۸	۲۳۵,۲۱۳۱	۲۰۵,۳۲۷۶	۲۴۵,۴۰۰۹	۲۱۵,۸۷۶۰	۲۲۵,۱۲۲۶۸
۴	۲-۱-۲-۳	۲۲۴,۵۲۴۳	۱۸۶,۳۰۱۳	۱۸۸,۸۰۳۹	۲۴۱,۷۱۵۱	۲۴۵,۲۴۶۰	۲۱۷,۳۱۸۱۲
۵	۲-۲-۳-۱	۲۳۶,۷۷۳۷	۲۴۰,۳۰۳۵	۲۰۹,۴۳۲۱	۲۴۲,۴۹۰۹	۲۱۵,۵۷۷۸	۲۲۸,۹۱۵۶
۶	۲-۳-۱-۲	۲۶۰,۸۶۸۲	۲۲۷,۸۱۶۱	۲۵۴,۵۴۵۷	۲۱۷,۷۴۰۳	۲۵۰,۴۷۸۰	۲۴۲,۲۸۹۶۶
۷	۳-۱-۳-۲	۳۶۷,۳۷۶۶	۳۷۱,۰۹۴۳	۲۸۹,۸۳۸۲	۳۳۶,۱۲۷۷	۲۴۴,۴۴۷۶	۳۲۱,۷۷۶۸۸
۸	۳-۲-۱-۳	۲۲۶,۴۸۶۳	۲۱۴,۱۱۱۶	۲۲۵,۷۵۳۵	۱۹۷,۹۳۵۰	۲۳۲,۷۵۸۶	۲۱۹,۴۰۹۰
۹	۳-۳-۲-۱	۲۳۶,۷۱۵۷	۲۷۴,۶۳۵۰	۲۳۰,۳۲۱۰	۲۳۲,۶۳۵۶	۲۱۳,۴۱۵۲	۲۳۷,۵۴۴۵

مثال ۶ باید نرخ تقاطع ۰,۷۵، نرخ جهش ۰,۱۵، تعداد جمعیت ۵۰ و حداکثر تکرارها برابر ۶۰۰ در نظر گرفته شود، که با وارد کردن اعداد بالا در الگوریتم ژنتیک و اجرای آن توسط نرم‌افزار متلب بعد از ۵ بار اجرا جواب به صورت میانگین برابر ۲۰۷,۰۶۵۴ شده است. برای بقیه‌ی مثال‌های TSP نیز آزمایش تاگوچی را انجام داده و نتایج در جداول قبل آورده شده‌اند. برای مسئله‌ی CTP نیز مانند مسئله‌ی TSP طرح آزمایشی تاگوچی انجام شده و با الگوریتم تنظیم شده مسائل حل شده‌اند.

نتیجه‌گیری

مسئله‌ی مورد بررسی در این تحقیق، مسئله‌ی تور پوششی با پنجره‌های زمانی سخت در شرایط امدادرسانی است. اهدافی که در این تحقیق در نظر گرفته شده است عبارت است از یافتن یک تور همیلتونی به گونه‌ای که از چندین شهر بگذرد و همه‌ی روستاهای حادثه دیده را پوشش دهد. برای این منظور در ابتدا مدل‌سازی مسئله با در نظر گرفتن محدودیت‌های پنجره‌ی زمانی انجام گرفت و سپس برای حل آن، با استفاده از الگوریتم ژنتیک در نرم‌افزار متلب کدنویسی انجام گرفت و برای ۱۲ مثال اجرا شد. برای اعتبارسنجی الگوریتم پیشنهادی، سه مثال ابتدایی از ۱۲ مثال با استفاده از نرم‌افزار گمز (Gams) به صورت دقیق حل گردید. سپس نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک پیشنهادی با جواب‌های به دست آمده از حل روش دقیق توسط نرم‌افزار گمز مقایسه و مشاهده شد که جواب‌ها یکسان است. لذا الگوریتم ژنتیک مذکور، الگوریتمی کارا و کاربردی ارزیابی شد که برای حل مثال‌ها در ابعاد بزرگ‌تر مورد استفاده قرار گرفت. همچنین مسئله‌ی تور پوششی و مسئله‌ی فروشنده‌ی دوره‌گرد طی چندین مثال با هم مقایسه شده و نتیجه‌گیری شد که حل مسئله‌ی امداد با استفاده از مسئله‌ی تور پوششی به مراتب دارای جواب‌های بهتری بوده و موجب امدادرسانی سریع‌تر و درنتیجه بروز تلفات کمتری می‌شود. در ادامه به تحلیل حساسیت مسئله‌ی تور پوششی از نظر شعاع پوشش و تعداد نقاط تقاضا پرداخته شد و نتیجه‌گیری شد که هر چه شعاع پوشش بزرگ‌تر باشد، طول تور تشکیل شده کمتر می‌شود، همچنین هر چه از تعداد رئوس نقاط تقاضا کم و به مجموعه رئوس T اضافه کنیم، مسئله‌ی CTP به مسئله‌ی TSP نزدیک‌تر می‌شود. در این مقاله برای ارزیابی و تعیین پارامترهای مسئله از طرح آزمایشی تاگوچی استفاده شده است که جواب‌های مسئله در قالب مثال‌های گوناگون بعد از مشخص شدن پارامترهای مسئله، به دست آمده‌اند. بررسی مسئله‌ی تور پوششی با تیم‌های مکمل امدادرسانی و استفاده از سایر الگوریتم‌های ابتکاری و فرا ابتکاری برای مطالعات آتی این تحقیق پیشنهاد می‌شوند.

پی‌نوشت

1. Traveling Salesman Problem(TSP)
2. Set Covering Problem (SCP)
3. Covering salesman problem
4. COVTOUR
5. Median Tour Problem
6. Maximal Covering Tour Problem
7. MEDTOUR
8. Set Covering Problem
9. Traveling Salesman Problem
10. Multi-vehicle Covering Tour Problem(m-CTP)
11. Bi-Objective Covering Tour Problem(BOCTP)
12. ε-constraint
13. Multi-Objective Covering Tour Problem
14. bi-objective stochastic covering tour problem(BOSCTP)
15. Integer linear programming
16. Global Criterion(GC) Method
17. Multi-vehicle covering tour problem
18. Branch-and-Price
19. Column Generation Heuristic
20. two-commodity flow model
21. Evolutionary Local Search
22. Multi Depot Capacitated Vehicle Routing Problem
23. Multi Depot Covering Tour Vehicle Routing Problem
24. Variable Neighborhood Search
25. Greedy Randomized Adaptive Search Procedures
26. Relief Covering Tour Problem with Hard Time Windows
27. Relief Covering Tour Problem with Hard Time Windows
28. Greedy Randomized Adaptive Search Procedures

F. (2013). The multi-vehicle covering tour problem: building routes for urban patrolling, arXiv preprint arXiv:1309.5502.

15. Lopes, R., Souza, V.A., da Cunha, A.S. (2013). A Branch-and-price Algorithm for the Multi-Vehicle Covering Tour Problem, Electronic Notes in Discrete Mathematics, vol. 44, 61-66.

16. Hà, M.H., Bostel, N., Langevin, A., Rousseau, L.-M. (2013). An exact algorithm and a metaheuristic for the multi-vehicle covering tour problem with a constraint on the number of vertices. *European Journal of Operational Research*, vol. 226(2), 211-220.

17. Prins, C. (2009). A GRASP× evolutionary local search hybrid for the vehicle routing problem Bio-inspired algorithms for the vehicle routing problem, Springer, 35-53.

18. Allahyari, S., Salari, M., Vigo, D. (2015). A hybrid metaheuristic algorithm for the multi-depot covering tour vehicle routing problem. *European Journal of Operational Research*, vol. 242(3), 756-768.

19. Kammoun, M., Derbel, H., Ratli, M., Jarboui, B. (2015). A variable neighborhood search for solving the multi-vehicle covering tour problem. *Electronic Notes in Discrete Mathematics*, vol. 47, 285-292.

20. Lien, Y.-N., Jang, H.-C., & Tsai, T.-C. (2009). A MANET based emergency communication and information system for catastrophic natural disasters. Paper presented at the 29th IEEE International Conference on Distributed Computing Systems Workshops. Montreal, QC, Canada.

29. Simulated annealing
30. Iterated Local Search
31. Non-dominated sorting genetic algorithm ii
32. Evolutionary Local Search
33. Genetic Algorithm

منابع

1. Altay, N., Green, W.G. (2006). OR/MS research in disaster operations management. *European Journal of Operational Research*, vol. 175(1), 475-493.

2. Gendreau, M., Laporte, G., Semet, F. (1997). The covering tour problem. *Operation Research*, vol. 45(4), 568-576.

3. Current, J.R., Schilling, D.A. (1989). The covering salesman problem. *Transportation Science*, vol. 23(3), 208-213.

4. Current, J.R., Schilling, D.A. (1994). The median tour and maximal covering tour problems: Formulations and heuristic. *European Journal of Operational Research*, vol. 73(1),114-126.

5. Hachicha, M., Hodgson, M.J., Laporte, G., Semet, F. (2000). Heuristic for the multi-vehicle covering tour problem. *Computers and Operations Research*, vol. 27(1), 29-42.

6. Motta, L., Ochi, L.S., Martinhon, C. (2001). Grasp metaheuristics for the generalized covering tour problem, Paper presented at the MIC2001-4th Metaheuristics Int Conf. Porto, Portugal.

7. Baldacci, R., Boschetti, M.A., Maniezzo, V., Zamboni, M. (2005). Scatter search methods for the covering tour problem Metaheuristic optimization via memory and evolution, Springer, 59-91.

8. Jozefowiez, N., Semet, F., Talbi, E.-G. (2007). The bi-objective covering tour problem. *Computers & Operations Research,* vol. 34(7), 1929-1942.

9. Nolz, P.C., Doerner, K.F., Gutjahr, W.J., Hartl, R.F. (2010). A bi-objective metaheuristic for disaster relief operation planning Advances in multi-objective nature inspired computing, Springer, 167-187.

10. Tricoire, F., Graf, A., Gutjahr, W. J. (2012). The bi-objective stochastic covering tour problem. *Computers & Operations Research*, vol. 39(7),1582-1592.

11. Naji-Azimi, Z., Renaud, J., Ruiz, A., Salari, M. (2012). A covering tour approach to the location of satellite distribution centers to supply humanitarian aid. *European Journal of Operational Research*, vol. 222(3), 596-605.

12. Salari, M., Naji-Azimi, Z. (2012). An integer programming-based local search for the covering salesman problem. *Computers & Operations Research*, vol. 39(11), 2594-2602.

13. Ebrahimi, A., Sahraeian, R. (2012). The Maximal Backup Covering Tour Problem, Paper presented at the 6th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management.

14. Oliveira, W. A., Mello, M. P., Moretti, A. C., Reis, E.