مدیریت عملیات امداد رسانی در شرایط اضطرار با استفاده از مفهوم تور پوششی و امکان ارسال مستقیم

حسین جمالی (نویسنده مسئول)

کارشناس ارشد مهندسی صنایع دانشگاه پیام نور

hossein.jamali.2007@gmail.com

دکتر مهدی بشیری

استادیار دانشگاه شاهد

دکتر رضا توکلی مقدم

استادیار دانشگاه تهران

چکیده

یکی از مفاهیمی که در مدیریت نوین مطرح می باشد، مدیریت پایدار است که در آن جنبه های اجتماعی (و انسانی) و زیست محیطی در کنار جنبه اقتصادی مد نظر قرار می گیرند. در این خصوص برای یکی از جنبه های اجتماعی میتوان آمادگی برای امداد رسانی چابک در شرایط اضطرار را مطرح نمود. برای دستیابی به مدیریت چابک در چنین شرایطی، تعمیمی از مسأله تور پوششی ظرفیت داربا امکان امداد رسانی مستقیم به نقاط آسیب دیده، با پنجره های زمانی سخت ارائه شده است. در این مسأله نقاط حادثه دیده یا توسط پایگاه مرکزی و پایگاههای امداد برپا شده پوشش داده می شوند و یا در صورت عدم پوشش توسط این پایگاهها باید از طریق پایگاه امداد مرکزی و توسط وسایل حمل و نقل خاص، امداد رسانی مستقیم به آنها صورت گیرد.هدف این مقاله، تعیین مجموعه ای بهینه از پایگاههای امداد برپا شده و استقرار تیم های امداد رسان از پایگاه امداد مرکزی در این پایگاهها و همچنین اعزام تیم های امداد رسان به نقاط حادثه دیده ای است که تحت پوشش هیچ پایگاه امدادی قرار ندارند، به طوریکه کمترین هزینه را در برداشته و در سریع ترین زمان ممکن اتفاق افتد. یک مدل برنامه ریزی عدد صحیح مختلط برای این مساله ارائه شده و الگوریتم ژنتیک برای حل آن در اندازه های متوسط و بزرگ پیشنهاد شده است. نتایج بررسی مثالهای عددی مختلف، حاکی از صحت مدل و کارایی الگوریتم ژنتیک پیشنهادی است.

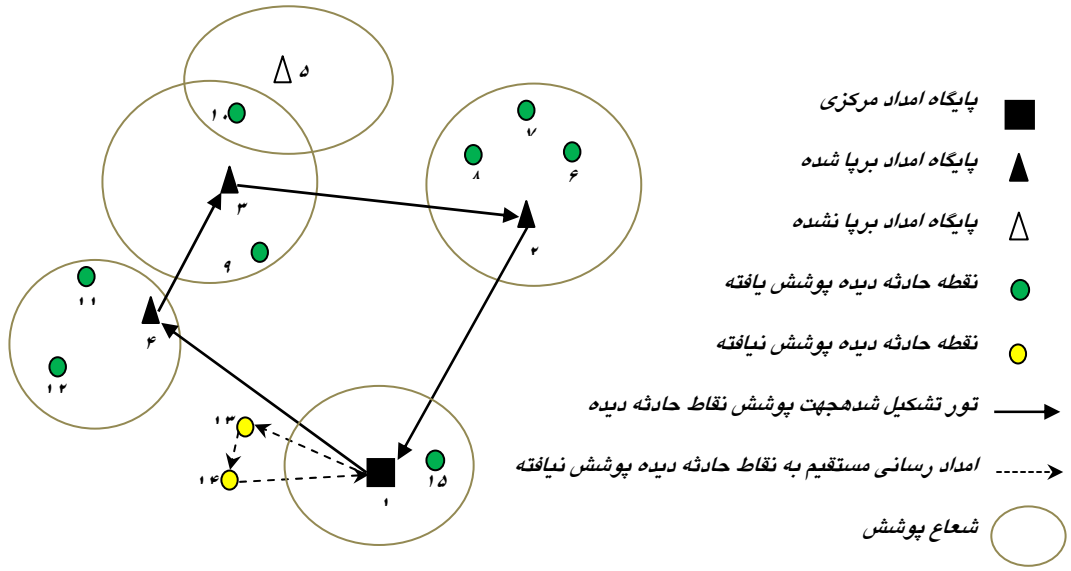
کلید واژه:

مدیریت چابک امداد رسانی، مسأله تور پوششی، امداد رسانی مستقیم، الگوریتم ژنتیک

مقدمه

چابکی به عنوان توان پاسخگویی سریع به تغییرات غیر قابل پیشبینی در زنجیره های تأمین امدادی که با بیشترین عدم قطعیت در صحنه بلایا مواجه بوده اهمیت فوق العاده ای می یابد. افزایش تعداد و شدت فجایع انسانی در دهه های اخیر (جهانگیری و فلاحی، ۱۳۸۸) و انتظار روبه رشد پنج برابری بلایای طبیعی در پنجاه سال آینده(ترابی و منصوری، ۲۰۱۱؛ کازولینو، ۲۰۱۲) باعث گردیده که صدها میلیون انسان زندگی خویش را در حلقه آسیبها و خسارات ناشی از اینگونه حوادث احساس نمایند(حسین پور، ۱۳۸٦). طوفان کاترینا و سونامی آسیا نشان داد که حتی جوامع مدرن نیز در ارائه ملزومات امدادی به روش موثر و به موقع با مشکل مواجه هستند و این در حالی است که تقریبا ۸۰ درصد از تلاشهای امداد، لجستیک است(ترانیک، ۲۰۰۵؛ آلتی، ۲۰۰٦). برای اثربخشی و پاسخگویی به برنامه های امداد رسانی مثل بهداشت، غذا، سرپناه و بهسازی، لجستیک عامل حیاتی است(تاتهام و اسپنس، ۲۰۱۱). آلتی بیان می کند با توجه به اینکه افراد آسیب دیده نمی توانند بیش از چند روز بدون آب، غذا،

دارو و سرپناه زنده بمانند بنابراین رساندن ملزومات امدادی با حداکثر سرعت و در دسترس ترین زمان ممکن امری حیاتی است(آلتی، ۲۰۰۶). کریستوفر معتقد است که جوهره اصلی مدیریت بلایا سرعت پاسخگویی است و چابکی باید قلب لجستیک های بشردوستانه باشد (کریستوفر، ۲۰۱۱). مدیریت امداد رسانی بخشی از پاسخ به فاجعه در زمان بعد از وقوع بحران می باشد که شامل دو عنصر "کمک رسانی سریع" و کمک رسانی حیاتی" می باشد. قبل از هر چیز کمک رسانی سریع به منظور نجات افراد حادثه دیده و ارائه خدمات اورژانسی در اسرع وقت در اولویت می باشد. کمک رسانی حیاتی شامل تأمین آب، غذا، دارو و غیره برای افراد حادثه دیده می باشد(نولز و همکاران، ۲۰۱۰). مسأله ای که در این مقاله به آن پرداخته شده است شامل هر دو نوع کمک رسانی می باشد.در شرایط اضطراری بعد از وقوع فاجعه به علت برخی محدودیتها، امکان امداد رسانی مستقیم به تمامی افراد حادثه دیده توسط تور امداد رسان وجود ندارد و مردم حادثه دیده باید خود را به پایگاههای امداد برپا شده ای که در یک فاصله مشخصی از آنها واقع شده اند جهت دریافت خدمات امداد رسانی برسانند. معمولا در ادبیات موضوع از این فاصله بعنوان فاصله پوششی نام برده می شود. اما برخی مواقع ممکن است نقاط حادثه دیده ای وجود داشته باشند که در فاصله پوششی هیچ پایگاه امدادی قرار نداشته باشند و در وضعیت بحرانی بعد از وقوع فاجعه قرار گرفته باشند، در این حالت باید به کمک وسایل نقلیه مخصوصی که در پایگاه امداد مرکزی موجود است به این نقاط مستقیما امداد رسانی صورت گیرد. در این مسأله فرض شده است که پایگاه امداد مرکزی و تمام پایگاههای امداد بالقوه دارای شعاع های پوششی متفاوت می باشند، همچنین در پایگاه مرکزی دو نوع وسیله نقلیه جهت حمل کالا موجود است. وسیله نقلیه نوع اول جهت تجهیز پایگاههای امداد برپا شده و وسایل نقلیه نوع دوم جهت امداد رسانی مستقیم به نقاط حادثه دیده مورد استفاده قرار می گیرند.از آنجائیکه برای امداد رسانی مستقیم به نقاط حادثه دیده ممکن است با جاده های صعب العبور کوهستانی یا جاده هایی که بر اثر وقوع فاجعه تخریب شده باشند روبرو باشیم ممکن است مدیران امداد رسان برای نجات جان حادثه دیدگان مجبور به استفاده از وسایل نقلیه مخصوص نظیر وسایل هوایی یا وسایل زمینی ویژه ای گردند که ظرفیت کمتر و هزینه بیشتری نسبت به وسایل نقلیه نوع اول دارند. معمولا در شرایط امداد رسانی بعد از وقوع فاجعه، مدیریت زمان نقش بسیار مهمی را ایفا می کند. در چنین شرایطی معمولا شدت حادثه در مناطق مختلف متفاوت است و همین امر ایجاب می کند که همه مناطق برای امداد رسانی یکسان در نظر گرفته نشوند و برخی مناطق اولویت بیشتری نسبت به بقیه داشته باشند. به همین جهت محدودیت های پنجره زمانی سخت برای این مدل استفاده شده است. با توجه به توضیحات بیان شده، استفاده از وسایل نقلیه با ظرفیت محدود و اینکه مسأله بیان شده در این تحقیق تعمیمی از مسأله تور پوششی۱(CTP)است، بنابراین می توان مسأله مورد بررسی در این تحقیق را مسأله تور پوششی ظرفیت دار با پنجره های زمانی سخت در شرایط امداد رسانی۲(RCCTPHTW) نام گذاری نمود. هدف این مقاله تعیین مجموعه ای بهینه از پایگاههای امداد جهت استقرار تیم های امداد رسان، اعزام تیم های امداد رسان از پایگاه امداد مرکزی به نقاط حادثه دیده ای که تحت پوشش هیچ پایگاه امدادی قرار نمی گیرند، مسیریابی بهینه این تیم ها از پایگاه مرکزی به پایگاههای امداد برپا شده و نقاط حادثه دیده در کمترین زمان ممکن و با حداقل هزینه می باشد به طوریکه کل تقاضا برآورده گردد. نوآوری های تحقیق حاضر را می توان در موارد زیر عنوان نمود:ارائه تعریف جدیدی از مسأله تور پوششی با امکان امداد رسانی مستقیم از پایگاه امداد مرکزی به نقاط پوشش نیافته، مدلسازی مساله تور پوششی ظرفیت دار با پنجره های زمانی سخت در شرایط امداد رسانی، استفاده از محدودیت پنجره های زمانی، طراحی الگوریتم فراابتکاری ژنتیک برای حل این مسأله در اندازه های واقعی و تحلیل حساسیت مسأله می باشد. شکل (۱) راه حلی شدنی را برای مسأله مورد بررسی در این تحقیق نشان می دهد. در این شکل یک پایگاه امداد مرکزی، ٤پایگاه امداد بالقوه (S)،همچنین ۱۰ نقطه حادثه(D) دیده وجود دارد.از ٤ پایگاه امداد بالقوه، ۳ پایگاه امداد برپا شده است.از ۱۰ نقطه حادثه دیده، ۷ نقطه توسط پایگاههای امداد برپا شده و یک نقطه توسط پایگاه مرکزی پوشش یافته اند و ۲ نقطه نیز در فاصله پوششی هیچ پایگاهی قرار ندارند و مستقیما توسط پایگاه مرکزی امداد رسانی شده اند(T). پایگاههای امداد برپا شده توسط یک وسیله نقلیه نوع اول و نقاط حادثه دیده پوشش نیافته نیز توسط یک وسیله نقلیه نوع دوم امداد رسانی شده اند. همچنین در این شکل نحوه امداد رسانی از پایگاه مرکزی به پایگاههای امداد برپا شده و نقاط حادثه دیده پوشش نیافته نمایش داده شده است.



شکل(۱): یک راه حل شدنی برای مسأله با مشخصات $|S|=4, |D|=10, |T|=2$

مقاله حاضر بصورت زیر سازماندهی شده است که در بخش دوم مقاله، مطالعات پیشین بررسی شده است. در بخش سوم، مسأله مورد تحقیق تعریف شده و مدل ریاضی آن مطرح می شود. در بخش چهارم، روش حل مسأله توضیح داده شده است. بخش پنجم، شامل ساختار الگوریتم ژنتیک پیشنهادی جهت حل مسأله با پارامترهای تنظیم شده می باشد. بخش ششم و هفتم مثالهای عددی حل شده و تحلیل حساسیت انجام شده را در بر دارند. نهایتا در بخش هشتم جمع بندی و نتیجه گیری ارائه شده است.

۱. بررسی مطالعات پیشین

در این قسمت مروری بر تحقیقات انجام گرفته روی مسأله تور پوششی که بیشترین شباهت را به مسأله مورد تحقیق دارند انجام گرفته و ویژگیهای آنها به طور مختصر در جدول (۱) آورده شده اند. با مشاهده جدول و مقایسه ویژگیهای تحقیقات انجام گرفته و تحقیق حاضر، نوآوریهای این تحقیق و خلأ تحقیقات پیشین به وضوح قابل تشخیص می باشد.

جدول(۱): مقایسه مطالعات مرتبط انجام شده در حوزه مسأله تور پوششی مرتبط و خلأ تحقیقاتی

نویسندگان	سال	مدلسازی ریاضی	نوع محدودیت			فاصله پوششی		گره های دارای تقاضا	ظرفیت وسایل نقلیه		تعداد مراکز بالقوه		روش حل دقیق	روش حل ابتکاری	روش حل فرا ابتکاری						امداد رسانی	
			پنجره زمانی	وابسته به جریان	حذف زیر تور	یکسان	متفاوت		یکسان	متفاوت	معین	آزاد			GRASP[۳]	SA[۴]	ILS[۵]	NSGA II[۶]	Based on ELS[۷]	GA[۸]	مستقیم	غیرمستقیم
کارنت و اسپیلینگ	۱۹۸۹	*		*			*				*			*								
کارنت و اسپیلینگ	۱۹۹٤	*			*	*		*			*			*								
ژندریو و همکاران	۱۹۹۷	*			*	*						*	*	*								
هاچیچا و همکاران	۲۰۰۰	*			*	*			*		*			*								
موتا و همکاران	۲۰۰۱					*						*			*							
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	*			*	*			*			*		*								
هوانگ ها و همکاران	۲۰۱۳	*		*		*		*	*			*	*						*			
الهیاری و همکاران	۲۰۱٤	*			*		*	*	*			*			*	*	*					
کامون و همکاران	۲۰۱۵					*			*			*		*								
تحقیق حاضر		*	*				*	*		*		*	*							*	*	*

۲. بیان مسأله

مسأله تور پوششی ظرفیت دار با پنجره های زمانی سخت در شرایط امداد رسانی (RCCTPHTW) بر روی گراف $G=(V,E)$ که در آن V برابر با $S\cup D\cup\{0\}$ مجموعه رئوس و E مجموعه یالهاست، تعریف می شود. $\{0\}$ بیانگر پایگاه امداد مرکزی، S شامل پایگاههای امداد بالقوه و D شامل نقاط حادثه دیده می باشد. مجموعه $T\subseteq D$ شامل نقاط حادثه دیده ای هستند که در فاصله پوششی هیچ پایگاه امدادی قرار ندارند وباید توسط پایگاه مرکزی و با استفاده از وسایل نقلیه نوع دوم امداد رسانی مستقیم به آنها صورت گیرد. بقیه اعضای مجموعه D در فاصله پوششی حداقل یک پایگاه امداد قرار دارند $(D\setminus T)$ بنابراین افراد حادثه دیده با مراجعه به این پایگاهها خدمات امدادی مورد نیاز خود را دریافت می نمایند. شرایط بحرانی روستاها، وجود خطرات جانی برای افراد حادثه دیده و عدم دسترسی آنها به پایگاههای امداد، دلیل امداد رسانی مستقیم از پایگاه مرکزی به اعضای مجموعه T با وجود هزینه بسیار زیاد امداد رسانی و شرایط بد جاده ای می باشد. دو نوعوسیله نقلیه در پایگاه امداد مرکزی موجود است که وسایل نقلیه هر نوع دارای ظرفیت های یکسان و مشابه هستند. پایگاه های امداد دارای هزینه برپا شدن، شعاع پوشش مختلف و ظرفیت محدود می باشند. امداد رسانی از پایگاه امداد مرکزی با اعزام تیم های امدادی توسط وسایل نقلیه صورت می گیرد. همچنین این مسأله می تواند شامل دو مجموعه از مسیرهای وسایل حمل و نقل با هزینه های متفاوت باشد. مسیرهای نوع اول که مسیرهای بین شهری است، بر روی مجموعه $S\cup\{0\}$ تعریف می شوند و از طریق وسایل نقلیه نوع اول پیموده می شوند.مسیرهای نوع دوم که مسیرهای بین روستایی است، بر روی مجموعه $T\cup\{0\}$ تعریف می شوند و از طریق وسایل نقلیه نوع دوم قابل دسترسی هستند. هدف از این مسأله،تعیین مکانهای مناسب جهت احداث پایگاههای امداد، تعیین تعداد وسایل نقلیه مورد نیاز از هر نوع، مشخص نمودن زمان رسیدن تیم های امداد به پایگاهها و نقاط حادثه دیده و زمان کل امداد رسانی، تعیین و برنامه ریزی مسیر تورها باکمترین هزینه و در سریع ترین زمان ممکن می باشد بطوریکه کل تقاضا برآورده گردد. مدلسازی ریاضی برنامه ریزی عدد صحیح مختلط مسأله مورد تحقیق بر پایه مدل ارائه شده توسط نگوین و همکاران (۲۰۱۲) می باشد که با اعمال تغییراتی برای این مسأله به کار برده شده است.از مهمترین تغییرات اعمال شده بر روی این مدل، افزودن محدودیتهای مربوط به پنجره های زمانی، محدودیت های پوشش و اینکه این مدل برای یک مسأله تک سطحی استفاده شده است، را می توان نام برد. ابتدا نمادها و پارامترهای بکار رفته در مدل ریاضی تشریح می شوند.

۲.۱. مجموعه های مسأله:

V مجموعه کل رئوس برابر با $S \cup D \cup \{0\}$

S مجموعه کل شهرهایی که در آنها می توان پایگاه امداد برپا نمود.

D مجموعه روستاهای حادثه دیده

$T \subseteq D$ مجموعه روستاهای حادثه دیده ای که تحت پوشش هیچ پایگاهی قرار ندارند.

K, L مجموعه وسایل نقلیه نوع اول و دوم موجود در پایگاه امداد مرکزی به ترتیب از چپ به راست

$S_j = \{s \in S | dis_{sj} \leq r_s\}$ حاوی رئوسی از مجموعه S است که می توانند برای پوشش رأس $j \in D$ در فاصله پوششی r_s استفاده شوند.

۲.۲. پارامترهای مسأله:

Q_s, r_s, A_s هزینه برپا شدن، فاصله پوششی و ظرفیت پایگاه امداد s به ترتیب از چپ به راست

d_j ***مقدار تقاضای امدادی مورد نیاز گره j***

$p > 1$ ***ضریب هزینه حمل و نقل استفاده از وسایل نقلیه نوع دوم***

Q, R ***ظرفیت وسایل نقلیه نوع اول و دوم به ترتیب از چپ به راست***

F, G ***هزینه ثابت استفاده از وسایل نقلیه نوع اول و دوم به ترتیب از چپ به راست***

dis_{sd} ***فاصله نقطه $s \in S$ و $d \in D$***

$c_{ij}, time_{ij}$ ***هزینه و مدت زمان طی مسافت از گره i به گره j به ترتیب از چپ به راست***

M ***عددی بسیار بزرگ***

es_i, ls_i زودترین و دیرترین زمان شروع سرویس به گره i به ترتیب از چپ به راست

st_i مدت زمان ارائه سرویس به گره i

۲.۳. متغیرهای مسأله:

x_{ij}^k ***اگر وسیله نقلیه نوع اول k کمان (i,j) را پیموده باشد یک و در غیراینصورت صفر است.***

y_{st}^l ***اگر وسیله نقلیه نوع دوم l کمان (s,t) را پیموده باشد یک و در غیراینصورت صفر است.***

z_s ***اگر پایگاه امداد $s \in S$ برپا شده باشد یک و در غیراینصورت صفر است.***

u_{sd} ***اگر پایگاه امداد $s \in S$ به نقطه حادثه دیده $d \in D$ خدمت رسانی کرده باشد یک و درغیر اینصورت صفر است.***

tw_{tj} ***یک متغیر نامنفی که زمان رسیدن وسیله نقلیه $k \in K$ به پایگاه $t \in S \cup \{0\}$ را برای مرتبه j ام نشان می دهد.***

tw_{tj} ***یک متغیر نامنفی که زمان رسیدن وسیله نقلیه $l \in L$ به نقطه $t \in T \cup \{0\}$ را برای مرتبه j ام نشان می دهد.***

متغیر نامنفی b_s^k که مقدار کالای تحویل داده شده به پایگاه امداد $s \in S$ توسط وسیله نقلیه $k \in K$ را نشان می دهد.

با توجه به موارد ذکر شده، مدل برنامه ریزی عدد صحیح مختلط مسأله مورد تحقیق به صورت زیر ارائه می شود:

۴.۲. مدلسازی مساله

$$Min \sum_{s\in S} o_s z_s + \sum_{k\in K}\sum_{s\in S} F.x_{0s}^k + \sum_{l\in L}\sum_{j\in T} S.y_{0j}^l + \sum_{k\in K}\sum_{i\in Su\{0\}}\sum_{j\in Su\{0\}} c_{ij}x_{ij}^k + \sum_{l\in L}\sum_{i\in Tu\{0\}}\sum_{j\in Tu\{0\}} p.c_{ij}y_{ij}^k \quad \text{Subject to:} \qquad (1)$$

$$\sum_{i\in D} d_i u_{si} \le A_s z_s , \qquad \forall s\in S \qquad (2)$$

$$\sum_{j\in Su\{0\}}\sum_{k\in K} x_{sj}^k = z_s , \qquad \forall s\in S \qquad (3)$$

$$\sum_{j\in Su\{0\}} x_{ij}^k = \sum_{j\in Su\{0\}} x_{ji}^k , \qquad \forall k\in K, i\in S\cup\{0\} \qquad (4)$$

$$\sum_{k\in K} b_s^k - \sum_{j\in D} d_j u_{sj} , \qquad \forall s\in S \qquad (5)$$

$$b_s^k \le Q \sum_{j\in Su\{0\}} x_{sj}^k , \qquad \forall s\in S, k\in K \qquad (6)$$

$$\sum_{s\in S} b_s^k \le Q , \qquad \forall k\in K \qquad (7)$$

$$\sum_{s\in S_j} u_{sj} = 1, \qquad \forall j\in D, S_j = \{s\in S \mid dis_{sj} \le r_s\} \qquad (8)$$

$$\sum_{l\in L}\sum_{k\in Tu\{0\}} y_{ik}^l = 1 , \qquad \forall i\in T \qquad (9)$$

$$\sum_{j\in Tu\{0\}} y_{ij}^l = \sum_{j\in Tu\{0\}} y_{ji}^l , \qquad \forall l\in L, i\in T\cup\{0\} \qquad (10)$$

$$\sum_{i\in T} y_{0i}^l \le 1 , \qquad \forall l\in L \qquad (11)$$

$$\sum_{i\in T}\sum_{k\in Tu\{0\}} d_i y_{ik}^l \le R, \qquad \forall l\in L \qquad (12)$$

$$\sum_{i\in T} y_{0i}^l + \sum_{i\in Tu\{0\}} y_{ii}^k \le 1 + w_{0i} , \qquad \forall i\in T, l\in L \qquad (13)$$

$$es_i \le tw_{i,1} \le ls_i , \qquad \forall i\subset V \qquad (14)$$

$$tw_{0,k+1} + time_{0,s} - M\left(1 - x_{0,s}^k\right) \le tw_{s,k+1} , \qquad \forall s\in S, k\in K \qquad (15)$$

$$tw_{s,k+1} + st_s + time_{s,j} - M\left(1 - x_{s,j}^k\right) \le tw_{j,k+1} , \qquad \forall s,j\in S, k\in K \qquad (16)$$

$$tw_{j,k+1} + st_j + time_{j,0} - M\left(1 - x_{j0}^k\right) \le tw_{0,k+2} , \qquad \forall j\in S, k\in K \qquad (17)$$

$$tw_{0,l+1} + time_{0,i} - M\left(1 - y_{0i}^l\right) \le tw_{i,l+1} , \qquad \forall i\in T, l\in L \qquad (18)$$

$$tw_{i,l+1} + st_i + time_{i,j} - M\left(1 - y_{i,j}^l\right) \le tw_{j,l+1} , \qquad \forall i,j\in T, l\in L \qquad (19)$$

$$tw_{j,l+1} + st_j + time_{j,0} - M\left(1 - y_{j0}^l\right) \le tw_{0,l+2} , \qquad \forall j\in T, l\in L \qquad (20)$$

$$tw_{ikf} \ge 0 , \qquad \forall i\in S\cup\{0\}, k\in K, f = 1,2 \qquad (21)$$

$$tw_{ilf} \ge 0 , \qquad \forall i\in T\cup\{0\}, l\in L, f = 1,2 \qquad (22)$$

$$x_{ij}^k , y_{it}^l \in \{0,1\}. \qquad \forall i,j\in S\cup\{0\}, s,t\in T\cup\{0\}, k\in K, l\in L \qquad (23)$$

(24)

(25)

$x_{ij}, u_{ij} \in \{0,1\}$, $\forall s \in S, i \in D$
$b_{ij}^{s} \geq 0$, $\forall s \in S, k \in N$

تابع هدف (۱)شامل هزینه های برپایی پایگاههای امداد، هزینه های ثابت استفاده از وسایل نقلیه و هزینه های مسیریابی می باشد. محدودیت (۲) بیان می دارد که اگر پایگاه امداد s برپا نشده باشد آنگاه هیچ نقطه حادثه دیده ای به آن تخصیص نمی یابد و در غیر اینصورت اگر پایگاه امداد s برپا شده باشد آنگاه کل تقاضای تخصیصی یافته به آن نمی تواند از ظرفیتش تجاوز کند. محدودیت (۳) بیان می دارد که هر پایگاه امداد برپا شده باید توسط یک وسیله نقلیه نوع اول بازدید گردد. محدودیت (٤) یک سفر پیوسته را برای هر وسیله نقلیه نوع اول به کار گرفته شده تضمین می کند. محدودیت (٥) مقدار جریان را در هر پایگاه امداد s نشان می دهد. محدودیت (٦) بیان می دارد که اگر وسیله نقلیه k پایگاه امداد s را بازدید نکرده باشد مقدار کالای ارائه شده توسط وسیله نقلیه k به پایگاه امداد s باید صفر باشد. محدودیت (۷) مربوط به ظرفیت وسایل نقلیه نوع اول می باشد. محدودیت (۸) تضمین می کند که هر نقطه حادثه دیده فقط به یک پایگاه امدادی که در فاصله پوششی آن قرار دارد تخصیص یابد. محدودیت (۹) تضمین می کند که تمام نقاط حادثه دیده ای که در فاصله پوششی هیچ پایگاه امدادی قرار ندارند، به طور مستقیم توسط پایگاه مرکزی بازدید شوند. محدودیت (۱۰) تضمین می کند که یک وسیله نقلیه نوع دوم یک مسیر پیوسته را می پیماید. محدودیت (۱۱) بیان می کند که هر وسیله نقلیه نوع دومی حداکثر یک مرتبه از پایگاه مرکزی خارج می گردد. محدودیت (۱۲) مربوط به ظرفیت وسایل نقلیه نوع دوم است. محدودیت (۱۳) تضمین می کند که پایگاه امداد مرکزی به نقطه حادثه دیده t خدمت رسانی می کند $(x_{0t} = 1)$ اگر یک وسیله نقلیه $l \in L$ وجود داشته باشد که پایگاه امداد مرکزی را ترک کرده و به نقطه حادثه دیده t رسیده باشد. محدودیت (١٤) تا (۲۰) محدودیتهای مربوط به پنجره های زمانی هستند که از این تعداد، محدودیت های (۱۵) تا (۱۷) مربوط به وسایل نقلیه نوع اول و محدودیت های (۱۸) تا (۲۰) مربوط به وسایل نقلیه نوع دوم هستند. محدودیت (١٤) زمان مجاز برای امداد رسانی به نقطه i را نشان می دهد. محدودیت (۱۵) حداکثر زمان مجاز برای رسیدن وسیله نقلیه k به پایگاههای امداد از پایگاه امداد مرکزی را نشان می دهد. محدودیت (١٦) حداکثر زمان مجاز برای رسیدن وسیله نقلیه k به پایگاههای امداد از پایگاه های امداد دیگر را نشان می دهد. محدودیت (۱۷) مربوط به حداکثر زمان مجاز برای رسیدن وسیله نقلیه k به پایگاه امداد مرکزی از سایر پایگاه های امداد می باشد. محدودیت (۱۸) حداکثر زمان مجاز برای رسیدن وسیله نقلیه l به نقاط حادثه دیده از پایگاه امداد مرکزی را نشان می دهد. محدودیت (۱۹) حداکثر زمان مجاز برای رسیدن وسیله نقلیه l به نقاط حادثه دیده از سایر نقاط حادثه دیده را تضمین می کند. محدودیت (۲۰) مربوط به حداکثر زمان مجاز برای رسیدن وسیله نقلیه l به پایگاه امداد مرکزی از نقاط حادثه می باشد. محدودیت های (۲۱) تا (۲۵) متغیرهای تصمیم مسأله را تعریف می کنند.

۳. روش حل مسأله

این مسأله یک مسأله Np-hard می باشد زیرا تعمیمی از مسأله تور پوششی کلاسیک بیان شده در مقاله ژندریو و همکاران (۱۹۹۷) می باشد. برای حل این مسأله از روشهای دقیق و فراابتکاری در این مقاله استفاده شده است به این صورت که در ابتدا مسأله در ابعاد کوچک توسط نرم افزار بهینه سازی Gams و به وسیله حل کننده CPLEX به صورت دقیق حل می شود. از آنجائیکه این مسأله در حوزه مسائل Np-hard قرار دارد و با بزرگتر شدن ابعاد مسأله، روشهای دقیق قادر به حل آنها در یک زمان منطقی و قابل قبول نمی باشند لذا برای ابعاد بزرگتر مسأله از روش فراابتکاری الگوریتم ژنتیک استفاده می شود به این صورت مسأله مذکور در نرم افزار Matlab کدنویسی شده و سپس حل گردیده است. با مقایسه جوابهای به دست آمده بعد از حل مسأله در ابعاد کوچک توسط هر دو روش دقیق و فراابتکاری نتیجه گیری شد که عملکرد الگوریتم حل ارائه شده مورد تأیید و قابل استفاده برای مثالهای در ابعاد بزرگ می باشد.

٤. الگوریتم ژنتیک پیشنهادی برای حل مساله

۱.٤. نمایش جواب و تولید جواب شدنی

برای درک بهتر مسأله، نحوه تولید یک جواب شدنی برای مثال شکل (۱) بیان می شود. در این مثال ۱۵ رأس وجود دارد که از این تعداد رئوس، یک رأس مربوط به پایگاه امداد مرکزی،٤ رأس به مجموعه S و ۱۰ رأس نیز به مجموعه D تعلق دارد. در ابتدا ماتریس تخصیص نقاط حادثه دیده به پایگاههای امداد به صورت جدول (۲) ساخته می شود. این ماتریس بر اساس چیدمان رئوس و فاصله پوششی به

صورت زیر می باشد که در آن عناصر سطر اول نشاندهنده نقاط حادثه دیده هستند که با توجه به شعاع پوششی هر پایگاه به آن پایگاهها تخصیص یافته اند.

جدول(۲): ماتریس تخصیص نقاط حادثه دیده به پایگاههای امداد

نقاط حادثه دیده	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
پایگاههای تخصیص یافته	۲	۲	۲	۳	۳	۴	۴	–	–	۱
					۵					

در این ماتریس تعداد ستونها برابر با تعداد اعضای ماتریس D می باشد. برای توضیح بیشتر ستون پنجم را در نظر بگیرید. این ستون نشان می دهد که نقطه حادثه دیده ۱۰ توسط پایگاههای۳ و ۵ می تواند پوشش یابد. با مشاهده جدول واضح است که نقاط حادثه دیده ۱۳ و ۱۴ به هیچ پایگاهی تخصیص نیافته اند بنابراین باید توسط یک تور همیلتونی از پایگاه مرکزی به صورت مستقیم امداد رسانی شوند. یک راه حل برای تشکیل این تور می تواند به صورت تور $(1-13-14-1)$ باشد. بنابراین یک جواب شدنی برای این مسأله در دو مرحله ساخته می شود. مرحله اول تشکیل توری که شامل پایگاه امداد مرکزی و پایگاههای امداد برپا شده باشد به طوریکه کل نقاط حادثه دیده قابل پوشش، پوشش یابند. مرحله دوم تشکیل یک تور همیلتونی بر روی پایگاه امداد مرکزی و نقاط حادثه دیده غیر قابل پوشش می باشد. واضح است که در مرحله اول یک مسأله CTP و در مرحله دوم یک مسأله CVRP[۹] باید به صورت همزمان حل گردد. یک جواب شدنی برای مسأله CVRP به راحتی انجام گرفت $(1-13-14-1)$. حال برای تولید یک راه حل شدنی برای مسأله CTP به صورت زیر عمل می شود:

یک راه حل اولیه متشکل از مجموعه S و پایگاه امداد مرکزی به صورت بردار زیر در نظر گرفته می شود:

$$primersolution = [4-3-2-5-1]$$

باید توجه شود که اندازه بردار اولیه (primersolution) برابر با $|S|+1$ و اعضای آن همان اعضای مجموعه S و پایگاه امداد مرکزی هستند با این شرط که درایه آخر این بردار، پایگاه امداد مرکزی می باشد. بقیه درایه ها را اعضای مجموعه S تشکیل می دهند که به صورت تصادفی در نظر گرفته شده اند. بردار allocationvector به طول بردار اولیه (primersolution) و به صورت زیر تعریف می شود:

$$allocationvector = [\underbrace{binomial\,rand}\ \ 1]$$

بردار allocationvector مانند بردار اولیه از دو قسمت تشکیل شده است: در قسمت اول، به تعداد اعضای مجموعه S عدد تصادفی صفر و یک و در درایه آخر عدد یک وجود دارد. به عنوان مثال بردار allocationvector و primersolution را در نظر بگیرید:

$$allocationvector = [1-1-1-0-1]$$

$$primersolution = [4-3-2-5-1]$$

با درنظر گرفتن بردارallocationvector وprimersolution، بردارrandomsolution بعنوان یک راه حل تصادفی به اینصورت ساخته می شود: دربردارallocationvector هر درایه ای که یک باشد عدد متناظر با آن در بردارprimersolution، عینا در بردار randomsolutionقرارمی گیرد و هر درایه ای که صفر باشد عدد متناظر با آن درrandomsolution قرار نمی گیرد، بنابراین داریم:

$$randomsolution = [4-3-2-1]$$

در تولید بردار randomsolution اعداد اول، دوم، سوم و درایه آخر از بردار primersolution استفاده شده است. (توجه شود که لازم نیست حتما اندازه بردار randomsolution برابر با بردار primersolution گردد). از آنجایی که درایه آخر بردار primersolution پایگاه امداد مرکزی می باشد و باید حتما در تور قرار گیرد، به همین جهت همواره درایه آخر بردار allocationvector برابر یک در نظر گرفته می شود. این یک راه حل تولید شده به صورت تصادفی است که ممکن است شدنی باشد یا نباشد و لزوما از همه اعضای بردار S نیز استفاده نشده است. برای تعیین شدنی بودن یا نشدنی بودن این جواب کافی است مشخص شود که آیا این جواب همه اعضای قابل پوشش بردار D را پوشش می دهد یا خیر؟ برای این کار کافیست که بردار randomsolution با ماتریس تخصیص در نظر گرفته شده، مقایسه

گردد. با مشاهده ماتریس تخصیص مشخص می گردد که برای پوشش تمام نقاط قابل پوشش مجموعه D کافیست که علاوه بر پایگاه امداد مرکزی، رئوس۲ و ۳ و ٤ در تور مورد نظر قرار گیرند. پس توری شدنی است که حداقل شامل رئوس فوق باشد. از آنجائیکه بردارrandomsolution شامل رئوس فوق می باشد پس نتیجه می شود که این جواب یک جواب شدنی برای مسألهCTP می باشد. در اینجا یک جواب شدنی برای مرحله اول مسأله تولید گردید. حال از ترکیب جواب های شدنی مراحل اول و دوم، یک جواب شدنی برای این مسأله به صورت زیر ساخته می شود که قسمت اول آن $(1-2-3-4-1)$ مربوط به حل مسأله CTP و قسمت دوم آن $(1-13-14-1)$ مربوط به حل مسأله CVRP می باشد.

$$Feasiblesolution = 1-2-3-4-1-13-14-1$$

۲.٤. عملگر تقاطع

از آنجائیکه یک راه حل شدنی برای این مسأله از دو قسمت تشکیل می شود بنابراین عملگر تقاطع برای هر قسمت جداگانه اعمال می شود. قسمت اول راه حل شامل پایگاه امداد مرکزی و پایگاههای امداد و قسمت دوم نیز شامل پایگاه امداد مرکزی و نقاط حادثه دیده پوشش نیافته می باشد. در این مقاله به منظور تولید دو مسیر جدید از دو مسیر اولیه از عملگر تقاطع یک نقطه ای برای هر قسمت استفاده شده است. فرض کنیدOldTour1 وOldTour2 نشاندهنده والد اول و والد دوم،Crosspoint نقطه تقاطع برای هر قسمت،NewTour1 وNewTour2 فرزند اول و فرزند دوم،Select11 وSelect21 به ترتیب قسمت ابتدایی تا نقطه تقاطع والد اول و والد دوم برای قسمت اول،Select12 وSelect22 به ترتیب قسمت ابتدایی تا نقطه تقاطع والد اول و والد دوم برای قسمت دوم باشند همچنینSelection11 وSelection21 به ترتیب، قسمت هایی از والد دوم و اول هستند که درSelect11 وSelect21 قرار ندارند،Selection12 وSelection22 به ترتیب، قسمت هایی از والد دوم و اول هستند که درSelect12 وSelect22 قرار ندارند. به عنوان مثال نحوه به دست آمدن دو مسیر جدید از دو مسیر اولیه مانند زیر است:

$$Crosspoint1 = 4$$

$$Crosspoint2 = 4$$

$$OldTour1 = [1-2-3-4-5-6-7-1-10-11-12-13-14-15-1]$$

$$OldTour2 = [1-7-6-4-3-2-5-1-12-14-10-15-13-11-1]$$

$$Select11 = Oldroute1(1{:}Crosspoint1) = [1-2-3-4]$$

$$Select21 = Oldroute2(1{:}Crosspoint1) = [1-7-6-4]$$

$$Select12 = Oldroute1(1{:}Crosspoint2) = [1-10-11-12]$$

$$Select22 = Oldroute2(1{:}Crosspoint2) = [1-12-14-10]$$

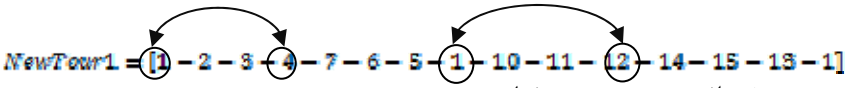
$$NewTour1 = [Select11-Selection11, Select12-Selection12] = [1-2-3-4-7-6-5-1-10-11-12-14-15-13-1]$$

$$NewTour2 = [Select21-Selection21, Select22-Selection22] = [1-7-6-4-2-3-5-1-12-14-10-11-13-15-1]$$

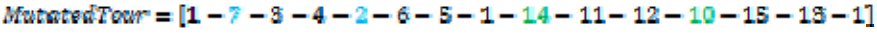
۳.٤. عملگر جهش

بعد از اجرای عملگر تقاطع که روی تورهای اولیه ($OldTour$) صورت گرفت، باید عملگر جهش بر روی تورهای جدید تولید شده ($NewTour$) اجرا شود. ابتدا به طور تصادفی از بین تورهای جدید، تورهایی انتخاب می شوند، سپس در این تورها جای دو مقدار در هر قسمت به طور تصادفی با هم عوض می شوند که این امر باعث ایجاد جهش در فضای پاسخ ها خواهد شد. به عنوان مثال فرض کنید دو عدد تصادفی برابر ۲ و ٥ بدست آمده است، این بدان معناست که برای $NewTour1$ جای دو تسهیل شماره ۲ و ٥ در هر قسمت با هم

عوض شده و مسیر جهش یافته به وجود آید.



مسیر جهش یافته به صورت زیر خواهد بود:



در ادامه از عملگر انتخاب برای تولید نسل جدید استفاده می شود. نسل جدید همواره شامل تعدادی از مسیرهای برتر نسل قبل، مسیرهای جدید تولید شده و مسیرهای جهش یافته می باشد. این عمل با استفاده از عملگر چرخ رولت[10] صورت می پذیرد. شبه کد الگوریتم ژنتیک استفاده شده در این مقاله به صورت زیر است:

پارامترهای اولیه الگوریتم را تعیین کنید
جمعیت اولیه تورها را بصورت تصادفی تولید کنید
مقدار تابع هدف را برای هر یک از تورها محاسبه کنید
برای i=1 تا تعداد نسلها تکرار کنید
برنامه تورها (بعنوان والدین) را انتخاب کنید
تورهای جدید را بر اساس عملگرهای تقاطع و جهش تولید کنید
مقدار تابع هدف برای تورهای جدید را محاسبه کنید
اعضاء نسل جدید را از داخل اعضاء نسل قبل و تورهای جدید ایجاد شده

پارامترهای الگوریتم ژنتیک پیشنهادی برای مسأله مورد تحقیق در این مقاله نرخ جهش، نرخ تقاطع، جمعیت و تعداد تکرارها هستند. برای تعیین اثر تغییر این پارامترها روی کیفیت جوابها از طرح آزمایشی تاگوچی استفاده شده است. برای هر یک از عوامل سه سطح به صورت، نرخ تقاطع ۰,۵ و ۰,٦ و ۰,۷، نرخ جهش ۰,۲۰ و۰,۲۵ و ۰,۳۰، جمعیت ٤٠ و٥٠ و٦٠ و برای حداکثر تکرارها ٤٠٠ و٥٠٠ و٦٠٠ در نظر گرفته شده است. برای حل هر یک از مسائل، تنظیم پارامترها انجام گرفته و در نهایت مسأله با الگوریتم تنظیم شده حل گردیده است.

۵. مثالهای عددی

در ادامه ۱۵ مثال برای مسأله مورد بررسی در این تحقیق در اندازه های مختلف در نظر گرفته شده است. در ابتدا برای ۸ مثال اول کد نویسی در نرم افزار Gams صورت گرفته و جوابها به صورت دقیق همراه با زمان حل آنها آورده شده اند. در ادامه با استفاده از الگوریتم ژنتیک، برای ۸ مثال اول در نرم افزار متلب کد نویسی صورت گرفته و مثالها حل شده و زمان حل آنها نیز آورده شده است. با مقایسه جوابهای به دست آمده مشاهده می شود که نتایج حل مسائل با استفاده از الگوریتم ژنتیک و نرم افزار Gams کاملا یکسان است و لذا کد نوشته شده با استفاده از الگوریتم ژنتیک کارایی لازم را برای حل مثالهای با ابعاد بزرگتر دارد. از آنجائیکه با افزایش ابعاد مسأله، زمان حل آنها در نرم افزار Gams به شدت افزایش می یابد لذا در ادامه برای حل این مسائل از الگوریتم ژنتیک و کدنویسی در نرم افزار متلب استفاده شده است. لازم به ذکر است که انجام تمامی محاسبات در کامپیوتری با مشخصات CPU: Intel Core i5-4200U, 1.6GHz و RAM: 4GB انجام گرفته است. نتایج در جدول (۳) قابل مشاهده هستند.

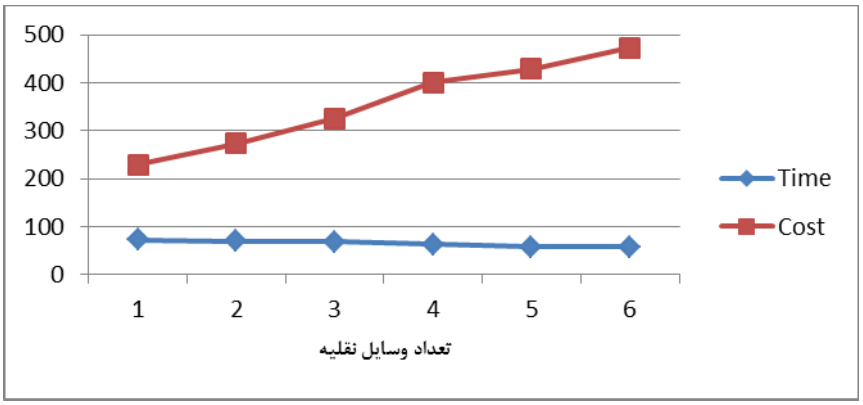
جدول (۳): حل مثال های RCCTPHTW با استفاده از نرم افزار Gams و الگوریتم ژنتیک

مثالها	مشخصات مسأله RCCTPHTW	Gams(CPLEX)		الگوریتم ژنتیک		Gap
		تابع هدف	زمان (ثانیه)	مقدار به دست آمده	زمان (ثانیه)	
۱	$n=10, \|S\|=3, \|D\|=6, \|T\|=0$	۶۵,۱۵۲	۰,۱	۶۵,۱۵۲	۰,۵	۰
۲	$n=12, \|S\|=4, \|D\|=7, \|T\|=0$	۶۲,۶۴۹	۰,۲	۶۲,۶۴۹	۰,۶	۰
۳	$n=13, \|S\|=5, \|D\|=7, \|T\|=1$	۱۷۸,۲۲۹	۰,۳	۱۷۸,۲۲۹	۰,۶	۰
٤	$n=15, \|S\|=4, \|D\|=10, \|T\|=2$	۱۳۸,۳۹۲	۲,۶	۱۳۸,۳۹۲	۰,۶	۰
٥	$n=16, \|S\|=5, \|D\|=10, \|T\|=2$	۲۴۵,۷۹۶	۱۲	۲۴۵,۷۹۶	۰,۷	۰
٦	$n=20, \|S\|=6, \|D\|=13, \|T\|=1$	۲۴۶,۲۳۴	۷	۲۴۶,۲۳۴	۰,۸	۰
۷	$n=26, \|S\|=7, \|D\|=17, \|T\|=2$	۲۰۳,۲۰۵	۱۷۵	۲۰۳,۲۰۵	۱,۲	۰
۸	$n=35, \|S\|=7, \|D\|=27, \|T\|=3$	۲۲۹,۴۳۰	۱۹۳	۲۲۹,۴۳۰	۱,۷	۰
۹	$n=45, \|S\|=8, \|D\|=36, \|T\|=3$	–	>۱۰۰۰	۱۹۶,۸۲۴	۳,۶	۰
۱۰	$n=55, \|S\|=10, \|D\|=44, \|T\|=3$	–	>۱۰۰۰	۳۰۱,۶۲۷	۱۰	–
۱۱	$n=60, \|S\|=11, \|D\|=48, \|T\|=3$	–	>۱۰۰۰	۲۶۳,۳۰۳	۱۳	–
۱۲	$n=70, \|S\|=14, \|D\|=53, \|T\|=3$	–	>۱۰۰۰	۲۷۳,۸۶۹	۲۵	–
۱۳	$n=80, \|S\|=17, \|D\|=62, \|T\|=3$	–	>۱۰۰۰	۲۷۶,۷۴۵	۲۸	–
۱٤	$n=90, \|S\|=19, \|D\|=70, \|T\|=4$	–	>۱۰۰۰	۳۲۹,۳۷۹	۳۲	–
۱٥	$n=100, \|S\|=22, \|D\|=77, \|T\|=6$	–	>۱۰۰۰	۳۶۶,۸۲۹	۴۸	–

برای درک بهتر مثالها به توضیحات ارائه شده در قسمت مقدمه که مربوط به مثال ٤ است مراجعه نمائید. همچنین راه حل بهینه این مثال در شکل (۱) بخش مقدمه آورده شده است.

٦. تحلیل حساسیت مسأله از نظر تعداد وسایل نقلیه و شعاع پوششی

در ابتدا تحلیل حساسیت از نظر تعداد وسایل نقلیه و تاثیر آن بر زمان و هزینه امداد رسانی برای مثال ۸ انجام می گیرد. در ابتدا ظرفیت وسایل نقلیه برابر حداکثر تقاضای افراد حادثه دیده در نظر گرفته می شود. واضح است که در این حالت فقط یک وسیله نقلیه جهت حمل کالاهای امدادی در نظر گرفته می شود. در هر مرحله از وسایل حمل و نقل با ظرفیت کمتر استفاده می شود. در این حالت به جای اینکه یک حامل امداد رسانی را انجام دهد چندین حامل بطور همزمان امداد رسانی را انجام می دهند. نتیجه حاصل از حل مثالها در نمودار زیر نشان می دهد که استفاده از چندین وسیله نقلیه با ظرفیت کمتر باعث می شود امداد رسانی با سرعت و چابکی بیشتری انجام گردد هر چند که ممکن است هزینه بیشتری را در پی داشته باشد. در این حالت مدیران ارشد امدادرسان می توانند با در نظر گرفتن امکانات موجود، تصمیمات لازم را با توجه به میزان زمان و هزینه اتخاذ نمایند. لازم به ذکر است از آنجائیکه در شرایط امداد رسانی بعد از وقوع فاجعه، جان افراد در خطر است لذا سرعت و چابکی امداد رسانی به مراتب از اهمیت بالاتری نسبت به هزینه امداد رسانی برخوردار است.



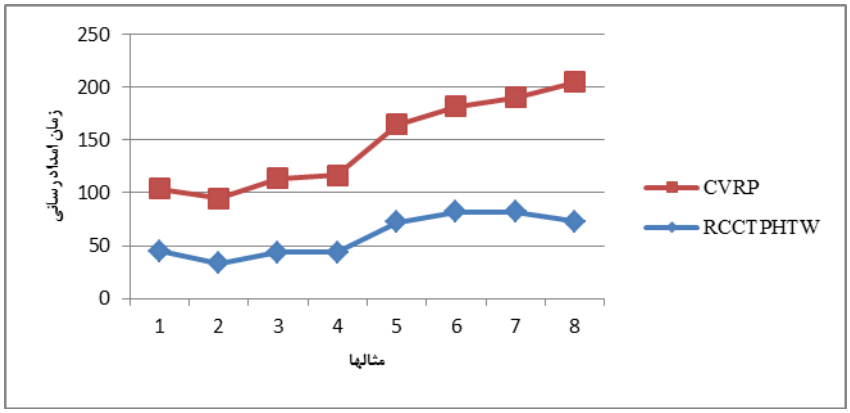
شکل (۲): افزایش دادن تعداد وسایل نقلیه در هر مرحله و تأثیر آن بر امداد رسانی

در ادامه تحلیل حساسیت از نظر شعاع پوششی و تاثیر آن بر هزینه امداد رسانی انجام می گیرد. برای انجام این تحلیل حساسیت در هر مرحله از شعاع پوششی پایگاههای امداد کاسته می شود. این کار باعث می شود که در هر مرحله از تعداد پایگاههای برپا شده کاسته و در نتیجه بر تعداد نقاط حادثه دیده پوشش نیافته افزوده گردد. برای امداد رسانی به نقاط حادثه دیده پوشش نیافته باید امداد رسانی مستقیم از پایگاه امداد مرکزی صورت گیرد. این کار توسط وسایل نقلیه نوع دوم که دارای ظرفیت پائین تر و هزینه استفاده و حمل بیشتری نسبت به وسایل نقلیه نوع اول هستند، انجام می گیرد. نتایج این تحلیل که بر روی مثال ۸ انجام گرفته و در جدول (٤) آورده شده، نشان می دهد که با کاهش تعداد پایگاههای برپا شده، هزینه به دست آمده در هر مرحله به هزینه مسأله CVRP متناظر همگرا و در نهایت یکسان می شود. مسأله CVRP متناظر مسأله ای است که در آن هیچ پایگاه امداد برپا شده ای وجود ندارد و تمامی نقاط حادثه دیده بوسیله پایگاه امداد مرکزی و توسط وسایل نقلیه نوع دوم امداد رسانی میشوند.

جدول (۴): کاهش دادن تعداد پایگاههای امداد در هر مرحله و تأثیر آن بر امداد رسانی

مرحله	مشخصات مسأله RCCTPHTW			مشخصات CVRP
	تعداد پایگاههای برپا شده	تعداد رئوس پوشش نیافته	هزینه کل امداد رسانی	هزینه کل امداد رسانی
۱	۶	۰	۹۲,۸۹۵	۱۱۳۲,۰۲۹
۲	۶	۳	۲۲۹,۴۳۰	۱۱۳۲,۰۲۹
۳	۵	۶	۲۹۱,۵۱۵	۱۱۳۲,۰۲۹
۴	۴	۹	۴۱۷,۶۲۳	۱۱۳۲,۰۲۹
۵	۳	۱۳	۷۰۳,۶۴۶	۱۱۳۲,۰۲۹
۶	۲	۱۷	۸۰۹,۱۴۴	۱۱۳۲,۰۲۹
۷	۲	۲۱	۹۴۸,۶۴۷	۱۱۳۲,۰۲۹
۸	۱	۲۴	۱۰۷۵,۵۰۲	۱۱۳۲,۰۲۹
۹	۰	۲۷	۱۱۳۲,۰۲۹	۱۱۳۲,۰۲۹

در پایان، مسأله مورد تحقیق از نظر چابکی امداد رسانی با مسأله CVRP متناظر مقایسه می گردد. برای این کار ۸ مثال حل شده در جدول (٤) با مسائل CVRP متناظر با آنها از نظر سرعت امداد رسانی مقایسه گردیده و نتایج در شکل (٤) آورده شده اند. نتایج نشان از چابکی امداد رسانی در مسأله مورد تحقیق نسبت به مسأله CVRP دارد.



شکل (۴): مقایسه چابکی امداد رسانی برای مسأله *RCCTPHTW* و *CVRP*

نتیجه گیری

در این تحقیق در ابتدا مسأله تور پوششی ظرفیت دار با محدودیت پنجره های زمانی سخت تعریف، مدلسازی و سپس حل می شود. جهت مدیریت نمودن زمان امداد رسانی از محدودیت های پنجره های زمانی سخت در مدلسازی این مسأله استفاده شده است. نتایج بررسی مثالهای عددی مختلف حاکی از صحت مدل و کارایی الگوریتم ژنتیک پیشنهادی است. در ادامه به تحلیل حساسیت مسأله از نظر تعداد وسایل حمل و نقل پرداخته و نتیجه شد که بکارگیری تعداد بیشتری از وسایل حمل و نقل با ظرفیت کمتر باعث افزایش سرعت و چابکی امداد رسانی می شود هر چند که این کار ممکن است باعث افزایش هزینه ها گردد که با در نظر گرفتن این موضوع که در شرایط امداد رسانی بعد از وقوع فاجعه، نجات افراد حادثه دیده در اولویت می باشد، بنابراین فاکتور سرعت و چابکی نسبت به هزینه از اهمیت بیشتری برخوردار است. همچنین نتایج تحلیل حساسیت بر روی تعداد پایگاههای امداد برپا شده نشان می دهد که با کاهش تعداد این پایگاهها، مسأله مورد تحقیق به مسأله مسیریابی وسایل حمل و نقل ظرفیت دار متناظر همگرا می گردد. در پایان مسأله مورد تحقیق با مسأله CVRP متناظر از نظر چابکی امداد رسانی مقایسه گردید و مشاهده شد که این مسأله از نظر سرعت امداد رسانی نسبت به مسأله CVRP چابک تر می باشد. در نظر گرفتن مدلسازی دو هدفه درحالت پوشش حداکثر بمنظور کاهش توام زمان و هزینه امداد رسانی می تواند به عنوان مطالعات آتی در این حوزه پیشنهاد گردد.

منابع

۱. جهانگیری، کتایون؛ فلاحی، علی رضا. (۱۳۸۸)؛ اصول و مبانی مدیریت بحران، تهران، انتشارات موسسه آموزش عالی علمی - کاربردی هلال احمر.

۲. حسین پور، رضا. (۱۳۸۶)؛ نقش و جایگاه لجستیک در مدیریت بحران، سومین کنفرانس بین المللی مدیریت جامع بحران در حوادث غیر مترقبه.

3. Gendreau, M., Laporte, G., Semet F. (1997). The covering tour problem, Operation Research, 45, 568-576.
4. Current, J.R., Schilling, D.A. (1989). The covering salesman problem, Transportation Science, 23, 208-213.
5. Current, J.R., Schilling, D.A. (1994). The median tour and maximal covering tour problems: formulations and heuristic, European Journal of Operational Research, 73, 114-126.
6. Hachicha, M., Hodgson, M.J., Laporte, G., Semet, F. (2000). Heuristic for the multi-vehicle covering tour problem, Computers and Operations Research, 27, 29-42.
7. Motta, L.C.S., Ochi, L.S., Martinhon, C.A. (2001). Grasp metaheuristics to the generalized covering tour problem; In: Proceeding of IV metaheuristic international conference, Porto, Portugal, 1, 387-393.
8. Jozefowize, N., Semet, F., Talbi, E-G. (2007). the bi-objective covering tour problem, Computer and Operations Research, 34, 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; In: Coello C.A. et al, in Multi Objective Nature Inspired Computing, SCI 272,167-187.
10. Tricoire, F., Graf, A., Gujahr, W.J. (2012). The bi-objective stochastic covering tour problem, Computer and Operations Research, 39, 582-1592.
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, 222, 596-605.
12. Salari, M., Naji-Azimi, Z. (2012). An integer programming-based local search for the covering salesman problem, Computer and Operations Research, 39, 2594-2602.
13. Ebrahimi, A.D, Sahraeian, R. (2012). The maximal backup covering tour problem; 6th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management, 367-374.
14. Oliveira, W.A., Mello, M.P., Moretti, A.C., Reis, E.F. (2013). The multi-vehicle covering tour problem: building routes for urban patrolling, In:arxiv.org/abs/1309.5502.
15. Allahyari, S., Salari, M., Vigo, D. (2014). A hybrid metaheuristic algorithm for the multi-depot covering tour vehicle routing problem, European Journal of Operational Research, doi: 10.1016/j.ejor.2014.10.048.
16. Hoàng Hà, M., 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, 226, 211–220.
17. 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, 47, 285–292.

18. Prins, C. (2009). A GRASP x evolutionary local search hybrid for the vehicle routing problem, in: Pereira, F.B., Tavares, J. (Eds.), Bio-inspired Algorithms for the Vehicle Routing Problem, Studies in Computational Intelligence, Springer- Verlag, 35–53.
19. Jozefowiez, N. (2011). A column generation approach for the multi-vehicle covering tour problem, in: Proceedings of Recherche Opérationnelle et Aide à la Décision Française (ROADEF 2011), aint-Etienne, France.
20. Nguyen, V.P., Prins C., Prodhon C. (2012), a multi-start iterated local search with tabu list and path relinking for the two-echelon location-routing problem. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 25, 56-71.
21. Torabi, A., Mansouri A. (2011). Humanitarian Supply Chain Management: challenges and research opportunities, Available at: http://www.esrc.ac.uk/Myesrc/.../7ac.
22. Cozzolino, A. (2012). Humanitarian Logistics and Supply Chain Management, Humanitarian Logistics, Springer Briefs in Business, DOI: 10.1007/978-3-642-30186-5_2.
23. Trunick, PA. (2005). Special report: Delivering relief to tsunami victims. Logistics today, 46(2), 1-3.
24. Altay N. (2006). Strategic plannings for international disaster relief logistics: implications for research and practice. International journal of services sciences, 2(2).
25. Tatham, P., Spens, K. (2011). Towards A Humanitarian Logistics Knowledge Management System. Disaster Prevention and Management: An International Journal, Vol. 20, Iss: 1, 6 – 26.
26. Christopher M. (2011). Humanitarian disaster: why logistic is vital. Available at:http://www.cranfieldknowledgeinterchange.com
27. Nguyen, V.-P., Prins, C., Prodhon, C. (2012). A multi-start iterated local search with tabu list and path relinking for the two-echelon location-routing problem. Engineering Applications of Artificial Intelligence, Vol.25, 56-71.

پی نوشت

[1]. *Covering Tour Problem*
[2]. *Relief Capacitated Covering Tour Problem with Hard Time Windows*
[3]. *Greedy Randomized Adaptive Search Procedures*
[4]. *Simulated annealing*
[5]. *Iterated Local Search*
[6]. *Non-dominated sorting genetic algorithm ii*
[7]. *Evolutionary Local Search*
[8]. *Genetic Algorithm*
[9]. *Capacitated Vehicle Routing Problem*
[10]. *Roulette Wheel*