Archive of SID

مسئله مسیریابی وسایل نقلیه مبتنی بر نظریه بازی با هدف کاهش ریسک حمل کالای ارزشمند

سید فرید قنادپور (نویسنده مسئول)، استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

فاطمه زندیه، دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، ایران

E-mail: ghannadpour@iust.ac.ir

دریافت:۱۳۹۷/۰۱/۲۰ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۵/۳

چکیده

در این مقاله رویکردی موثر برای کاهش ریسک مسیریابی وسایل نقلیه همراه با پنجره زمانی جهت حمل کالاهای ارزشمند ارائه می‌شود. مدل در نظر گرفته شده برای حمل این نوع کالا دارای دو تابع هدف کمینه سازی مسافت و ریسک است. تابع هدف کاهش ریسک وابسته به مقدار کالای حمل شده، احتمال حمله مسلحانه تروریستی و احتمال موفقیت سرقت است. احتمال حمله تروریستی با استفاده از نظریه بازی‌ها و تعیین احتمال انتخاب استراتژی‌های مختلف آن تخمین زده می شود، به نحوی که یک بازی رقابتی دو نفره با جمع صفر میان تروریست و حمل‌کننده کالای ارزشمند صورت می‌گیرد و نقطه تعادل بازی یک استراتژی ترکیبی از مجموعه استراتژی‌های بازیکن است. همچنین با استفاده از رویکردهای موثر تصمیم گیری چند معیاره، احتمال موفقیت ارزیابی شده و برای افزایش امنیت حمل کالای ارزشمند نسبت به تغییر روزانه مسیرهای توزیع کالا اقدام می شود. برای حل این مدل پیشنهادی، یک الگوریتم ژنتیک ترکیبی چند هدفه موثر طراحی می‌گردد. کارآیی و اثربخشی الگوریتم روی مسائل آزمایشی استاندارد در ادبیات موضوع مورد بررسی قرار می‌گیرد که نتایج حاصل شده نشانگر موثر بودن راه حل پیشنهادی است.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم ژنتیک ترکیبی، ریسک، کالای ارزشمند، مسئله مسیریابی وسایل نقلیه همراه با پنجره زمانی، نظریه بازی

www.SID.ir

Archive of SID

۱. مقدمه

مسئله مسیریابی وسایل نقلیه همراه با پنجره زمانی (VRPTW)[1] یکی از انواع پرکاربرد مسئله مسیریابی وسایل نقلیه (VRP)[2] است که چگونگی توزیع کالا از محل تولید یا مرکز توزیع به بازار را بهینه سازی می‌کند. در این مسئله سرویس‌دهی به هر مشتری باید در یک بازه زمانی معین صورت پذیرد. هدف از مسائل مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی بهینه سازی مجموعه ای از مسیرها میان انبار و مشتریان است به نحوی که زمان انتظار و تاخیر حداقل مقدار ممکن گردد.

مسئله مسیریابی وسایل نقلیه دارای انواع مختلفی است. اکثر روشهای موجود بر روی چگونگی کاهش هزینه‌ها تمرکز دارد و خطرات احتمالی حمل و نقل و توزیع کالا نادیده گرفته می‌شود. در حالی که در توزیع کالاهای خطرناک، سری، با ارزش و پول نقد توجه به اهداف امنیتی اهمیت بیشتری نسبت به در نظرگرفتن اهداف اقتصادی دارد و اگر برنامه‌ریزی برای توزیع امن کالا به درستی صورت نگیرد، نه تنها باعث افزایش زمان و هزینه‌های عملیاتی حمل کالا در سیستم می‌شود، بلکه موجب ایجاد خسارت و زیان نیز می‌گردد. در این مسائل هدف شناسایی مسیری امن با مسافتی کوتاه میان دو مشتری است.

نقل و انتقال کالای ارزشمند شامل برداشت، جابجایی و تحویل پول، کالای سری، جواهرات و دیگر وجوه مالی میان بانک مرکزی، شعب بانک، خودپردازها، جواهر فروشی و فروشگاه‌های خرده فروشی به وسیله خودروهای با امنیت بالا است. روزانه حجم بالایی پول و کالای ارزشمند مورد تقاضا قرارمی‌گیرد که می‌تواند شامل برداشت از بانک مرکزی یا انبار و تحویل به شعب بانک و خودپرداز و یا برداشت از فروشگاه جواهر فروشی و تحویل به شعب بانک برای حساب پس انداز و یا جمع‌آوری روزانه مقادیر اضافه پول نقد از شعبه‌های بانک و بازگشت آن به بانک مرکزی باشد. برای مسیریابی بهینه حمل این کالاها، علاوه بر محدودیت ظرفیت و پنجره زمانی می‌بایست خطرات امنیتی ذاتی در این نوع عملیات سرویس‌دهی نیز در نظر گرفته شود [Bozkaya, Salman and Telciler, 2017]. حملات مسلحانه به ماشین حمل کالای ارزشمند و پول علاوه بر وقوع سرقت باعث آسیب رسیدن به کارمندان شرکت حمل کننده کالای ارزشمند و افراد نزدیک به محل حادثه نیز می‌گردد. بنابراین استانداردهای خاص امنیتی برای حمل این کالاها در قوانین ملی، منطقه‌ای و محلی که صنایع حمل پول را تنظیم می‌کنند وجود دارد و امنیت کارکنان و مردم را حفظ می‌کند. این قوانین وابسته به الزامات و محدودیت‌های خاص مربوط به نوع وسایل نقلیه، پرسنل، فایروال ها و یا هر سیستم امنیتی در هر کشوری می‌تواند متفاوت باشد و هدف آن جلوگیری و کاهش سرقت و اثرات ناشی وقوع از آن است.

همچنین یکی از اهداف شرکت‌های حمل پول نقد و کالای ارزشمند شناسایی فاکتورهای تاثیرگذار بر ریسک و مدل‌سازی آن است تا بتوانند خطرات بالقوه ناشی از حوادث ناخواسته را روزانه پیش‌بینی و مورد تجزیه و تحلیل قرار دهند.

هدف از این مقاله بررسی و مدلسازی مساله مسیریابی وسایل نقلیه برای حمل کالای ارزشمند و کاهش ریسک حمل این نوع از کالا است.

یکی از رویکردهایی که در مسئله‌های تحت شرایط ریسک کاربرد خوبی دارد روش نظریه بازی است. این روش به دلیل آن‌که استراتژی‌های رقیب را مورد بررسی قرار می‌دهد و تصمیم‌هایی متناسب با آن اتخاذ می‌کند تحلیل ریسک حمل پول نقد را تقویت می‌کند. بنابراین در این مقاله با استفاده از نظریه بازی‌ها به تخمین احتمال حمله تروریست‌ها پرداخته و با اتخاذ رویکردهای تصمیم گیری چند معیاره به مدلسازی مساله کاهش ریسک حمل کالای ارزشمند اقدام شده و یک الگوریتم ژنتیک چند هدفه موثر برای حل آن طراحی می شود.

www.SID.ir

Archive of SID

در ادامه، این پژوهش به صورت ذیل ساختاردهی شده است: در بخش دوم به مرور متنی تحقیقات انجام گرفته در این حوزهبرای شناسایی مسائل کلیدی و شکاف تحقیق پرداخته می‌شود. در بخش سوم مدلسازی ریاضی مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی تحت شرایط ریسک به منظور کاهش ریسک سرقت مسلحانه حمل کالای ارزشمند انجام می‌شود. در بخش چهارم به طراحی روش حل پیشنهادی اقدام می‌گردد. در بخش پنجم نتایج حاصل از الگوریتم حل پیشنهادی تحلیل و اعتبارسنجی می‌شود. در نهایت در بخش ششم خلاصه‌ای از یافته‌های کلیدی این پژوهش بیان می‌شود.

۲. مروری بر ادبیات موضوع

تحقیق حاضر در خصوص مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی تحت شرایط ریسک است. مسئله مسیریابی وسایل نقلیه از جمله مسائل مهم زنجیره تامین است که به نحوه توزیع کالا می‌پردازد. از جمله مطالعات این زمینه می‌توان به مطالعه [Beheshti Nia and Ghasemi, 2017] اشاره نمود. پنجره زمانی یکی از محدودیت‌های مهم مسئله مسیریابی وسایل نقلیه برای نزدیک شدن به شرایط دنیای واقعی است. این مسئله اولین بار توسط بودین و همکاران [Bodin et al. 1983] در سال ۱۹۸۳ مطرح شد. در سال‌های اخیر مقالات متعددی از جمله [Reil, Bortfeldt and Mönch, 2018; Ticha et al. 2017, Schneider, Schwahn and Vigo, 2017, Vincent et al. 2017] در این حوزه ارائه شده است.

۲-۱ مسئله مسیریابی وسایل نقلیه تحت شرایط ریسک

در ادبیات موضوع حوزه مسیریابی وسایل نقلیه در شرایط ریسک مستقل از نوع مدل‌سازی و رویکرد حل، هدف تمام مطالعات کاهش ریسک هر وسیله نقلیه در طی بارگیری، حمل و تحویل کالا است. مطالعه ترانتیلیس و کرانودیس [Tarantilis and Kiranoudis, 2001] یکی از اولین پژوهش‌هایی است که در حوزه مسیریابی وسایل نقلیه با هدف حداقل ریسک صورت گرفته است. این مطالعه در خصوص حمل مواد خطرناک است و هدف آن انتخاب مسیر از نقاط با جمعیت کمتر است.

پرادهانانگا، تانیگوچی و یامادا در سال ۲۰۱۰ [Pradhananga, Taniguchi and Yamada, 2010] یک مدل سه هدفه با پنجره زمانی سخت برای مسیریابی وسایل نقلیه حامل مواد خطرناک با توابع هدف حداقل‌سازی تعداد وسایل نقلیه، کمینه-سازی زمان سفر و حداقل‌سازی ریسک ارائه کردند. درخصوص حمل مواد خطرناک ژنگ [Zheng, 2010] مدلی سه هدفه شامل کمینه سازی هزینه حمل مواد خطرناک، کمینه سازی ریسک حمل و کمینه سازی جمعیت در معرض خطر برای مسیریابی وسایل نقلیه پیشنهاد داد. مشابه دو مرجع مذکور توکلی مقدم و همکاران نیز در سال ۲۰۱۲ [Tavakoli-Moghaddam et al. 2012] مدلی سه هدفه برای مسیریابی وسایل نقلیه در توزیع مواد خطرناک ارائه کردند. اهداف این مدل شامل حداقل کردن کل هزینه سفر، کمینه سازی ریسک و کاهش دادن هزینه‌های دیرکرد و زودکرد است. مطالعه دیگری نیز در سال ۲۰۱۲ [Androutsopoulos and Zografos, 2012] در زمینه مسیریابی مواد خطرناک انجام شد که در آن مدل دو هدفه چند پریودی با پنجره زمانی سخت ارائه شد. اهداف این مرجع شامل حداقل مسافت و ریسک است.

یان، وانگ و وو در سال ۲۰۱۲ [Yan, Wang and Wu, 2012] مدلی تک هدفه برای حمل پول نقد در شرایط ریسک با مفهوم جدیدی به نام شبکه زمان- حجم ارائه کردند. آن‌ها به منظور کاهش ریسک حمل و نقل، با تغییر توالی مشتریان مسیرهای غیریکسان ولی با زمان و تقاضای یکسان تولید کردند و مسیرهای خدمت‌دهی را در دوره‌های متوالی تغییر دادند.

لیو و سانگ در سال ۲۰۱٤ [Liu and Song, 2014] مدلی دو هدفه با پنجره زمانی نرم برای حمل مواد خطرناک پیشنهاد کردند.

www.SID.ir

Archive of SID

پرادهانانگا و همکاران در سال ۲۰۱٤ [Pradhananga et al. 2014a, Pradhananga et al. 2014b] دو پژوهش با دو رویکرد متفاوت در خصوص حمل مواد خطرناک انجام دادند. هر دو مطالعه با دو تابع هدف مدلسازی شده و با روش حل کلونی مورچگان حل شده اند.

کهفی و توکلی مقدم [Kahfi and Tavakkoli-Moghaddam, 2016] مدلی چند انباره با دو تابع هدف برای توزیع پول نقد ارائه نمودند و از الگوریتم فراابتکاری ژنتیک و خفاش برای حل این مدل استفاده کردند. مطالعات تالاریکو، سرسنس و اسپریگایل [Talarico, Sörensen and Springael, 2015a, Talarico, Sörensen and Springael, 2015b] نیز در مورد حمل پول نقد است. در مطالعه [Talarico et al. 2015b]، تالاریکو و همکاران مدل خود را با یک تابع هدف پیشنهاد کردند و از محدودیت ریسک برای کنترل ریسک هر مسیر استفاده نمودند. در مطالعه [Talarico, Sörensen and Springael 2015a]، تالاریکو و همکاران مدلی با دو تابع هدف حداقل هزینه و ریسک ارائه کردند. روش حل این مطالعه الگوریتم فرا ابتکاری PMOO-ILS است که از ترکیب دو الگوریتم ابتکاری PMOO و ILS حاصل می‌شود.

تالاریکو و همکاران [Talarico, Sörensen and Springael, 2017] یک مدل حمل پول نقد تحت ریسک ارائه کردند و آن را با الگوریتم فراابتکاری جدیدی به نام ACO-LNS حل کردند. الگوریتم ACO-LNS ترکیب الگوریتم کلونی مورچه و جستجوی همسایگی بزرگ است. بزکایا، سلمان و تلسایلر [Bozkaya, Salman and Telciler, 2017] نیز مدلی برای کاهش ریسک حمل کالای با ارزش با در نظر گرفتن دو معیار ریسک اجتماعی و اقتصادی و ریسک مبتی بر میزان استفاده از لینک ارائه دادند و با بهره‌گیری از الگوریتم ابتکاری جستجوی همسایگی بزرگ انطباقی (ALNS)[۳] مدل خود را حل نمودند.

مطالعات دیگری نیز در این حوزه انجام شدند که می توان به آنها مراجعه نمود. [Bula et al. 2016, Bula et al. 2017, Chen et al. 2017, Du et al. 2017, Hu et al. 2017, Sharafi and Bashiri, 2016, Yuan et al. 2018]

۲-۱-۱ رویکردهای محاسبه ریسک در شبکه حمل و نقل

در این بخش به نحوه محاسبه ریسک در شبکه حمل و نقل تحت شرایط ریسک پرداخته می‌شود. با توجه به مطالعات انجام شده [Androutsopoulos and Zografos, 2012, Chen et al. 2017, Kazantzi, Kazantzis and Gerogiannis, 2011, Parsafard et al. 2015, Pradhananga et al. 2014b, Pradhananga et al. 2010, Pradhananga et al. 2014a, Toumazis and Kwon, 2015, Zheng, 2010] به طور عمده، ریسک به صورت FMEA[٤] یعنی احتمال ضرب در شدت اثر (رابطه (۱) محاسبه می‌شود. با این حال در برخی مقالات به شکل‌های دیگری نیز محاسبه می‌گردد که در ادامه این مطالعات مورد بررسی قرار می‌گیرند.

$$R_{ij} = P_{ij}C_{ij} \qquad (۱)$$

اگر ریسک مربوط به حمل پول نقد باشد میزان R_{ij} برابر با خطر حمله تروریست و سرقت پول در لینک i-j است و اگر ریسک مربوط به حمل مواد خطرناک باشد R_{ij} برابر است با خطر انتشار مواد خطرناک در طبیعت و آسیب رساندن به محیط زیست و جمعیت اطراف حادثه در لینک i-j. میزان P_{ij} عبارت است از احتمال وقوع حادثه که در حمل پول نقد، احتمال حملات تروریستی در لینک i-j و در حمل مواد خطرناک، احتمال وقوع تصادف و انتشار مواد خطرناک در لینک i-j است. C_{ij} نشان‌دهنده شدت اثر یک حادثه است که در حمل پول نقد شامل میزان پول سرقت شده در لینک i-j و در حمل مواد خطرناک شامل میزان جمعیت در معرض حادثه در لینک i-j است. در برخی مطالعات از همان رابطه (۱) با اندکی تغییر برای محاسبه دقیق تر ریسک استفاده شده است که به شرح ذیل است.

www.SID.ir

Archive of SID

دو و همکاران [Du et al. 2017] از رابطه‌ای مشابه رابطه (۱) برای محاسبه ریسک حمل مواد خطرناک استفاده کرده است با این تفاوت که جمعیت در معرض حادثه به طور دقیق محاسبه شده است. رابطه (۲) ریسک محاسبه شده توسط دو و همکاران را نشان می‌دهد. κ_{ij} بیانگر منطقه در معرض حادثه و τ_{ij} متوسط تراکم جمعیت در اطراف حادثه را نشان می‌دهد.

$$R_{ij}=P_{ij}\times\kappa_{ij}\times\tau_{ij} \quad (۲)$$

تالاریکو و همکاران [Talarico, Sörensen and Springael, 2015b] نیز برای محاسبه ریسک حمل پول نقد رابطه (۳) را ارائه کردند. در واقع این رابطه همان رابطه (۱) است فقط جهت دقیق‌تر شدن رابطه، احتمال موفقیت سرقت (v_{ij}) در آن ضرب شده است. D_i^r میزان پول در معرض سرقت در مسیر r ، p_{ij} احتمال حمله تروریست در لینک i-j است.

$$R_j^r=\sum_{(i,j)\epsilon r} p_{ij}v_{ij}D_i^r \quad (۳)$$

توکلی مقدم و همکاران [Tavakoli-Moghaddam et al. 2012] نیز برای محاسبه ریسک حمل مواد خطرناک از رابطه (۱) با اندکی تغییر برای تدقیق محاسبه احتمال استفاده کرده‌اند. رابطه (٤) تغییرات این احتمال را نشان می‌دهد.

$$IR_{ipm}=\sum_s P_s(A)\,P_{sm}(R|A)\,P_m(I|R)P_{ism}(D|I) \quad (٤)$$

$P_s(A)$ نشان‌دهنده احتمال وقوع حادثه برای وسیله نقلیه و $P_{sm}(R|A)$ بیانگر احتمال نشت مواد خطرناک در حادثه و $P_m(I|R)$ معرف احتمال انفجار و آتش‌سوزی و $P_{ism}(D|I)$ نشان‌دهنده احتمال مرگ بعد از انفجار است.

بولا و همکاران [Bula et al. 2016, Bula et al. 2017] رابطه (۵) را برای محاسبه ریسک مواد خطرناک ارائه نمودند. این رابطه نیز مشابه رابطه (۱) است با این تفاوت که تاثیر پارامترهای مختلف در مقدار ریسک مورد محاسبه قرار گرفته است. $R(\sigma^r)$ ریسک حمل مواد خطرناک پس از بازدید مشتری σ^r در مسیر r است و وابسته به نرخ تصادفات ($TTAR^k$)، احتمال انتشار مواد خطرناک پس از تصادف ($P_{release}$)، میزان انفجار و اشتعال-پذیری ماده خطرناک (α و β)، حجم مواد خطرناک حمل شده توسط وسیله نقلیه (y_{ij}^k)، طول لینک (al_{ij}) و عواقب حادثه (PD_{ij}) است.

$$R(\sigma^r)=TTAR^k\times P_{release}\times\beta\times\sum_{(i,j)\in\sigma^r}\left(y_{ij}^k\right)^{\alpha}(al_{ij}\times PD_{ij}) \quad (۵)$$

تالاریکو و همکاران [Talarico, Sörensen and Springael, 2015a, Talarico, Sörensen and Springael, 2015b, Talarico et al. 2017] نیز از رابطه‌ای مشابه رابطه (۱) استفاده کردند با این تفاوت که مسافت بین دو لینک (c_{ij}) را جایگزین احتمال حادثه (p_{ij}) کردند. این تغییر را به دو دلیل انجام دادند. یک. طول لینک در هر مسیریابی وسیله نقلیه یک پارامتر مشخص است و به سادگی قابل دستیابی است. دو. اطلاعاتی در خصوص میزان احتمال حادثه در لینک وجود ندارد. رابطه مورد استفاده در این سه مطالعه به صورت رابطه (٦) است. R_i^r و R_j^r به ترتیب برابر با ریسک مسیر r در گره j و i است و M_i^r مقدار پول حمل شده و c_{ij} فاصله بین دو مشتری متوالی i و j است.

$$R_j^r=R_i^r+M_i^r c_{ij} \quad (٦)$$

در برخی از مطالعات، از رویکردی متفاوت با روابط بررسی شده استفاده شده است. بزکایا و همکاران [Bozkaya, Salman and Telciler, 2017] برای محاسبه ریسک حمل پول نقد مدل جدیدی ارائه کردند که در آن از دو فاکتور سطح اجتماعی و اقتصادی لینک و میزان استفاده از لینک بهره گرفتند. رابطه مذکور به شکل عبارت (۷) محاسبه می‌گردد.

$$R_{ijkd}=w_U c_U UBRI_{ijkd}+w_S c_S SERI_{ijk} \quad (۷)$$

www.SID.ir

Archive of SID

R_{ijkd} ریسک لینک i-j در روز d با وسیله نقلیه k است. $UBRI_{ijkd}$ شاخص ریسک مبتنی بر میزان استفاده از لینک در لینک i-j در روز d با وسیله نقلیه k و $SERI_{ijk}$ شاخص خطر اجتماعی لینک i-j در روز d با وسیله نقلیه k و $SERI_{ijk}$ شاخص خطر اجتماعی و اقتصادی لینک i-j با وسیله نقلیه k تعریف می‌شود. w_U و w_S وزن عناصر ریسک و c_U و c_Sهزینه عناصر ریسک است. رویکرد متفاوت دیگر برای محاسبه هزینه‌های ناشی از خطر تصادف مربوط به مطالعه شرفی و بشیری [Sharafi and Bashiri, 2016] است. در این مطالعه هزینه‌های مربوط به خطر تصادف در حمل و نقل محاسبه شده است که به شکل رابطه **Error! Reference source not found.** است. tc_k هزینه مربوط به ریسک وسیله نقلیه k است و c_1 و c_2 برابر است با هزینه دو نوع ریسک یک و دو که وابسته طول مسیر و خستگی راننده است به عبارت دیگر ریسک نوع یک در مسیرهای کوتاه و ریسک نوع دو در مسیرهای بلند تعریف می‌شود. tv_k طول سفر برای وسیله نقلیه k و u_k تفاوت بین طول و آستانه مسیر است.

$$tc_k = c_1(tv_k) + (c_2 - c_1)u_k \qquad (۸)$$

با توجه به مطالب بیان شده، برخی از روابط ریسک در تابع هدف و برخی در محدودیت‌های مسئله مسیریابی وسایل نقلیه در شرایط ریسک وارد می‌شوند. در جدول ۱ مفروضات و رویکرد حل پژوهش‌های مورد بررسی در حوزه مسیریابی وسایل نقلیه تحت شرایط ریسک جهت مقایسه و مشخص شدن تمایزات ارائه می‌گردد.

۲-۱ نظریه بازی در تحلیل ریسک

تحلیل ریسک و نظریه بازی عمیقا مکمل هم هستند. در هنگام بروز حوادث، نظریه بازی موقعیت به وجود آمده را از دیدگاه مدافع و مهاجم مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌دهد. ابتدا مدافع استراتژی تدافعی برای حفاظت از منابع بالقوه خود را اتخاذ می‌کند و سپس مهاجم پس از شناخت تصمیم مدافع، محل مناسب برای حمله را انتخاب می‌کند. در تجزیه و تحلیل ریسک بر مبنای نظریه بازی احتمال وقوع هر پیشامد از هر انتخاب بازیکنان مدلسازی می‌شود، دستیابی به این احتمالات نقش کلیدی در حل مشکلات مدافعان دارد. روش‌ها و مدل‌های نظریه بازی به تحلیلگران ریسک کمک می‌کند تا بهتر و موثرتر در مورد حوادث ناخواسته فکر کنند و متغیرهای تصمیم‌گیری هر بازیکن (مجموعه استراتژی‌های هر بازیکن در شرایط مختلف بازی) برای مدل‌سازی را بهتر شناسایی کنند. [Cox Jr, 2009]

با توجه به مطالب بیان شده نظریه بازی، تحلیل ریسک را تقویت می‌کند و همچنین مطالعات زیادی توسط پژوهشگران در حوزه ریسک با استفاده از نظریه بازی انجام شده است از جمله این موارد می‌توان به [Ackerman, Zhuang and Weerasuriya, 2017, Asimit and Boonen, 2018, Bodford and Kwan, 2018, Hafezalkotob et al. 2018, Valenzuela, Lima and Granville, 2018, Wu, 2018] اشاره کرد ولی در حوزه مسیریابی وسایل نقلیه تحت شرایط ریسک، نظریه بازی بسیار کم مورد استفاده قرار گرفته است. در ادامه کاربرد نظریه بازی در شبکه حمل و نقل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

سالانی و همکاران [Salani, Duyckaerts and Swartz, 2010] یک مسیریابی امن برای خودرو در معرض خطر تروریست بدون استفاده از گارد محافظ در مطالعه خود ارائه دادند. در این مطالعه حمل‌ونقل پول نقد از انبار به بانک بدون بازگشت به انبار با هدف حداقل سازی حملات موفق مهاجم توسط نظریه بازی مدل‌سازی شده است. تالاریکو و همکاران [Talarico, Sörensen and Springael, 2015] به مدل‌سازی شبکه توزیع امن چند حالته برای حمل‌ونقل مواد شیمیایی خطرناک با استفاده از تئوری بازی‌ها پرداختند.

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۱. جمع‌بندی مطالعات انجام شده

روش حل	مطالعه موردی	رویکرد مواجهه با ریسک			تابع هدف		پنجره زمانی		ظرفیت محدود	مرجع
		نظریه بازی	MCDM	FMEA	تک هدفه	چند هدفه	سخت	نرم		
ابتکاری	حمل مواد خطرناک					×			×	[Yuan et al. 2018]
فراابتکاری	حمل پول نقد			×	×				×	[Talarico et al. 2017]
فراابتکاری	حمل کالای ارزشمند		×			×			×	[Bozkaya, Salman and Telciler, 2017]
ابتکاری	حمل مواد خطرناک			×	×		×			[Hu et al. 2017]
ابتکاری	حمل مواد خطرناک			×	×				×	[Bula et al. 2017]
فوق ابتکاری	تخریب خندق آب			×	×					[Chen et al. 2017]
فراابتکاری	حمل مواد خطرناک			×	×				×	[Du et al. 2017]
فراابتکاری	حمل سوخت خودرو			×	×					[Sharafi and Bashiri 2016]
فراابتکاری	حمل مواد خطرناک			×	×				×	[Bula et al. 2016]
فراابتکاری	حمل پول نقد			×		×			×	[Talarico, Sörensen and Springael, 2015a]
فراابتکاری	حمل پول نقد			×	×				×	[Talarico, Sörensen and Springael, 2015b]
فراابتکاری	حمل پول نقد		×			×	×		×	[Kahfi and Tavakkoli-Moghaddam 2016]
فراابتکاری	حمل مواد خطرناک			×	×			×	×	[Liu and Song 2014]
فراابتکاری	حمل مواد خطرناک			×		×	×		×	[Pradhananga et al. 2014a]
فراابتکاری	حمل مواد خطرناک			×		×	×		×	[Pradhananga et al. 2014b]
ابتکاری	حمل پول نقد				×		×			[Yan, Wang and Wu, 2012]
ابتکاری	حمل مواد خطرناک			×		×	×		×	[Androutsopoulos and Zografos 2012]
فراابتکاری	حمل مواد خطرناک			×		×		×	×	[Tavakoli-Moghaddam et al. 2012]
فراابتکاری	حمل مواد خطرناک			×		×			×	[Zheng 2010]
فراابتکاری	حمل مواد خطرناک			×		×	×		×	[Pradhananga et al. 2010]
الگوریتم ژنتیک ترکیبی	حمل کالای ارزشمند	×		×		×	×		×	این مقاله

اهداف تروریست شامل تخریب طبیعت، آسیب رساندن به جمعیت و ایجاد اختلال در زنجیره تامین است. حمل‌ونقل چند حالته به معنی استفاده از انواع مختلف جابجایی کالا مانند جاده‌ای، ریلی، دریایی و لوله‌کشی است که هر کدام ویژگی‌ها و هزینه‌های متفاوتی دارند. در مدل تئوری بازی، تروریست و دولت، بازیکنان این بازی هستند و هرکدام می‌خواهند عایدی خود را حداکثر کنند. لاپورته،

www.SID.ir

Archive of SID

مسا و پرایا [Laporte, Mesa and Perea, 2010] به حل مدل شبکه حمل و نقل ریلی استوار با استفاده از نظریه بازی پرداختند. بازی غیرهمکارانه، دونفره و جمع صفر با اطلاعات کامل میان تروریست و وسیله نقلیه است. ریلی و همکاران [Reilly et al. 2012] برای حل شبکه حمل و نقل مواد خطرناک از یک بازی سه نفره شامل دولت، حمل‌کننده و تروریست استفاده کردند.

به غیر از کاربرد نظریه بازی در حل مسائل مسیریابی و شبکه در شرایط ریسک، در انواع دیگری از مسائل مسیریابی مانند [Saleh et al. 2012, Zibaei, Hafezalkotob and Ghashami, 2016, Zolfaghari and Korke Abadi, 2016] ، نیز به کار برده شده است.

مطالعات ارزشمندی در حوزه مسیریابی وسایل نقلیه تحت شرایط ریسک انجام شده است ولی در تعداد کمی از مطالعات از تئوری بازی برای تحلیل ریسک بهره گرفته شده است که با توجه

به اهمیت نظریه بازی در تحلیل ریسک می‌توان به این حوزه در مسیریابی وسایل نقلیه پرداخت. هدف از این مقاله، طراحی مدلی مناسب برای حمل کالای ارزشمند در شبکه‌های حمل و نقل است. مدل پیش بینی شده دارای دو تابع هدف حداقل سازی مسافت و کمینه سازی ریسک است که با استفاده از نظریه بازی احتمال حمله سارقان محاسبه می‌شود.

۳. مدل مسئله

این مسئله شامل به دست آوردن تورهای بهینه میان انبار و مشتریان است به نحوی که توابع هدف مسئله شامل کل مسافت طی شده توسط وسایل نقلیه و کل ریسک موجود در مسیرهای خدمت‌دهی کمینه شود. وسایل نقلیه سفر خود را از انبار با باری معادل تقاضای مشتریان یک مسیر از کالای ارزشمند آغاز کرده و پس از تحویل کالا به مشتریان یک مسیر به انبار باز می‌گردد. محدودیت‌هایی که باعث بازگشت یک وسیله نقلیه به انبار می‌شود شامل ظرفیت و زمان خدمت‌دهی هر وسیله نقلیه است.

۳-۱ محاسبه ریسک

در بخش مرور ادبیات به بررسی نحوه محاسبه ریسک پرداخته شد. در مدل این تحقیق که ریسک مسیر، سرقت کالای ارزشمند در حین حمل و نقل است احتمال کمین سارقان برای حمله تروریستی در لینک i-j با p_{ij} و مقدار کالای سرقت شده وسیله نقلیه k در لینک i-j با D_{ij}^{k} نمایش داده می‌شود. به دلیل این‌که ممکن است تمام حمله‌های تروریستی موفقیت‌آمیز نباشد احتمالی نیز برای آن درنظر گرفته می‌شود و تابع ریسک در احتمال موفقیت سرقت (v_{ij}) ضرب می‌شود. در نهایت تابع ریسک حمل کالای ارزشمند (R_{ij}^{k}) در لینک i-j و وسیله نقلیه k به صورت رابطه (۹) نوشته می‌شود.

$$R_{ij}^{k} = p_{ij} v_{ij} D_{ij}^{k} \qquad (۹)$$

۳-۲ مدل‌سازی ریاضی

مسئله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی شامل N مشتری است و با فرض اینکه انبار، مشتری صفرم در نظر گرفته شود. مجموعه به مشتریان به صورت $C = \{0,1,2,\dots,N\}$ نوشته می‌شود و تعداد وسایل نقلیه نامشخص است و خود مدل تعداد آن را تعیین می‌کند. حداکثر تعداد ممکن وسایل نقلیه با K نمایش داده می‌شود. لینک ij دو مشتری i و j را به هم وصل می‌کند و دارای زمان سفر t_{ij} و مسافت d_{ij} است. مشتری iام تقاضایی برابر با m_i دارد و وسیله نقلیه k ام ظرفیتی معادل q_k داراست. هر مشتری فقط یک بار و توسط یک وسیله نقلیه ملاقات می‌شود. یک مسیر شامل حلقه‌ای از مشتریان و انبار است به نحوی که وسیله نقلیه از انبار شروع به حرکت کرده و پس از سرویس‌دهی به تعدادی از مشتریان به انبار بازمی‌گردد. مجموع تقاضای مشتریان (m_i) یک مسیر نباید از مقدار ظرفیت وسیله نقلیه (q_k) تجاوز کند. نوع تقاضای مشتریان

www.SID.ir

Archive of SID

از نوع تحویل کالا است. مقدار بار وسیله نقلیه k در لینک i-j با D_{ij}^{k} نشان داده می‌شود و برابر با مقدار تقاضای تجمعی مشتریان یک مسیر است.

هر مشتری دارای پنجره زمانی $[e_i, l_i]$ و زمان خدمت‌دهی f_i است. e_i و l_i به ترتیب نشان‌دهنده زودترین و دیرترین زمان مجاز سرویس‌دهی هر مشتری است. پنجره زمانی این مسئله از نوع سخت در نظر گرفته می‌شود. به این معنی که اگر وسیله نقلیه قبل از زودترین زمان مجاز سرویس‌دهی یک مشتری به آن مشتری برسد می‌بایست منتظر بماند تا زمان سرویس‌دهی شروع شود. زمان انتظار تا شروع زمان سرویس‌دهی مشتری i ام با w_i نمایش داده می‌شود. اگر وسیله نقلیه بعد از دیرترین زمان مجاز خدمت‌دهی یک مشتری به آن برسند کالا دریافت نمی‌شود. زودترین و دیرترین زمان سرویس‌دهی مجاز انبار $[e_0, l_0]$ برابر با صفر است. r_k بیانگر حداکثر زمان مجاز سرویس دهی وسیله نقلیه k است و کل مدت زمانی که یک وسیله نقلیه برای سرویس‌دهی به مشتریان از انبار خارج می‌شود تا زمانی که دوباره به انبار باز می‌گردد نباید از r_k تجاوز کند.

جهت کاهش ریسک حمله تروریست لینک‌هایی که در چند دوره متوالی انتخاب شوند نمی‌توانند در دوره بعد مورد استفاده قرار گیرند. تعداد دوره‌های متوالی مجاز برای انتخاب لینک‌ها با n نمایش داده می‌شود و T_{ij} نیز تعداد دفعات استفاده از لینک ij در دوره‌های گذشته است. متغیرهای تصمیم‌گیری مدل ارائه شده x_{ijk}، t_i و D_{ij}^{k} می‌باشند. x_{ijk} زمانی یک می‌شود که وسیله نقلیه k سفری بین دو مشتری غیر یکسان i و j داشته باشد و در غیر این صورت صفر می‌شود. متغیر t_i نیز بیانگر زمان شروع خدمت‌دهی به مشتری i است. همچنین مدل دارای دو تابع هدف کمینه سازی مسافت و حداقل سازی ریسک است. مدل ارائه شده برای این مسئله مطابق ذیل است.

$$\mathrm{f}_1: Min \sum_{i=0}^{N} \sum_{j=0, j\neq i}^{N} \sum_{k=1}^{K} d_{ij} x_{ijk} \qquad (۱۰)$$

$$\mathrm{f}_2: Min \sum_{i=0}^{N} \sum_{j=0}^{N} \sum_{k=1}^{K} R_{ij}^{k} \qquad (۱۱)$$

Subject to:

$$\sum_{k=1}^{K} \sum_{j=1}^{N} x_{ijk} \leq K \qquad \forall i = 0 \qquad (۱۲)$$

$$\sum_{j=0, j\neq i}^{N} x_{ijk} = \sum_{j=0, j\neq i}^{N} x_{jik} \qquad \forall i \in C\,, \forall k \in K \qquad (۱۳)$$

$$\sum_{j=0, j\neq i}^{N} x_{ijk} \leq 1 \qquad \forall i \in C\,, \forall k \in K \qquad (۱۴)$$

www.SID.ir

Archive of SID

$$\sum_{k=1}^{K}\sum_{i=0,i\neq j}^{N} x_{ijk} = 1 \qquad \forall j \in C\backslash\{0\} \qquad (۱۵)$$

$$\sum_{i=0}^{N}\sum_{j=0,j\neq i}^{N} x_{ijk}(t_{ij} + f_i + w_i) \leq r_k \qquad \forall k \in K \qquad (۱۶)$$

$$t_0 = w_0 = f_0 = 0 \qquad (۱۷)$$

$$\sum_{k=1}^{K}\sum_{i=0,j\neq i}^{N} x_{ijk}\left(t_i + t_{ij} + f_i + w_i\right) = t_j \qquad \forall j \in C\backslash\{0\} \qquad (۱۸)$$

$$e_i \leq (t_i + w_i) \leq l_i \qquad \forall i \in C\backslash\{0\} \qquad (۱۹)$$

$$\sum_{\substack{j=0\\ j\neq i}}^{N}\sum_{k=1}^{K} D_{ji}^{k} - \sum_{\substack{j=0\\ j\neq i}}^{N}\sum_{k=1}^{K} D_{ij}^{k} = m_i \qquad \forall i \in C\backslash\{0\} \qquad (۲۰)$$

$$D_{ij}^{k} \leq q_k \times x_{ijk} \qquad \forall j \in C, \forall i \neq j \in C, \forall k \in K \qquad (۲۱)$$

$$T_{ij}\left(x_{ijk}\right) \leq n - 1 \qquad \forall i, j \in C, \forall k \in K \qquad (۲۲)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad , \quad t_i \geq 0 \quad , \quad \forall i, j \in C\ , \forall k \in K \qquad (۲۳)$$

رابطه (۱۰) تابع هدف اول مسئله است که به حداقل سازی کل مسافت طی شده می‌پردازد و رابطه (۱۱) مربوط به کمینه سازی ریسک حمل کالای ارزشمند است. رابطه (۱۲) تضمین می‌کند حداکثر K وسیله نقلیه از انبار خارج می‌شود. روابط (۱۳)، (۱٤) و (۱۵) این اطمینان را می‌دهد که هر مشتری دقیقا یک بار و توسط یک وسیله نقلیه سرویس‌دهی می‌شود. رابطه (۱٦) محدودیت حداکثر زمان هر وسیله نقلیه را در بردارد. رابطه (۱۷) تضمین می‌کند که زمان شروع، زمان سرویس و انتظار برای انبار برابر با صفر است. روابط (۱۸) و (۱۹) محدودیت پنجره زمانی هر مشتری را اعمال می‌کند. قیدهای (۲۰) و (۲۱) محدودیت‌های مربوط به میزان کالای حمل شده هر وسیله نقلیه در هر لینک است. رابطه (۲۲) نیز تعداد دفعات استفاده از یک لینک در دوره‌های متوالی را محدود می‌کند.

٤. رویکرد پیشنهادی حل

رویکرد پیشنهادی مطابق با شکل ۱، در چهار فاز طراحی شده است. در فاز اول احتمال موفقیت سرقت با استفاده از تصمیم‌گیری چند معیاره محاسبه می‌شود. در فاز دوم ابتدا به کمک الگوریتم ژنتیک جمعیتی تولید می‌شود و سپس جمعیت ایجاد شده به عنوان استراتژی بازیکن دوم در نظر گرفته می‌شود و با استفاده از نظریه بازی احتمال سرقت هر لینک مورد محاسبه قرار می‌گیرد. درفاز سوم با الگوریتم ژنتیک بهبودیافته مسئله مسیریابی دو هدفه حل

www.SID.ir

Archive of SID

می‌شود. در فاز چهار نیز مجموعه جوابهای غیرمسلط شناسایی می‌شود. سپس مسئله وارد دوره $t+1$ می‌شود و مقدار T_{ij} برای تمام لینک‌ها به روز می‌شود. در ادامه به توضیح بیشتر فازها پرداخته می‌شود.

٤-١ فاز ١: محاسبه احتمال موفقیت سرقت

در این مقاله احتمال موفقیت سرقت (v_{ij}) در تابع هدف ریسک مقداری ثابت برای همه لینک‌ها درنظر گرفته نمی‌شود و با استفاده از روش مجموع وزین ساده (SAW)[٥] از دیدگاه تروریست محاسبه می‌گردد. این روش بر مبنای وزن اهمیت معیارها (w_c) و درجه برتری لینک‌ها ب راساس معیارهای مختلف (r_{ij}^c) میزان سودمندی لینک‌ها را محاسبه می‌کند. رابطه (٢٤) نحوه محاسبه احتمال موفقیت سرقت در هر لینک را نشان می‌دهد.

$$v_{ij} = \sum_c w_c \, r_{ij}^c \qquad (٢٤)$$

معیارهای تصمیم‌گیری (c) عبارتند از: تعداد ایستگاه‌های پلیس (PS)[٦]، مشخصات خیابان (SS)[٧] شامل ترافیک و شلوغی، تعداد دوربین، راه فرار، فرعی یا اصلی بودن، یک طرفه و دوطرفه بودن، عرض خیابان و غیره و نرخ جرایم (RC)[٨]. تعداد ایستگاه‌های پلیس و مشخصات خیابان با ریسک حمله سارق نسبت معکوس و نرخ جرایم رابطه مستقیم با ریسک دارد.

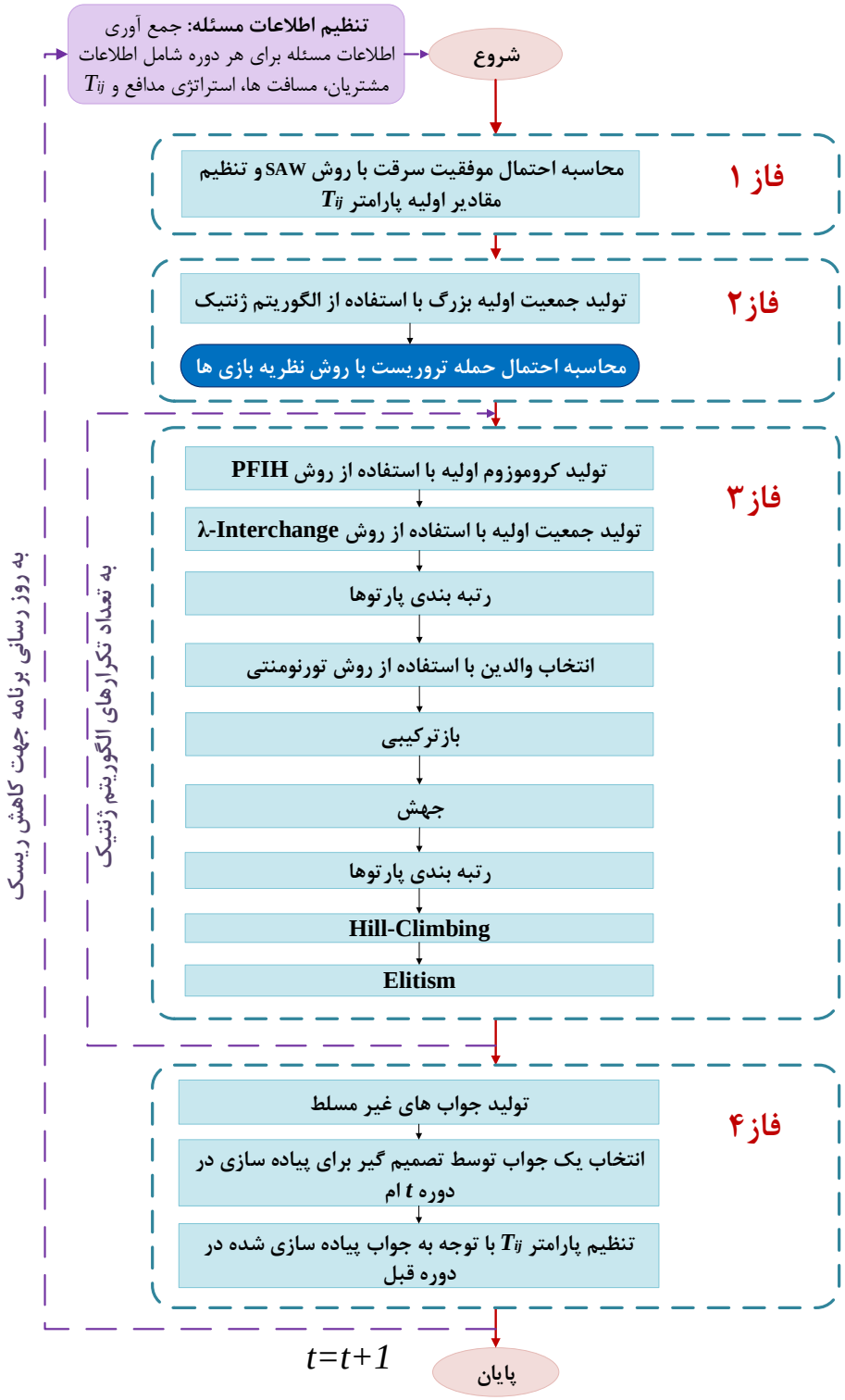
٤-٢ فاز٢: محاسبه احتمال سرقت با استفاده از نظریه بازی

در این فاز احتمال حمله مسلحانه به هر لینک با استفاده از نظریه بازی محاسبه می‌شود. بازیکنان شامل مدافع (وسیله نقلیه حامل کالای ارزشمند) و مهاجم (تروریست) است. استراتژی بازیکن اول (مهاجم) شامل تمام لینک‌های موجود برای حمله تروریستی است. استراتژی‌های بازیکن دوم (مدافع) نیز جواب‌های موجود برای توزیع کالای گرانقیمت است. برای دستیابی به جواب‌های موجود ابتدا مدل موجود با الگوریتم ژنتیک حل می‌شود و تعداد زیادی جواب موجه با استفاده از الگوریتم تولید می‌شود و به عنوان استراتژی مدافع در جدول نظریه بازی قرار داده می‌شود. عایدی بازیکنان به ازای استراتژی‌های مختلف مقدار کالای ارزشمند حمل شده در وسیله نقلیه است. بازی از نوع جمع صفر است. به عبارت دیگر به ازای هر عایدی مهاجم، مدافع همان مقدار کالای قیمتی را از دست می‌دهد. رابطه (٢٥) میزان عایدی بازی به ازای مجموعه جواب، لینک‌ها و وسایل نقلیه مختلف را نشان می‌دهد. مجموعه جواب‌ها با r نشان داده می‌شود.

$$payoff(r,m) = D_{ij}^{k(r)} \quad \begin{matrix} \forall r \in solution \\ \forall ij \in link(m) \\ \forall k(r) \\ \in K\big(solution(r)\big) \end{matrix} \qquad (٢٥)$$

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱. فلوچارت متدولوژی پیشنهادی حل مسئله

www.SID.ir

Archive of SID

جدول ۲، جدول تئوری بازی بیان شده را نشان می‌دهد. بازی هم-زمان است و هر دو بازیکن تا قبل از شروع بازی از استراتژی یکدیگر خبر ندارند. در ابتدای شروع سرویس‌دهی، مدافع یکی از جواب‌ها را برای خدمت‌دهی به مشتریان انتخاب می‌کند و مهاجم نیز در یکی از لینک‌های موجود برای حمله مسلحانه کمین می‌کند. وسیله نقلیه در ابتدای خدمت‌دهی بیشترین کالای ارزشمند را داراست و پس از سرویس‌دهی به مشتریان مقدار بار آن کم می‌شود و زمان بازگشت وسیله نقلیه به انبار حجم کالای آن به صفر می-رسد. اگر مهاجم بتواند استراتژی مدافع را به درستی حدس بزند و در مکان درستی کمین کند می‌تواند کالای داخل خودرو را به دست آورد ولی ممکن است تروریست نتواند به درستی استراتژی بازیکن دوم را شناسایی کند و در مکان نادرستی کمین کند و در نتیجه عایدی بازیکن اول به صفر می‌رسد. هدف این مسئله نیز دستیابی به حالت دوم است. شکل ۲، حالت‌های توضیح داده شده از کمین درست و نادرست سارق مسلح را نشان می‌دهد.

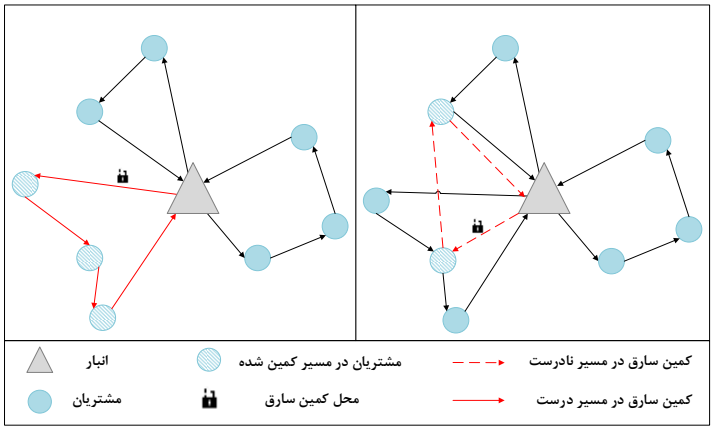
هدف مهاجم حداکثر کردن حداقل کالای سرقت شده و هدف مدافع حداقل کردن حداکثر عایدی تروریست است. اگر استراتژی-های مدافع $s \in S$ و استراتژی‌های مهاجم $l \in L$ باشد، نقطه تعادل بازی معادل رابطه (۲۶) است.

$$K(s^*, l^*) = \max_{l \in L} \min_{s \in S} K(l, s) = \min_{s \in S} \max_{l \in L} K(l, s) \quad (۲۶)$$

جدول ۲. جدول نظریه بازی

استراتژی‌های مدافع (انتخاب *Solution*)

استراتژی مهاجم (انتخاب لینک‌ها) \ *solution*	*solution 1*	*solution 2*	⋯	*solution r*
link (0,1)	$D_{01}^{k(1)}$	$D_{02}^{k(2)}$	⋯	$D_{01}^{k(r)}$
⋮	⋮	⋮	⋯	⋮
(i,j)	$D_{ij}^{k(1)}$	$D_{ij}^{k(2)}$	⋱	$D_{ij}^{k(r)}$
⋮	⋮	⋮	⋯	⋮
$(m,0)$	$D_{m0}^{k(1)}$	$D_{m0}^{k(2)}$	⋯	$D_{m0}^{k(r)}$



شکل ۲. کمین درست و نادرست سارق مسلح

www.SID.ir

Archive of SID

اگر بازی دارای نقطه تعادل نباشد، هر بازیکن مجموعه‌ای از استراتژی‌ها را با احتمال‌های مختلف انتخاب می‌کند. احتمال انتخاب استراتژی‌های مختلف مهاجم معادل احتمال سرقت مسلحانه در هر لینک (p_{ij}) است. برای محاسبه این احتمال، مدل برنامه‌ریزی خطی نظریه بازی از دیدگاه مهاجم به صورت ذیل نوشته می‌شود.

$$\text{Min} \sum_{i=0}^{N} \sum_{\substack{j=0 \\ j\neq i}}^{N} p_{ij} \qquad (۲۷)$$

Subject to:

$$\sum_{k}^{K} \sum_{i=0}^{N} \sum_{j=0,j\neq i}^{N} D_{ij}^{k(r)} p_{ij} \geq 1 \quad \begin{matrix} \forall r \\ \in solution \end{matrix} \qquad (۲۸)$$

رابطه (۲۷) تابع هدف است و به حداقل‌سازی احتمال سرقت در هر لینک می‌پردازد. قید (۲۸) محدودیت مربوط به نظریه بازی است و تضمین می‌کند عایدی بازیکن اول بیشترین مقدار گردد.

٤-٣ فاز۳: الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک اولین بار توسط هلند در سال ۱۹۷۵ [Holland, 1975] مطرح شد. الگوریتم ژنتیک در حوزه برنامه‌ریزی و زمان-بندی حمل و نقل، در مطالعات [Beheshti Nia, Ghasemi and Farokhnia, 2018, Borumand and Beheshti Nia, 2018, Zegordi and Beheshti Nia, 2009, Zegordi, Abadi and Beheshti Nia, 2010] استفاده شده است. الگوریتم انتخابی برای حل مدل ارائه شده الگوریتم ژنتیک است زیرا این الگوریتم به سادگی قابل پیاده سازی است و همچنین برای حل مسائل دو هدفه عملکرد خوبی دارد زیرا مبتنی بر جمعیت حل را پیش می‌برد و در هر بار تکرار تعداد زیادی جواب تولید می‌کند پس مجموعه جواب پارتو بزرگی می‌دهد که برای تصمیم-گیرنده مطلوب است [Ghannadpour et al. 2014]. الگوریتم ژنتیک مورد استفاده در این مطالعه یک الگوریتم ژنتیک بهبود یافته شامل الگوریتم‌های PFIH[۵]، BCBRC[۶]، hill-climbing، Elitism، λ-Interchange است. (برای مطالعه بیشتر به [Ghoseiri and Ghannadpour, 2010] مراجعه شود)

٤-٣-١ نمایش کروموزوم‌ها

کروموزوم‌های این الگوریتم رشته‌های N تایی از اعداد صحیح است. هر ژن نشان‌دهنده یک مشتری است که به آن تخصیص می-یابد و ترتیب اعداد یک کروموزوم معادل ترتیب سرویس‌دهی به مشتریان است. برای ساخت مسیرهای یک کروموزوم از ابتدای کروموزوم مشتریان را به مسیر تخصیص می‌دهیم تا زمانی که محدودیت‌های مسئله نقض نشود و مسیر ایجاد شده مجاز باشد. پس از ایجاد بلندترین مسیر مجاز از مشتریان تخصیص یافته، مسیر بعدی با اولین مشتری تخصیص نیافته آغاز می‌شود و این روند تا تخصیص تمام مشتریان به مسیرهای خدمت‌دهی ادامه می‌یابد.

٤-٣-٢ جمعیت اولیه

جواب اولیه مسئله با استفاده از الگوریتم ابتکاری PFIH تشکیل می‌شود. این الگوریتم اولین بار توسط سالومون در سال ۱۹۸۷ [Solomon, 1987] مطرح شد و روشی کارآمد برای وارد کردن مشتریان به مسیر جدید و تشکیل جواب اولیه مطلوب و موجه است. طبق این روش مشتری که کمترین C_i را از رابطه (۲۹) داشته باشد به عنوان اولین مشتری به مسیر جدید تخصیص می‌یابد و مشتریان بعدی طبق کمترین هزینه به مسیر وارد می‌شوند تا محدودیت‌های مسئله نقض شود و مسیر بسته می‌شود.

$$C_i = -\alpha d_{0i} + \beta b_i + \gamma \left(\left(\frac{|p_i - p_j|}{360} \right) d_{0i} \right) \qquad (۲۹)$$

طبق محاسبه تجربی سالومون α مقدار ۰/۷ ، β مقدار ۰/۱ و γ مقدار ۰/۲ می‌گیرد. d_{0i} برابر با فاصله مشتری i از انبار است. b_i حد بالای پنجره زمانی مشتری i است و p_i زاویه قطبی مشتری i از مبدا است.

www.SID.ir

Archive of SID

برای تشکیل جمعیت نیز با استفاده از الگوریتم λ-Interchange جواب‌هایی نزدیک جواب اولیه (S_0) تشکیل شده و به جمعیت اضافه می‌شود. بخشی از جمعیت نیز به صورت تصادفی تولید شده تا جواب در نقاط دیگر ناحیه نیز جستجو شود.

٤-٣-٣ روش انتخاب

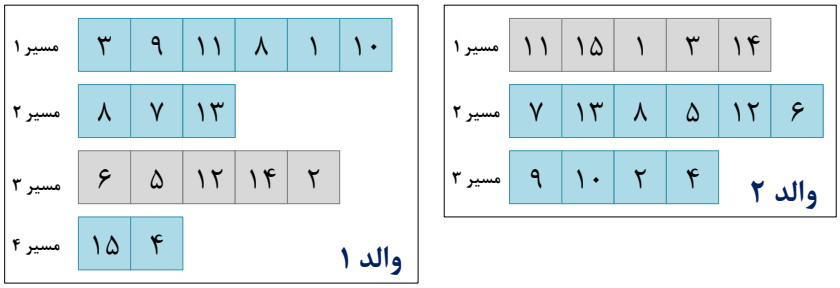
در این مرحله از میان جمعیت nP تایی تولید شده در مرحله قبل دو مجموعه $nP/2$ تایی برای والدین انتخاب می‌شود روش انتخاب والدین از جمعیت الگوریتم انتخاب تورنومنتی است. در این روش یک کپی یکسان از جمعیت گرفته می‌شود و ترتیب اعضای جمعیت به طور تصادفی به هم ریخته می‌شود سپس در هر جمعیت از هر دو کروموزوم مجاور، کروموزومی که رتبه پایین‌تری در مجموعه جواب پارتو داشته باشد انتخاب می‌شود و اگر هر دو کروموزوم مجاور دارای رتبه یکسانی باشند یکی از کروموزوم‌ها به تصادف انتخاب می‌شود. در نهایت از هر دو جمعیت nP تایی دو جمعیت $nP/2$ برای والدین تولید می‌شود.

٤-٣-٤ بازترکیبی

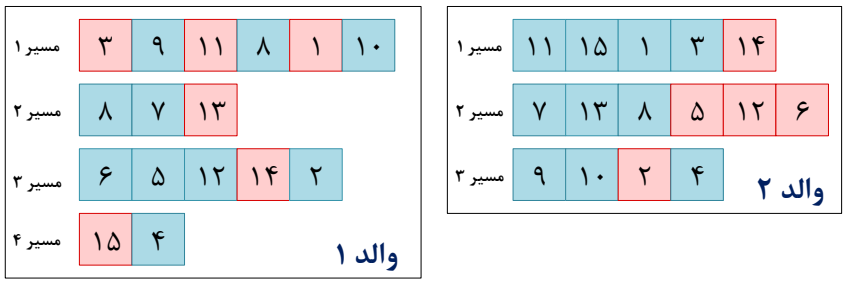
پس از تشکیل جمعیت والدین، در این مرحله دو والدین ترکیب شده و تشکیل دو فرزند را می‌دهند. این مقاله از الگوریتم BCBRC برای بازترکیبی استفاده می‌شود. در این روش طبق شکل ۳، یک مسیر از هر یک از والدین انتخاب می‌شود و سپس مطابق با شکل ٤، مشتریان موجود در آن مسیر در والد دیگر حذف می‌شود و سپس مشتریان حذف شده در هر کروموزوم در بهترین موقعیت ممکن قرار می‌گیرند. بدین ترتیب از دو کروموزوم والد دو فرزند که احتمالا دارای هزینه کمتری می‌باشند ایجاد می‌شود.

٤-٣-٥ جهش

برای آن که جواب در دام بهینگی موضعی نیفتد. در هر بار تکرار، درصدی از جمعیت جدید با جهش تولید می‌شود. الگوریتم جهش انتخاب شده، جهش دو نقطه‌ای است. در این روش دو نقطه به دلخواه از کروموزوم انتخاب شده و مشتریان میان این دو نقطه به صورت عکس چیده می‌شود و سپس مشتریان به مسیرهای سرویس‌دهی تخصیص داده می‌شوند.



شکل ۳. انتخاب یک مسیر تصادفی از والدین



شکل ٤. حذف مشتریان موجود در مسیر انتخاب شده از والد دیگر

www.SID.ir

Archive of SID

٤-٣-٦ بهبود

پس از تولید جمعیت جدید، کروموزوم‌های تولید شده، در این مرحله بهبود می‌یابند. برای بهبود جمعیت، از دو مفهوم Elitism و Hill-Climbing استفاده می‌شود. در Hill-Climbing درصدی از جمعیت جدید به صورت تصادفی انتخاب شده و با بهره‌گیری از الگوریتم λ–Interchange طی چند تکرار بهبود می یابد.

به علت اینکه ممکن است تعدادی از کروموزوم‌های خوب یک جمعیت در جمعیت جدید حذف شوند، در روش Elitism تعداد کمی از کروموزوم‌های خوب جمعیت قبلی جایگزین کروموزوم-های بد جمعیت جدید می‌شود.

٤-٤ فاز٤: کاهش تکرارپذیری لینک‌های انتخابی

هدف از این مرحله کاهش تکرارپذیری لینک‌های طی شده توسط وسیله نقلیه است. زیرا زمانی که یک لینک توسط خودرو حامل کالای ارزشمند پیموده می‌شود توسط مهاجمان شناسایی می‌شود و احتمال کمین کردن تروریست‌ها در دوره بعد در این لینک‌ها افزایش می‌یابد. برای دستیابی به این منظور در این فاز به T_{ij} مربوط به تمام لینک‌های طی شده در جواب انتخاب شده توسط تصمیم‌گیر یک واحد اضافه می‌گردد و اگر مقدار T_{ij} مربوط به لینک ij برابر با تعداد دفعات مجاز استفاده از لینک (n) شود الگوریتم هزینه استفاده از لینک ij را برابر با بی‌نهایت قرار می‌دهد و احتمال انتخاب شدن این لینک را به صفر می‌رساند. لازم به ذکر است که لینک‌هایی که در یک دوره انتخاب نشوند مقدار T_{ij} آن‌ها صفر می‌گیرد. پس از به‌روزرسانی T_{ij} مربوط به تمام لینک‌های طی شده، دوره t تبدیل به دوره $t+1$ می‌شود و سپس در دوره جدید تمام فازهای بیان شده مجددا طی می‌شود.

۵. تحلیل نتایج و اعتبارسنجی روش پیشنهادی

در این بخش قصد داریم به بررسی کارآیی و اثربخشی الگوریتم پیشنهادی بپردازیم. برای این منظور از مسائل آزمایشی و معروف سالومون استفاده می‌شود. مسائل سالومون [http://w.cba.neu.edu/~msolomon/problems.htm] به صورت گسترده برای آزمودن الگوریتم‌های ابتکاری به کار گرفته شده است. مسائل سالومون شامل ٥٦ نمونه است که در شش کلاس C1، C2، R1، R2، RC1 و RC2 تقسیم‌بندی می‌شود. تمام مسائل شامل ۱۰۰ مشتری هستند و در تعداد ناوگان، ظرفیت وسایل نقلیه، مکان جغرافیایی و زمان مشتریان متفاوت می‌باشند. زمان سفر میان دو مشتری توسط فاصله اقلیدسی بین آن‌ها تعیین می‌گردد. مشتریان این مسئله دارای پنجره زمانی هستند. بنابراین مناسب برای اعتبارسنجی مسائل VRPTW است. مسائل C1، R1 و RC1 با پنجره زمانی کوچک و مسائل C2، R2 و RC2 با پنجره زمانی بزرگ تعریف می‌شود [Ghoseiri and Ghannadpour, 2010, Qi et al. 2015]. در این مقاله الگوریتم حل پیشنهادی در سه کلاس C1، C2 و R1 مسائل سالومون اعتبارسنجی می‌شود. پارامترهای الگوریتم پیشنهادی به شرح زیر تنظیم شده است:

۱. اندازه جمعیت: ۱۰۰

۲. تعداد تولید نسل: ۱۰۰۰

۳. احتمال بازترکیبی: ۸۰٪

٤. احتمال جهش: ۲۰٪

٥. نسبت بهبود یافتن جواب از طریق hill-climbing : ۱۰٪

www.SID.ir

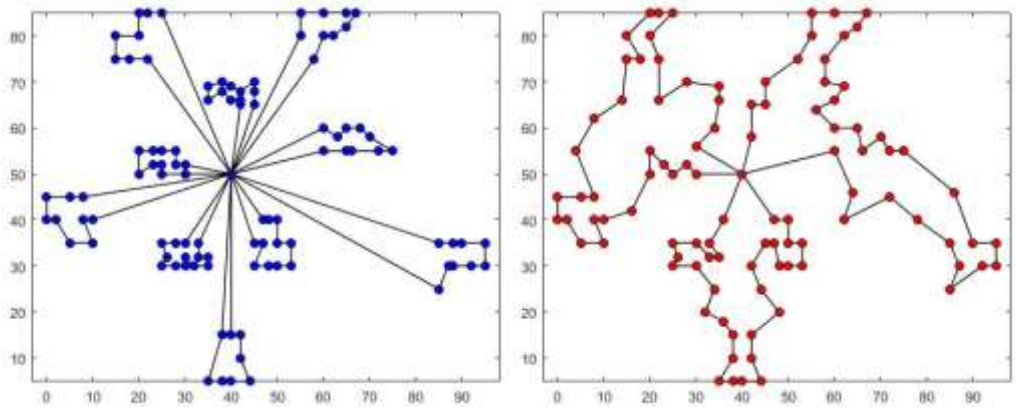
Archive of SID

جدول ۳. نتیجه آزمون الگوریتم پیشنهادی در مسائل صد مشتری C1، C2 و R1 سالومون

اطلاعات نمونه	بهترین جواب شناخته شده		الگوریتم پیشنهادی		درصد اختلاف
	تعداد وسایل نقلیه	مسافت طی شده	تعداد وسایل نقلیه	کمترین مسافت طی شده	
C101	۱۰	۸۲۸/۹٤	۱۰	**۸۲۸/۹٤**	۰/۰۰
C102	۱۰	۸۲۸/۹٤	۱۰	**۸۲۸/۹٤**	۰/۰۰
C103	۱۰	۸۲۸/۰٦	۱۰	۸۲۸/۹٤	۰/۱۱
C104	۱۰	۸۲٤/۷۸	۱۰	۸۲۸/۰٦	۰/٤۰
C105	۱۰	۸۲۸/۹٤	۱۰	**۸۲۸/۹٤**	۰/۰۰
C106	۱۰	۸۲۸/۹٤	۱۰	**۸۲۸/۹٤**	۰/۰۰
C107	۱۰	۸۲۸/۹٤	۱۰	**۸۲۸/۹٤**	۰/۰۰
C108	۱۰	۸۲۸/۹٤	۱۰	۸۳۰/۳۳	۰/۱۷
C109	۱۰	۸۲۸/۹٤	۱۰	**۸۲۸/۹٤**	۰/۰۰
C201	۳	۵۹۱/۵٦	۳	**۵۹۱/۵٦**	۰/۰۰
C202	۳	۵۹۱/۵٦	۳	**۵۹۱/۵٦**	۰/۰۰
C203	۳	۵۹۱/۱۷	۳	**۵۹۱/۱۷**	۰/۰۰
C204	۳	۵۹۰/٦۰	۳	٦۰۰/٦۲	۱/۷۰
C205	۳	۵۸۸/۸۸	۳	**۵۸۸/۸۸**	۰/۰۰
C206	۳	۵۸۸/٤۹	۳	**۵۸۸/٤۹**	۰/۰۰
C207	۳	۵۸۸/۲۹	۳	۵۹۰/٦۸	۰/٤۱
C208	۳	۵۸۸/۳۲	۳	**۵۸۸/۳۲**	۰/۰۰
R101	۱۹	۱٦۵۰/۸۰	۱۹	۱٦۹٤/۷٤	۲/٦٦
R102	۱۷	۱٤۸٦/۱۲	۱۷	۱٤۹۹/۳۷	۰/۸۹
R103	۱٤	۱۲۹۲/٦۸	۱۳	۱۲۸۳/۱۸	۰/۷۳
R104	۹	۱۰۰۷/۳۱	۱۱	۱۰۵۲/۲٦	٤/٤٦
R105	۱٤	۱۳۷۷/۱۱	۱۵	۱٤۳۵/۵۱	٤/۲٤
R106	۱۲	۱۲۵۲/۰۳	۱٤	۱۳۱۹/۸۵	۵/٤۱
R107	۱۰	۱۱۰٤/٦٦	۱۲	۱۱۲۵/۱۷	۱/۸٦
R108	۹	۹٦۰/۸۸	۱۰	۹۷۰/۷۸	۱/۰۱
R109	۱۱	۱۱۹٤/۷۳	۱۳	۱۲۱٦/۵۰	۱/۷۹
R110	۱۰	۱۱۱۸/۸٤	۱۲	۱۱۷۱/۵۸	٤/۵۰
R111	۱۰	۱۰۹٦/۷۲	۱۳	۱۱۵۳/۵۸	۵/۱۹
R112	۹	۹۸۲/۱٤	۱۰	۱۰۰۷/۱۷	۲/٤۹

www.SID.ir

Archive of SID



C105 C208

شکل ۵. نتایج مسائل سالومون

خلاصه نتایج به دست آمده از اجرای این الگوریتم به نحوه توضیح داده شده به صورت

جدول ۳ است. شکل ۵، جواب بهینه مسائل C105 و C208 سالومون را نشان می‌دهد. در مرحله بعد با استفاده از آزمون غیر پارامتری ویلکاکسون عملکرد الگوریتم ژنتیک ترکیبی با بهترین جواب مسئله مورد مقایسه و ارزیابی قرار می‌گیرد. نتایج حاصل از ارزیابی الگوریتم فرا ابتکاری نشان می‌دهد که تفاوت جواب حاصل از الگوریتم حل پیشنهادی در سه کلاس C1، C2 و R1 قابل قبول است زیرا در حدود ٦ سیگما قرار دارد. تفاوت میانگین بهترین جواب و میانگین الگوریتم حل نشان می‌دهد کلاس C1 کمترین فاصله از میانگین‌ها را دارا است ولی در آزمون غیر پارامتری ویلکاکسون کلاس C2 بهترین جواب است. زیرا بیشترین مقدار p-value را داراست. علت این تفاوت در این است که کلاس C2 در تعداد بیشتری از مسائل به جواب دقیق رسیده است در حالی‌که در کلاس C1 تعدادی از مسائل به جواب دقیق نرسیده‌اند، ولی اختلاف بسیار اندکی با بهترین جواب دارند.

جدول ٤، درصد اختلاف میانگین بهترین جواب و میانگین الگوریتم حل پیشنهادی، z و p-value مربوط به آزمون ویلکاکسون را نشان می‌دهد.

پس از اعتبارسنجی الگوریتم ژنتیک ترکیبی با استفاده از مسائل سالومون، متدولوژی حل مسئله با هدف کمینه‌سازی مسافت و حداقل‌سازی ریسک در کلاس‌های C1، C2 و R1 مسئله سالومون حل می‌گردد. روش حل پیشنهادی مجموعه جواب های پارتو را ارائه می‌دهد ولی از بین جواب‌های پارتو گرفته شده، جواب با کمترین ریسک و جواب با کمترین مسافت همراه با مسافت و ریسک متناظر با آن در جدول ۵ گزارش شده است. طبق جدول ۵ زمانی که کوتاه‌ترین جواب برای حمل کالای ارزشمند انتخاب می‌شود خطر حمله تروریستی و سرقت بسیار بالا می‌رود و مسیرهای مربوط به کوتاه‌ترین جواب از امنیت پایینی برخوردار می‌باشند. همان‌طور که پیش‌تر بیان شد به دلیل ارزش بالای کالای حمل شده، هدف از این پژوهش جوابی است که کمترین ریسک حمله سارق را دارا باشد.

بر اساس نتایج حاصله، ریسک حمل کالای ارزشمند مربوط به کوتاه‌ترین جواب را در حدود ۹۱ تا ۱۰۰ درصد کاهش داده است. به عنوان مثال ریسک مسئله C202 در کوتاه‌ترین مسافت معادل ۹۱/۹۰۳ است که الگوریتم پیشنهادی این مقدار را ۱۰۰ درصد کاهش داده و آن را به صفر می‌رساند. این جواب‌ها به دلیل بیشتر بودن مسافتشان نسبت به کوتاه‌ترین جواب، متحمل هزینه حمل بالاتری هستند ولی به دلیل امنیت بالا و حفظ کالای ارزشمند تا

www.SID.ir

Archive of SID

تحویل آن به مشتری از بسیاری از خسارات مالی و انسانی جلوگیری می‌کند.

در پایان هر دوره، تعدادی جواب غیرمسلط توسط الگوریتم حل پیشنهادی تولید می‌شود در حالی‌که تصمیم‌گیرنده تنها یک جواب برای پیاده سازی در دوره بعد انتخاب می‌کند. برای شناسایی این جواب، روش رایج LP metric در این مقاله به کار گرفته می‌شود. در این روش، جواب ایده‌آل به صورت $F^* = (f_1^*, f_2^*)$ توسط حل مدل با هر یک از توابع هدف به صورت جداگانه به دست می‌آید. سپس جواب غیر مسلطی که دارای حداقل فاصله از جواب ایده‌آل در سه متریک مختلف ۱، ۲ و ∞ است انتخاب می‌شود. به طور مثال، مسئله R108 دارای ۱۹ جواب غیر مسلط است که در جدول ٦ موجود است. جواب ایده‌آل این مسئله برابر با (۰/۰۰ ، ۹۷۰/۷۸) $= F^*$ و جواب ضد ایدآل آن برابر با (۱۹/۳۰ ، ۱۲۸٤/۰) $= fL$ است. این روش برای این مسئله پیاده سازی شده و فاصله جواب‌های غیرمسلط از جواب ایده‌آل محاسبه می‌شود. دو جواب غیر مسلط (۰/۱۸۳۷ ، ۱۲۲۸/۹) و(۹/۰۲۰ ، ۱۰۹۵/٦) کمترین فاصله را از جواب ایده آل در سه متریک بیان شده دارا می‌باشند. پس یکی از آن‌ها توسط تصمیم‌گیرنده انتخاب می‌شود. بنابراین روش LP metric مجموعه جواب غیر مسلط پارتو را به دو جواب کاهش می‌دهد که برای تصمیم‌گیرنده مطلوب است.

جدول ٤. ارزیابی روش پیشنهادی با بهترین جواب

نمونه	میانگین بهترین جواب	میانگین جواب الگوریتم پیشنهادی	درصد اختلاف	*p*-value	Z
C1	۸۲۸/۳۸	۸۲۸/۹۹	۰/۰۷	۰/۰۵۵	−۱/٦۰٤
C2	۵۸۹/۷۷	۵۹۱/٤۱	۰/۲۷	۰/۰۹۰	−۱/۳٤۲
R1	۱۲۱۰/۳۳۵	۱۲٤٤/۱٤	۲/۷۹	۰/۰۰۱	−۲/۹۸۱

جدول ۵. نتایج حاصل از متدولوژی حل مسئله در کلاس‌های C1 ، C2 و R1 مسئله سالومون

اطلاعات نمونه	کمترین مسافت طی شده		کمترین ریسک	
	ریسک کل	مسافت کل	ریسک کل	مسافت کل
C101	۹۲/۰۹۳	۸۲۸/۹٤	۲۰۰۸/۹۷	۱/۱٦۱
C102	۱۱۷/٤۸۷	۸۲۸/۹٤	۱۹۰۲/۳٤	۰/۸۲٦
C103	٤۳/۸٦٦	۸۲۸/۹٤	۱۳۵۵/۰٦	۱/۳۵۰
C104	۷۱/۲٤٦	۸۲۸/۰٦	۱۳۷٤/۲۷	۰/۰۰۰
C105	۳۸/۰۳۹	۸۲۸/۹٤	۱٤٤۱/٦۲	۰/۱٦٦
C106	٦٤/۵۰۱	۸۲۸/۹٤	۲۱۵٦/۹۱	۲/۱۲۰
C107	۳۵/۲۳۱	۸۲۸/۹٤	۲۲۱۳/۲٦	۳/۰۸۸
C108	۵۰/۱٤٦	۸۳۰/۳۳	۲۰۸٤/٦۷	۰/۲۱۱
C109	۲۷/۰٤	۸۲۸/۹٤	۲۰۹۲/۵٦	۰/۰۹۷
C201	۹۳/۵۸۳	۵۹۱/۵٦	۱٦۵۰/۹۸	۰/۹۲۳
C202	۹۱/۹۰۳	۵۹۱/۵٦	۱۲۸٦/۸۸	۰/۰۰۰

www.SID.ir

Archive of SID

C203	۵۹۱/۱۷	۱۳۵/۸۰۵	۹٤۷/۷۲	۰/۰۰۰
C204	٦۰۰/٦۲	۸۱/۵۳۳	۸۰۵/٦۷	۰/۰۰۰
C205	۵۸۸/۸۸	۱۵۰/۳۹۸	۱۳۲۳/٤٤	۰/۳۲۱
C206	۵۸۸/٤۹	۱۱۰/۰۷۲	۱۳۹۰/٤۷	۰/۰۰۰
C207	۵۹۰/٦۸	۹۱/٦۱	۹۷۱/۸٤	۰/۰۰۰
C208	۵۸۸/۳۲	۱۳۲/۸٦۰	۱۲۵۰/٤٦	۰/۰۰۰
R101	۱٦۹٤/۷٤	۱٤/۳۰۸	۱۹٦٦/۷٤	۰/۰۰٦
R102	۱٤۹۹/۳۷	۳۰/۸۹	۲۰۱۹/۲۱	۰/۱۷۷
R103	۱۲۸۳/۱۸	۱٤/۰۳۱	۱۵۲۸/۵۸	۰/۰۰۰
R104	۱۰۵۲/۲٦	۵۱/۷٦۵	۱۲۸۷/۵۲	۰/۰۰۰
R105	۱٤۳۵/۵۱	۳۳/۲۹۲	۱۸٤۰/۰۷	۰/۰۳۸
R106	۱۳۱۹/۸۵	۲۲/۵۸۲	۱٦۹۹/۷٤	۰/۰۰۰
R107	۱۱۲۵/۱۷	۲۷/۰۱۰	۱۳۵٦,٦۳	۰/۰۰۰
R108	۹۷۰/۷۸	۱۹/۳۰۲	۱۲۸٤/۰۲	۰/۰۰۰
R109	۱۲۱٦/۵۰	۲۰/٤٦۸	۱۷۵۱/۹۸	۰/۰۰۰
R110	۱۱۷۱/۵۸	٤٤/۷۵۳	۱۳۳۱/۷۱	۰/۰۰۰
R111	۱۱۵۳/۵۸	۲۰/۹٦۰	۱٤۷٦/٦۳	۰/۰۰۰
R112	۱۰۰۷/۱۷	۲۰/۷۹۷	۱۲٤۲/۳۰	۰/۰۰۰

جدول ٦. مجموعه جواب‌های غیرمسلط مسئله R108

مسافت کل	۹۷۰/۷۸	۹۷٤/۰۸	۱۰۰۲/۱	۱۰۳٤/۷	۱۰٤۹/۹	۱۰۵۵/٤	۱۰۷۱/۸	۱۰۹۵/٦	۱۱۲۸/۸	۱۱۳۳/۳
ریسک کل	۱۹/۳۰	۱۹/۲۰	۱٦/٦٤	۱۵/۷۸	۱۵/٤٦	۱۳/۷۹	۱۲/۷۷	۹/۰۲۰	۸/۷۹٦	۷/٦۹۲
مسافت کل	۱۱۸۳/۷	۱۱۹۱/٦	۱۲۰۱/۸	۱۲۰۹/٦	۱۲۲۵/۷	۱۲۲۸/۹	۱۲۳۷/٦	۱۲٦۰/۸	۱۲۸٤/۰	
ریسک کل	٦/۸۱۸	۳/۳۹۵	۲/٦٦۹	۱/۳۷۷	۱/۳۷۸	۰/۱۸۳۷	۰/۱۸۳٦	۰/۰۱۰	۰/۰۰۰	

www.SID.ir

Archive of SID

٦. نتیجه‌گیری

همانطور که در بخش‌های پیشین اشاره شد هدف از این تحقیق توزیع کالای ارزشمند است به نحوی که بتوان این نوع کالا را با کوتاه‌ترین مسافت و کم‌ترین ریسک ممکن به مشتریان تحویل داد. برای رسیدن به هر دو هدف مورد نظر، مدلی با دو تابع هدف کمینه‌سازی مسافت و حداقل‌سازی ریسک مدل‌سازی شده است. تابع هدف ریسک این پژوهش بر مبنای FMEA و نظریه بازی طراحی شده است به صورتی که یک بازی دو نفره رقابتی با جمع صفر میان وسیله نقلیه و تروریست برای محاسبه احتمال حمله تروریست تشکیل شد.

یکی از مسائلی که باعث افزایش ریسک حمل و نقل کالای ارزشمند می‌شود این است که لینک‌هایی که در یک زمان توسط وسیله نقلیه مورد استفاده قرار می‌گیرد در دوره‌های آینده مورد شناسایی و کمین تروریست قرار می‌گیرند. بنابراین به منظور کاهش ریسک حمله تروریست مدل پیشنهادی به طور روزانه به‌روزرسانی شده و برنامه‌ای جدید برای توزیع کالای ارزشمند ارائه می‌دهد، در هر بار به روزرسانی مدل احتمال انتخاب لینک‌های استفاده شده در دوره‌های پیشین کاهش می‌یابد.

برای حل مدل پیشنهادی از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. برای افزایش کارآیی و بهبود جواب‌های تولید شده، این روش با الگوریتم PFIH برای تولید جواب اولیه و الگوریتم λ-Interchange برای جستجوی نزدیک‌ترین همسایگی ترکیب شده است سپس الگوریتم ژنتیک ترکیبی با مسائل سالومون حل و با روش ویلکاکسون اعتبارسنجی شده است. نتایج به دست آمده حاکی از عملکرد خوب این الگوریتم است.

۷. پی نوشت‌ها

1. Vehicle Routing Problem with Time Window
2. Vehicle Routing Problem
3. Adaptive Large Neighborhood Search
4. Failure Mode and Effect Analysis
5. Simple Additive Weighting Method
6. Police Station
7. Specifications of Street
8. Rate of Crimes
9. Push Forward Insertion Heuristic
10. Best cost - best route crossover

۸. مراجع

- توکلی مقدم، رضا، علینقیان، مهدی، نوروزی، نرگس و سلامت بخش، علیرضا (۱۳۹۰) "حل یک مدل جدید برای مسئله مسیریابی وسائط نقلیه با در نظر گرفتن ایمنی حمل و نقل"، فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره دوم، شماره ۳، بهار ، ص. ۲۲۳-۲۳۷

ذوالفقاری، الف و کرکه آبادی، ز. (۱۳۹۲) "مسیریابی هوشمند اکیپ های امدادی با استفاده ازالگوریتم تئوری بازیها نمونه موردی: شهر سمنان"، فصلنامه علمی-پژوهشی مهندسی حمل و نقل، دوره پنجم، شماره اول، ص. ۱۹-۳۲.

- Ackerman, G. A., Zhuang, J. and Weerasuriya, S. (2017) "Cross-Milieu Terrorist Collaboration: Using Game Theory to Assess the Risk of a Novel Threat", Risk Analysis, Vol. 37, No. 2, pp. 342-371.

- Androutsopoulos, K. N. and Zografos, K. G. (2012) "A bi-objective time-dependent vehicle routing and scheduling problem for hazardous materials distribution", EURO Journal on Transportation and Logistics, Vol. 1, No. 1-2, pp. 157-183.

- Asimit, V. and Boonen, T. J. (2018) "Insurance with multiple insurers: A game-theoretic approach", European Journal of Operational Research, Vol. 267, No. 2, pp. 778-790.

- Beheshti Nia, M. A. and Ghasemi, A. (2017) "A multi-objective and integrated model for supply chain scheduling optimization in a multi-site manufacturing system", Engineering Optimization, Vol. 50, No. 1, pp. 1-19.

www.SID.ir

Archive of SID

Research, Vol. 257, No. 2, pp. 494-510.

- Cox Jr, L. A. T. (2009) "Game theory and risk analysis", Risk Analysis, Vol. 29, No. 8, pp. 1062-1068 .

- Du, J., Li, X., Yu, L., Dan, R. and Zhou, J. (2017) "Multi-depot vehicle routing problem for hazardous materials transportation: A fuzzy bilevel programming", Information Sciences, Vol. 399, pp. 201-218.

- Ghannadpour, S. F., Noori, S., Tavakkoli-Moghaddam, R. and Ghoseiri, K. (2014) "A multi-objective dynamic vehicle routing problem with fuzzy time windows: Model, solution and application", Applied Soft Computing, Vol. 14, pp. 504-527.

- Ghoseiri, K. and Ghannadpour, S. F. (2010) "Multi-objective vehicle routing problem with time windows using goal programming and genetic algorithm', Applied Soft Computing, Vol. 10, No. 4, pp. 1096-1107.

- Hafezalkotob, A., Mahmoudi, R., Hajisami, E. and Wee, H. M. (2018) "Wholesale-retail pricing strategies under market risk and uncertain demand in supply chain using evolutionary game theory", Kybernetes, https://doi.org/10.1108/K-02-2017-0053

- Holland, J. H. (1975) "Adaptation in natural and artificial systems. An introductory analysis with application to biology, control, and artificial intelligence", Ann Arbor, MI: University of Michigan Press, pp. 439-444.

- Hu, H., Guo, S., Ma, H., Li, J. and Li, X. (2017) "A credibilistic mixed integer programming model for time-dependent hazardous materials vehicle routing problem", Journal of Uncertain Systems, Vol. 11, No. 3, pp. 163-175.

- Kahfi, A. and Tavakkoli-Moghaddam, R. (2016) "Solving a multi-depot vehicle routing problem based on reduction risk by a multi-objective bat algorithm", Quarterly Journal of Transportation Engineering, Vol. 6, No. 3, pp. 507-522. (in

- Beheshti Nia, M. A., Ghasemi, A. and Farokhnia, M. (2018) "Supply chain scheduling and routing in multi-site manufacturing system (case study: a drug manufacturing company)", Journal of Modelling in Management, Vol. 13, pp. 27-49.

- Bodford, J. E. and Kwan, V. S. (2018) "A game theoretical approach to hacktivism: is attack likelihood a product of risks and payoffs", Cyberpsychology, Behavior and Social Networking, Vol. 21, No. 2, pp. 73-77

- Bodin, L., Assad, A., Ball, M. and Golden, B. (1983) "Routing and scheduling of vehicles and crews", Computers and Operations Research, Vol. 10, No. 2, pp. 63-211.

- Borumand, A. and Beheshti Nia, M .A. (2018) "A developed genetic algorithm for solving the multi-objective supply chain scheduling problem", Kybernetes, Vol. 47, No. 7, pp. 1401-1419. https://doi.org/10.1108/K-07-2017-0275

- Bozkaya, B., Salman, F. S. and Telciler, K. (2017) "An adaptive and diversified vehicle routing approach to reducing the security risk of cash-in-transit operations", Networks, Vol. 69, No. 3, pp. 256-269.

- Bula, G. A., Gonzalez, F. A., Prodhon, C., Afsar, H. M. and Velasco, N. M. (2016) "Mixed Integer Linear Programming Model for Vehicle Routing Problem for Hazardous Materials Transportation", IFAC-PapersOnLine, Vol. 49, No. 12, pp. 538-543.

- Bula, G. A., Prodhon, C., Gonzalez, F. A., Afsar, H. M. and Velasco, N. (2017) "Variable neighborhood search to solve the vehicle routing problem for hazardous materials transportation", Journal of Hazardous Materials, Vol. 324, No. 44, pp. 472-480.

- Chen, Y., Cowling, P., Polack, F., Remde, S. and Mourdjis, P. (2017) "Dynamic optimisation of preventative and corrective maintenance schedules for a large scale urban drainage system", European Journal of Operational

www.SID.ir

Archive of SID

Operations Research, Vol. 62**,** pp. 61-77.

- Reil, S., Bortfeldt, A. and Mönch, L. (2018) "Heuristics for vehicle routing problems with backhauls, time windows and 3D loading constraints", European Journal of Operational Research, Vol. 266, No. 3, pp. 877-894.

- Reilly, A., Nozick, L., Xu, N., and Jones, D . (2012) "Game theory-based identification of facility use restrictions for the movement of hazardous materials under terrorist threat",

Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, Vol. 48, No. 1, pp. 115-131.

- Salani, M., Duyckaerts, G., and Swartz, P. G. (2010) "Ambush avoidance in vehicle routing for valuable delivery", Journal of Transportation Security, Vol. 3, No. 1, pp. 41-55.

- Saleh, M., Soeanu, A., Ray, S., Debbabi, M., Berger, J. and Boukhtouta, A. (2012) "Mechanism design for decentralized vehicle routing problem", Proceedings of the 27th Annual ACM Symposium on Applied Computing, Trento: 26 - 30 March 2012.

- Schneider, M., Schwahn, F. and Vigo, D. (2017) "Designing granular solution methods for routing problems with time windows", European Journal of Operational Research, Vol. 263, No. 2, pp. 493-509.

- Sharafi, A., and Bashiri, M. (2016). "Green Vehicle Routing Problem with Safety and Social Concerns", Journal of Optimization in Industrial Engineering, Vol. 10, No. 21, pp. 93-100.

- Solomon, M. M. (1987). "Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints", Operations research, Vol. 35, No. 2, pp. 254-265.

- Talarico, L., Reniers, G., Sörensen, K., and Springael, J. (2015). "MISTRAL: A game-theoretical model to allocate security measures in a multi-modal chemical transportation network

Persian).

- Kazantzi, V., Kazantzis, N. and Gerogiannis, V. C. (2011) "Risk informed optimization of hazardous material multi-periodic transportation model", Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 24, No. 6, pp. 773-767.

- Laporte, G., Mesa, J. A. and Perea, F. (2010) "A game theoretic framework for the robust railway transit network design problem", Transportation Research Part B: Methodological, Vol. 44, No. 4, pp. 447-459.

- Liu, H. and Song, Y. (2014) "Dealing with vehicle routing problem under multi-objective using improved genetic algorithm", The 26th Chinese Control and Decision Conference, Changsha: 31 May-2 June 2014.

- Parsafard, M., Esmaeel, A., Masoud, K., Mohammadreza, N. and Li, X. (2015) "Practical approach for finding optimum routes for fuel delivery trucks in large cities", Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, Vol. 2478, pp. 66-74.

- Pradhananga, R., Taniguchi, E. and Yamada, T. (2010) "Ant colony system based routing and scheduling for hazardous material transportation", Procedia-Social and Behavioral Sciences, Vol. 2, No. 3, pp. 6097-6108.

- Pradhananga, R., Taniguchi, E., Yamada, T. and Qureshi, A. G. (2014a) "Bi-objective decision support system for routing and scheduling of hazardous materials", Socio-Economic Planning Sciences, Vol. 48, No. 2, pp. 135-148.

- Pradhananga, R., Taniguchi, E., Yamada, T. and Qureshi, A. G. (2014b) "Environmental analysis of Pareto optimal routes in hazardous material transportation", Procedia-Social and Behavioral Sciences, Vol. 125, pp. 506-517.

- Qi, Y., Hou, Z., Li, H., Huang, J. and Li, X. (2015) "A decomposition based memetic algorithm for multi-objective vehicle routing problem with time windows", Computers and

www.SID.ir

Archive of SID

orienteering problem with time windows", Applied Soft Computing, Vol. 61, pp. 1022-1040.

- Wu, C.-K. (2018) "A game theory approach for assessing risk value and deploying search-and-rescue resources after devastating tsunamis", Environmental Research, Vol. 162, pp. 18-26.

- Yan, S., Wang, S.-S. and Wu, M.-W. (2012) "A model with a solution algorithm for the cash transportation vehicle routing and scheduling problem", Computers and Industrial Engineering, Vol. 63, No. 2, pp. 464-473.

- Yuan, W., Wang, J., Li, J., Yan, B. and Wu, J. (2018) "Two-stage heuristic algorithm for a new model of hazardous material multi-depotvehicle routing problem", UK Workshop on Computational Intelligence, Vol. 650, pp. 362-366.

- Zegordi, S. H., Abadi, I. K. and Beheshti Nia, M. (2010) "A novel genetic algorithm for solving production and transportation scheduling in a two-stage supply chain", Computers and Industrial Engineering, Vol. 58, pp. 373-381.

- Zegordi, S. H. and Beheshti Nia, M. A. (2009) "Integrating production and transportation scheduling in a two-stage supply chain considering order assignment", The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 44**,** pp. 928-939.

- Zheng, B. (2010) "Multi-objective vehicle routing problem in hazardous material transportation", ICLEM 2010: Logistics For Sustained Economic Development: Infrastructure, Information, Integration, Vol. 387, pp. 3139-3145.

- Zibaei, S., Hafezalkotob, A. and Ghashami, S. S. (2016) "Cooperative vehicle routing problem: an opportunity for cost saving", Journal of Industrial Engineering International, Vol. 12, No. 3, pp. 271-286.

with adaptive adversaries", Reliability Engineering and System Safety, Vol. 138, pp. 105-114.

- Talarico, L., Sörensen, K., and Springael, J. (2015a). "A biobjective decision model to increase security and reduce travel costs in the cash-in-transit sector", International Transactions in Operational Research, Vol. 24, No. 1-2, pp. 59-76.

- Talarico, L., Sörensen, K. and Springael, J. (2015b) "Metaheuristics for the risk-constrained cash-in-transit vehicle routing problem", European Journal of Operational Research, Vol. 244, No. 2, pp. 457-470.

- Talarico, L., Springael, J., Sörensen, K. and Talarico, F. (2017) "A large neighbourhood metaheuristic for the risk-constrained cash-in-transit vehicle routing problem", Computers and Operations Research, Vol. 78, pp. 547-556.

- Tarantilis, C. D. and Kiranoudis, C. T. (2001)"Using the vehicle routing problem for the transportation of hazardous materials", Operational Research, Vol. 1, No. 1, pp. 67-78.

- Ticha, H. B., Absi, N., Feillet, D. and Quilliot, A. (2017) "Empirical analysis for the VRPTW with a multigraph representation for the road network", Computers and Operations Research, Vol. 88, pp. 103-116.

- Toumazis, I. and Kwon, C. (2015)"Worst-case conditional value-at-risk minimization for hazardous materials transportation", Transportation Science, Vol. 50, No. 4, pp. 1174-1187.

- Valenzuela, P., Lima, D. A. and Granville, S. (2018) "A risk-constrained Energy Reallocation Mechanism for renewable sources with a Marginal Benefit approach", Electric Power Systems Research, Vol. 158, pp. 297-305.

- Vincent, F. Y., Jewpanya, P., Ting, C.-J. and Redi, A. P. (2017) "Two-level particle swarm optimization for the multi-modal team

www.SID.ir

Archive of SID

A Game Theory Based Vehicle Routing Problem with Risk Minimizing of Valuable Commodity Transportation

S. F. Ghannadpour (Corresponding author), Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

F. Zandiyeh, MSc. Student, Department of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

Email: ghannadpour@iust.ac.ir

Abstract

In this paper, an effective approach for risk minimizing vehicle routing with time window for valuable commodities transportation is proposed. The proposed model pursues two objective functions including distance minimization and risk minimization. The risk minimization objective depends on the size of goods transported, the probability of an armed terrorist attack, and the probability of the success of robbery. The probability of a terrorist attack is estimated using game theory approach for different strategies, in such a way that a two-player, zero-sum game is played between the terrorist and the valuable goods carrier. The equilibrium of such a game is a strategy combining set of player's strategies. Moreover, the probability of success is evaluated using multi-criteria decision-making, and in order to increase the security of valuable commodities transportation, distribution routes will change on a daily basis. An effective multi-objective hybrid genetic algorithm is designed to tackle the proposed model. The efficiency and effectiveness of the algorithm are also examined through standard data sets, and the results indicate the effectiveness of the proposed solution algorithm.

Keywords: Hybrid genetic algorithm, risk, valuable commodity, vehicle routing problem with time window, game theory

www.SID.ir

Archive of SID

سید فرید قنادپور، فاطمه زندیه

سید فرید قنادپور، درجه کارشناسی و کارشناسی ارشد در رشته مهندسی حمل و نقل ریلی را در سال ۱۳۸۵ و ۱۳۸۷ از دانشگاه علم و صنعت ایران اخذ نمود. در سال ۱۳۹۲ موفق به کسب درجه دکتری در رشته مهندسی صنایع از دانشگاه علم و صنعت ایران گردید. زمینه های پژوهشی مورد علاقه ایشان مسیریابی وسایل نقلیه، شبکه های حمل و نقل، الگوریتم های بهینه سازی دقیق و ابتکاری، مدیریت پروژه و کاربرد بهینه سازی در ارزیابی عملکرد سازمان‌ها و پروژه‌ها بوده و در حال حاضر عضو هیات علمی با مرتبه استادیاری در دانشگاه علم و صنعت ایران است.

فاطمه زندیه، درجه کارشناسی در رشته مهندسی صنایع را در سال ۱۳۹۳ از دانشگاه الزهرا اخذ نمود و در سال ۱۳۹۵ در دانشگاه علم و صنعت ایران و در مقطع کارشناسی ارشد رشته مهندسی صنایع گرایش مدیریت مهندسی مشغول به تحصیل گردید. زمینه‌های پژوهشی مورد علاقه ایشان بهینه‌سازی، مسیریابی وسایل نقلیه و مدیریت ریسک شبکه های حمل و نقل بوده است.

www.SID.ir