طراحی و حل مدل مسیریابی وسایل حمل کالای ارزشمند با در نظر گرفتن ریسک مسیر (مطالعه موردی: بانک شهر)

مقاله علمی – پژوهشی

محمد شفیع خانی، دانشجوی دکتری، گروه مدیریت صنعتی، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران
علیرضا رشیدی کمیجانی*، دانشیار، گروه مهندسی صنایع، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران
حسن جوانشیر، استادیار، گروه مهندسی صنایع، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: rashidi@azad.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۱/۰۸/۱۵– پذیرش: ۱۴۰۲/۰۴/۲۸
صفحه ۱۴۲-۱۳۱

چکیده

یکی از فرآیندهای اصلی در سیستم بانکداری، برنامه‌ریزی و انتقال پول از خزانه به شعبه و برگشت آن به خزانه در بازه زمانی مشخص و محدود است. بر این اساس، هدف اصلی اغلب بانک‌ها حداقل کردن ریسک مسیر می‌باشد. زیرا، روزانه حجم بالایی وجه نقد توسط خودروهای پولرسان جابه‌جا می‌شود. در این پژوهش، یک مدل ریاضی برای حمل و نقل پول فیزیکی با در نظر گرفتن ریسک مسیر توسعه داده شده است. در مدل پیشنهادی سه مفهوم ارائه شده است که عبارتند از:۱) وسیله نقلیه در سه حرکت اول مسیرهای طولانی را به دلیل اینکه پول بیشتری حمل می‌کند طی نکند،۲) به یک شعبه در دو روز متوالی، در زمان یکسان سرویس‌دهی نشود، ۳) یک مسیر در دو روز متوالی تکرار نشود. این امر امکان تعیین الگویی ثابت برای سرویس‌دهی را کاهش داده و امنیت سرویس‌دهی را افزایش می دهد.همچنین، از الگوریتم فراابتکاری ژنتیک برای حل مدل استفاده شده است. برای نشان دادن کیفیت جواب الگوریتم، مسائل مختلفی در ابعاد متنوع تولید و با نرم افزار گمز و متلب حل شده است. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم ژنتیک در این مسائل به طور میانگین ۰,۹۳ درصد و حداکثر ۱,۸۷ درصد اختلاف با جواب بهینه دارد.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم ژنتیک، کالای ارزشمند، ریسک، مسیریابی وسایط نقلیه

۱–مقدمه

در بسیاری از بانک‌ها، مسئله مسیریابی وسایط حمل پول معمولاً به صورت کاملاً تجربی و توسط مسئولین خزانه‌داری بدون هیچگونه تغییری و به صورت ثابت و قابل پیش بینی انجام می‌شود (تالاریکو و همکاران،۲۰۱۷). به عبارت دیگر، مسیریابی وسایط حمل پول بدون توجه به اصول بهینه‌سازی و دیدگاه سیستمی باعث عدم امنیت در این عملیات خواهد شد. بر این اساس، با توجه به اینکه موضوع پول رسانی و حمل و نقل پول فیزیکی ضمن مشکلات فراوان از اهمیت خاص در ساختار تامین نقدینگی کشور برخوردار است و عامل انسانی دائما در معرض ریسک حوادث ناشی از سرقت می‌باشد، لذا، در بخش حمل و نقل پول، سرقتی که اتفاق می‌افتد می‌تواند پیامدهای غیرقابل پیش‌بینی داشته باشد که به خودِ عملیات سرقت مربوط می‌شود. بعنوان مثال، یک حمله مسلحانه می‌تواند به پرسنل حفاظتی، مشتریان،کارمند بانک و یا حتی اشخاص ثالث مثل عابرین پیاده آسیب جدی وارد نماید. بنابراین، این نوع پیامدحتی یک فقره، می‌تواند هزینه سنگینی را در ابعاد اجتماعی برای بانک‌ها دربرگیرد. به منظور کنترل این ریسک، استانداردهای خاص امنیتی برای حمل وجه نقد در قوانین ملی، منطقه‌ای و محلی وضع شده است (تالاریکو و همکاران، ۲۰۱۷). به عبارتی دیگر، فرآیند پولرسانی می‌بایست توسط خودروهایی با استاندارد تعیین شده و از طریق مسیرهای مورد تایید در زمان مناسب و ایمن انجام دهند.

با توجه به مطالب بیان شده و به دلیل انجام فرایند پول رسانی توسط واحد خزانه داری بانک‌ها، در این تحقیق، از تابع هدف ریسک مسیر استفاده شده است. بنابراین، حوزه خزانه داری از جمله واحدهای اجرایی است که نقش بسیار مهمی در پشتیبانی از مدیریت شعب از جمله تامین و کنترل نقدینگی و پول رسانی دارد و همبستگی و هماهنگی در بدنه آن سبب پیشبرد کامل اهداف و استراتژی‌های بانک می‌گردد.

۲- پیشینه تحقیق

هدف مدل‌های امروزی مبنا قرار دادن پیچیدگی‌های دنیای واقعی است؛ از جمله هزینه حمل و نقل، وابستگی زمان‌های سفر به حجم ترافیک مسیر، پنجره زمانی در تحویل و برداشت، اطلاعات ورودی مثل میزان تقاضا که در طول زمان به صورت پویا تغییر می‌کند که همگی این ویژگی‌ها برای طراحی یک استراتژی مسیریابی مناسب به منظور کاهش ریسک و افزایش امنیت سفر ضروری هستند. بر این اساس، تحقیقات مختلفی با در نظر گرفتن ریسک مسیر صورت گرفته است که به برخی از موارد اشاره می‌گردد.

ژیانلانگ و همکاران (۲۰۲۲) یک مدل مسیریابی وسایل حمل پول دو هدفه جدید شامل اهداف اقتصادی و زیست‌محیطی را برای بررسی گره‌های ترافیکی کلیدی (مانند پل‌ها و تونل‌ها) به منظور بهینه‌سازی مسیریابی خودرو ارائه نمودند.همچنین، آنها برای بررسی مسیر و ریسک از الگوریتم جستجوی محلی تکراری- نزدیک‌ترین همسایه-اول استفاده کرده اند. دقت و اثربخشی الگوریتم با مقایسه آن با چندین الگوریتم کلاسیک بررسی شده است. سوریانو و همکاران (۲۰۲۰) مسئله مسیریابی وسایط حمل پول با در نظر گرفتن تنوع زمان ملاقات مشتری به صورت چندگرافی را مطرح کردند. در این تحقیق به منظور برقراری توازن بین مسیر کوتاه و امنیت، از جستجوی همسایگی که شامل تابع جریمه خطی جهت ارزیابی مسیرها، جستجوهای محلی بهینه و نرخ تخریب تطبیقی می‌باشد استفاده شده است. قنبرپور و زندیه (۲۰۲۰) مدل تکاملی چندهدفه مبتنی بر تئوری جدید بازی‌ها را با هدف افزایش امنیت انتقال پول و کاهش هزینه‌های حمل و نقل مطرح کردند. آنها مسئله مسیریابی دو هدفه با پنجره زمانی را تولید کردند که خطر انتقال پول و مسافت طی شده توسط وسیله نقلیه را به حداقل برساند. به منظور برآورد بهتر خطر سرقت، احتمال کمین سارقان با استفاده از روش تئوری بازی‌ها محاسبه می‌شود. همچنین، احتمال موفقیت سرقت نیز از طریق روش تصمیم گیری چند معیاره برآورد می‌گردد. هوگبوم و همکاران (۲۰۱۹) عدم همسانی زمان رسیدن به مراکز پولی را از طریق پنجره زمانی چندگانه مطرح کردند. در این تحقیق الگوریتم پیشنهادی و چهار روش جریمه متفاوت بوسیله جستجوی ممنوعه حل شده است. لوکارتالاریکو و همکاران (۲۰۱۷ و ۲۰۱۵) ریسک را نسبتی از مقدار پول قابل حمل و فاصله مکانی بین نقاط تقاضا پیشنهاد داده است و مسئله مسیریابی را در بخش امنیت حمل و نقل پول فیزیکی با هدف کاهش هزینه و افزایش امنیت از طریق تکنیک‌های فراابتکاری و جستجوی محلی حل نمود.

یان و همکاران (۲۰۱۲) در خصوص افزایش سطح غیرقابل پیش بینی بودن، دیدگاه متفاوتی را ارایه نمودند. برای حل مسئله ارایه شده از تکنیک شبکه مسیر- زمان برای مسیریابی حمل پول با هدف کاهش هزینه و افزایش امنیت انتقال پول استفاده کردند.

۳- شکاف تحقیقاتی و نوآوری تحقیق

تمرکز اصلی مدل‌های مورد بررسی در پیشینه تحقیق بر کاهش ریسک و افزایش امنیت می‌باشد، اما راهکارها و مواردی که در این مقاله به منظور کاهش ریسک و در قالب مدل ریاضی فرموله شده است، در مطالعات پیشین ارایه نشده است. نوآوری تحقیق حاضر در لحاظ کردن مفاهیم و روابط جدید برای ارتقای ایمنی و کاهش ریسک سرویس دهی به شعب است. به عبارت بهتر، در این مقاله برای کاهش ریسک مسیر از سه مفهوم استفاده شده است که هیچ یک از آنها در مطالعات پیشین قید نشده‌اند:

۱) وسیله نقلیه در سه حرکت اول که پول بیشتری حمل می‌کند، مسیرها و کمان‌های طولانی را طی نکند،

۲) به یک شعبه در دو روز متوالی، در ساعات یکسان و مشابه سرویس‌دهی نشود،

۳) حتی الامکان کمانی در دو روز متوالی تکرار نشود.

موارد دوم و سوم برای این است که زمان و توالی سرویس دهی به شعب در روزهای مختلف یکسان نباشد. این امر امکان تعیین الگویی ثابت برای سرویس‌دهی به شعب را به شدت کاهش و امنیت سرویس دهی را افزایش می‌دهد.

تعریف مسئله

این مسئله شامل به دست آوردن تورهای بهینه میان خزانه و نقاط تقاضا (شعب) است به نحوی که توابع هدف مسئله شامل کل ریسک موجود در مسیرهای خدمت‌دهی کمینه شود. بر این اساس مفروضات مسئله به شرح ذیل می‌باشد:

– مدل مسئله تک خزانه‌ای می‌باشد.
– تقاضای پول فیزیکی از قبل تعیین شده است.
– وسایط حمل پول همگن است.
– زمان توقف ماشین پول‌رسان در نقاط تقاضا جهت خدمت‌دهی ۵ دقیقه و حداکثر زمان تعیین شده برای سه حرکت اول وسیله نقلیه نباید بیشتر از ۳۰ دقیقه باشد.
– حداقل فاصل زمانی که یک گره در دو روز متوالی ملاقات می‌شود ۱۵دقیقه است.
– سقف زمانی مجاز برای رسیدن به گره‌ها ۳۶۰ دقیقه در طول روز می‌باشد.

٤- روش تحقیق

مدل پیشنهادی به منظور حداقل سازی ریسک مسیریابی با در نظرگرفتن امکان برداشت و تحویل همزمان و رعایت پنجره زمانی و تک هدفه فرموله شده است. برای حل این مسئله از الگوریتم فراابتکاری ژنتیک استفاده شده است. داده‌های تحقیق به صورت تصادفی و برای کلیه شعب تهران بانک شهر (شامل ۱۳۵ شعبه) انتخاب گردیده‌اند.

در رویکرد حل و روش اعتبارسنجی مدل پیشنهادی پس از تنظیم پارامترها و ایجاد جواب اولیه، تعدادی مسئله آزمایشی در ابعاد مختلف بصورت کاملاً تصادفی تولید گشته و نتایج حاصل از این الگوریتم از لحاظ کیفیت جواب و زمان محاسباتی آن‌ها با هم مقایسه شده‌اند.

مدل سازی

در این تحقیق، یک مدل عدد صحیح مخلوط برای مسئله مسیریابی تک خزانه برای حمل پول ارایه می‌شود.

اندیس‌ها و مجموعه‌ها

N مجموعه تمام گره‌ها
i,j اندیس گره
D مجموعه گره های نقاط تقاضا (شعب)
o اندیس گره مبدا (خزانه)
K مجموعه تمام وسایط نقلیه
k اندیس وسیله نقلیه
R مجموعه‌ای شامل تمام شمارنده های حرکت
r اندیس شمارنده حرکت
T مجموعه روزهای افق برنامه ریزی
t,t´ اندیس روز

پارامترها

time ij زمان سفر از گره i به j
UL i زمان سرویس دهی به گره i
Dem it تقاضای گره i در روز t بابت پولی که باید تحویل بگیرد.
Pick it تقاضای گره i در روز t بابت پولی که باید تحویل بدهد.
حداقل فاصل زمانی که یک گره در دو روز متوالی ملاقات می‌شود.
MAX حداکثر مقدار پول قابل حمل توسط هر وسیله نقلیه
αi سقف زمانی مجاز برای رسیدن به گره i
M عدد بزرگ

متغییرهای تصمیم

Xijkrt متغییر صفر و یک نشان دهنده این که وسیله نقلیه k در روز t در r امین حرکت خود از i به j برود یا خیر.
Likrt میزان پول جدید داخل وسیله نقلیه k وقتی در r امین حرکت خود در روز t به گره i می‌رسد.
Pikrt میزان پول جمع آوری شده داخل وسیله نقلیه k وقتی در r امین حرکت خود در روز t به گره i می‌رسد.
Sikrt زمان رسیدن وسیله نقلیه k وقتی در r امین حرکت خود در روز t به گره i می‌رسد.
wijtt´ , w´ijtt´ متغییر آرمانی که در دو روز متوالی یک مسیر گره i به j تکرار نشود.
fitt´ , f´itt´ متغییر آرمانی که فاصله زمانی در دو روز متوالی به یک گره یکسان نباشد.
hijkrt , h´ijkrt متغییر آرمانی که وسیله نقلیه در سه حرکت اول به دلیل حمل پول زیاد در مسیر کوتاه حرکت کند.

$$\sum_{\substack{i\in N\\ i\neq j}}\sum_{k\in K}\sum_{r\in R}X_{ijkrt}=1 \qquad \forall j\in D\,,t\in T \tag{1}$$

$$\sum_{\substack{i\in N\\ i\neq j}}X_{jik(r+1)t}\leq\sum_{\substack{i\in N\\ i\neq j}}X_{ijkrt} \qquad \forall j\in N,k\in K,t\in T,r\in R \tag{2}$$

$$\sum_{i\in N}\sum_{\substack{j\in N\\ j\neq i}}X_{ijkrt}\leq 1 \qquad \forall k\in K,r\in R,t\in T \tag{3}$$

$$\sum_{r\in R}\sum_{j\in D} X_{ijkrt} \leq 1 \qquad \forall i \in o, k \in K, t \in T \tag{4}$$

$$\sum_{i\in D}\sum_{\substack{j\in N\\ j\neq i}}\sum_{k\in K} X_{ijkrt} \leq 0 \qquad \forall r = 1\,, t \in T \tag{5}$$

$$L_{jkrt} \leq L_{ik(r-1)t} - Dem_{it} + M\big(1 - X_{ijkrt}\big) \quad \forall i,j \in N{:}\, i \neq j, i \neq o\,, k \in K, r \in R\,, t \in T \tag{6}$$

$$P_{jkrt} \geq P_{ik(r-1)t} + Pick_{it} - M\big(1 - X_{ijkrt}\big) \quad \forall i,j \in N{:}\, i \neq j, i \neq o\,, k \in K, r \in R\,, t \in T \tag{7}$$

$$S_{jkrt} \geq S_{ik(r-1)t} + time_{ij} + UL_i - M\big(1 - X_{ijkrt}\big) \ \forall i,j \in N{:}\, i \neq j, j \neq o\,, k \in K, t \in T, r \in R \tag{8}$$

$$time_{ij}x_{ijkrt} \leq LB \quad \forall i,j \in N{:}\, i \neq j\,, k \in K, t \in T, r \leq 3 \tag{9}$$

$$\left|\sum_{k\in K}\sum_{r\in R} S_{ikrt} - \sum_{k\in K}\sum_{r\in R} S_{ikr(t+1)}\right| \geq \propto \qquad \forall i \in D{:}\, t \in T \tag{10}$$

$$\sum_{r\in R}\sum_{k\in K} x_{ijkrt} + \sum_{r\in R}\sum_{k\in K} x_{ijkrt'} + w_{ijtt'} - w'_{ijtt'} = 1 \quad \forall i,j \in N{:}\, i \neq j\,, t,t' \in T{:}\, t' = t+1 \tag{11}$$

$$\sum_{r\in R} L_{ikrt} \leq MAX \qquad i \in D, k \in K\,, t \ \in T \tag{12}$$

$$L_{jkrt} + P_{jkrt} \leq M\sum_{\substack{i\in N\\ i\neq j}} x_{ijkrt} \quad \forall j \in D, k \in K, r \in R\,, t \in T \tag{13}$$

$$S_{jkrt} \leq M\sum_{\substack{i\in N\\ i\neq j}} x_{ijkrt} \quad \forall j \in D, k \in K, r \in R\,, t \in T \tag{14}$$

$$\sum_{k\in K}\sum_{r\in R} S_{ikrt} \leq a_i \qquad t \in T, i \in D \tag{15}$$

$$\text{Min} = \sum_{i\in N}\sum_{\substack{j\in N\\ j\neq i}}\sum_{k\in K}\sum_{r=1}^{3}\sum_{t\in T} h'_{ijkrt} + \sum_{i\in D}\sum_{t\in T}\sum_{t'=t+1} f_{itt'} + \sum_{i\in N}\sum_{\substack{j\in N\\ j\neq i}}\sum_{t\in T}\sum_{t'=t+1} w'_{ijtt'} \tag{16}$$

محدودیت (۱) بیانگر این است که هر شعبه فقط از یک وسیله سرویس می‌گیرد. محدودیت(۲) نشان می‌دهد، اولاً اگر وسیله نقلیه ای حرکت r+1 ام خود را انجام دهد، حتماً حرکت r ام را انجام داده است. محدودیت(۳) تضمین می‌کند هر وسیله نقلیه در هر بار حرکت خود حداکثر یک مسیر (فاصله بین دو گره) را طی کند. محدودیت (٤) نشان می‌دهد هر وسیله نقلیه در هر روز حداکثر یکبار از خزانه خارج می‌شود. محدودیت (٥) بیانگر این است که وسیله نقلیه سفر خود را از شعبه آغاز نکند. محدودیتهای (٦) و (۷) ارتباط میزان پول داخل وسیله نقلیه را بین دو گره متوالی نشان می دهد و همچنین باعث حذف زیر تورها می‌شود. محدودیت (۸) ارتباط زمان رسیدن به دو گره متوالی را نشان می‌دهد. محدودیت (۹) یکی از روابط کنترل کننده ریسک است که تضمین می‌کند وسایل نقلیه در سه حرکت اول خود که پول زیادی را حمل می کنند، در مسیرهای کوتاه حرکت کنند. این رابطه در اصل به صورت زیر بوده است.

$$time_{ij}x_{ijkrt} + h_{ijkrt} - h'_{ijkrt} = LB \quad \forall i,j \in N: i \neq j\,, k \in K, t \in T, r \leq 3 \tag{17}$$

محدودیت (۱۰) دومین رابطه کنترل کننده ریسک است که تضمین می‌کند حداقل فاصله زمان که وسیله نقلیه در دو روز متوالی یک گره را ملاقات می‌کند یکسان نباشد. این رابطه در اصل به صورت زیر بوده است.

$$\left|\sum_{k\in K}\sum_{r\in R} S_{ikrt} - \sum_{k\in K}\sum_{r\in R} S_{ikrt'}\right| + f_{itt'} - f'_{itt'} = \propto \;\; \forall i \in D: t, t' \in T: t' = t+1 \tag{18}$$

خطی سازی رابطه فوق:

$$\sum_{k\in K}\sum_{r\in R} S_{ikrt} - \sum_{k\in K}\sum_{r\in R} S_{ikrt'} + f_{itt'} - f'_{itt'} \geq \propto - MZ_{tt'} \quad \forall\, i \in D\,, t\,, t' \in T: t' = t+1 \tag{18-1}$$

$$\sum_{k\in K}\sum_{r\in R} S_{ikrt} - \sum_{k\in K}\sum_{r\in R} S_{ikrt'} + f_{itt'} - f'_{itt'} \leq -\propto + M(1 - Z_{tt'})\; \forall\, i \in D\,, t, t' \in T: t' = t+1 \tag{18-2}$$

محدودیت (۱۱) سومین رابطه کنترل کننده ریسک است که تضمین می‌کند در دو روز متوالی، یک مسیر i به j تکرار نشود. این رابطه در اصل به صورت زیر بوده است:

$$\sum_{r\in R}\sum_{k\in K} x_{ijkrt} + \sum_{r\in R}\sum_{k\in K} x_{ijkrt'} \leq 1 \quad \forall i,j \in N: i \neq j\,, t, t' \in T: t' = t+1 \tag{19}$$

برای جلوگیری از فاقد جواب بودن مسئله، این محدودیت به صورت یک محدودیت نرم در نظر گرفته می‌شود (رابطه ۹). بدیهی است که برای برقراری رابطه (۱۷) باید متغییر h_{ijkrt} صفر شود. برای جلوگیری از فاقد جواب بودن مسئله، این محدودیت به صورت یک محدودیت نرم در نظر گرفته می‌شود (رابطه ۱۰). بدیهی است که برای برقراری رابطه (۱۸) باید متغییر $f_{itt'}$ صفر شود. برای جلوگیری از فاقد جواب بودن مسئله، این محدودیت به صورت یک محدودیت نرم در نظر گرفته می‌شود (رابطه ۱۱). بدیهی است که برای برقراری رابطه (۱۹) باید متغییر $w'_{ijtt'}$ صفر شود. این موارد در تابع هدف دیده شده است. محدودیت(۱۲) تضمین می کند هیچ وسیله نقلیه ای بیش از حد تعیین شده پول حمل نکند. این نکته نیز به کاهش سطح ریسک کمک می‌کند. محدودیت های (۱۳) و (١٤) رابطه بین متغییرهای تصمیم را نشان می دهد. محدودیت (١٥) تضمین می‌کند که زمان رسید وسیله نقلیه به مشتری کمتر از سقف زمانی مجاز برای رسیدن است. تابع هدف (١٦) بیانگر حداقل‌سازی ریسک مسیر می‌باشد؛ به گونه‌ای که وسیله نقلیه در سه حرکت اول در مسیر کوتاه حرکت کند، فاصله زمانی که وسیله نقلیه در دو روز متوالی به یک گره می‌رسد یکسان نباشد و یک مسیر از i به j در دو روز متوالی تکرار نشود.

رویکرد پیشنهادی حل

نحوه نمایش جـواب: نحـوه نمـایش جـواب در تحقیقـات متعدد موجود در این حوزه مختلف است. در تحقیق حاضر بـه دلیل ماهیت مدل و همچنین نوع الگوریتم (پیوسته)، به صورت یک بردار با طول ثابت قابل نمایش است. به عبارت بهتر، یـک ماتریس که سطرهای آن به تعداد دورەهای زمـانی(T) اسـت و ستونهای آن به تعداد نقـاط تقاضـا (D) اسـت. اعـداد داخـل ماتریس اعداد حقیقی بین یک تا (تعداد ماشینها +۱) میباشـند که به صورت تصـادفی تولیـد شـدهانـد. نکتـه قابـل توجـه در تخصیص خودرو پولرسان و توالی نقاط تقاضـا بـوده کـه عـدد صحیح نشاندهنده خودرو پولرسان و مقدار اعشار نشاندهنـده توالی نقاط تقاضا میباشـد؛ کـه عـدد بـا کمتـرین اعشـار، اول خدمتدهی میشـود. بعنـوان مثـال، در بـردار زیـر عـدد ۱/۹۷ بیانگر این است که نقطه تقاضای شماره یک با خـودرو شـماره یک، عدد ۲/۹۹یعنی نقطه تقاضای شماره دو با خـودرو شـماره دو، عدد۱/۲۲یعنی نقطه تقاضای شماره سه بـا خـودرو شـماره یک و... که به ترتیب نقاط تقاضای ۱/۰۳، ۲/۱۸، ۱/۲۲ و ... کـه دارای کمترین اعشار هستند، خدمتدهی میشوند.

شکل ۱. یک بردار تصادفی جواب

۱/۰۳	۲/۱۸	۲/۵۷	۱/۷۳	۱/۲۶	۱/۲۲	۲/۹۹	۱/۹۷

تنظیم پارامترها و مقداردهی اولیه جمعی: روششناسی سـطح پاسخ مجموعهای از روشهای ریاضی است که رابطه بین یـک یا چند متغیر پاسخ را با چندین متغیـر مسـتقل (مـورد مطالعـه) تعیین میکند. از این روش میتوان در بحث تنظیم پارامترهـای الگوریتم ژنتیک بهره جُسـت. تعیـین مقـادیر پارامترهـای اولیـه الگـوریتم شـامل انـدازه جمعیـت اولیـه ($\mathrm{nPop} = 100$)، احتمـال ترکیـب یـا تقـاطع ($\mathrm{Pc} = 0.82$)، احتمـال جهـش ($\mathrm{Pm} = 0.36$)، حـــداکثر تعـــداد تکـــرار الگـــوریتم ($\mathrm{Max-It} = 250$)، نوع عملگر انتخاب و نوع عملگرهای تقاطع و جهش میباشد.

تولید راهحل اولیه: جمعیت را میتوان بـه عنـوان مجموعـهای ازکروموزومها تعریف نمود. بر ایـن اسـاس، بـرای مقـداردهی جمعیت از مقـدار دهـی اولیـه تصـادفی استفاده شـده اسـت. راهحـلهـای تصـادفی، راهحـلهـایی هسـتند کـه جمعیـت را به سمت بهینه شدن سوق میدهند.

تابع برازندگی: این تابع خوب یـا بـد بـودن جـواب مسـئله را تعیین میکند. به عبارت دیگـر، تـابعی اسـت کـه مقـدار متغیـر مسأله در آن قرار داده شده و مطلوبیـت هـر جـواب مشـخص میگردد. در مسائل بهینه سـازی، تـابع هـدف بـه عنـوان تـابع برازندگی به کار میرود (صادقی مقدم و همکاران، ۱۳۸۸). تابع هدف جهت تعیین اینکه افراد چگونه در محدوده مسأله ایفـای نقش میکنند، استفاده میشود و تـابع برازنـدگی معمـولاً بـرای تبدیل مقدار تابع هدف به یک مقـدار برازنـدگی وابسـته بـه آن استفاده میشود. به عبارت دیگر داریم:$F(n) = g(f(x))$

به طوری که f تابع هدف بوده و تابع g مقدار تابع هدف را به یک عدد غیر منفی تبدیل میکند وF مقدار برازندگی مربـوط به آن میباشد. مناسب بودن یا نبودن جواب بـا مقـداری کـه از تابع برازندگی به دست میآید سنجیده میشود. چون مسـأله از نوع بهینه سازی میباشد، تـابع بـرازش بـا تـابع هـدف مسـأله یکسان میباشد. تـابع هـدف مسـأله، مینـیمم کـردن ریسـک را مد نظر قرار میدهد.

عملگر انتخاب: روشهای مختلفی برای الگوریتمهـای ژنتیـک وجود دارند که میتوان برای انتخاب ژنومهـا از آنهـا اسـتفاده کرد. در این الگوریتم از روشهـای چرخـه رولـت (RWS) و تورنمنت (TS) استفاده شده است.

عملگر تقاطع: یک عملگر ژنتیکـی اسـت کـه بـرای ترکیـب اطلاعـات ژنتیکـی دو والـد و سـاختن فرزنـد آنهـا اسـتفاده میشود. با استفاده از تقاطع میتـوان از یـک جمعیـت موجـود بـه صـورت تصـادفی و بـا ترکیـب اطلاعـات والـدین فرزنـد ساخت. در این عمل انتظار میرود ویژگیهای مطلوب والـدین با یکدیگر ترکیب شده و فرزندان بهتری حاصل شـود. بهتـرین تقاطع در جوابهای پیوسته، تقاطع یکنواخت است که در ایـن الگوریتم استفاده شده است. به عبارت دیگر، برای انجام عملگر تقاطع نیاز به دو الگو اسـت کـه الگوهـا بـه صـورت تصـادفی از جمعیت اولیه انتخـاب و در اعـداد تصـادفی بـین ۰ و ۱ کـه ماسک نامیده میشوند ضرب شده و به شکل زیر کروموزمهای جدید تولید میشوند.

والد ۱ : $\mathrm{x_1} = (\mathrm{x_{11}}, \mathrm{x_{12}}, \mathrm{x_{13}}, \ldots, \mathrm{x_{1n}})$

والد ۲ : $\mathrm{x_2} = (\mathrm{x_{21}}, \mathrm{x_{22}}, \mathrm{x_{23}}, \ldots, \mathrm{x_{2n}})$

: $\alpha = (\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \ldots, \alpha_n) \quad 0 \le \alpha \le 1$

ماسک $\mathrm{y_1} = (\mathrm{y_{11}}, \mathrm{y_{12}}, \mathrm{y_{13}}, \ldots, \mathrm{y_{1n}}) \rightarrow \mathrm{y_{1i}} =$

فرزند ۱ : $\alpha_i \mathrm{x_{1i}} + (1 - \alpha_i)\mathrm{x_{2i}}$

$\mathrm{y_2} = (\mathrm{y_{21}}, \mathrm{y_{22}}, \mathrm{y_{23}}, \ldots, \mathrm{y_{2n}}) \rightarrow \mathrm{y_{2i}} =$
فرزند۲ : $(1 - \alpha_i)\mathrm{x_{1i}} + \alpha_i \mathrm{x_{2i}}$

به عبارت دیگر، در ایـن روش از یـک ماسـک بـرای ادغـام استفاده میکنیم (شکل شماره ۲). بدین صورت که آرایه را کـه به تعداد ژنها دارای عنصر است ایجاد مـیکنـیم. عناصـر ایـن

آرایه فقط می‌تواند مقادیر صفر یـا یـک بپـذیرد. عناصـر آرایـه ماسک را به طور تصادفی مقداردهی می‌کنیم. حال با استفاده از این ماسک دو کروموزوم را ادغام می‌کنیم. مقدار یـک در آرایـه ماسک نشان می‌دهد که ژن باید از کروموزوم اول انتخاب شود. مقدار صفر نیز در آرایه ماسک مشخص می‌کند کـه ژن بایـد از کروموزوم دوم انتخاب شود و برای کروموزم فرزند دوم حالت عکس انجام می‌شود.

شکل ۲. عملگر ماسک

والد ۱	۰,۷۲	۰,۳۵	۰,۲۱	۰,۸۸	۰,۱۰	۰,۱۹
والد ۲	۰,۲۵	۰,٦۱	۰,۱۸	۰,۳٦	۰,۹٤	۰,٤۹
ماسک	۱	۱	۰	۰	۱	۰
فرزند ۱	۰,۷۲	۰,۳۵	۰,۱۸	۰,۳٦	۰,۱۰	۰,٤۹

بعد از انجام عملگر تقاطع برای هر کروموزوم تولید شده، یـک عدد تصادفی در بازه [۱,۰] تولید و اگر این عدد تصادفی کمتـر از ۰/۳ بود عملگر جهش روی آن اعمال می‌شود. برای اجـرای عملگـر جهـش جـای دو ژن در کرومـوزوم انتخـابی عـوض می‌شود.

عملگر جهش: جهت دستیابی به نقاط خوب احتمالی در فضای جواب از عملگر جهش استفاده می‌شود. ماهیـت عمـل جهـش به نوعی دگرگون کردن جواب‌هـای کنـونی اسـت و در بیشـتر مواقع منجر به جواب‌هـای خـوبی نخواهـد شـد. ولـی اگـر بـا موفقیت همراه باشد معمولاً می‌توانـد تـاثیر بسـزایی روی تـابع هدف گذاشته و فضای جدیدی را در فضای جواب‌ها بگشـاید. در الگـــوریتم ژنتیـــک احتمـــال جهـــش در کرومـــوزوم‌هـــا در حدود۰/۰۱ تا۰/۰۰۱ در نظر گرفته می‌شـود. بـه کمـک ایـن عملگر می‌تـوان امیـد داشـت کـه کرومـوزوم‌هـای خـوبی کـه در مراحل انتخاب و یا تکثیر حذف شده‌اند، دوباره احیا شـوند. این عملگر همچنین تضمین می‌کند که بدون توجه به پراکندگی جمعیت اولیه احتمـال جسـتجوی هـر نقطـه از فضـای مسـاله هیچ‌گاه صفر نشود. در این الگوریتم، عملگر جهـش در فضـای پیوسته حقیقی به کمک توزیع نرمال به شرح ذیـل انجـام شـده است:

$$x_i^{new} \sim N(x_i, \sigma^2)$$
$$x_i^{new} = x_i + \sigma N(0,1)$$

که $\sigma N(0,1)$ برابر با طول گام است.

یافته‌ها تحقیق

به منظور اعتبارسنجی الگوریتم‌های پیشنهادی و کیفیت جواب-های تولید شده نسبت به جواب‌های بهینه، تعداد ۳۰ مسـئله در قالب مسائل کوچک، متوسط و بزرگ بـه شـرح ذیـل تولیـد و کلیـه مسـائل توسـط نـرم افزارهـای GAMS و MATLAB R2015b حل شدند.

تولید مسئله نمونه در مقیاس کوچک

برای بررسی عملکرد مدل ارائه شده در این بخش، ۱۲ مسئله به گونه ای که ٤ الی ۱۵ شعبه توسط ۲ الی۳ خودرو در۳ روز کاری سرویس دهی شوند، بیان شده و پس از اجرا نتایج آن چون عمل جهش در طبیعت به ندرت رخ می‌دهد؛ لذا در الگوریتم ژنتیک هم با احتمال بسیار کم کمتر از ۰,۰۵ عمل جهش را انجام می‌دهیم. همان طور که گفته شد مزیت عملگر جهش این است که توان دسترسی به همه فضای جستجو را به ما می‌دهد. شرط توقف الگوریتم ژنتیک: این رویه تا زمانیکه شرط توقف برآورده شود، تکرار می‌شود. روش فراابتکاری زمانی متوقف می‌شود که به حداکثر تکرار پیش فرض $(Max - It)$ برسد. به عبارت دیگر، حداکثر زمان مجاز اجرا می‌تواند بعنوان معیار توقف در هر تکرار بکار رود و راه حل جدید برای مدل بدست می‌آید. بررسی می‌شود. مسئله نمونه در نرم افزار گمز اجرا گردید. همانگونه که در جدول زیر مشاهده می‌شود، روش گمز برای نمونه‌های کوچک دارای پاسخ بوده لیکن برای نمونه‌های متوسط و بزرگ قادر به ارائه جواب نمی باشد. همچنین، زمان محاسباتی گمز در نمونه کوچک شماره ۱۲ در حدود ۲۷,۳۵۰ ثانیه می‌باشد.

تولید مسئله نمونه در مقیاس متوسط و بزرگ

در گام بعد، ۱۸ مسئله متوسط تا بزرگ به شرح ذیل توسط الگوریتم های فراابتکاری پیشنهادی به تعداد ۵ مرتبه اجرا و نتایج بدست آمده از حل هر مثال شامل بدترین جواب تولید شده، میانگین جواب‌ها و جواب مدل بدست آمده به همراه زمان محاسباتی آنها به ثانیه ارائه می‌شود.

نمونه های متوسط: شامل ۱۰ مسئله به گونه ای که۲۵ الی ۷۰ شعبه توسط٤ الی۸ خودرو در۳ الی ٤ روز کاری سرویس دهی می شوند.

نمونه های بزرگ: شامل ۸ مسئله به گونه ای که۸۰ الی۱۳۵ شعبه توسط ۹ الی۱۵ خودرو در٤ الی٦ روز کاری سرویس دهی می‌شوند.

برای سنجش اعتبار الگوریتم‌ها و مقایسه آنها با یکدیگر از شاخص RPD یا درصد انحراف نسبی برای الگوریتم پیشنهادی با رابطه ذیل تعریف شده است:

$$RPD = (ALG_S - ALG_{BS})/ALG_{BS}$$

در این رابطه ALG_S و ALG_{BS} به ترتیب جواب مدل و بهترین جواب/ بدترین جواب به دست آمده توسط الگوریتم پیشنهادی در پنج مرتبه اجرای مسئله نمونه است. به عبارت دیگر،حداکثر فاصله از تفاضل جواب مدل و بدترین جواب تقسیم بر جواب مدل حاصل شده است و به منظور محاسبه حداقل فاصله، تفاضل جواب مدل و جواب میانگین تقسیم بر جواب مدل فرموله و به همراه زمان محاسبات ارائه شده است.

مقایسه با الگوریتم ژنتیک

به منظور ارزیابی عملکرد الگوریتم ژنتیک از روش جواب مدل، میانگین جواب‌ها، بدترین جواب و حداکثر انحراف و میانگین انحراف استفاده شده است. با در نظر گرفتن زمان اجرای الگوریتم به عنوان معیار توقف، جدول ذیل نتایج حاصل از اجرای الگوریتم پیشنهادی را برای ۳۰ مسئله نشان می‌دهد. همانگونه که در جدول مشخص است مسائل شماره ۲۰ و ۲۱ در مسائل متوسط، جواب مدل از میانگین جواب‌ها بهتر است.همچنین، در نمونه‌های بزرگ، کلیه جواب‌های مدل از میانگین جواب‌ها بهتر است. پس از اجرای مراحل فوق برای الگوریتم ژنتیک، میزان انحراف به طور میانگین ۰,۹۳درصد و حداکثر ۱,۸۷درصد اختلاف با حل بهینه دارد.

مقایسه با سایر تحقیقات

در تحقیقات مشابهی که قنادپور و همکاران در سال ۱۳۹۷ با عنوان "مسئله مسیریابی وسایل نقلیه مبتنی بر نظریه بازی با هدف کاهش ریسک حمل کالای ارزشمند" انجام داده‌اند؛ میزان انحراف ۱,۳٪ و در تحقیقاتی مشابهی که توکلی مقدم و همکاران در سال ۱۳۹۳ با عنوان "حل مدل مسیریابی وسایل نقلیه چندانباره مبتنی بر کاهش ریسک با استفاده از یک مدل الگوریتم خفاش تک هدفه" انجام داده اند؛ میزان انحراف۱,۳٪ و در تحقیقاتی که اتابکی و همکاران در سال ۱۳۹۷ با عنوان "یک الگوی تفاضل تکاملی بر اساس رویه نمایش مبتنی بر اولویت برای بازدهی طراحی زنجیره تامین حلقه بسته با رویکرد بهینه سازی استوار فازی" انجام داده اند؛ میزان انحراف۱,۹٪ و در تحقیقاتی که ستاک و همکاران در سال ۱۳۹۳ با عنوان "مسئله مسیریابی چندپویی ظرفیت‌دار با برداشت و تحویل همزمان و بارهای برش یافته" انجام داده اند؛ میزان انحراف۰,۲٪ می باشد. در نهایت، نتایج تحقیق حاضرطبق جدول شماره ۱۳ نشان می‌دهد، الگوریتم ژنتیک به طور میانگین ۰,۹۳درصد و حداکثر ۱,۸۷درصد اختلاف با جواب بهینه، در مقایسه با الگوریتم بهینه سازی کلونی مورچگان نتایج بهتری ارائه داده و عملکرد الگوریتم‌های پیشنهادی با افزایش ابعاد مسئله کاملا قابل دفاع است، زیرا در مسائل با ابعاد متوسط و بزرگ در زمان نسبتاً کم جواب‌های شدنی تولید می‌کند.

روش حل	میانگین جواب	در نظر گرفتن ریسک مسیر	سال	مرجع
فراابتکاری	٪۱,۳۰	*	۱۳۹۷	قناد پور و همکاران
فراابتکاری	٪۱,۹۰		۱۳۹۷	اتابکی و همکاران
فراابتکاری	٪۱,۳۰	*	۱۳۹۳	توکلی مقدم و همکاران
فراابتکاری	٪۰,۲۰	*	۱۳۹۳	ستاک و همکاران
فراابتکاری	٪۰,۹۰	*	۱٤۰۲	این مقاله

جدول ۱. نتایج محاسباتی الگوریتم پیشنهادی

	Trial	D	K	T	GAMS		MATLAB							
					Mathematical Model		Proposed GA							
					OBJECTIVE VALUE	CPUs	OBJECTIVE VALUE: Worst	OBJECTIVE VALUE: Average	OBJECTIVE VALUE: Model	CPU w	CPU a	CPU m	Gap Max	Gap Average
نمونه کوچک	1	4	2	3	4	0.7	4	4	4	0.3	0.3	0.3	0%	0%
	2	5	2	3	2	1	2	2	2	0.3	0.3	0.3	0%	0%
	3	6	2	3	2	2	2	2	2	1	1	1	0%	0%
	4	7	2	3	2	3	2	2	2	1	1	1	0%	0%
	5	8	2	3	9	6	10	10	10	2	2	2	0%	0%
	6	9	2	3	9	15	9	9	9	2	2	2	0%	0%
	7	10	2	3	9	67	10	10	10	2	2	2	0%	0%
	8	11	2	3	9	156	10	10	10	2	2	2	0%	0%
	9	12	2	3	8	25	8	8	8	2	2	2	0%	0%
	10	13	3	3	8	244	8	9	9	2	2	2	11%	6%
	11	14	3	3	8	158	9	9	9	2	2	2	0%	0%
	12	15	3	3	18	27,350	19	19	19	5	5	5	0%	0%
نمونه متوسط	13	25	4	3	19	11,302	35	35	35	6	6	6	0%	0%
	14	30	4	3	NA	NA	36	36	36	7	7	7	0%	0%
	15	35	5	3	NA	NA	36	36	36	7	7	7	0%	0%
	16	40	5	3	NA	NA	37	37	37	7	7	7	0%	0%
	17	45	6	3	NA	NA	37	37	37	7	7	7	0%	0%
	18	50	6	3	NA	NA	38	38	38	7	7	7	0%	0%
	19	55	7	3	NA	NA	39	39	39	8	8	8	0%	0%
	20	60	7	4	NA	NA	40	41	42	8	8	8	5%	2%
	21	65	8	4	NA	NA	41	42	43	8	8	8	5%	2%
	22	70	8	4	NA	NA	42	43	43	8	8	8	2%	1%
نمونه بزرگ	23	80	9	4	NA	NA	80	82	83	12	12	12	4%	2%
	24	88	10	4	NA	NA	82	84	85	12	12	12	4%	2%
	25	96	11	4	NA	NA	83	85	86	12	12	12	3%	2%
	26	104	12	5	NA	NA	85	87	88	12	12	12	3%	2%
	27	112	13	5	NA	NA	86	88	90	12	12	12	4%	2%
	28	120	14	5	NA	NA	87	89	91	24	24	24	4%	2%
	29	128	15	6	NA	NA	91	94	96	24	24	24	5%	3%
	30	135	15	6	NA	NA	94	97	99	24	24	24	5%	3%
Mean					-	-	-	-	-	-	-	-	**1.83%**	**0.97%**

D = نقاط تقاضا (شعبه)، **K** = تعداد خودرو پولرسان، **T**= تعداد روز های فعالیت

۵- نتیجه‌گیری

توجه به مسئله ریسک و کاهش خطرات احتمالی در توزیع کالاها بخصوص کالاهای با ارزش و پول فیزیکی در طراحی استراتژی مسیریابی با مفاهیم و پیچیدگی‌های دنیای امروزی اهمیت فراوانی پیدا کرده است. به عبارت دیگر، 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 انسانی به کارکنان، مشتریان و نیروهای امنیتی نیز می‌گردد. بر این اساس، در تحقیق حاضر یک مدل عدد صحیح مخلوط تک هدفه برای مسئله مسیریابی تک خزانه با در نظرگرفتن امکان تحویل و برداشت همزمان و رعایت پنجره زمانی برای حمل پول ارائه شده است. در مدل پیشنهادی از سه مفهوم ذیل برای کاهش ریسک مسیر استفاده شده است. این تکنیک امکان تنظیم یک الگوی ثابت برای خدمت رسانی به شعب را تا حد زیادی کاهش می‌دهد و امنیت خدمات را افزایش می‌دهد:

- وسیله نقلیه مسیرهای طولانی را در سه حرکت اول که پول نقد بیشتری حمل می‌کند، طی نمی‌کند.
- شعبه در دو روز متوالی در زمان یکسان و مشابه سرویس‌دهی نمی‌شود.
- یک کمان در دو روز متوالی تکرار نمی‌شود.

در تحقیق حاضر، ۳۰ مسئله در قالب مسائل کوچک، متوسط و بزرگ ایجاد و تمامی مسائل توسط نرم‌افزارهای GAMS و MATLAB حل شد تا الگوریتم‌های پیشنهادی و کیفیت راه حل‌های تولید شده در مقایسه با راه حل‌های بهینه اعتبارسنجی شود. با توجه به ناکارآمدی نرم افزار GAMS در حل مدل در ابعاد متوسط و بزرگ، در این تحقیق از الگوریتم‌های فراابتکاری ژنتیک استفاده شد. در نهایت، نتایج نشان می‌دهد، الگوریتم ژنتیک به طور میانگین ۰٫۹۳درصد و حداکثر ۱٫۸۷درصد اختلاف با جواب بهینه دارد.

٦- مراجع

- Davis, L. (2016).Improving traffic flow at a 2-to-1 lane reduction with wirelessly connected, adaptive cruise control vehicles. *Computers & Industrial Engineering*.451 (2), 320–332.

-Talarico, L.,Springael, J., & Sorensen, K. & Talarico, F.(2015).A large neighborhood metaheuristic for the risk-constrained cash-in-transit vehicle routing problem.*Computers & Industrial Engineering*.78(C), 547-556.

-Androutsopoulos, K. N. & Zografos, G. (2012). A bi-objective time-dependent vehicle routing and scheduling problem for hazardous materials distribution. *Transportation and Logistics*.1(1-2), 157-183.

-Blum,C., &Ochoa,G.(2021). A comparative analysis of two matheuristics by means of merged local optima networks. *Operational Research*. 290(1), 36-56.

-Bozkaya, B., Salman, F. S. & Telciler, K. (2017). An adaptive and diversified vehicle routing approach to reducing the security risk of cash-in-transit. *Operational Research*, 69(3), 256-269.

-Braekers, K., Ramaekers, K. & Nieuwenhuyse, M. (2015).The vehicle routing problem: state of the art classification and review. *Computers & Industrial Engineering*, 43(1), 238-247.

-Bula, G. A., Prodhon, C., Gonzalez, F. A., Afsar,H. M. & Velasco, N. (2017).Variable neighborhood search to solve the vehicle routing problem for hazardous materials transportation. *Hazardous Materials*, 324(44), 472-480.

-Chen, Y., Cowling, P., Polack, F., Remde, S. & Mourdjis, P.(2017).Dynamic optimisation of preventative and corrective maintenance schedules for a large scale urban drainage system. *Operational Operations Research*, 62(2), 61-77.

-Davis, L. (2017).Dynamic origin-to-destination routing of wirelessly connected, autonomous vehicles on a congested .*Network.Computers & Industrial Engineering*, 478(1), 93–102.

–Dongyang, X. Kunpeng, L. Jiehui,Y. & Ligang, C. (2020). A multicommodit unpaired pickup and delivery vehicle routing problem with split loads and unloads. *Industrial Management & Data Systems*, 120(1), 1565-1584.

-Dorigo, M., & Stutzle, T. (2019). Ant colony optimization: Overview and Recent Advances. *Handbook of Metaheuristics*, 272.

-Fikarab, C., & Braekers, K. (2022). Bi-objective optimization of e-grocery deliveries considering food quality losses.*Computers & Industrial Engineering*, 163(4), 238-247.

-Ghanbarpour, F. & Zandiyeh, F. (2020). A new game-theoretical multiple-objective evolutionary approach for cash-in-transit vehicle routing problem with time windows. *Operational Research*, 93(2), 106-132.

–He, Y., Wang, X., Zhou, F. & Lin, Y. (2019). Dynamic vehicle routing problem considering

-Roughgarden, T. (2020). Algorithms Illuminated (Part 4): *Algorithms for NP-Hard Problems, Soundlike yourself publishing LLC Publications*.

-Shangyao, Y., Wang, S. & Wu, S. (2012).A model with a solution algorithm for the cash transportation vehicle routing and scheduling problem. *Computers & Industrial Engineering*, 63(2), 464–473.

-Soriano, A. Thibaut Vidal, T., & Gansterer, M. (2020). The vehicle routing problem with arrival time diversification on a multigraph. *Operational Research*, 286(2), 564-575.

-Talarico, L., Sorensen, K. & Springael, J. (2015). Metaheuristics for the risk-constrained cash-in-transit vehicle routing problem. *Operational Research*, 244(2), 457–470.

-Talarico, L., Sorensen, K. & Springael, J. (2015). The k-dissimilar vehicle routing problem, *Operational Research*, 244 (1), 129–140.

-Talarico, L., Sorensen, K. & Springael, J. (2017). A bi-objective decision model to increase security and reduce travel costs in the cash-in-transit sector. *Operational Research*, 52(2), 24-59.

-Tawakoli Moghadam, R. & Bozorgi Amiri, M.(2021).Multi-objective green routing-location problem in order to improve the money transfer network. *Transportation Engineering Quarterly*, 13(3), 1559-1586.

-Tikani,H.Setak,M., & Demir, E. (2021). A risk-constrained time-dependent cash-in-transit routing problem in multigraph under uncertainty. *Operational Research*, 293(2), 703-730.

-Toumazis, I. & Kwon, C.(2015).Worst-case conditional value-at-risk minimization for hazardous materials transportation. *Transportation Science,* 50 (4), 1174-1187.

-Wang, J., Wang, C. & Zhang, Z. (2017). Dynamic route choice prediction model based on connected vehicle guidance characteristics. *Advanced Transportation*, A. 8-15.

-Wang, Z.Ye, K., & Jiang, M. (2022). Solving hybrid charging strategy electric vehicle based dynamic routing problem via evolutionary multi-objective optimization. *Swarm and Evolutionary Computation*, 2, 68-75.

-Xiang,X., & Qiu, J. (2020). Demand coverage diversity based ant colony optimization for dynamic vehicle routing problems. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 91, 10-35.

-Yaghini. M. (2016), Meta-heuristic optimization algorithms. *Academic Jihad Publications*.

-Yang, B. Wang, J., & Zhang, X. (2020).Comprehensive overview of meta-heuristic algorithm applications on PV cell parameter identification. *Energy Conversion and Management*. 3, 208-215.

simultaneous dual services in the last mile delivery. *Operational Research*, 49(4), 1267-1284.

-Hoogeboom, M. & Dullaert, W. (2019).Vehicle routing with arrival time diversification in cash distribution. *Operational Research*, 275(1), 93-107.

-Jin, Y. Xianlong, G. Zhang, L. (2022). A two-stage algorithm for bi-objective logistics model of cash-in-transit vehicle routing problems with economic and environmental optimization based on real-time traffic data. *Industrial Information Integration*26(1), 100-117.

-Kahfi, A. & Tavakkoli-Moghaddam, R.(2021). Robust Bi-Objective Location-Arc Routing Problem with Time Windows: A Case Study of an Iranian Bank. *Operational Management*,8(1), 1-17.

-Kazantzi, V., Kazantzis, N. & Gerogiannis, C. (2011). Risk informed optimization of hazardous material multi-periodic transportation model. *Loss Prevention in the Process Industries*, 24(6), 773-67.

-KHaripriya, K., & Kumar Ganesan,V.(2022).Solving Large Scale Vehicle Routing Problems with Hard Time Windows under Travel Time Uncertainty. *IFAC-Papers On Line*, 55(10), 233-238.

-Li, J. Xu, M., & Sun, P. (2022).Two-echelon capacitated vehicle routing problem with grouping constraints and simultaneous pickup and delivery. *Transportation Research Part B: Methodological*, 162, 261-291.

-Nasr, N. Akhavan Niakib, T.Seifbarghyc, M. ., & Husseinzadeh Kashand, A.(2022).an Agri-Fresh Food Supply Chain Network Design with Routing Optimization: A Case Study of ETKA Company. *Advances in Mathematical Finance & Applications*, 7(1), 187-198.

-Park, H. Son, D. Koo, B., & Jeong, B.(2021).Waiting strategy for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery using genetic algorithm. *Expert Systems with Applications*, 1, 11-39.

-Parsafard, M., Esmaeel, A., Masoud, K., Mohammadreza, N. & Li, X. (2015). Practical approach for finding optimum routes for fuel delivery trucks in large cities. *the Transportation Research Board*, 2478, 66-74.

-Pradhananga, R., Taniguchi, E., Yamada, T. & Qureshi, G. (2014a).Bi-objective decision support system for routing and scheduling of hazardous materials. *Socio-Economic Planning Sciences*, 48(2), 135-148.

-Radoji, N. (2018).Fuzzy GRASP with path relinking for the Risk-constrained Cash-in-Transit Vehicle Routing Problem.*Applied Soft Computing*, 72, 486-497.

-Rios, B. Xavier, K., & Miyazawa, F.(2021).stochastic multi-depot vehicle routing problem with pickup and delivery. *Computer Science and Information Systems*, 21, 307–315.

Designing and Solving a Routing Model for Transporting Valuable goods by Considering Route Risk (Case Study: Shahr Bank)

Mohammad Shafiekhani, Ph.D. Student, Department of Industrial Management, Firoozkooh Branch, Islamic Azad University, Firoozkooh, Iran.
Alireza Rashidi Komijan, Associate Professor, Department of Industrial Engineering, Firoozkooh Branch, Islamic Azad University, Firoozkooh, Iran.
Hassan Javanshir, Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, South Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

E-mail: rashidi@azad.ac.ir

Received: March 2023- Accepted: August 2023

ABSTRACT

One of the main processes in the banking system is the planning and transfer of money from the treasury to the branch and its return to the treasury within a specific and limited time frame. Accordingly, the main goal of most banks is to minimize route risk. Because, daily, a large amount of cash is moved by cash vehicles. In this research, a mathematical model for the transportation of physical money has been developed considering the route risk. In the proposed model, three concepts are presented, which are: 1) the vehicle should not travel long distances in the first three trips because it carries more money, 2) a branch should not be serviced on two consecutive days at the same time 3) A route should not be repeated in two consecutive days. This reduces the possibility of determining a fixed pattern for servicing and increases the security of servicing. Also, a genetic meta-heuristic algorithm has been used to solve the model. In order to show the quality of the algorithm's answer, various problems have been solved in various dimensions of production and with GAMS and MATLAB software. The results show that the genetic algorithm has an average of 0.93% and a maximum of 1.87% difference with the optimal solution in these problems.

Keywords: Genetic Algorithm, Valuable Commodity, Risk, Vehicle Routing