

حل مسئله‌ی مکانیابی - مسیریابی با تحویل چندبخشی تقاضای مشتریان با استفاده از الگوریتم آنیل شبیه‌سازی شده

عزیزاله جعفری، استادیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و فرهنگ، تهران، ایران
آیلین صادقی سروسناتی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم و فرهنگ، تهران، ایران
پست الکترونیکی نویسنده مسئول: a.sadeghi@usc.ac.ir
دریافت: 95/12/18 - پذیرش: 96/05/18

چکیده

از چالش‌های انگیزترین مسائل موجود در مدیریت زنجیره‌ی تأمین¹ (SCM) مسئله‌ی مکانیابی تسهیلات² (FLP) و مسیریابی وسیله نقلیه³ (VRP) می‌باشد که بررسی مجزای این دو مسئله، افزایش هزینه‌ها و مدت زمان برنامه‌ریزی را نتیجه می‌دهد. لذا مسئله مکانیابی-مسیریابی⁴ (LRP) با در نظر گرفتن همزمان FLP و VRP در SCM مطرح می‌شود. مدیر شرکت‌ها همواره با این مسئله مواجه هستند که تأمین تقاضای هر مشتری تنها توسط یک وسیله نقلیه سود بیشتری را نتیجه می‌دهد یا تحویل تقاضای آنان در چند بخش منجر به افزایش سود می‌شود. برای پاسخ به این مسئله نیاز است که هزینه‌های بدست آمده از حل LRP و مسئله‌ی مکانیابی-مسیریابی با در نظر گرفتن فرض تحویل چندبخشی تقاضای مشتریان⁵ (SDLRP) مقایسه شود. لذا این مقاله به معرفی مدل SDLRP می‌پردازد، که تا به حال در مقاله‌ای دیده نشده است. با توجه به NP-Hard بودن این مسئله، مدل ریاضی پیشنهادی توسط نرم افزار CPLEX10.1 برای نمونه مسائل در اندازه‌های کوچک اجرا و دو الگوریتم جستجوی ممنوع⁶ (TS) و آنیل شبیه‌سازی شده⁷ (SA) برای ابعاد بزرگ مسئله ارائه می‌شود. پس از تولید مثال‌های آزمایشی جدید نتایج عددی حاصل از حل مدل توسط نرم افزار CPLEX10.1 و الگوریتم‌های پیشنهادی تحلیل شده است. نتایج گویای کارایی دو الگوریتم TS و SA و برتری الگوریتم SA نسبت به الگوریتم TS می‌باشد، به این معنا که در اغلب نمونه مسائل، الگوریتم SA در زمان کوتاه‌تر جواب‌های بهتری را ارائه می‌دهد. همچنین نتایج نشان می‌دهند در نظر گرفتن فرض تحویل چندبخشی تقاضای مشتریان منجر به کاهش هزینه‌ی نهایی می‌شود، به ویژه اگر واریانس تقاضای مشتریان کوچک و میانگین آنها بین نصف و سه چهارم ظرفیت وسایل نقلیه باشد.

واژه‌های کلیدی: زنجیره‌ی تأمین، مسئله‌ی مکانیابی-مسیریابی با تحویل چندبخشی تقاضا، جستجوی ممنوع، آنیل شبیه‌سازی شده

۱- مقدمه

مشخص نمودن همزمان تصمیمات مربوط به مکانیابی و مسیریابی به عنوان یکی از چالش‌های انگیزترین مسائل در شبکه‌ی توزیع زنجیره تأمین مطرح می‌شود (Duhamel et al., 2010). LRP بدین صورت تعریف می‌شود که تعدادی نقاط کاندید با مختصات مشخص برای استقرار مراکز توزیع وجود دارد. مکان و میزان تقاضای هر مشتری نیز مشخص است. هر مشتری به یک مرکز توزیع با ظرفیت محدود تخصیص یافته تا

مسئله‌ی مکانیابی-مسیریابی (LRP) شامل دو مسئله‌ی مکانیابی تسهیلات (FLP) و مسیریابی وسیله نقلیه (VRP) می‌باشد که این دو مسئله، از مسائل پایه‌ای در مدیریت زنجیره تأمین به شمار می‌آیند (Escobar, 2012). این دو مسئله معمولاً در دو فاز جداگانه بررسی و حل می‌شوند که منجر به افزایش هزینه و مدت زمان برنامه‌ریزی برای استقرار مراکز توزیع و تأمین کالای مشتریان می‌شود. لذا LRP با هدف

کالای مورد نیاز او تأمین گردد. کالای مورد نیاز مشتریان توسط وسایل نقلیه‌ی همگن با ظرفیت‌های محدود تأمین می‌گردد. هر وسیله‌ی نقلیه تنها به یک مرکز توزیع تخصیص می‌یابد. هر تور که از یک مرکز توزیع شروع و پی از چند مشتری با همان مرکز توزیع خاتمه می‌یابد، به یک وسیله نقلیه اختصاص می‌یابد. هزینه ثابتی برای استقرار هر مرکز توزیع در مکان کاندید و برای استفاده از وسیله نقلیه‌ی هر انبار در تابع هدف وجود دارد. همچنین هزینه مسیریابی نیز در تابع هدف لحاظ می‌شود. هدف این مسئله تعیین تعداد مراکز توزیع مستقر شده در نقاط کاندید و مسیرهای تخصیص یافته به هر مرکز توزیع است به گونه‌ای که مقدار تابع هدف کمینه شده و فرضیات زیر تأمین گردد: تقاضای تمامی مشتریان برآورده شود، تقاضای هر مشتری تنها از یک مرکز توزیع که ظرفیت محدود دارد، تأمین گردد. هر مشتری تنها یکبار و تنها توسط یک وسیله نقلیه و به طور کامل سرویس‌دهی شود، مجموع میزان تقاضای تمامی مشتریانی که در یک تور قرار دارند، باید کمتر و یا مساوی ظرفیت وسیله تخصیص یافته به آن تور باشد و هر مسیر از یک مرکز توزیع شروع و به همان مرکز ختم شود (Yu et al., 2010). مفاهیم پایه‌ای LRP به تحقیقات انجام شده توسط (Boventer, 1961) و (Maranzana, 1965) مربوط می‌گردد. اما پیدایش این مسئله با فرضیات صحیح به اواخر دهه ۱۹۷۰ و اوایل دهه ۱۹۸۰ مربوط می‌شود (Min, 1998). به دلیل پیچیدگی این مسئله محققان در دهه اول پیدایش این مسئله از روش‌های دقیق محدودی برای حل آن استفاده نموده‌اند (Laporte, Npbert, 1981). پس از آن با توجه به رشد نمایی سرعت حل مسئله مکانیابی-مسیریابی در اندازه‌های بزرگ، کاربرد روش‌های دقیق برای حل این مسئله تنها در اندازه‌های کوچک و متوسط محدود شده است (Laporte, Nobert, 1988). لذا الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری برای حل این مسئله در اندازه‌های بزرگ به مراتب کاربرد مناسب‌تری دارند. تازن و بارک در سال ۱۹۹۹ الگوریتم جستجوی ممنوع دو فاز را برای حل LRP در حالتی که مراکز توزیع ظرفیت نامحدود دارند، بکار بردند (Tuzun, Burke, 1999). پرینز و همکارانش در سال ۲۰۰۷ روش لاگرانژین ریلکسیشن را با الگوریتم جستجوی ممنوع ترکیب نموده تا روش دو فاز تکرار شونده دیگری را برای حل LRP توسعه دهند. این الگوریتم به صورت متناوب اطلاعات بین دو فاز مکانیابی مرکز

توزیع و مسیریابی را در حین حل مسئله تبادل می‌کند (Prins et al., 2007). وون در سال ۲۰۰۸ در پایان‌نامه‌ی خود الگوریتم TS دو فاز را برای حل مسئله مکانیابی-مسیریابی با تحویل چندبخشی تقاضا با در نظر گرفتن پنجره‌ی زمانی^۸ (SDLRPTW) ارائه کرد. که در فاز اول مکانیابی مراکز توزیع و در فاز دوم مسیریابی وسایل نقلیه انجام می‌شود. همچنین آنها برای این مسئله، نمونه مسائل جدیدی تولید کردند و نشان دادند که اگر میانگین تقاضای مشتریان کمی بیشتر از نصف ظرفیت وسایل نقلیه باشد در نظر گرفتن فرض تحویل چند بخشی تقاضای مشتریان برای مسئله مکانیابی-مسیریابی با در نظر گرفتن پنجره‌ی زمانی^۹ (LRPTW) کاهش هزینه‌ی بیشتری را سبب می‌شود. هرچند که در نظر گرفتن فرض تحویل چند بخشی تقاضا در LRP تنها و برای اولین بار در این پایان نامه بوده است، اما آنها برای این مسئله مدلی ارائه نکردند (Wun, 2008). یو و همکارانش نیز در سال ۲۰۱۰ برای حل LRP با ظرفیت‌های محدود، از الگوریتم SA استفاده کردند. آنها از مثال‌های آزمایشی کلاسیک موجود در ادبیات LRP برای حل و اعتبارسنجی الگوریتم پیشنهادی خود استفاده کردند. نتایج برتری الگوریتم SA پیشنهادی را نسبت به سایر الگوریتم‌های ارائه شده نشان داد (Yu et al., 2010). کاروگن و همکارانش در سال ۲۰۱۱ از ترکیب الگوریتم دقیق شاخه و کران و الگوریتم SA برای حل مسئله مکانیابی-مسیریابی با در نظر گرفتن فرض تحویل و برداشت کالا به صورت همزمان استفاده کردند. از آنجا که مثال‌های آزمایشی متناسب با ساختار این مسئله در ادبیات موجود نبود، آنها نمونه مثال‌های آزمایشی موجود در حوزه LRP و حوزه مسیریابی وسایل نقلیه در حالت تحویل و برداشت کالا به طور همزمان را ترکیب و برای تولید مثال‌های آزمایشی مقاله‌ی خود استفاده کردند (Karaoglan et al., 2011). زرندی و همکاران در سال ۲۰۱۱ برای حل LRP در حالتی که زمان سفر بین هر دو مکان، فازی در نظر گرفته می‌شود از الگوریتم SA استفاده کردند. آنها برای تولید مثال‌های آزمایشی مناسب با ساختار مسئله‌ی خود از نمونه مسائل شناخته‌شده در حوزه LRP که در سایت <http://prodhonc.free.fr> موجود می‌باشد، استفاده کردند. سپس زمان‌های سفر را به صورت فازی تولید و به این مثال‌ها اضافه کردند (Zarandi, Hemmati and Davari, 2011). یو و لین در سال ۲۰۱۲ از الگوریتم

SA ارائه شده توسط (Yu et al., 2010) برای حل LRP در حالتی که وسایل نقلیه پس از خدمت رسانی به آخرین مشتری به مراکز توزیع باز نمی‌گردند، استفاده کردند (Yu, Lin, 2012). غفاری‌نصب و همکاران در سال ۲۰۱۳ برای حل LRP با در نظر گرفتن تقاضای مشتریان به صورت فازی از ترکیب الگوریتم SA و یک الگوریتم ابتکاری موجود در ادبیات استفاده کردند. آنها برای تولید مثال‌های آزمایشی متناسب با ساختار مسئله خود، تقاضاهای مشتریان را به صورت فازی تولید و جایگزین تقاضای مشتریان در نمونه مسائل شناخته شده در ادبیات LRP کردند (Gaffari-Nasab, Ahari and Ghazanfari, 2013). زرنندی و همکاران در سال 2013 برای حل LRP با در نظر گرفتن تقاضای مشتریان و پنج‌رهی زمانی به صورت فازی از ترکیب الگوریتم SA و الگوریتم ابتکاری استفاده کردند. آنها الگوریتم ابتکاری را برای تولید اعداد فازی و جواب اولیه بکار گرفتند (Zarandi et al., 2013). لازم به ذکر است که تحقیقات موجود در LRP تنها به ارائه مدل‌های ریاضی و ارائه روش‌های حل ختم نمی‌شود، بلکه این مسئله جز مسائلی است که در دنیای واقعی کاربردهای بسیاری دارد. به عنوان مثال می‌توان به سیستم‌های توزیع مواد مصرفی و مواد غذایی (Ambrosino, Sciomachen and Scutella, 2009). جمع‌آوری زباله (Alumur, Kara, 2007) و ایجاد پناهگاه‌هایی برای زمان‌های وقوع حوادثی مانند زلزله، آتش‌سوزی (Coutinho-Rodrigues, Tralhao and Alcada-Almeida, 2012) اشاره نمود. یکی از مسائلی که همواره مدیر شرکت‌ها با آن رو به رو هستند این است که تأمین تقاضای هر مشتری تنها توسط یک وسیله نقلیه سود بیشتری را نتیجه می‌دهد یا تحویل تقاضای آنان در چند بخش منجر به افزایش سود بیشتری می‌شود (Archetti, Savelsbergh and Speranza, 2008)؟ برای پاسخ به این مسئله، نیاز به مقایسه‌ی هزینه‌ی بدست آمده از حل دو مسئله‌ی LRP و مکانیابی-مسیریابی با در نظر گرفتن فرض تحویل چند بخشی تقاضای مشتریان (SDLRP) می‌باشد. لذا این مقاله به معرفی مدل SDLRP می‌پردازد، که تا به حال در مقاله‌ای دیده نشده است. از آنجا که در نظر گرفتن فرض تحویل چند بخشی تقاضای مشتریان در LRP مربوط به زیرمسئله‌ی مسیریابی می‌شود و مسئله‌ی مسیریابی وسیله نقلیه با تحویل چند بخشی تقاضای مشتریان^۱ (SDVRP) که حالت

خاصی از VRP است، جزء مسائل پیچیده محسوب می‌شود (Ozfirat, Ozkarahan, 2010) بنابراین SDLRP نیز جزء مسائل NP-hard به شمار می‌آید چرا که شامل زیرمسئله‌ی SDVRP می‌باشد. از این رو با افزایش ابعاد این مسئله، زمان حل مسئله به طور چشمگیری افزایش می‌یابد (عالم تبریز، زندیه، ۱۳۸۷). اینگونه مسائل در اندازه‌های کاربردی توسط روشهای دقیق قابل حل نیستند. به علاوه از الگوریتم‌های ابتکاری نیز نمی‌توان برای تولید جواب‌های با کیفیت برای آنها استفاده کرد زیرا این الگوریتم‌ها نمی‌تواند از بهینه‌های محلی دور شوند و به بهینه‌ی سراسری دست یابند. بنابراین از روش‌های فراابتکاری که دارای راه‌کاری مناسب برای دور شدن از نقاط بهینه محلی هستند و می‌توانند در یک زمان قابل قبول به جوابی با کیفیت دست یابند استفاده می‌شود (یوسفی خوشبخت و همکاران، ۱۳۹۰).

بنابراین در این مقاله الگوریتم‌های فراابتکاری SA و TS برای حل SDLRP ارائه شده است. ادامه مقاله به صورت زیر سازماندهی می‌گردد. در بخش ۲ مدل SDLRP به صورت برنامه‌ریزی خطی اعداد مختلط ارائه شده است. جزئیات مربوط به دو الگوریتم پیشنهادی برای حل مسئله در بخش ۳ تشریح شده است. تولید مثال‌های عددی جدید مطابق با ساختار مسئله و نتایج محاسباتی در بخش ۴ ارائه شده است. نتیجه‌گیری تحقیق و پیشنهاداتی جهت تحقیقات آتی در بخش ۵ بیان شده است.

۲- تعریف مسئله

SDLRP مانند مسئله‌ی LRP می‌باشد با این تفاوت که تقاضای هر مشتری می‌تواند توسط بیش از یک وسیله نقلیه تأمین شود. در حقیقت فرض اینکه مشتریان تنها یکبار و تنها توسط یک وسیله نقلیه آن هم به طور کامل خدمت رسانی شوند نقض می‌شود، بنابراین در این مسئله با فرض تحویل چند بخشی تقاضای هر مشتری رو به رو هستیم. پارامترهای مسئله بدین صورت زیر تعریف می‌شوند:

$I = \{1, \dots, n\}$: مجموعه n مکان کاندید برای استقرار انبار.
 $J = \{n+1, \dots, m\}$: مجموعه m تایی از مشتریان که لازم است تقاضای آن‌ها تأمین شود.

$V = \{I\} + \{J\}$: مجموعه تمامی نقاط کاندید برای انبار و مشتریان.

K : حداکثر وسایل نقلیه یکسان در دسترس برای تأمین تقاضای مشتریان.

c_{ij} : هزینه سفر از مکان i به مکان j (فاصله‌ی اقلیدسی بین مکان i تا مکان j را برابر هزینه سفر از مکان i به مکان j در نظر می‌گیریم).

F_i : هزینه ثابت استفاده از وسایل نقلیه برای انبار i ام.

O_i : هزینه ثابت استقرار انبار در مکان کاندید i ام (هزینه‌ی باز کردن هر انبار).

d_j : میزان تقاضای مورد نیاز مشتری j ام.

Q : میزان ظرفیت هر یک از وسایل نقلیه.

W_i : میزان ظرفیت انبار i ام.

متغیرهای تصمیم این مدل به صورت زیر تعریف می‌شود:

x_{ijk} : اگر وسیله نقلیه K ام از مکان i به مکان j برود برابر a ، در غیر این صورت برابر 0 می‌باشد.

y_i : اگر در مکان i ام انباری مستقر شود برابر a ، در غیر این صورت برابر 0 می‌باشد.

f_{ij} : اگر مشتری j ام به انبار i ام تخصیص یابد مقدار a ، در غیر این صورت مقدار 0 می‌گیرد.

s_{ik} : میزان تقاضای تأمین شده گره i ام توسط وسیله‌ی نقلیه‌ی K ام که مقداری نامنفی است. لازم به ذکر است که در این مدل K به تعداد مشتریان در نظر گرفته می‌شود. مدل ریاضی این مسئله که به صورت مدل برنامه‌ریزی خطی اعداد مختلط بیان شده است به صورت زیر ارائه می‌شود:

$$\min z = \sum_{i \in I} o_i y_i + \sum_{i \in V} \sum_{j \in V} \sum_{k \in K} c_{ij} x_{ijk} + \sum_{k \in K} \sum_{i \in I} \sum_{j \in J} F x_{ijk} \quad (1)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in V} x_{ijk} \geq 1 \quad \forall j \in J \quad (2)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ijk} d_i \geq s_{ik} \quad \forall k \in K, i \in J \quad (3)$$

$$\sum_{k \in K} s_{ik} = d_i \quad \forall i \in J, i \neq m+1 \quad (4)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ijk} + \sum_{j \in V} x_{jik} \leq 2s_{ik} \quad \forall i \in J, \forall k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{j \in V} x_{ijk} - \sum_{j \in V} x_{jik} = 0 \quad \forall k \in K, \forall i \in V \quad (6)$$

$$\sum_{i \in I} \sum_{j \in J} x_{ijk} \leq 1 \quad \forall k \in K \quad (7)$$

$$\sum_{i \in S} \sum_{j \in S} x_{ijk} \leq |S| - 1 \quad \forall S \subseteq J, \forall k \in K \quad (8)$$

$$\sum_{u \in J} x_{iuk} + \sum_{u \in V \setminus \{j\}} x_{ujk} \leq 1 + f_{ij} \quad \forall i \in I, \forall j \in J, \forall k \in K \quad (9)$$

$$\sum_{j \in J} d_j f_{ij} \leq W_i y_i \quad \forall i \in I \quad (10)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ijk} = 0 \quad \forall j \in I, k \in K \quad (11)$$

$$\sum_{i \in J} s_{ik} \leq Q \quad \forall k \in K \quad (12)$$

$$f_{ij} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in I, j \in V \quad (13)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall i \in V, j \in V, k \in K \quad (14)$$

$$y_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in I$$

۳- روش‌های حل پیشنهادی

از آنجا که دو مسئله SDLRPTW و LRP نزدیکترین مسائل موجود در ادبیات به SDLRP می‌باشند انتظار می‌رود که با توسعه کارترین الگوریتم‌های شناخته شده در این مسائل بتوان به جواب‌های مناسبی برای این مسئله دست یافت. تنها الگوریتم پیشنهادی برای SDLRPTW الگوریتم TS دو فازی می‌باشد (Wun, 2008). با توجه به اینکه در LRP مکانیابی تسهیلات و مسیریابی وسایل نقلیه با هم در نظر گرفته می‌شوند و الگوریتم‌های دو فازی محدودیت‌های خاص خود را دارند (Yu et al., 2010)، در این مقاله، الگوریتم TS را به صورت یکپارچه برای حل SDLRP در نظر می‌گیریم. الگوریتم SA ارائه شده توسط یو و همکارانش در سال ۲۰۱۰ از کارترین الگوریتم‌های شناخته شده در LRP به شمار می‌آید (Yu et al., 2010)، بنابراین این الگوریتم را نیز برای حل مسئله SDLRP توسعه می‌دهیم. در ادامه، الگوریتم‌های SA و TS و جزئیات مربوط به این دو الگوریتم که یافته برای حل SDLRP توسعه داده شده‌اند، توضیح داده خواهد شد.

۳-۱- شرح الگوریتم پیشنهادی SA برای SDLRP

ایده اصلی الگوریتم SA توسط متروپلیس ارائه شده است (Metropolis et al., 1953). آنان در این الگوریتم ماده را به عنوان سیستمی از اجزاء شبیه‌سازی کردند. این الگوریتم پروسه سرد شدن مواد را با کاهش تدریجی دما تا رسیدن به یک نقطه‌ی تعادل دمایی شبیه‌سازی می‌کند. بعدها کرکپاتریک و همکاران این ایده را برای سایر مسائل بهینه‌سازی به کار گرفتند (Kirkpatrick, Vecchi and Gelatt, 1983). الگوریتم SA از یک جواب اولیه شروع کرده، یک جواب همسایگی برای جواب حاضر پیدا می‌کند و در مسائل کمینه‌سازی در صورت کاهش تابع هدف به آن همسایگی می‌رود. حتی اگر حرکتی باعث افزایش مقدار تابع هدف شود، این حرکت نیز به شرط احتمالی $P = \exp\left(\frac{-C}{t}\right) > r$ پذیرفته می‌شود که در آن C میزان تغییر تابع هدف و t دمای حال و r یک عدد تصادفی بین صفر و یک است. این الگوریتم از دو حلقه تشکیل می‌شود که یک حلقه دما را از دمای اولیه تا دمای نهایی کاهش

در این مدل ریاضی، تابع هدف (۱) مجموع هزینه‌های باز کردن انبار (استقرار انبار) و هزینه‌های مسیر که شامل هزینه سفر و هزینه‌های ثابت استفاده از وسیله نقلیه است، کمینه می‌نماید. رابطه (۲) تضمین می‌نماید که هر مشتری می‌تواند توسط بیش از یک وسیله نقلیه خدمت رسانی شود.

لازم به ذکر است که این رابطه در مدل LRP کلاسیک به صورت تساوی می‌باشد چرا که در آن مدل هر مشتری تنها می‌تواند توسط یک وسیله نقلیه خدمت‌رسانی شود در حالی که در مدل SDLRP این محدودیت وجود ندارد. رابطه (۳) بیان می‌کند بخشی از تقاضای مشتری که توسط یک وسیله نقلیه تأمین می‌شود حداکثر به میزان تقاضای آن مشتری می‌باشد. این رابطه به دلیل در نظر گرفتن فرض تحویل چند بخشی تقاضا به مدل اضافه شده است و در مدل LRP کلاسیک موجود نمی‌باشند چرا که در مدل LRP وسیله نقلیه پس از ملاقات با مشتری موظف است به اندازه‌ی کل تقاضای مشتری به آن کالا دهد. رابطه (۴) نیز در مدل LRP کلاسیک موجود نمی‌باشد و به دلیل در نظر گرفتن فرض تحویل چند بخشی تقاضا به مدل اضافه شده است و بیان می‌کند مجموع تقاضای تأمین شده برای هر مشتری برابر کل تقاضای آن مشتری می‌باشد.

رابطه (۵) نیز به دلیل در نظر گرفتن فرض تحویل چند بخشی تقاضا به مدل اضافه شده است و تضمین می‌کند که تنها وسیله نقلیه‌ای که مشتری را ملاقات کرده است می‌تواند تمام و یا بخشی از تقاضای مشتری را تأمین کند و متغیر S_{ik} مقادیر نامنفی می‌گیرد. روابط (۶) و (۷) تداوم و پیوستگی مسیر را تضمین می‌نمایند و بیان می‌کنند که هر وسیله نقلیه و هر مشتری تنها به یک انبار تعلق دارد.

رابطه (۸) محدودیت حذف زیرتور را نشان می‌دهد. روابط (۹) تضمین می‌نمایند که اگر مشتری بوسیله توری به انباری متصل بود، آن مشتری به آن انبار تخصیص داده شود. رابطه (۱۰) محدودیت ظرفیت انبارها را مطرح می‌نماید. رابطه (۱۱) بیان می‌کند که انبارها با هم رابطه‌ای ندارند. رابطه (۱۲) محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه را تأمین می‌کند. روابط (۱۳)، (۱۴) و (۱۵) بیانگر متغیرهای صفر و یک مسئله می‌باشند.

می‌دهد و حلقه دوم تعداد تکرار را در هر دما مشخص می‌کند (بشیری، کریمی، ۱۳۸۹). لازم به ذکر است که الگوریتم SA شامل چهار پارامتر دمای نهایی، دمای اولیه، ضریب کاهش دما

و تعداد تکرار در هر دما می‌باشد. در ادامه هر یک از مراحل الگوریتم پیشنهادی SA برای این مقاله به تفصیل بیان می‌شود:

۲	۱۲	۵	۱۳	۱۰	۰	۱۰	۷	۸	۰	۱	۰	۰	۳	۴	۶	۹	۱۱	۱۴	۰	۱۴	۱۵
---	----	---	----	----	---	----	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	---	----	----

شکل ۱. نحوه نمایش یک رشته جواب برای SDLRP

مکان کاندید برای استقرار مراکز توزیع که عضو مجموعه $\{1, 2, 3\}$ و ۱۲ مشتری که عضو مجموعه $\{5, \dots, 15\}$ می‌باشند، نشان داده می‌شود. در این مثال تقاضای مشتریان ۱۷، ۱۸، ۱۳، ۱۸، ۱۳، ۱۹، ۱۲، ۱۸، ۱۳، ۱۷، ۲۰، ۱۶ و ۱۸ می‌باشد. ظرفیت انبارها و وسایل نقلیه به ترتیب ۱۴۰ و ۷۰ است. همان‌گونه که در شکل ۱ مشخص است عدد ابتدایی در رشته اعداد جواب، مرکز توزیع شماره ۲ می‌باشد، بعد از مرکز توزیع ۲ شماره‌های ۱۲، ۵، ۱۳ و ۱۰ که همگی مربوط به مشتریان می‌باشند، قرار دارند. به این ترتیب وسیله نقلیه ابتدا کل تقاضای مشتریان ۱۲، ۵ و ۱۳ و در نهایت ۱۵ واحد از تقاضای مشتری ۱۰ را تأمین می‌کند. صفر نشان دهنده‌ی اتمام تور می‌باشد بنابراین این وسیله‌ی نقلیه به انبار بازمی‌گردد. وسیله‌ی نقلیه‌ی دیگری از انبار ۲ ابتدا به مشتری ۱۰ می‌رود و ۸ واحد باقیمانده از تقاضای این مشتری را تأمین و سپس تقاضای مشتریان ۷ و ۸ را به طور کامل تأمین و به انبار ۲ بازمی‌گردد. بعد از انبار ۱ هیچ عددی که عضو مجموعه $\{5, \dots, 15\}$ باشد وجود ندارد، بنابراین مرکز توزیع ۱ بسته می‌باشد. سپس وسیله‌ی نقلیه‌ی دیگری از انبار ۳ به ترتیب کل تقاضای مشتریان ۴، ۶، ۹، ۱۱ و سپس با توجه به محدودیت ظرفیت وسیله‌ی نقلیه، ۹ واحد از تقاضای مشتری ۱۴ را تأمین می‌کند و به انبار ۳ بازمی‌گردد. وسیله‌ی نقلیه‌ی جدیدی از انبار ۳ به مشتری ۱۴ می‌رود و ۷ واحد باقیمانده از تقاضای آن را تأمین می‌کند و سپس کل تقاضای مشتری ۱۵ را تأمین و به انبار ۳ باز می‌گردد. در شکل ۱ صفرهای موجود در خانه‌های ۱۰، ۱۲ و ۱۳، صفرهای ساختگی می‌باشند.

• **نحوه نمایش جواب:** یک جواب برای الگوریتم SA شامل رشته‌ای از اعداد است که این رشته خود شامل جایگشتی از n انبار که توسط مجموعه‌ی $\{1, 2, \dots, n\}$ مشخص شده، m مشتری که به وسیله‌ی مجموعه‌ی $\{n+1, n+2, \dots, n+m\}$ مشخص شده است و N_{dummy} (صفر ساختگی) می‌باشد. در این نحوه‌ی نمایش، i امین عدد از $\{n+1, n+2, \dots, n+m\}$ مشخص کننده i امین مشتری است که خدمت دریافت کرده است و اولین شماره در راه حل همیشه در مجموعه‌ی $\{1, 2, \dots, n\}$ می‌باشد که نشان دهنده‌ی این است که اولین انبار در دست بررسی است. پارامتر N_{dummy} بوسیله $\left[\sum d_i / Q \right]$ محاسبه می‌شود که $[]$ کوچکترین عدد صحیح که بزرگتر یا مساوی عدد مورد نظر، d_i تقاضای مشتری i ام و Q ظرفیت وسیله نقلیه می‌باشند. تورها در این رشته جواب به جز صفرهای ساختگی با استفاده از محدودیت ظرفیت وسیله نقلیه نیز خاتمه می‌یابند به این صورت که اگر تقاضای مشتری را با تقاضای مشتریان قبل از آن به شرطی که بین هیچیک از آنها صفر و یا شماره مربوط به انبار نباشد جمع کنیم و عدد حاصل از ظرفیت وسایل نقلیه بیشتر شد، بعد از مشتری عدد صفر قرار می‌دهیم و شماره مشتری را بعد از صفر دوباره تکرار می‌کنیم. به این ترتیب مشتریانی که برآورده کردن تقاضایشان منجر به نقض محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه می‌شود در این رشته دو بار تکرار می‌شوند یکی قبل از و دیگری بعد از صفر. به این معنا که مقداری از تقاضای مشتری توسط همان وسیله نقلیه و مابقی تقاضای آن که منجر به نقض محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه می‌شود توسط وسیله نقلیه دیگری تأمین می‌شود. در شکل ۱ نحوه‌ی نمایش ۳

• **ایجاد جواب اولیه:** برای به دست آوردن جواب اولیه‌ی نسبتاً خوب در یک مدت زمان قابل قبول، از الگوریتم ابتکاری حریمانه استفاده می‌کنیم که در ادامه به شرح

گام‌های این الگوریتم برای SDLRP می‌پردازیم. گام ۱: مجموعه U را به گونه‌ای تعریف نمایید که کلیه مراکز توزیع استقرار نیافته و همچنین مراکز توزیعی که ظرفیت باقی مانده آن‌ها بزرگتر و یا مساوی کمترین تقاضا میان مشتریان تخصیص نیافته می‌باشد را شامل شود. برای هر مرکز توزیع i در مجموعه U ، متغیر $CC(i)$ را تعریف نمایید. برای هر مرکز توزیع مذکور متغیر $CC(i)$ آن را به گونه‌ای تعریف نمایید که شامل مشتریانی شود که کمترین فاصله را به آن مرکز از میان مراکز توزیع موجود داشته باشد. گام ۲: از مجموعه U ، مرکز توزیعی را انتخاب نمایید که بیشترین مقدار $CC(i)$ داشته باشد و شماره‌ی آن را در رشته قرار دهید. اگر برابری در $CC(i)$ وجود داشت، مرکز توزیعی را انتخاب نمایید که ظرفیت بالاتری دارد. از میان مشتریانی موجود در متغیر $CC(i)$ مرکز توزیع انتخاب شده، مشتری را که آن به مرکز توزیع نزدیکتر است را انتخاب و شماره‌ی آن را در رشته قرار دهید و از $CC(i)$ حذف کنید. این روند را تا جایی ادامه دهید که ظرفیت مرکز توزیع توانایی تأمین تقاضای آن‌ها را داشته باشد. در آخر این مرکز توزیع را از U حذف کنید. گام ۳: اگر مشتری تخصیص نیافته‌ای از گام ۲ باقی مانده است به گام ۱ برگردید و از ابتدا گام ۱ را انجام دهید و در غیر این صورت به گام ۲ بروید. گام ۴: محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه را برای رشته‌ی بدست آمده، مطابق با قسمت ۴-۲-۱ اعمال کنید. سپس به تعداد N_{dummy} ، صفر را به طور تصادفی در رشته جواب قرار دهید.

- **ایجاد همسایگی:** برای ایجاد همسایگی به صورت تصادفی از سه ساختار جایگذاری، جابه‌جایی و تعویض دوتایی استفاده می‌کنیم. در حرکت جایگذاری، دو عدد به صورت تصادفی از رشته اعداد جواب انتخاب می‌شود و عدد اول قبل از مکان عدد دوم قرار می‌گیرد. در حرکت جا به جایی، دو عدد به صورت تصادفی از رشته اعداد جواب انتخاب و مکان آن دو عدد با هم جابه جا می‌شوند. حرکت تعویض دوتایی که معمولاً در مسائل مسیریابی وسایل نقلیه کاربرد دارد، به منظور بهبود و اصلاح مسیرهای موجود بکار می‌رود. در این حرکت دو عدد به صورت تصادفی انتخاب شده و اعداد موجود بین

این دو مشتری در رشته اعداد جواب به صورت معکوس نوشته می‌شوند. در طول فرایند ایجاد همسایگی حرکت‌هایی که منجر به نقض محدودیت ظرفیت انبار می‌شوند در نظر گرفته نمی‌شوند.

- **قائده‌ی توقف:** قائده‌ی توقف در این الگوریتم رسیدن دمای نهایی به مقدار ۰.۰۱ می‌باشد. در این الگوریتم دمای اولیه برابر ۱۰۰، ضریب کاهش دما برابر ۰.۹۸ و پارامتر تعداد تکرار در هر دما برابر ۴۰۰۰ می‌باشد. شکل ۲ فلوجارت کلی الگوریتم پیشنهادی SA را نشان می‌دهد.

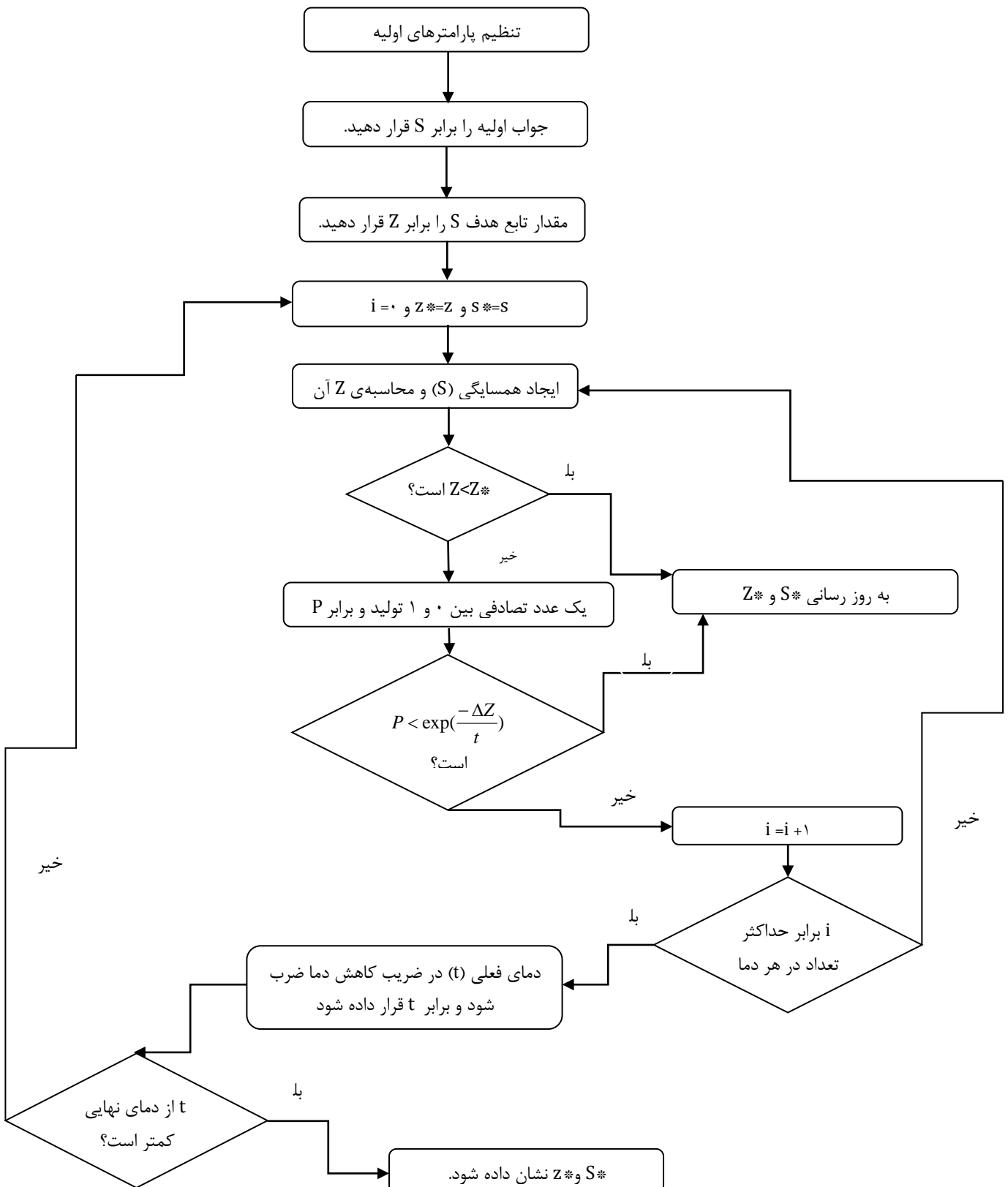
۲-۲- شرح الگوریتم پیشنهادی TS برای SDLRP

الگوریتم TS اولین بار توسط (Glover, 1986) ارائه شد. این الگوریتم از یک راه حل اولیه شروع کرده و در اطراف آن نقطه، به جستجوی همسایگی می‌پردازد. در بین همسایه‌ها، بهترین را انتخاب و به آن نقطه حرکت می‌نماید. این جستجو را تا زمانی ادامه می‌دهد که یک معیار توقف برآورده گردد. در پایان جستجو، نقطه‌ی بهینه گزارش می‌گردد. اساس نامگذاری این روش، استفاده آن از لیستی به نام لیست ممنوع می‌باشد. این لیست برای جلوگیری از به دام افتادن الگوریتم در بهینه محلی طراحی شده است. الگوریتم TS در هنگام حرکت از یک نقطه به نقطه‌ی دیگر، مشخصات مجموعه‌ای از حرکت‌ها را در لیست ممنوع به حافظه سپرده و در نقطه جدید از انجام حرکتی که منجر به برگشت به عقب گردد، جلوگیری می‌کند. این لیست پویا بوده در طول الگوریتم بهنگام می‌گردد. به عبارت دیگر، در هر حرکت، مشخصه حرکت جدید وارد لیست شده و مشخصه حرکت‌های قدیمی‌تر از لیست حذف می‌گردد. برای حل SDLRP الگوریتم TS را به صورت یکپارچه بکار می‌گیریم. نحوه‌ی نمایش جواب‌ها و ساختار همسایگی در این الگوریتم مانند الگوریتم SA می‌باشد. در الگوریتم پیشنهادی TS سایر مراحل کاری به شرح زیر است:

- **ایجاد جواب اولیه:** جواب اولیه به صورت تصادفی تولید می‌شود. بدین شکل که یک جایگشت به صورت تصادفی از n انبار، m مشتری و N_{dummy} صفر ساختگی تولید می‌شود و سپس محدودیت ظرفیت وسایل نقلیه برای این رشته نیز به روشی که در الگوریتم SA توضیح داده شده، اعمال می‌شود.

• شرط توقف: شرط توقف در نظر گرفته شده در این الگوریتم تعداد حرکت‌ها می‌باشد. به این معنا که الگوریتم

بعد از انجام ۳۵۰ تکرار متوقف می‌شود. برای این مسئله طول لیست ممنوع برابر ۰.۵ می‌باشد.



شکل ۲. فلوجارت الگوریتم SA پیشنهادی

۴- محاسبات عددی

نشان دادند که در نظر گرفتن فرض تحویل چند بخشی تقاضای مشتریان برای VRP سبب افزایش سوددهی می‌شود و این سود به بیشترین مقدار خود می‌رسد هرگاه میانگین تقاضای مشتریان بین نصف و سه چهارم ظرفیت وسایل نقلیه و واریانس آنها کوچک باشد (Archetti (et al.), 2008). از آنجا که VRP یکی از زیر مسائل LRP می‌باشد، انتظار می‌رود که اگر تقاضای مشتریان دارای این دو ویژگی باشد در نظر گرفتن فرض تحویل چند بخشی تقاضای مشتریان برای LRP نیز بیشترین سود را نتیجه دهد. وون در سال ۲۰۰۸ ویژگی اول را برای مسئله‌ی LRP به صورت تجربی بررسی کرد و به همان نتیجه رسید (Wun, 2008). ویژگی اول برای تولید مثال‌های آزمایشی این مسئله در نظر گرفته شده است. در این مقاله ویژگی دوم به صورت تجربی مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور واریانس تقاضای مشتریان برای نمونه مثال‌های آزمایشی با ابعاد کوچک در چهار سطح ۰، ۳۶، ۱۹۶ و ۶۲۵ در نظر گرفته و تاثیر واریانس تقاضا بر سود بدست آمده از در نظر گرفتن مسئله به دو صورت SDLRP و LRP بررسی شده است. جدول ۱ این تاثیر را برای یک نمونه از مثال‌های آزمایشی بارتو در سال ۲۰۰۴ (Perl83-12x2) نشان می‌دهد (Barreto, 2004). جزئیات مربوط به مکان انبارها و مشتریان مربوط به این مثال آزمایشی در سایت http://sweet.us.pt/_iscf143 موجود می‌باشد. در این مثال ظرفیت مراکز توزیع و وسایل نقلیه به ترتیب ۵۰۰ و ۱۴۰، هزینه‌ی باز شدن انبار اول و دوم ۱۰۰، هزینه‌ی استفاده از وسایل نقلیه برای مراکز ۵۰ و میانگین تقاضای مشتریان ۷۵ می‌باشد.

از آنجا که برای SDLRP نمونه مثال‌های آزمایشی در ادبیات موجود نیست و با توجه به روش متداول تولید نمونه مثال‌های آزمایشی در این حوزه در شرایطی که فرضیات جدیدی برای LRP در نظر گرفته می‌شود، در این تحقیق از مثال‌های آزمایشی بارتو در سال ۲۰۰۴ که یکی از نمونه مثال‌های آزمایشی کلاسیک در ادبیات LRP است استفاده (Barreto, 2004) و سپس با استفاده از مفاهیم موجود در مقاله‌ی آرشتی و همکاران در سال ۲۰۰۸ که یکی از مقالات برجسته در حوزه‌ی SDVRP به شمار می‌آید، تقاضای مربوط به هر مثال تولید و جایگزین تقاضای مثال‌های آزمایشی LRP شده است (Archetti (et al.), 2008). همانطور که یو و همکاران در سال ۲۰۱۰ عنوان کردند مثال آزمایشی بارتو در سال ۲۰۰۴ شامل ۱۸ نمونه مسئله با ابعاد کوچک، بزرگ و متوسط است. در این مجموعه از نمونه‌ها تعداد مشتریان بین ۸ تا ۳۱۸ و تعداد انبارها بین ۲ تا ۱۵ متغیر است. در این مثال‌ها ظرفیت انبارها محدود فرض شده است. نام هر مثال از چهار جزء تشکیل شده که به ترتیب بیانگر نام شخصی تولید کننده‌ی آن مثال، سال تولید مثال، تعداد مشتریان و تعداد انبار می‌باشد (برای مثال تعداد مشتریان×تعداد انبار-سال تولید-نام شخص (Yu (et al.), 2010). از آنجا که در این مثال آزمایشی هزینه‌ی ثابت استفاده از وسایل نقلیه برابر صفر در نظر گرفته شده است، در این مقاله برای داشتن مثال‌های آزمایشی متناسب با دنیای واقعی این هزینه را به جای صفر تقریباً برابر نصف هزینه‌ی باز شدن انباری در نظر می‌گیریم که وسیله نقلیه به آن انبار تخصیص داده می‌شود. آرشتی و همکاران در سال ۲۰۰۸ به صورت تجربی

جدول ۱. تاثیر واریانس برای نمونه‌ی Perl83-12x2

واریانس	LRP(cplex)		SDLRP(cplex)		سود بدست آمده
	جواب بهینه	زمان حل	جواب بهینه	زمان حل	
0	1036	8.00	321	33839.6 1	715
36	930	414.15	296	35620.2 7	634
196	804	115226.16	284	39812.0 6	520
625	755	16130.96	250	33946.4 5	505

از روش موجود در پیوست مقاله‌ی آرشتی و همکاران در سال ۲۰۰۸ استفاده شده است (Archetti et al., 2008). از آنجا که تقاضای مشتریان برای این نمونه مثال‌ها تغییر کرده است ظرفیت مراکز توزیع که مرتبط با تقاضاها هستند نیز تغییر می‌یابد. ظرفیت هر مرکز توزیع از ضرب یک عدد تصادفی در بازه‌ی (۰.۵ و ۱.۵) در مجموع کل تقاضای مشتریان تعیین شده است. دو الگوریتم SA و TS در نرم‌افزار MATLAB R2010b کدنویسی و بر روی یک رایانه قابل حمل وایو با دو پردازنده با قدرت ۲.۲ مگاهرتز و ۲.۳۸ مگابایت حافظه تصادفی برای مثال‌های آزمایشی، اجرا شده است. با توجه به NP-Hard بودن SDLRP، برای مثال‌های آزمایشی با ابعاد کوچک نتایج حاصل از دو الگوریتم SA و TS با جواب حاصل از حل مدل در نرم‌افزار CPLEX10.1 (جواب بهینه) به منظور بررسی کارایی این دو الگوریتم به ترتیب در جدول ۴ و ۵ مقایسه شده است.

ستون دوم و سوم جدول ۱ نشان دهنده‌ی زمان و جواب بهینه (دقیق) برای مسئله‌ی LRP و ستون چهارم و پنجم این جدول نشان دهنده‌ی زمان و جواب بهینه (دقیق) برای مسئله‌ی SDLRP می‌باشند که با استفاده از نرم‌افزار CPLEX10.1 حل شده است. ستون ششم جدول تفاوت مقادیر ستون دوم و چهارم می‌باشد که بیانگر مقدار سود بدست آمده از در نظر گرفتن فرض تحویل چند بخشی تقاضا برای LRP می‌باشد. همانطور که در این ستون نشان داده شده است با افزایش واریانس، سود بدست آمده کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر کوچک بودن واریانس تقاضا باعث افزایش سود بدست آمده از در نظر گرفتن فرض تحویل چند بخشی تقاضا برای LRP می‌باشد. بنابراین در همه‌ی نمونه مثال‌های آزمایشی بارتو میانگین تقاضا بین نصف و سه چهارم ظرفیت وسیله نقلیه و واریانس تقاضا متناسب با میانگین، کوچک در نظر گرفته شده است. برای تولید تقاضای مشتریان با میانگین و واریانس معلوم

جدول ۴. مقایسه‌ی الگوریتم SA و روش دقیق برای مسائل با ابعاد کوچک

نام نمونه مسئله	SDLRP(SA)		SDLRP(Exact)	
	هزینه‌ی نهایی	زمان حل (ثانیه)	هزینه‌ی بهینه	زمان حل بهینه (ثانیه)
Srivastava86-8x2	861	7.05	861	15059.28
Perl83-12x2	304	15.15	304	35160.95
Gaskell67-21x5	2579	22.12	2579	185634.76
Gaskell67-22x5	5820	25.10	5820	196745.94
Gaskell67-29x5	6943	25.37	-	-

جدول ۵. مقایسه‌ی بین جواب الگوریتم TS و جواب بهینه برای مسائل با ابعاد کوچک

نام نمونه مسئله	SDLRP(TS)		SDLRP(Exact)	
	هزینه‌ی نهایی	زمان حل (ثانیه)	هزینه‌ی بهینه	زمان حل بهینه (ثانیه)
Srivastava86-8x2	861	10.03	861	15059.28
Perl83-12x2	304	20.74	304	35160.95
Gaskell67-21x5	2579	30.86	2579	185634.76
Gaskell67-22x5	5820	34.68	5820	196745.94
Gaskell67-29x5	6943	37.02	-	-

ابعاد کوچک مسئله کارا دانست. ستون سوم این جدول زمان حل (ثانیه) این دو الگوریتم را نشان می‌دهد. همانطور که در ستون چهارم جدول ۴ و ۵ نشان داده شده است زمان حل مسئله‌ی SDLRP با نرم‌افزار CPLEX10.1 زیاد است، به گونه‌ای که زمان حل مسئله با ۵ انبار و ۲۲ مشتری تقریباً ۵۴ ساعت می‌باشد. در ادامه عملکرد این دو الگوریتم برای ابعاد

ستون دوم این جداول نشان دهنده‌ی نتایج محاسباتی حاصل از یک بار اجرای الگوریتم برای حل SDLRP می‌باشد. همانطور که در این دو جدول مشخص است در مسائل کوچک مقادیر بدست آمده برای دو الگوریتم دقیقاً برابر مقادیر بهینه‌ی حاصل شده از نرم‌افزار CPLEX10.1 می‌باشد که در ستون چهارم گزارش شده است. بنابراین می‌توان این دو الگوریتم را برای

بخشی تقاضا برای LRP جواب حاصل از این الگوریتم‌ها با جواب حاصل از الگوریتم ابتکاری که برای حل LRP به کار گرفته شده، مقایسه شده است.

بزرگ مسئله بررسی شده است. در جدول ۶ عملکرد این دو الگوریتم مورد تجزیه و تحلیل و بررسی قرار گرفته است. علاوه بر این به منظور بررسی تاثیر در نظر گرفتن فرض تحویل چند

جدول ۶. مقایسه‌ی جواب‌های دو الگوریتم TS و SA و الگوریتم ابتکاری حریصانه

نام نمونه مسئله	LRP(heuristic)	SDLRP(TS)		SDLRP(SA)	
	هزینه‌ی نهایی	هزینه‌ی نهایی	زمان حل (ثانیه)	هزینه‌ی نهایی	زمان حل (ثانیه)
Srivastava86-8x2	10743	861	10.03	861	7.05
Perl83-12x2	994	304	20.74	304	15.15
Gaskell67-21x5	18312	2579	30.86	2579	22.12
Gaskell67-22x5	21567	5820	34.68	5820	25.10
Gaskell67-29x5	24620	6943	37.02	6943	25.37
Gaskell67-32x5	37893	7651	54.29	6956*	45.40
Gaskell67-36x5	35983	5675	61.48	5675	46.56
Min92-27x5	60671	8410	48.73	8398*	45.67
Min92-134x8	809869	11369	53.45	11050*	53.34
Christofides69-50x5	19761	4606	93.11	4608*	57.10
Christofides69-75x10	39677	7719*	204.53	7734	107.43
Christofides69-100x10	50819	7951	204.67	7951	108.34
Daskin95-88x8	32950	4980	250.44	4944*	219.78
Daskin95-150x10	10648488	540418	1003.56	540008*	306.67
Or76-117x14	494569.2	96089	755.03	96089	506.00
Perl83-55x15	19763	4980	131.38	4980	58.78
Perl83-85x7	39701	6987	240.34	6987	120.09
Perl83-318x4	47872237	809455	5132.21	809201*	870.81

مورد از نمونه‌ها به جواب بهتری رسیده است و در ۱۰ مورد باقیمانده جواب هر دو الگوریتم یکسان می‌باشد. علاوه بر این با مقایسه‌ی این دو ستون و ستون دوم دیده می‌شود که در نظر گرفتن فرض تحویل چند بخشی برای مسئله‌ی LRP سبب کاهش هزینه‌ی نهایی می‌شود چرا که برای تمام نمونه مثال‌ها هزینه‌ی نهایی SDLRP از LRP کمتر شده است. از طرفی با مشاهده‌ی ستون چهارم و ششم مشخص می‌شود که زمان حل الگوریتم TS پیشنهادی از الگوریتم SA ارائه شده برای این مسئله بیشتر است و این بدان علت است که الگوریتم TS تعداد همسایگی‌های بیشتری را در مقایسه با SA بررسی می‌کند. بنابراین الگوریتم SA پیشنهادی از الگوریتم TS ارائه شده برای SDLRP به ویژه برای ابعاد بزرگ مسئله کارتر می‌باشد به این معنا که در زمان کوتاه‌تر، اغلب جواب‌های بهتری را ارائه می‌دهد.

ستون دوم جدول ۶، جواب حاصل از یک بار اجرای الگوریتم ابتکاری یو و همکاران در سال ۲۰۱۰ برای LRP را نشان می‌دهد (Yu et al., 2010). با توجه به میانگین و واریانس تقاضای مشتریان، هر مشتری در LRP تنها به یک مسیر تخصیص داده می‌شود. به عبارت دیگر احتمال تشکیل تور با این شرایط در LRP بسیار کم می‌باشد. بنابراین الگوریتم ابتکاری حریصانه ارائه شده توسط یو و همکاران در سال ۲۰۱۰ جواب‌های بهینه و یا نزدیک به بهینه را برای این نمونه مثال‌ها تولید می‌کند (Yu et al., 2010). ستون‌های سوم و پنجم این جدول به ترتیب جواب حاصل از اجرای یکبار الگوریتم TS و SA را نشان می‌دهند. با مقایسه‌ی این دو ستون ملاحظه می‌شود که این دو الگوریتم برای نمونه‌های با ابعاد کوچک کارایی تقریباً یکسانی دارند. علاوه بر این مشاهده می‌شود که الگوریتم TS تنها در یک نمونه از ۱۸ نمونه جواب بهتری از الگوریتم SA ارائه کرده است در حالی که الگوریتم SA در ۷

۵- نتیجه گیری

در این مقاله برای اولین بار مدل ریاضی مسئله مکانیابی-مسیریابی با در نظر گرفتن فرض تحویل چند بخشی تقاضای مشتریان (SDLRP) به صورت برنامه ریزی خطی اعداد مختلط ارائه گردید. SDLRP یکی از چالش انگیزترین مسائل موجود در مدیریت زنجیره تأمین (SCM) می باشد. چرا که از طرفی به مسئله مکانیابی-مسیریابی (LRP) که یکی از مسائل مهم در SCM می باشد پرداخته می شود و از طرف دیگر به یکی از سوالاتی که در دنیای واقعی همواره پیش روی مدیر شرکتها قرار دارد پاسخ داده می شود. مدیر شرکتها همواره با این مسئله مواجه هستند که تأمین تقاضای مشتریان تنها توسط یک وسیله نقلیه سود بیشتری را نتیجه می دهد و یا تأمین تقاضای آنها در چند بخش منجر به سوددهی بیشتر می شود. با توجه به NP-Hard بودن SDLRP و کارا بودن دو الگوریتم جستجوی ممنوع (TS) و آنیل شبیه سازی شده (SA) برای مسئله SDLRPTW و LRP که از نزدیکترین مسائل به SDLRP می باشند، این دو الگوریتم برای حل این مسئله توسعه داده شدند. پس از تولید مثالهای آزمایشی جدید به روش متداول در ادبیات این حوزه و با توجه به خاصیت میانگین و واریانس تقاضای مشتریان، نتایج عددی حاصل از حل مدل توسط نرم افزار CPLEX10.1 برای ابعاد کوچک مسئله و جوابهای حاصل از اجرای دو الگوریتم پیشنهادی TS و SA برای تمامی نمونه مثالها تحلیل شدند. نتایج گویای کارایی این دو الگوریتم است چرا که جواب حاصل از این دو الگوریتم برای نمونه مثالهای آزمایشی با ابعاد کوچک دقیقاً با مقادیر بهینه حاصل شده از نرم افزار CPLEX10.1 برابر شد. علاوه بر این نتایج نشان دهنده برتری الگوریتم SA نسبت به الگوریتم TS است. به این معنا که در اغلب نمونه مسائل، الگوریتم SA در زمان کوتاهتر جوابهای بهتری را به ویژه برای ابعاد بزرگ مسئله ارائه داد. همچنین نتایج نشان دادند که در نظر گرفتن فرض تحویل چندبخشی تقاضای مشتریان برای مسئله مکانیابی-مسیریابی (LRP) باعث کاهش هزینه نهایی (افزایش سود) می شود و این کاهش هزینه به کمترین مقدار خود می رسد اگر واریانس تقاضای مشتریان کوچک و میانگین آنها بین نصف و سه چهارم ظرفیت وسایل نقلیه باشد. در نظر گرفتن تقاضا و یا محدودیت پنجره زمانی به دو صورت احتمالی و یا فازی، در نظر گرفتن

ناوگان وسایل نقلیه به صورت ناهمگن و ارائه ی سایر روش های فراالبتکاری جدید و موفق مانند الگوریتم الکترومغناطیس-مانند^{۱۱} یکی از مطلوب ترین زمینه های تحقیقات می باشند.

۶- پی نوشت ها

- 1-Supply Chain Management
- 2-Facility Location Planning
- 3-Vehicle Routing Problem
- 4- Location Routing Problem
- 5-Split Delivery Location Routing Problem
- 6- Tabu Search
- 7-Simulated Annealing
- 8-Split Delivery Location Routing Problem with Time Windows
- 9-Location Routing Problem with Time Windows
- 10-Split Delivery Vehicle Routing Problem
- 11-Electromagnetism-like Mechanism

7- مراجع

- بشیری، م.، و کریمی، ح.، (1389)، "کاربرد الگوریتم های ابتکاری و فراالبتکاری در طراحی سیستم های صنعتی"، تهران: دانشگاه شاهد.
- یوسفی خوشبخت، م.، دیده ور، ف.، رحمتی، ف.، صدیق پور، م.، (1391)، "الگوریتم موثر رقابتی فراگیر برای حل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه باز". پژوهشنامه حمل و نقل، سال نهم، شماره اول، بهار 1392، صص. 83-95.
- عالم تبریز، الف.، زندیه، م.، محمد رحیمی، ع.ر.، (1387)، "الگوریتم های فراالبتکاری در بهینه سازی ترکیبی (ژنتیک، شبکه عصبی، آنیل شبیه سازی شده، جستجوی ممنوع و الگوریتم مورچگان)"، تهران انتشارات صفار-اشراقی.
- Alumur, S., Kara and B.Y. (2007), "A new model for the hazardous waste location-routing problem", Computer

- Escobar, W. J., Linfati, R. and Toth, P. (2012), "A two-phase hybrid heuristic algorithm for the capacitated location-routing problem", *Computers & Operations Research*, Vol. 40, pp. 70-79.
- Ghafari-Nasab, N., Ahari, S. G. and Ghazanfari, M. (2013), " A hybrid simulated annealing based heuristic for solving the location-routing problem with fuzzy demands", *Scientia Iranica*, In Press, Corrected Proof.
- Glover, F. (1986), "Future paths for integer programming and links to artificial intelligence", *Computer and operation research*, Vol. 13, No. 5, pp. 533-549.
- Karaoglan, I., Altiparmak, F., Kara, I. and Dengiz, B. (2011), "A branch and cut algorithm for the location-routing problem with simultaneous pickup and delivery", *European Journal of Operational Research*, Vol. 211 , pp. 318–332.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C.D. and Vecchi, M.P. (1983), "Optimization by simulated annealing", *Science*, Vol. 220, pp. 671–680.
- Laporte, G. and Nobert, Y. (1981), "An exact algorithm for minimizing routing and operating costs in depot location", *European Journal of Operational Research*, Vol. 6, pp. 224–226.
- Laporte, G., Nobert, Y. and Taillefer, S. (1988), "Solving a family of multi-depot vehicle routing and location-routing problems", *Transportation Science*, Vol. 22, pp.161–172.
- and *Operational Research*, Vol. 34, pp. 1406–1423.
- Ambrosino, D., Sciomachen, A. and Scutella, M. G. (2009), "A heuristic based on multi-exchange techniques for a regional fleet assignment location-routing problem", *Computer and Operational Research*, Vol. 36, pp. 442–460.
- Archetti, C., Savelsbergh, M. W. P. and Speranza, M. G. (2008), "To split or not to split: That is the question", *Transportation Research Part E*, Vol. 44, pp. 114-123.
- Barreto, S. S. (2004), "Análise e Modelização de Problemas de localização-distribuição [Analysis and modelling of location-routing problems]", Ph.D. Thesis, University of Aveiro, Aveiro, Portugal.
- Boventer, V. (1961), "The relationship between transportation cost and location rent transportation problems", *Journal of Regional Science*, Vol. 3, No. 2, pp. 27-40.
- Coutinho-Rodrigues, J., Tralhão, L. and Alçada-Almeida, L. (2012), "Solving a location-routing problem with a multiobjective approach: the design of urban evacuation plans", *Journal of Transport Geography*, Vol. 22, pp. 206–218.
- Duhamel, C., Lacomme, P., Prins, C. and Prodhon, C. (2010), "A GRASP*ELS approach for the capacitated location-routing problem", *Computers and Operations Research*, Vol. 37, pp. 1912–1923.

- Manufacturing Systems, Vol. 29, pp. 111-119.
- Tuzun, D. and Burke, L. I. (1999), "A two-phase tabu search approach to the location routing problem", *European Journal of Operational Research*, Vol. 116, pp. 87–99.
 - Wun, S.G. (2008), "Heuristic of location-routing problems with split delivery", Master Thesis, Industrial Engineering and Management, Chinese.
 - Yu, V. F., Lin, S.W., Lee, W. and Ting C.J. (2010), "A simulated annealing heuristic for the capacitated location-routing problem", *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 58, pp.288–299.
 - Yu, V.F. and Lin, S.Y. (2012), "A Simulated Annealing Heuristic for the Open Location Routing Problem", *International Conference on Innovation and Management*, Republic of Palau, July pp.15-18.
 - Zarandi, M. F., Hemmati, A. and Davari, S. (2011), "The multi-depot capacitated location-routing problem with fuzzy travel times", *Expert Systems with Applications*, Vol. 38, pp. 10075–10084.
 - Zarandi, M. F., Hemmati, A., Davari, S. and Turksen, B. (2013), "Capacitated location-routing problem with time windows under uncertainty ", *Original Research Article*, Vol. 37, pp. 480–489.
 - Maranzana, F. E. (1965), "On the location of supply points to minimise transport costs", *Operational Research Quarterly*, Vol. 15, pp. 261–270.
 - Metropolis, N., Rosenbluth, A.W. and Teller, A.H. (1953), "Equation of state calculations by fast computing machines", *Journal of chemical Physics*, Vol. 21, pp. 1087–1092.
 - Min, H., Jayaraman, V. and Srivastava, R. (1998), "Combined location-routing problems: A synthesis and future research directions", *European Journal of Operational Research*, Vol. 108, pp.1– 15.
 - Ozfirat P. M. and Ozkarahan I. (2010), "A Constraint programming heuristic for a heterogeneous vehicle routing problem with split deliveries", *Applied Artificial Intelligence*, Vol. 24, PP. 277–294.
 - Prins, C., Prodhon, C., Soriano, P. and Wolfler-Calvo, R. (2007), "Solving the capacitated location-routing problem by a cooperative lagrangean relaxation-ganular tabu search heuristic", *Transportation Science*, Vol. 41, pp. 470–483.
 - Tavakkoli-Moghaddama, R., Makuib, A., Mazloomi, Z. (2010), "A new integrated mathematical model for a bi-objective multi-depot location-routing problem solved by a multi-objective scatter search algorithm", *Journal of*

- 1 . Supply Chain Management
- 2 . Facility Location Planning
- 3 . Vehicle Routing Problem
- 4 . Location Routing Problem
- 5 . Split Delivery Location Routing Problem
- 6 . Tabu Search

7. Simulated Annealing
8. Split Delivery Location Routing Problem with Time Windows
9. Location Routing Problem with Time Windows
10. Split Delivery Vehicle Routing Problem
11. Electromagnetism-like Mechanism

7- مراجع

- بشیری، مهدی و کریمی، حسین (1389) "کاربرد الگوریتم‌های ابتکاری و فراابتکاری در طراحی سیستم‌های صنعتی"، تهران: دانشگاه شاهد.
- یوسفی خوشبخت، مجید. دیده‌ور، فرزاد. رحمتی، فرهاد. صدیق‌پور، محمد (1391) "الگوریتم موثر رقابتی فراگیر برای حل مسئله مسیریابی وسایل نقلیه باز". پژوهشنامه حمل و نقل، سال نهم، شماره اول، بهار 1392، ص 83-95.
- عالم تبریز، اکبر، زندیه، مصطفی، محمد رحیمی، علیرضا (1387) "الگوریتم‌های فراابتکاری در بهینه‌سازی ترکیبی (ژنتیک، شبکه عصبی، آنیل شبیه‌سازی شده، جستجوی ممنوع و الگوریتم مورچگان)"، تهران: انتشارات صفار-اشراقی.
- Alumur, S., Kara and B.Y. (2007) "A new model for the hazardous waste location-routing problem", *Computer and Operational Research*, vol. 34, pp. 1406–1423.
- Ambrosino, D., Sciomachen, A. and Scutella, M. G. (2009) "A heuristic based on multi-exchange techniques for a regional fleet assignment location-routing problem", *Computer and Operational Research*, vol. 36, pp. 442–460.
- Archetti, C., Savelsbergh, M. W. P. and Speranza, M. G. (2008) "To split or not to split: That is the question", *Transportation Research Part E*, vol. 44, pp. 114-123.
- Barreto, S. S. (2004) "Análise e Modelização de Problemas de localização-distribuição [Analysis and modelling of location-routing problems]", Ph.D. Thesis, University of Aveiro, Aveiro, Portugal.
- Boventer, V. (1961) "The relationship between transportation cost and location rent transportation problems", *Journal of Regional Science*, vol. 3, no. 2, pp. 27-40.
- Coutinho-Rodrigues, J., Tralhão, L. and Alçada-Almeida, L. (2012) "Solving a location-routing problem with a multiobjective approach: the design of urban evacuation plans", *Journal of Transport Geography*, vol. 22, pp. 206–218.
- Duhamel, C., Lacomme, P., Prins, C. and Prodhon, C. (2010) "A GRASP*ELS approach for the capacitated location-routing problem", *Computers and Operations Research*, vol. 37, pp. 1912–1923.
- Escobar, W. J., Linfati, R. and Toth, P. (2012) "A two-phase hybrid heuristic algorithm for the capacitated location-routing problem", *Computers & Operations Research*, vol. 40, pp. 70-79.
- Ghafari-Nasab, N., Ahari, S. G. and Ghazanfari, M. (2013) "A hybrid simulated annealing based heuristic for solving the location-routing problem with fuzzy demands", *Scientia Iranica*, In Press, Corrected Proof.
- Glover, F. (1986) "Future paths for integer programming and links to artificial intelligence", *Computer and operation research*, vol. 13, no. 5, pp. 533-549.
- Karaoglan, I., Altiparmak, F., Kara, I. and Dengiz, B. (2011) "A branch and cut algorithm for the location-routing problem with simultaneous pickup and delivery", *European Journal of Operational Research*, vol. 211 ,pp. 318–332.
- Kirkpatrick, S., Gelatt, C.D. and Veechi, M.P. (1983) "Optimization by simulated annealing", *Science*, vol. 220,pp. 671–680.
- Laporte, G. and Nobert, Y. (1981) "An exact algorithm for minimizing routing and operating costs in depot location", *European Journal of Operational Research*, vol. 6, pp. 224–226.
- Laporte, G., Nobert, Y. and Taillefer, S. (1988) "Solving a family of multi-depot vehicle routing and location-routing problems", *Transportation Science*, vol. 22, pp.161–172.

- Maranzana, F. E. (1965) "On the location of supply points to minimise transport costs", *Operational Research Quarterly*, vol. 15, pp. 261–270.
- Metropolis, N., Rosenbluth, A.W. and Teller, A.H. (1953) "Equation of state calculations by fast computing machines", *Journal of chemical Physics*, vol. 21, pp. 1087–1092.
- Min, H., Jayaraman, V. and Srivastava, R. (1998) "Combined location-routing problems: A synthesis and future research directions", *European Journal of Operational Research*, vol. 108, pp. 1– 15.
- Ozfirat P. M. and Ozkarahan I. (2010) "A Constraint programming heuristic for a heterogeneous vehicle routing problem with split deliveries", *Applied Artificial Intelligence*, vol. 24, PP. 277–294.
- Prins, C., Prodhon, C., Soriano, P. and Wolfler-Calvo, R. (2007) "Solving the capacitated location-routing problem by a cooperative lagrangean relaxation-ganular tabu search heuristic", *Transportation Science*, vol. 41, pp. 470–483.
- Tavakkoli-Moghaddama, R., Makuib, A., Mazloomi, Z. (2010) "A new integrated mathematical model for a bi-objective multi-depot location-routing problem solved by a multi-objective scatter search algorithm", *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 29, pp. 111-119.
- Tuzun, D. and Burke, L. I. (1999) "A two-phase tabu search approach to the location routing problem", *European Journal of Operational Research*, vol. 116, pp. 87–99.
- Wun, S.G. (2008) "Heuristic of location-routing problems with split delivery", Master Thesis, Industrial Engineering and Management, Chinese.
- Yu, V. F., Lin, S.W., Lee, W. and Ting C.J. (2010) "A simulated annealing heuristic for the capacitated location-routing problem", *Computers and Industrial Engineering*, vol. 58, pp. 288–299.
- Yu, V.F. and Lin, S.Y. (2012) "A Simulated Annealing Heuristic for the Open Location Routing Problem", *International Conference on Innovation and Management*, Republic of Palau, July 15-18.
- Zarandi, M. F., Hemmati, A. and Davari, S. (2011) "The multi-depot capacitated location-routing problem with fuzzy travel times", *Expert Systems with Applications*, vol. 38, pp. 10075–10084.
- Zarandi, M. F., Hemmati, A., Davari, S. and Turksen, B. (2013) "Capacitated location-routing problem with time windows under uncertainty ", *Original Research Article*, vol. 37, pp. 480–489.