حل مسئله مسیریابی- موجودی با در نظر گرفتن محدودیت عرضه کالا با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری

المیرا اهری‌پور[1]
دانشگاه پیام نور واحد دیر

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۲/۰۶/۱۶
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۸/۰۴

چکیده

مسئله مسیریابی-موجودی (IRP)[2] در بستر مدیریت موجودی توسط فروشنده (VMI)[3] مطرح شده است. این مسئله از آن جهت مورد توجه است که دو جز از مدیریت زنجیره تأمین (SCM)[4] را به‌یکدیگر پیوند می‌دهد و در واقع ترکیبی از دو مسئله کنترل موجودی[5] و مسئله مسیریابی وسیله نقلیه (VRP)[6] است.

در تحقیق پیش‌رو مسئله مسیریابی-موجودی چندین دوره‌ای برای مجموعه‌ای از مشتریان با احتساب هزینه‌های حمل و نقل و کمبود به‌صورت سفارش معوقه[7] مورد بررسی قرارگرفته است. نرخ تقاضا قطعی و اقلام از یک نوع می‌باشند. در ضمن محدودیت تأمین کالا برای مشتریان وجود دارد که این محدودیت تاکنون در تحقیقات صورت پذیرفته در نظر گرفته نشده است. هم‌چنین ناوگان حمل با ظرفیت متفاوت برای هر وسیله جهت توزیع محصول در دسترس است. برخلاف اکثر مسایل مسیریابی-موجودی که امکان بازدید از یک مشتری با وسایل نقلیه متفاوت در طول یک دوره میسر می‌باشد؛ در این مسئله در هر دوره حداکثر یک بار می‌توان جهت برطرف نمودن تقاضای آن دوره، از آن مشتری دیدن نمود.

مسئله با دو روش حل گردید که هر یک از روش‌ها شامل دو فاز می‌باشد. در فاز اول که بین دو روش مشترک است میزان محصول ارسالی با ارائه یک سیاست تفکیک ثابت[8] پیشنهادی برای هر مشتری تعیین می‌گردد، سپس با استفاده از الگوریتم‌های ژنتیک (GA)[9] و جستجوی همسایگی متغیر (VNS)[10]، مسیر ارسال مشخص می‌شود. کدنویسی با استفاده از نرم افزار Matlab صورت پذیرفت. دو معیار مدت زمان اجرای برنامه و مقدار تابع هدف که همان سود حاصل از ارسال می‌باشد، مبنای مقایسه روش‌ها قرار می‌گیرد. در نهایت با مقایسه روش‌ها با توجه به معیارها، برتری روش اول مشخص گردید.از آنجایی‌که مسئله مسیریابی-موجودی جز مسایل با درجه پیچیدگی سخت می‌باشد روش حل پیشنهادی در این تحقیق می‌تواند از آن جهت حایز اهمیت باشد که جواب به‌دست آمده در سطح قابل قبول و زمان حل نیز کاملاً رضایت‌بخش می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: مسئله مسیریابی- موجودی، مدیریت زنجیره تأمین، الگوریتم ژنتیک، الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر

۱- مقدمه و مروری بر ادبیات موضوع

تصمیمات مربوط به مسیریابی در اکثر ابعاد صنعتی، بهداشتی، اقتصادی و حتی فرهنگی یک جامعه مطرح می‌باشند و به‌دلیل گستره‌ی وسیع کاربرد از دیرباز مورد توجه مسئولین امر بوده است. این‌گونه تصمیمات می‌تواند هزینه‌های بسیاری دربر داشته باشند. از این روی در تحلیل این مسائل همواره سعی شده است با در نظر گرفتن عوامل تأثیرگذار بیشتر، بر کارایی آنها افزوده شود. مسئله مسیریابی وقتی دارای اهمیت بیشتری می‌شود که به‌طور هم‌زمان مدیریت موجودی را نیز شامل گردند. در این حالت مسئله مطرح شده، مسئله مسیریابی-موجودی خواهد بود. معمولاً هدف در مسئله مسیریابی-موجودی بیشینه نمودن سود حاصل از توزیع محصول در چهارچوب محدودیت‌های مطرح شده، می‌باشد. حال چنانچه این محدودیت‌ها به

۱- مدرس دانشگاه پیام نور واحد دیر، پست‌الکترونیکی: eaharipour@yahoo.com، نشانی: تهران، نارمک، میدان نبوت، خیابان رضوان‌غربی، پلاک۳۳، واحد۵.

2- Inventory Routing Problem
3- Vendor Managed Inventory
4- Supply Chain Management
5- Inventory Control
6- Vehicle Routing Problem
7- Back Order
8- Fixed Partition Policy
9- Genetic Algorithm
10- Variable Neighborhood Search

واقعیت موجود در جامعه نزدیک‌تر باشند مدل مطرح شده از اعتبار بیشتری برخوردار است.

مسئله مسیریابی-موجودی در بستر مدیریت زنجیره تأمین مطرح می‌شود(شکل۱). مدیریت زنجیره تأمین مجموعه‌ای از روش‌هایی است که به‌منظور افزایش کارایی اجزای زنجیره به مبادله اطلاعات می‌پردازد. در این روش‌ها که به‌منظور درگیر نمودن کارآمد تأمین‌کنندگان، کارخانه‌داران، انبارداران و مشتریان به‌کار گرفته می‌شود؛ کالا با کمیت مطلوب، در موقعیت مناسب و بهترین زمان ممکن تولید و توزیع شده تا هزینه پهنای سیستم کاهش یافته و موجب افزایش رضایت اجزای زنجیره گردد.

مدیریت موجودی و حمل و نقل دو جزء کلیدی از مدیریت زنجیره‌تأمین به‌حساب می‌آیند. ترکیب این دو جزء به‌عنوان مسئله مسیریابی-موجودی شناخته شده است. مسئله مسیریابی-موجودی در بستر مدیریت موجودی توسط فروشنده مطرح گردیده است. سایر اجزاء عبارتند از: تولید، مکان‌یابی، بازاریابی و خرید. در بحث مدیریت موجودی توسط فروشنده، مدیریت موجودی زنجیره‌تأمین به فروشنده سپرده می‌شود. یکی از منافع این روش استفاده یکنواخت از منابع حمل و نقل است که منجر به هزینه‌های توزیع کمتری می‌شود. مشتریان از سطوح خدمت بالاتری بهره‌مند گردیده و به‌دلیل استفاده مؤثر فروشنده از اطلاعات موجودی مشتریان، سطح در دسترس پذیری بالاتری برای محصولات ایجاد می‌گردد. در واقع چنانچه یک واحد مسئول مسیریابی و کنترل موجودی باشد؛ سطح کارایی بالاتر در تمام نقاط زنجیره‌تأمین قابل تشخیص است. این تحقیق جنبه‌هایی از مدیریت موجودی ترکیبی و حمل و نقل جاده‌ای را توصیف می‌نماید.

در ادبیات موضوع، نحوه طبقه‌بندی مسائل مسیریابی موجودی براساس افق‌های زمانی متفاوت و فرضیاتی در مورد ماهیت تقاضا صورت پذیرفته است. افق‌های زمانی به‌صورت تک دوره‌ای و چند دوره‌ای و تقاضا به‌صورت قطعی و احتمالی در نظر گرفته شده است. در ادامه مروری کلی از مسائل مطرح شده در هر بخش آورده شده است مسئله مسیریابی-موجودی تک‌دوره‌ای با تقاضای قطعی در واقع یک مسئله کلاسیک مسیریابی وسیله نقلیه است. مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با تحویل دو بخشی[1] توسط درور[2] و

1- Split Delivery
2- Dror

و ترودیو[3]، (۱۹۸۹) بررسی گردید. جهت مطالعه بیشتر در این زمینه از مسایل می‌توان به بلنگوئر[4] و همکاران (۲۰۰۰)، هو[5] و هاگلند[6] (۲۰۰۴) ، لی[7] و همکاران (۲۰۰۶) (۲۰۰۶) اشاره نمود[۱].

در بخش مسایل مسیریابی-موجودی چنددوره‌ای با تقاضای قطعی، کمبل[8] و همکاران (۲۰۰۲)؛ کمبل و ساولسبرگ[9] (۲۰۰۴) رویکردی دو مرحله‌ای ارائه دادند که زمان‌بندی تحویل با حل یک مسئله برنامه‌ریزی عدد صحیح حاصل شده و با ایجاد مجموعه مسیرهای تحویل با روش‌های ابتکاری ادامه می‌یابد[۲،۳]. آنلی[10] و برامل[11] (۲۰۰۴) یک سیاست تفکیک ثابت را ارائه دادند[۴]. مسائل مشابهی توسط آقزف[12] و همکاران (۲۰۰۶)، ژائو[13] و همکاران (۲۰۰۷) مورد مطالعه قرار گرفت[۵،۶]. آبدلمگوئید[14] و همکاران (۲۰۰۹)، مدلی همراه با کمبود با وجود شرط عرضه نامحدود ارائه داده و از طریق روش‌های ابتکاری ساختاری و بهبود دهنده به تعیین یک جواب تقریبی برای این مسئله از نوع پیچیدگی سخت می‌پردازند[۷].

در مدلی دیگر که توسط بارد[15] و نانانوکول[16] (۲۰۰۹) مطرح گردید به تحلیل مجموعه‌ای از روش‌های ابتکاری برای مسئله مسیریابی-موجودی در یک زنجیره تأمین با هدف بیشینه‌سازی سود خالص و در شرایطی که کمبود مجاز نمی‌باشد پرداخته شده است[۸]. چنگ[17] و دوران[18] (۲۰۰۴) یک سیستم پشتیبانی تصمیم[19] را برای بررسی و بهبود سیستم ترکیبی حمل و نقل و موجودی در یک مسئله توزیع نفت خام ارائه کردند[۹]. یو[20] و همکاران (۲۰۰۸)، مسئله مسیریابی-موجودی چنددوره‌ای با تقاضای معین، تحویل دوبخشی و محدودیت در سایز ناوگان حمل با فرض آنکه کمبود مجاز نمی‌باشد مطرح کردند[۱۰].

3- Trudeau
4- Blenguer
5- Ho
6- Haugland
7- Lee
8- Campbell
9- Savelsbergh
10- Anily
11- Bramel
12- Aghezzaf
13- Zhao
14- Abdelmaguid
15- Bard
16- Nananukul
17- Cheng
18- Duran
19- Decision Support System
20- Yu

شکل(۱): جایگاه مسئله مسیریابی- موجودی

شکل(۲):اجزا اصلی مسئله مسیریابی-موجودی

کریستینسن[1] و همکاران (۲۰۱۱) با ابداع یک روش ابتکاری مبادرت به حل مسئله مربوط به یک تولید کننده بزرگ سیمان نمودند. روش پیشنهادی آنها با صرف زمان قابل قبول، جواب مطلوبی ارائه داده است[۱۱]. تحقیق دیگری که مربوط به یک سیستم توزیع چند به یک است توسط معین[2] و همکاران (۲۰۱۱) ارائه گردید. مسئله دیگری توسط آقزف[3] و ژانگ[4] (۲۰۱۱) به‌صورت مسئله مسیریابی-موجودی دوره‌ای تک وسیله‌ای از یک مبدأ به مجموعه‌ای از خرده فروشان با تقاضای ثابت مطرح گردید [۱۲].

در بخش مسایل تک دوره‌ای با تقاضای احتمالی می‌توان به مدل زیپکین[5] و فدرگروئن[6] (۱۹۸۴) اشاره نمود[۱۳]. هم‌چنین فدرگروئن و همکاران (۱۹۸۶)، مسئله‌ای در ارتباط با توزیع کالاهای فاسدشدنی مطرح کرده و نشان دادند ادغام رویکرد مسیریابی و برنامه‌ریزی موجودی می‌تواند از صرف هزینه‌های قابل توجهی جلوگیری نماید[۱۴].

از آنجایی که امکان بروز فرصت‌های بسیاری برای بهبود تابع هدف با استفاده از هماهنگ‌سازی تحویل کالاها در دوره‌های چندگانه وجود دارد، مدل‌های چنددوره‌ای با تقاضای احتمالی مطرح گردید. برخی از این مسایل عبارت است از: درور[7] و همکاران (۱۹۸۵)، درور و بال[8] (۱۹۸۷)، درور و ترودیو (۱۹۹۲)، کومار و همکاران (۱۹۹۵)، جایلت و همکاران (۲۰۰۲) کلیوت[9] و همکاران (۲۰۰۲) و (۲۰۰۴) و هم‌چنین آدلمن[10] (۲۰۰۴) [۷]. شوچو[11] و همکاران (۲۰۱۱) مسئله مسیریابی-موجودی با پنجره زمانی مطرح نمودند. ناوگان حمل در این مسئله همگن در نظر گرفته شد. این تحقیق از روش VNTS[12] استفاده گردید. روش مذکور با سه روش ابتکاری مقایسه گردید؛ نتیجه، میانگین هزینه زنجیره تأمین کمتری را نشان می‌دهد[۱۵].

۲- تعریف مسئله و ارائه مدل

۲-۱- تعریف مسئله

با توجه به مروری که در ادبیات موضوع صورت پذیرفت می‌توان به جمع‌بندی مفیدی در ارتباط با مسئله مسیریابی-موجودی دست یافت. مسئله مسیریابی-موجودی دارای ارکانی می‌باشد که در صورت توجه به آنها، امکان بررسی و مطالعه بهتری در زمینه مسئله مسیریابی-موجودی فراهم می‌آید. این اجزا اساسی در شکل (۲) نشان داده شده است[۱۶].

در این تحقیق مسئله مسیریابی-موجودی در شبکه‌ای از مشتریان مورد بررسی قرار گرفت که هدف آن بیشینه نمودن سود حاصل از توزیع محصول می‌باشد. مسئله

1- Christiansen
2- Moin
3- Aghezzaf
4- Zhong
5- Zipkin
6- Federgruen

7- Dror
8- Bal
9- Kleywegt
10- Adelman
11- Shu-Chu
12- Variable Neighborhood Tabu Search

به‌صورت یک مدل برنامه‌ریزی خطی عدد صحیح[1] تک هدفه هدفه در قالب یک مدل تک محصولی فرموله شده و دو روش برای حل آن پیشنهاد می‌گردد. این مسئله شامل سیستم توزیع کالایی متشکل از یک مرکز پخش یا همان انبار مرکزی، ناوگان حمل نامتشابه و مشتریانی است که ارسال کالا به آنها صورت می‌پذیرد. در هر دوره زمانی که در این مسئله به‌صورت ماهیانه می‌باشد، هر مشتری با یک تقاضای قطعی و متفاوت مواجه می‌باشد. این تقاضا برای تمام مشتریان از یک نوع کالا در نظر گرفته شده است. وسایل نقلیه در ابتدای هر دوره از مرکز توزیع حرکت و پس از توزیع کالا به مرکز باز می‌گردند. فاصله بین مشتری‌ها از روش اقلیدسی محاسبه می‌گردد.

جهت نزدیک شدن فضای مسئله به واقعیت موجود، محدودیت عرضه در نظر گرفته می‌شود. در صورتی‌که در تمام مقالات مطالعه شده عرضه محصول نامحدود فرض گردیده است. چنانچه با توجه به شرایط هر دوره و ظرفیت وسایل نقلیه، مازاد محصولی از یک دوره به دوره بعد وجود داشته باشد؛ تأمین کننده متحمل هزینه نگهداری خواهد شد. به‌دلیل اهمیت بحث فضای مورد نیاز جهت انبار محصول نزد مشتریان و جلوگیری از تحمیل هزینه‌های انبارداری؛ این انبارداری تنها نزد تأمین کننده صورت می‌گیرد. در واقع با این رویکرد، مفهوم تولید به‌موقع[2] که ایده اصلی آن حذف انبار می‌باشد در مدل پیاده می‌گردد. ایده‌ای که در مقالات مطالعه شده به آن توجهی نشده است.

در اکثر مسایل مطرح شده در طول یک دوره ارسال، مشتری چندین بار شاهد ارسال می‌باشد که در عمل این موضوع به نوبه خود سبب افزایش هزینه‌های کارگری، از دست رفتن زمان و افزایش بوروکراسی اداری می‌گردد. از این روی در هر دوره حداکثر یک بار از مشتری، دیدن می‌شود. یک ایده جهت کاهش زمان اجرا، جایگزینی مسئله مسیریابی وسیله نقلیه با مسئله فروشنده دوره گرد[3] (TSP) (TSP) است. این موضوع با گروه‌بندی مشتریان به گروه-هایی که تقاضای آن توسط یک وسیله در طی دوره تأمین می‌شود، صورت می‌پذیرد. این گروه‌بندی نیز با روش ابتکاری پیشنهادی انجام می‌گردد. مشخصات فاکتورهای تأثیرگذار بر مسئله مورد بررسی در شکل (۳) نشان داده شده است.

۲-۲- ارائه مدل ریاضی

۲-۲-۱- اندیس‌ها

- (i),(j) شاخص مشتری بوده و متعلق به مجموعه زیر می‌باشند: $\epsilon = \{0,1,2,\dots,N\}$ شاخص ۰ بیانگر مرکز توزیع است و سیستم شامل N مشتری می‌باشد.
- (t) شاخص دوره زمانی بوده و متعلق به مجموعه زیر می‌باشد: $\emptyset = \{1,2,3,\dots,T\}$ افق برنامه‌ریزی برای این مسئله ۱۲ دوره زمانی در نظر گرفته شده است. (T=۱۲)
- (v) شاخص وسیله نقلیه می‌باشد. این شاخص نیز متعلق به مجموعه ϑ است: $\vartheta = \{1,2,3,\dots,V\}$

۲-۲-۲- پارامترها

D_{jt} : تقاضای مشتری j در دوره t

q_v : ظرفیت وسیله نقلیه v

γ_t: حداکثر محصول موجود جهت توزیع در دوره t

α_{jt} : درآمد حاصل از ارسال یک واحد محصول به مشتری j در دوره t

f_{vt} : هزینه ثابت استفاده از وسیله نقلیه v در دوره t

C_{ij} : هزینه ارسال محصول از مشتری i به j

π_j : هزینه کمبود موجودی مشتری j

B_{jt} : کمبود موجودی مشتری j در دوره t

d_{ij} : فاصله طی شده برای رسیدن از مشتری i به مشتری j.

δ_t : میزان محصول باقی مانده نزد تأمین کننده در دوره t

ω : واحد هزینه نگهداری مقدار محصول باقی مانده نزد تأمین کننده

¥ : هزینه ارسال به‌ازای واحد مسافت $(C_{ij} = ¥ \times d_{ij})$

۲-۲-۳- متغیرها

$$x_{ijt}^{v} = \begin{cases} 1 & \text{از مشتری } i \text{ به } j \text{ در دوره } t \text{ با وسیله } v \text{ توزیع محصول صورت گرفته} \\ 0 & \text{در غیر این‌صورت} \end{cases}$$

y_{ijt}^{v} : میزان محصول ارسالی از مشتری i به j در دوره t با وسیله v.

۲-۲-۴- متغیر واسطه‌ای

B_{jt} : کمبود موجودی مشتری j در دوره t

1- Integer Linear Programming
2- Just In Time
3- Travel Salesman Problem

$$max \sum_{t=1}^{T}\left[\sum_{i=0}^{N}\sum_{\substack{j=0\\ j\neq i}}^{N}\sum_{v=1}^{V}\alpha_{jt}\cdot y_{ijt}^{v}-\left(\sum_{j=1}^{N}\sum_{v=1}^{V}f_{vt}\cdot x_{0jt}^{v}+\sum_{i=0}^{N}\sum_{\substack{j=0\\ j\neq i}}^{N}\sum_{v=1}^{V}C_{ij}\cdot x_{ijt}^{v}+\sum_{i=1}^{N}(\pi_{j}\cdot B_{jt})\right)+\omega.\delta_{t}\right] \quad (۱-۲)$$

$$\sum_{v=1}^{V}\sum_{\substack{j=0\\ j\neq i}}^{N}x_{ijt}^{v}\leq 1 \qquad i=0,\dots.,N \quad t=1,\dots.,T \quad (۲-۲)$$

$$\sum_{v=1}^{V}\sum_{\substack{k=0\\ k\neq i}}^{N}x_{ikt}^{v}-\sum_{v=1}^{V}\sum_{\substack{l=0\\ l\neq i}}^{N}x_{lit}^{v}=0 \qquad i=0,\dots.,N \quad t=1,\dots.,T \quad (۳-۲)$$

$$\sum_{i=0}^{N}\sum_{\substack{j=0\\ j\neq i}}^{N}y_{ijt}^{v}\leq q_{v} \qquad t=1,\dots.,T \quad v=1,\dots.,V \quad (۴-۲)$$

$$\sum_{v=1}^{V}\sum_{\substack{l=0\\ l\neq i}}^{N}y_{lit}^{v}-\sum_{v=1}^{V}\sum_{\substack{k=0\\ k\neq i}}^{N}y_{ikt}^{v}\geq 0 \qquad i=1,\dots.,N \quad t=1,\dots.,T \quad (۵-۲)$$

$$B_{jt}-(B_{jt-1})+\sum_{v=1}^{V}\left(\sum_{\substack{l=0\\ l\neq j}}^{N}y_{ljt}^{v}-\sum_{\substack{k=0\\ k\neq j}}^{N}y_{jkt}^{v}\right)=D_{jt} \qquad j=1,\dots.,N \quad t=1,\dots.,T \quad (۶-۲)$$

$$\sum_{i=0}^{N}\sum_{\substack{j=0\\ j\neq i}}^{N}\sum_{v=1}^{V}y_{ijt}^{v}\leq \gamma_{t} \qquad t=1,\dots.,T \quad (۷-۲)$$

$$B_{jt}\geq 0 \qquad j=1,\dots.,N \quad t=1,\dots.,T \quad (۸-۲)$$

$$y_{ijt}^{v}\geq 0 \quad (integer) \qquad i,j=0,\dots.,N \ , i\neq j \quad t=1,\dots.,T \quad v=1,\dots.,V \quad (۹-۲)$$

$$x_{ijt}^{v}=0 \ \ or \ \ 1 \qquad i,j=0,\dots.,N \ , i\neq j \quad t=1,\dots.,T \quad v=1,\dots.,V \quad (۱۰-۲)$$

تابع هدف درصدد بیشینه نمودن سود به‌دست آمده می‌باشد. این سود، حاصل تفاضل مجموعه هزینه‌ها از درآمد ناشی از توزیع محصول می‌باشد. اجزای تابع هدف به ترتیب عبارتند از: میزان درآمد که برابر است با مجموع حاصل‌ضرب درآمد توزیع هر واحد محصول در میزان توزیع آن محصول. مجموعه هزینه‌ها شامل چهار جزء می‌باشد: جزء اول مربوط به هزینه ثابت استفاده از وسیله نقلیه می‌باشد. این هزینه برای هر وسیله تنها یک بار در طول دوره محاسبه می‌گردد. جزء دوم هزینه‌ها متعلق به هزینه ارسال محصول است. در این مسئله ماتریس هزینه ارسال ضریبی از ماتریس فاصله مشتری‌ها در نظر گرفته شده. $(C_{ij}=¥\times d_{ij})$ اگر انتقال از مشتری i به j صورت پذیرد هزینه ارسال i به j لحاظ خواهد گردید. جزء سوم هزینه‌ها مربوط به هزینه کمبود می‌باشد. همان‌طور که پیشتر اشاره گردید، کمبود در این مسئله از نوع سفارش معوقه است، یعنی در صورت عدم تأمین تقاضای کامل مشتری در یک دوره؛ مابقی تقاضا به تقاضای دوره بعد افزوده می‌شود. جزء پایانی هزینه‌ها مرتبط با هزینه نگهداری مازاد عرضه از یک دوره به دوره دیگر است. معادله (۲-۲) نشان می‌دهد به ازاء تمام وسایل حمل بیش از یک بار در یک دوره زمانی از مکانی دیدن نمی‌شود. در مقالات بررسی شده این معادله به صورت زیر بیان گردیده است:

"در یک دوره زمانی یک وسیله حمل بیش از یک بار از مکانی دیدن نمی‌کند" این در حالی است که اکثر نویسندگان بر این عقیده هستند که مراجعه مشتریان با وسایل متفاوت در یک دوره نیز هزینه‌هایی به سیستم تحمیل می‌کند که شاید در عمل محاسبه نمی‌شود. معادله (۲-۳) و (۲-۵) نیز پیوستگی مسیر را تضمین می‌کنند. بدین معنا که در معادله (۲-۳) تضمین می‌شود اگر ارسالی به مشتری صورت پذیرد توالی ارسال در آنجا خاتمه نمی‌یابد و مسیر پس از آن مشتری ادامه می‌یابد. اما بدون معادله (۲-۵) امکان بروز دور داخلی[1] وجود خواهد داشت. در این حالت مجموع بار ارسالی به سمت مشتری i از مجموع بار خروجی کمتر خواهد شد که با اضافه نمودن معادله (۲-۵) عدم بروز این وضعیت تضمین می‌شود. از معادله (۲-۴) مشخص می‌شود حداکثر میزان محصول توزیع شده در هر ارسال برابر ظرفیت وسیله نقلیه خواهد بود.با استفاده از معادله (۲-۶) میزان متغیر واسطه‌ای کمبود در هر دوره حاصل می‌گردد. در هر دوره به اندازه کمبود دوره قبل بر میزان تقاضا افزوده می‌شود. حال چنانچه از این

1- Subtour

مقدار میزان ارسالی دوره فعلی کسر گردد میزان کمبود دوره فعلی حاصل می‌گردد. فرض بر آن بوده در شروع دوره نخست کمبودی وجود نداشته است.

در معادله (۲-۷) نیز محدودیت عرضه محصول به ازاء هر دوره زمانی مشخص گردیده است. مسلماً این محدودیت فضای مسئله را به واقعیت نزدیک‌تر می‌سازد. معادلات (۲-۸) و (۲-۹) و (۲-۱۰) مربوط به محدودیت‌های محدوده متغیرها می‌باشند.

با بررسی مدل به‌راحتی می‌توان دریافت ابعاد مسئله بسیار بزرگ خواهد بود. جهت نمونه، اگر مسئله‌ای کوچک شامل ۲۰ مشتری، ۲ دستگاه وسیله نقلیه با افق برنامه‌ریزی یکساله (۱۲ دوره زمانی)، در نظر گرفته شود تعداد محدودیت‌های مسئله برابر ۱۰۲۰ عدد خواهد بود. مسلماً حل چنین مسئله‌ای با روش‌های دقیق[1] به زمان بسیار زیادی نیاز داشته از این روی کاربرد روش‌های ابتکاری[2] و فراابتکاری[3] جهت حل، منطقی خواهد بود.

۳- روش‌های حل

روش‌های ابتکاری و دقیق هر دو در حل مسائل بسیاری مورد استفاده قرار گرفته‌اند. شیوه‌هایی مانند برنامه‌ریزی ریاضی، ابزاری دقیق جهت حل بسیاری از مسائل در زمینه‌های متفاوت می‌باشند. اما همیشه چالشی برای حل مسایل بزرگ‌تر وجود دارد. از این روی بسیاری از روش‌های ابتکاری و فراابتکاری پیشنهاد گردید. از آن نمونه می‌توان از الگوریتم ژنتیک، الگوریتم مورچگان (ACO)[4]، شبیه‌سازی تبرید(SA)[5]، جستجوی ممنوعه (TS)[6] و جستجوی همسایگی متغیر نام برد.

جهت حل مسئله از دو روش زیر استفاده گردیده است:

۱. در این روش از سیاست تفکیک ثابت (FPP) استفاده می‌شود. مسئله به دو فاز تقسیم می‌گردد: در فاز اول گروه‌بندی مشتریان صورت پذیرفته، با ارائه‌ی الگوریتمی میزان محصول ارسالی به هر یک از آنها تعیین می‌گردد؛ در فاز دوم مسیر حرکت با استفاده از الگوریتم ژنتیک مشخص می‌شود.

۲. همانند روش اول عمل می‌شود با این تفاوت که مسیر حرکت با استفاده از الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر تعیین می‌گردد.

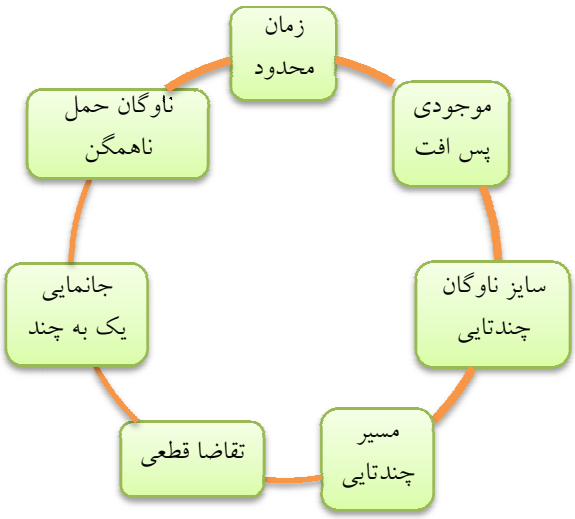
فاز اول هر دو روش با الگوریتم پیشنهادی حل گردید که مراحل اجرای الگوریتم در شکل (۴) نشان داده شده است.

همان‌طور که اشاره گردید جهت تعیین برنامه ارسال از دو الگوریتم ژنتیک و جستجوی همسایگی متغیر استفاده گردید. در ادامه به توضیح الگوریتم‌ها پرداخته شده است.

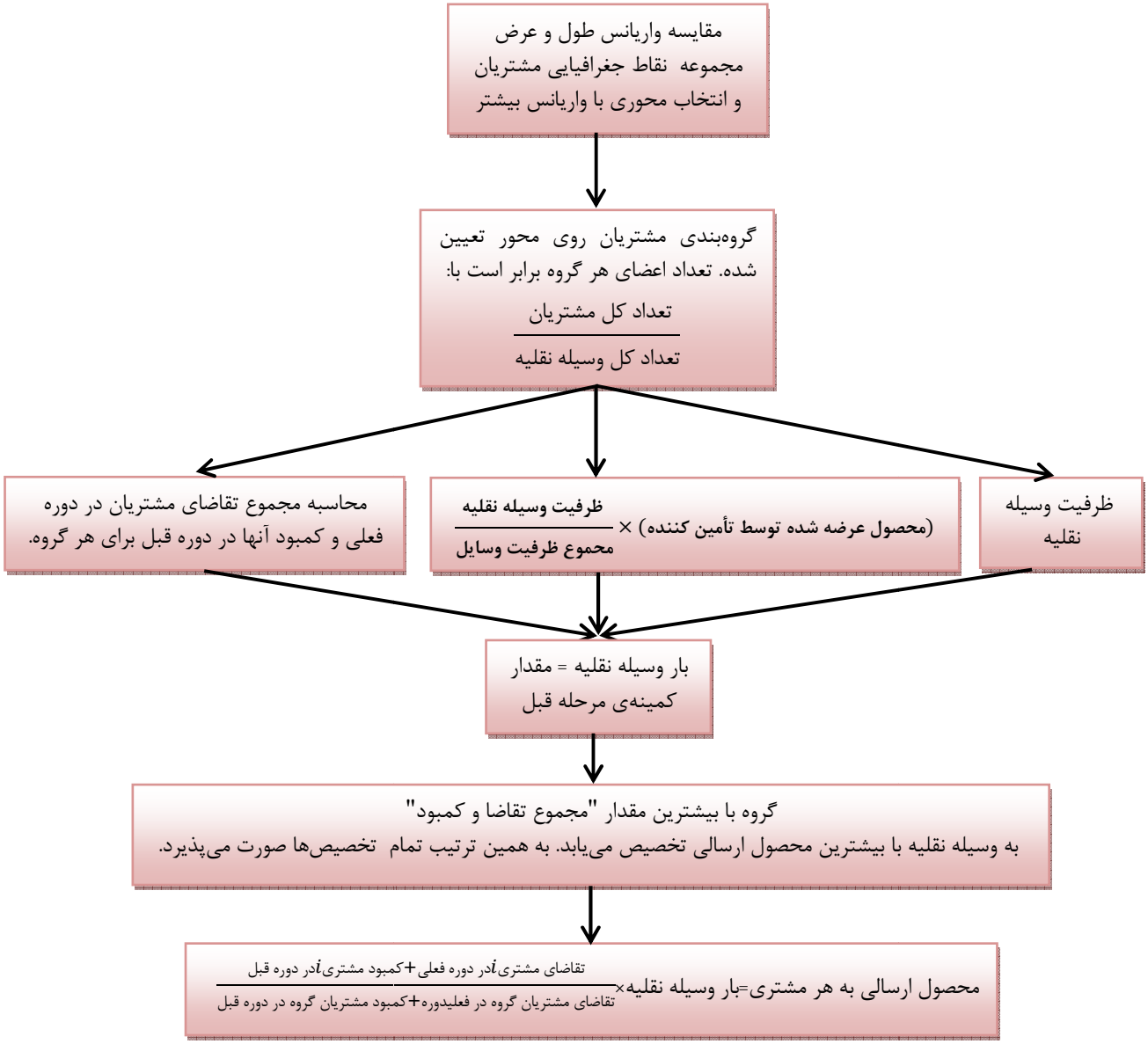
۳-۱- الگوریتم ژنتیک [۱۷]

الگوریتم ژنتیک یکی از انواع الگوریتم‌های تکاملی است که از علم زیست شناسی مثل وراثت، جهش، انتخاب ناگهانی، انتخاب طبیعی و ترکیب الهام گرفته است. این الگوریتم که از الگوریتم‌های جستجوی تصادفی تلقی می‌شود دارای این مزیت است که به‌جای اینکه از یک نقطه اولیه شروع به جستجو نماید، یک جمعیت از نقاط فضای جستجو را به‌عنوان فضای اولیه برای شروع در نظر می‌گیرد و با عملگرهای ژنتیکی، سعی در بهبود نسل‌های بعدی دارد. انتقال خصوصیات موروثی توسط ژن‌ها ایده اساسی این الگوریتم می‌باشد. چنان‌چه فرض شود مجموعه خصوصیات هر نسل، توسط کروموزوم‌های آن به نسل بعدی انتقال می‌یابد، هر ژن در این کروموزوم‌ها نماینده یک خصوصیت خواهد بود. ابتدا با توجه به نوع مسئله عملیات کدینگ نمودن کروموزوم صورت می‌پذیرد. هر کروموزوم حکم یک جواب برای مسئله است. سپس پارامترهای الگوریتم ژنتیک از جمله تعداد جمعیت و نسل‌ها، اپراتورهای تقاطع و جهش، نرخ تقاطع و جهش، استراتژی انتخاب و معیار توقف مشخص می‌گردد. در واقع هدف الگوریتم دست‌یابی به کروموزم‌های بهینه از طریق تولید مثل کروموزم‌های انتخاب شده در هر نسل است. از این روی باید معیاری برای ارزیابی کروموزم‌ها موجود باشد. این معیار تابع برازندگی[7] نامیده شده و اغلب به صورت یک تابع ریاضی بر روی کروموزوم‌ها اعمال می‌شود.

1- Exact
2- Heuristic
3- Meta-Heuristic
4- Ant Colony Optimization
5- Simulated Annealing
6- Tabu Search
7- Fitness Function



شکل(۳): مشخصات فاکتورهای تأثیرگذار بر مسئله مورد بررسی



شکل(۴):الگوریتم پیشنهادی جهت تعیین مقدار محصول ارسالی

پس از تعیین ورودی‌های الگوریتم ژنتیک، جمعیت ابتدایی (نسل اولیه) از جواب‌های ممکن تولید می‌شود. برای ادامه الگوریتم این نسل باید تولید مثل نماید. تولید مثل در سه مرحله انجام می‌شود. مرحله اول انتخاب[1] است. بر اساس تابع برازندگی کروموزوم‌های بهتر انتخاب می‌شوند. سپس نوبت به تولید مثل کروموزم‌های انتخاب‌شده می‌رسد. در فرآیند تولید مثل دو عمل تقاطع[2] و جهش[3] به‌صورت هم‌زمان برای کروموزوم‌ها اتفاق می‌افتد. عملگر تقاطع ترکیبی از کروموزوم‌های والدین را به‌صورت یک کروموزوم به فرزندان منسوب می‌کند و این عمل باعث می‌گردد تا فرزند تعدادی از خصوصیات پدر و تعدادی از خصوصیات مادر را با هم به ارث برد و از شباهت کامل فرزند تنها به یکی از والدین جلوگیری می‌کند. در مرحله تقاطع کروموزم‌های انتخاب شده به تصادف با یکدیگر ترکیب می‌شوند تا کروموزوم جدیدی برای نسل بعد تولید گردد. عملگر جهش نیز بر روی تعداد بسیار کمی از ژن‌ها به‌صورت کاملاً تصادفی تغییراتی ایجاد می‌کند. در مرحله جهش مقدار بعضی ژن‌ها به تصادف تغییر می‌یابد. عملگر دیگری به‌منظور انتقال جواب‌های خوب به نسل بعدی به نام تولید مجدد[4] در تولید مثل به‌کار گرفته می‌شود، بدین ترتیب که ژن‌های یکی از والدین جایگزین ژن‌های فرزند می‌گردد.

اینک کروموزوم‌های نسل جدید که معمولاً در مجموع بهتر از نسل قبلی می‌باشند تولید گردیده است. فرآیند مذکور تا برقراری شرط توقف ادامه می‌یابد. شرط توقف می‌تواند یکی از موارد زیر باشد:

- سپری شدن مدت زمان معین از اجرای الگوریتم
- رسیدن به حد مطلوبی از پاسخ
- عدم دست‌یابی به بهبودی در پاسخ پس از تعداد محدودی تکرار متوالی
- محدودیت در تعداد نسل‌ها

جواب به‌دست آمده الزاماً بهترین جواب ممکن نیست اما با توجه به ابعاد و پیچیدگی و سایر شرایط مسئله یک جواب خوب و مناسب خواهد بود.

1- Selection
2- Crossover
3- Mutation
4- Reproduction

۳-۱-۱- تعریف کروموزوم

در این مسئله مناطق ارسال با مشتریانی مشخص و میزان محصول ارسالی نیز تعیین گردیده و تنها توالی با استفاده از الگوریتم تعیین می‌گردد. پس کروموزوم تنها توالی را نشان می‌دهد. شکل (۵) تعریفی از این کروموزوم را ارائه می‌دهد:

۴ ۵ ۱ ۶ ۲ ۳

شکل (۵): نمونه‌ای از تعریف کروموزوم

۳-۱-۲- تولید جمعیت اولیه

جمعیت اولیه به‌صورت تصادفی تولید می‌شود.

۳-۱-۳- استراتژی انتخاب

در این مسئله از روش چرخ رولت[5] جهت استراتژی انتخاب استفاده شده است. در این روش احتمال انتخاب یک جواب جهت حضور در نسل بعد از حاصل نسبت تابع برازش آن جواب به مجموع تابع برازش کل به‌دست می‌آید. در این روش انتخاب، از آنجایی‌که شانس انتخاب هر کروموزوم متناسب با میزان برازندگی آن کروموزوم است، کروموزوم‌های بهتر شانس انتخاب بیشتری دارند.

۳-۱-۴- عملگر تقاطع

با انتخاب تصادفی دو کروموزم از کروموزم‌های موجود با استفاده از روش تقاطع ترتیبی (OC)[6] کروموزوم‌های فرزند حاصل می‌گردد. این روش شباهت زیادی به روش تقاطع دونقطه‌ای (PMC)[7] دارد. با این تفاوت که به‌جای اصلاح کروموزوم‌ها، با تعویض تکرارها به‌طور ساده‌تری بقیه ژن‌ها را مرتب می‌کند.

۳-۱-۵- عملگر جهش

کروموزوم از یک نقطه تصادفی شکسته و چرخش می‌یابد.

۳-۲- الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر

جستجوی همسایگی متغیر (VNS)، یک روش جستجوی محلی براساس روش‌های ابتکاری است که توسط هانسون[8] و ملادنویس[9] (۱۹۹۷) مطرح گردید[۱۸]. این

5- Roulette Wheel selection
6- Order Crossover
7- Partially Matched Crossover
8- Hansen
9- Mladenivi'c

روش کاربرد موفقی در مسایل مسیریابی وسیله نقلیه داشته است. از این نمونه می‌توان به تحقیق برایسی[1] (۲۰۰۳)[۱۹] (۲۰۰۳)[۱۹] و پلاکک[2] و همکاران (۲۰۰۴و۲۰۰۸)[۲۱و۲۰] اشاره نمود. تا سال ۲۰۰۹ از این روش برای مسایل مسیریابی دوره‌ای به‌کار گرفته نشده بود؛ تا اینکه برای اولین بار توسط هملمایر[3] و همکاران (۲۰۰۹) به‌کار گرفته شد و نتایج مطلوبی حاصل گردید[۲۲].

الگوریتم شامل سه فاز اصلی می‌باشد:

الف) معرفی[4]: ورودی این الگوریتم جوابی است که می‌تواند به‌صورت تصادفی ایجاد شده و یا حاصل اجرای الگوریتم دیگری باشد.

ب) **تنوع بخشی**[5]: کاربر جهت ایجاد تغییر کلی‌تری در جواب، وارد این فاز می‌شود.

ج) **شدت بخشی**[6]: در این فاز تغییرات اعمالی روی جواب اندک بوده و محدوده این تغییرات همسایگی نزدیک جواب می‌باشد.

۳-۲-۱- شرح الگوریتم[۱۸]

ایده اساسی VNS، تغییر سیستماتیک همسایگی در جستجوی محلی است. با شروع از یک جواب اولیه و با انتخاب یک روش، اولین همسایگی انتخاب می‌گردد. سپس عملگرهایی جهت بهبود جواب ارائه می‌شود این روند تا زمانی که جواب بهتری ایجاد گردد ادامه می‌یابد. شرط توقف می‌تواند محدودیت در زمان اجرای الگوریتم، محدودیت در تعداد اجرا و یا محدودیت روی تعداد تکرارها بین دو بهبود متوالی باشد.

روندی که جهت اجرای الگوریتم در این تحقیق استفاده شده به این‌صورت است که فاز اول الگوریتم با تولید تصادفی جمعیت آغاز می‌گردد و در فاز دوم و سوم، الگوریتم، به اعمال عملگرهایی می‌پردازد.

این عملگرها عبارتند از:

عملگر فاز دوم

عملگر k_0 : این عملگر مکان هر مشتری را با مشتری بعدی تعویض می‌کند.

عملگرهای فاز سوم

عملگر k_1 : تمام جایگزینی‌های دوتایی صورت می‌پذیرد.

عملگر k_2 : به‌طور تصادفی یک بردار چهارتایی انتخاب شده، چرخانده و جایگزین همان مکان می‌گردد.

عملگر k_3 : به‌طور تصادفی دو بردار دوتایی انتخاب شده، چرخانده و جایگزین مکان یکدیگر می‌گردند.

عملگر k_4: اگر مجموع شماره دو مشتری متوالی زوج باشد جای آنها با هم تعویض می‌گردد.

عملگر k_5: مشتری‌هایی که در مکان فرد قرار دارند؛ یک در میان با مشتری بعدی تغییر جایگاه می‌دهند.

عملگر k_6: اگر شماره مشتری قبلی از بعدی کوچک‌تر بود جایگزین یکدیگر می‌گردند.

نخست جهت اعمال تغییر کلی‌تری از عملگر (k_0) استفاده می‌گردد. این عملگر، مکان هر مشتری را با مشتری بعدی خود تعویض می‌کند. حال اگر اثر این تغییر در میزان تابع هدف که همان هزینه حمل می‌باشد، مطلوب باشد توالی و میزان هزینه برابر خروجی حاصل از (k_0) می‌گردد. در غیر این‌صورت تغییری در توالی و تابع هدف داده نمی‌شود. سپس الگوریتم وارد فاز ۳ می‌شود. (k_1) اعمال شده؛ میزان جواب مقایسه می‌گردد؛ در صورت بهبود جواب، میزان آن به خروجی حاصل از (k_1) تغییر یافته و الگوریتم دوباره وارد فاز ۲ می‌شود؛ در غیر این‌صورت k_2 اجرا می‌گردد. در واقع پس از اعمال هر عملگری چنانچه بهبودی حاصل شود الگوریتم به فاز ۲ باز می‌گردد سپس عملگرها از ابتدا اجرا می‌گردند و چنانچه بهبودی حاصل نگردد عملگر بعدی اعمال می‌شود. پایان الگوریتم محدودیت در تعداد تکرارها می‌باشد.

۴- مقایسه روش‌ها و نتایج محاسباتی

جهت مقایسه روش‌ها نیاز به داشتن مسایل نمونه الزامی می‌نمود. با توجه به تغییرات اعمال شده بر مدل اصلی، در ادبیات موضوع مورد مشابهی که بر مدل این تحقیق منطبق باشد یافت نگردید. از این روی با تولید ۱۵ مسئله و حل آن، مقایسه بین روش‌ها صورت پذیرفت. مشخصات هر مسئله نمونه در نرم‌افزار Excel و به‌طور تصادفی تولید گردید. مشخصات کلی مسایل نمونه در جدول (۱) درج گردیده است.

1- Braysy
2- Polacek
3- Hemmelmayr
4- Initialization
5- Diversification
6- Intensification

جدول (۱): مشخصات مسایل نمونه

مسئله	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵
تعداد مشتری	۲۰	۲۵	۳۰	۳۶	۴۰	۴۵	۵۰	۵۵	۶۰	۶۵	۷۰	۷۳	۸۷	۹۵	۱۰۰
تعداد وسیله‌نقلیه	۲	۳	۳	۴	۴	۶	۵	۵	۶	۵	۸	۶	۷	۸	۹

جدول (۲): میزان تابع هدف و مدت زمان اجرا به ازای دو روش پیشنهادی

نام مسئله	میزان تابع هدف		میزان زمان اجرا	
	روش اول	روش دوم	روش اول	روش دوم
NV2-NC20	۷۱۲۳۰۰	۴۹۳۵۲۰	۱۲/۲۳	۱۰۷/۰۳
NV3-NC25	۵۲۳۴۳۰	۴۷۱۲۸۰	۳۱/۱۳	۱۳۳/۳۴
NV3-NC30	۱۳۷۶۰۰۰	۱۰۶۷۶۰۰	۳۱/۳۴	۱۶۱/۰۲
NV4-NC36	۱۸۴۷۰۰۰	۱۶۷۴۶۰۰	۴۳/۶۷	۱۸۹/۶۰
NV4-NC40	۱۵۸۶۱۰۰	۱۳۴۴۹۰۰	۴۶/۸۳	۲۱۸/۵۰
NV6-NC45	۱۲۸۴۰۰۰	۱۰۱۳۲۰۰	۶۲/۸۴	۲۶۵/۹۰
NV5-NC50	۲۲۰۳۱۰۰	۱۹۸۵۲۰۰	۵۸/۸۵	۲۶۴/۵۶
NV5-NC55	۲۸۰۳۵۰۰	۱۶۶۳۸۰۰	۵۵/۰۵	۲۷۹/۰۳
NV6-NC60	۲۹۹۷۵۰۰	۱۹۸۸۸۰۰	۶۳/۱۹	۳۰۱/۶۱
NV5-NC65	۳۶۵۳۳۰۰	۲۷۱۳۹۰۰	۵۶/۳۱	۳۳۹/۵۱
NV8-NC70	۱۱۴۹۳۰۰	۱۱۴۸۸۰۰	۹۲/۱۳	۳۷۵/۵۸
NV6-NC73	۳۹۵۱۵۰۰	۲۷۶۵۰۰۰	۶۹/۱۸	۳۸۳/۴۹
NV7-NC87	۴۵۲۶۱۰۰	۲۸۹۰۹۰۰	۷۲/۹۱	۴۲۴/۳۴
NV8-NC95	۲۰۷۶۲۰۰	۱۶۲۱۷۰۰	۱۰۶/۳۹	۵۰۲/۷۸
NV9-NC100	۴۳۳۷۸۰۰	۳۹۰۸۰۰۰	۹۶/۶۵	۵۴۵/۲۸

جدول (۳): اطلاعات آماری توابع هدف روش‌ها

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	Income1	2335142	15	1310670.229	338413.6
	Income2	1783413	15	955849.566	246799.3

جدول (۴): اطلاعات آزمون فرض برابری میانگین توابع هدف روش‌ها

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	95% Confidence Interval of the Difference Lower	Upper			
Pair 1 Income1 - Income2	551728.7	497146.376	128362.6	276418.2	827039.2	4.298	14	.001

جدول (۵): اطلاعات آماری زمان‌های اجرا روش‌ها

		Mean	N	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	RunTime2	60.5133	15	24.53913	6.33598
	RunTime3	299.4380	15	130.11029	33.59433

جدول(۶): اطلاعات آزمون فرض برابری میانگین زمان‌های اجرا روش‌ها

	Paired Differences					t	df	Sig. (2-tailed)
				95% Confidence Interval of the Difference				
	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean	Lower	Upper			
Pair 1 RunTime2 - RunTime3	-238.9247	107.20861	27.68114	-298.2948	-179.5545	-8.631	14	.000

از نظر محاسباتی دو شاخص میزان تابع هدف و زمان اجرای الگوریتم جهت ارزیابی روش‌ها مورد استفاده قرار گرفت. از آنجایی که مدل مسئله از نوع بیشینه‌سازی است؛ مسلماً هرچه میزان تابع هدف بیشتر و زمان اجرای الگوریتم کمتر باشد، مطلوبیت روش حل بالاتر خواهد بود.

نتایج حاصل از اجرای دو روش حل برای مسایل نمونه در جدول (۲) درج گردیده است.

حال جهت مقایسه روش‌ها از روش آماری استفاده شده است. سؤالی که از لحاظ آماری مطرح می‌شود عبارت است از:

$$\begin{cases} H_0: \mu_i = \mu_j \quad i,j = ۱,۲,۳ \quad i \neq j \\ H_1: Otherwise \end{cases}$$

جهت رسیدن به پاسخ، روش‌ها دوبه‌دو با یکدیگر مقایسه می‌گردند. این عمل با استفاده از نرم‌افزار SPSS15 صورت پذیرفت. در هر مورد میزان sig با میزان خطای نوع اول (α) مقایسه می‌شود؛ چنانچه $sig. \leq \alpha$ باشد. فرض H_0 رد خواهد شد. در غیر این‌صورت دلیلی برای رد فرض H_0 وجود نداشته و میانگین‌ها از لحاظ آماری یکسان می‌باشند. در این تحقیق (α=۰/۰۵) در نظر گرفته شده است. نتایج در جداول (۳) تا (۶) آورده شده است.

از جداول (۴) و (۶) چنین برمی‌آید که آزمون‌ها تفاوت معناداری را نشان می‌دهند. با توجه به میانگین توابع هدف و میانگین زمان اجرا که در جداول (۳) و (۵) مشخص گردیده است؛ می‌توان نتیجه گرفت روش اول از مطلوبیت بالاتری برخوردار است.

۵. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این تحقیق مسئله مسیریابی-موجودی مورد بررسی قرار گرفت. هدف اصلی نزدیک نمودن شرایط مسئله اصلی با دنیای واقعی می‌باشد. جهت نیل به این مقصود، مشورت‌هایی با دست‌اندرکاران امر در زمینه چالش‌ها و مشکلات موجود، صورت پذیرفت. در صورتی‌که مشتریان سیستم، خرده فروشانی در یک منطقه فرض گردند به‌دلیل محدودیت فضای موجود، مشکل اصلی، نبود مکانی جهت انبار محصولات اضافی برای دوره مورد نظر می‌باشد. نکته دوم که برای مشتریان از اهمیت زیادی برخوردار بود حداقل نمودن تعداد دفعات ارسال توسط تأمین کننده، عنوان گردید. چرا که در این‌صورت از لحاظ زمانی اتلاف کمتری صورت می‌پذیرد. که این نکته اخیر مورد نظر تأمین کننده نیز می‌باشد. با توجه به این موارد تغییرات مناسب در مدل صورت پذیرفت. دو روش حل نیز به‌صورت زیر پیشنهاد گردید:

- در این روش از سیاست تفکیک ثابت (FPP) استفاده می‌شود. مسئله به دو فاز تقسیم می‌گردد: در فاز اول گروه‌بندی مشتریان صورت پذیرفته، با ارائه الگوریتمی پیشنهادی میزان محصول ارسالی به هر یک از آنها تعیین می‌گردد؛ در فاز دوم مسیر حرکت با استفاده از الگوریتم ژنتیک مشخص می‌شود.
- همانند روش دوم عمل می‌شود با این تفاوت که مسیر حرکت با استفاده از الگوریتم جستجوی همسایگی متغیر تعیین می‌گردد.

کدنویسی با استفاده از نرم‌افزار Matlab صورت پذیرفت. در نهایت میزان سود حاصل از توزیع و زمان اجرای برنامه‌ها، مبنای مقایسه روش‌ها در نظر گرفته شد. نتایج حاصل از لحاظ آماری مقایسه گردیدند. بین میانگین معیارها تفاوت معناداری وجود دارد. با مقایسه روش‌ها این نتیجه حاصل می‌شود که در روش اول مطلوبیت بالاتری در هر دو معیار حاصل گردیده است.

کاربرد عملی این مدل را می‌توان در مراکز پخش و توزیع کالا برشمرد. البته هرچه شرایط مدل به فضای واقعی نزدیک‌تر باشد؛ این کاربرد اجرایی‌تر خواهد بود. براساس شرایط و گرایش‌ها، تحقیقات آینده می‌بایستی براساس توسعه بیشتر زمینه تحقیقاتی و نیازهای صنعتی انجام پذیرد. هم صنعت و هم جامعه تحقیقاتی به خوبی از اهمیت مدیریت زنجیره تأمین و اجزای آن آگاه بوده و می‌بایست از

طریق ادغام فرآیندهای لجستیکی به این مهم دست‌یابند. با افزایش هماهنگی میان اجزا در زنجیره کالا، تقسیم‌بندی اطلاعات و بررسی جنبه‌های اصلی آسان‌تر می‌نماید. هنوز راهی طولانی برای پیمودن مسیر کامل سیستم‌های حمایتی وجود دارد. با تلاش‌های مضاعف صنعت و جامعه تحقیقاتی و تبادل اطلاعات آنها پیشرفت‌های بزرگ‌تری روی خواهد داد. تنها از این راه است که می‌توان مسایلی در تحقیقات علمی مطرح نمود که دغدغه حل آن در صنعت و جامعه بیشتر احساس شده و امکان بروز و ظهور عملی آنها ایجاد گردد. از این‌روی زمینه تحقیقات آتی در چارچوب این مسئله می‌تواند از موارد زیر باشد:

- عدم قطعیت در تقاضا
- در نظر گرفتن انواع متفاوت محصول
- استفاده از سایر روش‌های ابتکاری و فراابتکاری برای حل مسئله از قبیل کلونی‌مورچگان

منابع

[1]Dror, M., Trudeau, P.,***Savings by split delivery routing***, Transportation Science,23, 141–145,1989.

[2]Campbell, A., Clarke, L., Savelsbergh, M.W.P,***Inventory routing in practice: The vehicle routing problem***, SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications, 309–330,2002.

[3]Campbell, A.M., Savelsbergh, M.W.P., ***A decomposition approach for the inventory-routing problem***. Transportation Science, 38(4), 488–502, 2004.

[4]Anily, Sh.,Bramel, J., ***An asymptotic 98.5%-effective lower bound on fixed partition policies for the inventory-routing problem***, Discrete Applied Mathematics,145, 22-39 ,2004.

[5]Aghezzaf, E. , Raa, B., Van Landeghem, H., 2006, ***Modeling inventory routing problems in supply chains of high consumption products***, European Journal of Operational Research,169, 1048–1063,2006.

[6]Zhao, Q. , Wang Sho. , Lai K.K.,***A partition approach to the inventory/routing problem***, European Journal of Operational Research, 177, 786–802, 2007.

[7]Abdelmaguid, T. F. ,Dessouky, M. M. , Ordonez, F., ***Heuristic approaches for the inventory-routing problem with backlogging***, Computers & Industrial Engineering, 56, 1519–1534, 2009.

[8]Bard, J., F. ,Nananukul, N., ***Heuristics for a multiperiod inventory routing problem with production decisions***, Computers & Industrial Engineering, 57, 713–723, 2009.

[9]Cheng, L., Duran, M.A.,***Logistics for world-wide crude oil transportation using discrete event simulation and optimal control***, Computers and Chemical Engineering ,28, 897–911, 2004.

[10]Yu, Y., Chen, H., Chu, F., ***A new model and hybrid approach for large scale inventory routing problems***, European Journal of Operational Research, 189,1022–1040, 2008.

[11]Christiansen, M., KjetilFagerholt , K., Flatberg, T., Haugen, Q., Kloster,O., Lund,E., ***Maritime inventory routing with multiple products: A case study from the cement industry***, European Journal of Operational Research,208, 86-94, 2011.

[12]Zhong, Y., Aghezzaf, E., ***Combining DC-programming and steepest-descent to solve the single-vehicle inventory routing problem,*** Computers & Industrial Engineering, 61, 313-321, 2011.

[13]Zipkin, P., Federgruen, A.,***An efficient algorithm for computing optimal (s,S) policies,***Operations Research, 32, 1268-1285, 1984.

[14]Federgruen, A., Prastacos, G., Zipkin, P.**,** ***An allocation and distribution model for perishable products,***Operations Research, 34, 75-82, 1986.

[15]Liu, Sh., Lee, W.,***A heuristic method for the inventory routing problem with time windows***, Expert Sistem with Application, 38,13223-13231, 2011.

[16]Andersson, H., Hoff ,A., Christiansen, M., Hasle, G., Løkketangen, A., ***Industrial aspects and literature survey: Combined inventory management and routing,*** Computers & Operations Research, 37 ,1515–1536, 2010.

[۱۷]عالم تبریز، ا. زندیه، م. محمد رحیمی، ع.، ***الگوریتم‌های فرا ابتکاری در بهینه‌سازی ترکیبی (ژنتیک، شبکه عصبی، آنیل شبیه‌سازی شده، جستجوی ممنوع، الگوریتم مورچگان)***، چاپ دوم، نشر اشراقی، ۱۳۸۹.

[18]Mladenovi´c, N., Hansen, H., ***Variable neighborhood search***, *Computers and Operations Research,* 24 (11): 1097–1100, 1997.

[19]Bräysy, O., ***A Reactive Variable Neighborhood Search for the Vehicle Routing Problem with Time Windows.*** SINTEF AppliedMathematics, Department of Optimization, 124, 2003.

[20]Polacek, M., Hart, R., Doerner, K., Reimann, M., ***A Variable Neighborhood Search for the Multi Depot Vehicle Routing Problem with Time Windows,*** Journal of Heuristics,10, 613-627, 2004.

[21]Polacek, M., Doerner, K., Hart, R., Maniezzo, V., ***A variable neighborhood search for the capacitated arc routing problem with intermediate facilities,*** Journal of Heuristics, 14, 405-423, 2008.

[22]Hemmelmayr, V.C., Doerner, K.F., Hartl, R.F.,***A Variable Neighborhood Search Heuristic for Periodic Routing Problems.*** European Journal of Operational Research,195 , 791–802, 2009.