برنامه‌ریزی سیستم حمل‌ونقل برای توزیع اقلام دارویی درب منازل بیماران

مقاله علمی – پژوهشی

الهام صمدپور، دانش آموخته دکترا، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم وصنعت ایران، تهران، ایران
روزبه قوسی*، دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم وصنعت ایران، تهران، ایران
احمد ماکوئی، استاد، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم وصنعت ایران، تهران، ایران
مهدی حیدری، دانشیار، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه علم وصنعت ایران، تهران، ایران
*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: ghousi@iust.ac.ir
دریافت: ۱۴۰۲/۰۲/۲۰- پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۵
صفحه ۲۳۰-۲۲۱

چکیده

مسئله مسیریابی وسایل نقلیه یکی از معروف‌ترین مسائل بهینه‌سازی در حوزه برنامه‌ریزی سیستم‌های حمل‌ونقل است که در دهه‌های اخیر موردتوجه محققان قرار گرفته است. در واقع یکی از معیارهای سنجش اثربخشی مدیریت حمل‌ونقل، مسیریابی مناسب وسایل نقلیه می باشد. این تحقیق به ارائه یک مدل ریاضی جدید جهت مسیریابی وسایل نقلیه برای توزیع اقلام دارویی از داروخانه طرف قرارداد با مرکز مراقبت در منزل به بیماران می‌پردازد. اغلب بیماران حساس به زمان تحویل دارو هستند، لذا در مدل ارائه شده کلیه اقلام دارویی بایستی قبل از زمان مشخصی به دست بیماران برسد. از سوی دیگر، تعادل حجم کاری رانندگان وسایل نقلیه نیز در مدل پیشنهادی لحاظ گردیده است. مدل پیشنهادی جهت تعیین تصمیمات مسیرهای وسایل نقلیه، تعداد وسایل نقلیه بکار گرفته شده و نیز زمان تحویل اقلام دارویی درب منازل بیماران با هدف حداقل نمودن کل هزینه‌های سیستم می‌پردازد. برای نشان دادن کارایی مدل پیشنهادی مثال‌های عددی با ابعاد مختلف ایجاد شده و با نرم‌افزار بهینه‌سازی گمز و الگوریتم ژنتیک حل شده است. نتایج محاسباتی نشان می‌دهد مدل و رویکرد حل پیشنهادی می‌تواند منجر به کاهش قابل توجهی در هزینه‌های سیستم برای توزیع اقلام دارویی درب منازل بیماران گردد.

واژه‌های کلیدی: اقلام دارویی، الگوریتم ژنتیک، مراقبت در منزل، مسیریابی وسایل نقلیه

۱-مقدمه

حوزه بهداشت و درمان اهمیت بسزایی در افزایش سلامت جامعه دارد. این حوزه بر مسائل سایر بخش‌ها نظیر حوزه‌های اجتماعی، سیاسی، مالی و کسب‌وکارهای یک جامعه تأثیرگذار است. به همین جهت، سالیانه سرمایه‌گذاری‌های بسیاری، هم از سوی بخش دولتی و هم بخش خصوصی، در این حوزه صورت می‌گیرد. یکی از حوزه‌های مهم در بخش بهداشت و درمان که نیاز به مدیریت و برنامه‌ریزی کارشناسانه دارد، لزوم ارائه خدمات سلامت هم در حوزه پزشکی و هم پرستاری به نیازمندان در این عرصه‌ها می‌باشد. مراقبت در منزل عبارت است از ارائه خدمات بهداشتی و درمانی در محل زندگی بیماران. حوزه مراقبت در منزل یک حوزه رو به رشد در سراسر دنیا است. (Di Mascolo et al., 2017) در این سیستم، بیمار تحت نظارت

پزشک و پرستار در محل زندگی خود از خدمات بهره‌مند می‌شود به‌نحوی‌که بیمار را در قسمتی یا تمام زندگی شخصی توانمند گرداند. به‌طورکلی دلایل مختلفی وجود دارد که نیاز به سرویس‌های مراقبت در منزل را تشدید می‌کند که می‌توان به تغییرات جمعیتی، تغییرات اجتماعی، تغییر در بیماری‌ها و شیوع آن‌ها، تغییرات در نگرش‌ها و انتظارات اشاره کرد.

در طی دو دهه گذشته، کشورهای مختلف با افزایش قابل‌توجهی در تعداد بیمارانی که مراقبت در منزل دریافت می‌کنند روبرو بوده‌اند. همچنین در این کشورها، مقدار و نوع خدمات پزشکی ارائه شده در منزل، تعداد مؤسسات ارائه‌دهنده این خدمات و بودجه دولتی برای این نوع خدمات افزایش چشمگیری یافته است.(Fikar and Hirsch, 2017; Cissé et al., 2017). تحقیقات متعددی در خصوص ارسال و برنامه‌ریزی برای اعزام درمانگران به منازل بیماران جهت انجام معاینات و خدمات پرستاری انجام‌شده است. خوانندگان جهت مطالعات بیشتر در خصوص مسیریابی و زمان‌بندی کادر درمان برای مسائل مراقبت در منزل می‌توانند به مقالات مروری (Fikar and Hirsch, 2017; Di Mascolo et al., 2021) مراجعه نمایند.

در سال ۲۰۱۹، سازمان بهداشت جهانی پیش‌بینی کرده است که تعداد افراد ٦٠ ساله و بالاتر با رشد ٥٦ درصدی، از ٩٦٢ میلیون به ١,٤ میلیارد بین سال‌های ۲۰۱۷ تا ۲۰۳۰، و تا سال ۲۰۵۰ به بیش از ۲,۱ میلیارد نفر خواهد رسید (World Health Organization, 2020). لذا لزوم توجه به برنامه‌ریزی جهت توزیع اقلام دارویی به درب منازل بیماران و افراد سالمندی که نیازمند اقلام دارویی هستند اهمیت ویژه‌ای خواهد یافت.

یکی از معیارهای سنجش اثربخشی مدیریت حمل‌ونقل، مسیریابی وسایل نقلیه است. مسئله مسیریابی وسایل نقلیه، به‌عنوان اساسی‌ترین مسئله در مدیریت توزیع شناخته می‌شود. مسئله مسیریابی وسایل نقلیه به مسئله‌ای اطلاق می‌شود که در آن ناوگانی متشکل از چندین وسیله نقلیه از یک یا چند مرکز به ارائه خدمت به مشتریان مستقر در نقاط مختلف جغرافیایی می‌پردازند . در واقع در مسیریابی وسایل نقلیه، بحث کلیدی مربوط به مدیریت ناوگانی از وسایل است که خدمات تحویل یا جمع‌آوری را به مجموعه‌ای از مشتریان انجام می‌دهد. مدیر برنامه‌ریزی علاوه بر این‌که در مورد تعداد و نوع وسایل باید تصمیم‌گیری نماید، بایستی مشخص نماید که مشتریان با چه وسیله و با چه ترتیبی ملاقات شوند تا هزینه حمل‌ونقل کاهش یابد(Toth and Vigo, 2002). توزیع دارو درب منازل بیماران دربرگیرنده خدمت‌دهی به دسته‌ای از بیماران، در یک بازه زمانی، توسط تعدادی از وسایل نقلیه است که توسط گروهی از رانندگان هدایت می‌شوند و جابجایی‌ها در یک شبکه مسیر مناسب انجام می‌شود.

ایده اولیه مسئله مسیریابی وسایل نقلیه برای اولین بار توسط دنتزیگ و رامسر در سال ۱۹۵۹ در قالب یک مسئله در حوزه حمل‌ونقل، توزیع و تدارکات مطرح گردید که نشان داد به‌کارگیری روش‌های مدیریتی و مباحث بهینه‌سازی در بحث حمل‌ونقل تأثیر بسزایی در کاهش هزینه‌های مربوط به کالا را دارد. این مسئله با فرضیات مختلف گسترش پیداکرده است. مقالات موجود در این زمینه به دو دسته تقسیم می‌شود: مدل‌های ارائه شده و روش‌های حل. مقالات مروری درزمینه مسیریابی وسایل نقلیه شامل (Laporte, 2009; Toth and Vigo, 2014, Lin et al., 2014; Braekers et al., 2016) می‌باشد که پژوهشگران می‌توانند برای مطالعه بیشتر به این مقالات رجوع نمایند.

قصیری و قنادپور یک مدل ریاضی برای مسأله مسیریابی وسایل نقلیه با پنجره زمانی با اهداف چندگانه مطرح نمودند که در این مدل تصمیم‌گیرنده سطوح مختلفی را برای اهداف و آرمان‌های آن در نظر میگیرد و در تلاش است تا انحراف از آرمان‌ها را کمینه نماید. نویسندگان برای مدلسازی این مدل چند هدفه از برنامه‌ریزی آرمانی و برای حل مدل، الگوریتم ژنتیک پیشنهاد نمودند. (قصیری و قنادپور۱۳۸۷).

مسائل مسیریابی وسایل نقلیه، جز مسائل سخت با پیچیدگی محاسباتی بالا هستند و به نظر می‌رسد که قابل‌حل در زمان چندجمله‌ای نباشند. الگوریتم‌های ارائه‌شده برای حل مسئله مسیریابی عموماً شامل روش‌های دقیق و الگوریتم‌های فراابتکاری است. الگوریتم‌های دقیق شامل روش‌های شاخه و کران، برنامه‌ریزی پویا و مانند این‌ها هستند. در مقابل، الگوریتم‌های فرا ابتکاری شامل روش‌های جست‌وجوی ممنوع و تبرید شبیه‌سازی شده، بهینه‌سازی مورچگان ، الگوریتم‌های ژنتیک و غیره است

(Elshaer and Awad, 2020). اگرچه، روش‌های دقیق راه‌حل‌های بهینه را ارائه می‌دهند، اما زمان محاسبه آن‌ها با افزایش ابعاد مسئله افزایش می‌یابد. بنابراین، برای مسائلی در ابعاد بزرگ، اغلب محققان ترجیح می‌دهند به جای راه‌حل دقیق، الگوریتم‌های فراابتکاری را برای دستیابی به راه‌حلی مطلوب بکارگیرند. لذا در این تحقیق الگوریتم فراابتکاری جهت حل مسئله مسیریابی برای توزیع اقلام دارویی درب منازل بیماران پیشنهاد گردیده است.

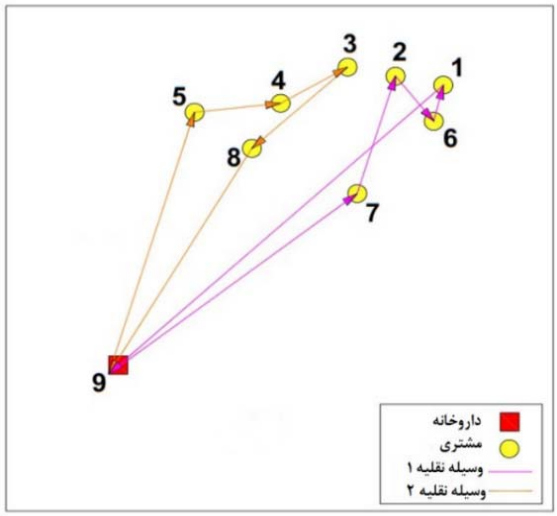
این تحقیق به ارائه مدل جدید برای توزیع اقلام دارویی از داروخانه طرف قرارداد با مرکز مراقبت در منزل به درب منازل بیماران می‌پردازد. اغلب بیماران حساس به زمان تحویل دارو هستند، لذا در مدل ارائه شده کلیه اقلام دارویی بایستی قبل از زمان مشخصی به دست بیماران برسد.

از سوی دیگر، تعادل حجم کاری رانندگان وسایل نقلیه نیز در مدل پیشنهادی لحاظ گردیده است. در این تحقیق، الگوریتم فراابتکاری مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای شناسایی راه‌حل‌های تقریباً بهینه برای مسئله پیشنهاد شده است. برای نشان دادن کارایی مدل پیشنهادی تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای مختلف مسئله انجام گردیده است. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم ژنتیک ارائه شده از کارایی مطلوبی برخوردار می‌باشد و قادر است اطلاعات خوبی جهت تصمیمات مسیریابی، برای توزیع دارو درب منازل بیماران در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار دهد.

ادامه مقاله به‌صورت زیر سازمان‌دهی شده است. در بخش ۲ مسئله تحقیق و مدل ریاضی مربوطه ارائه می‌گردد. در بخش‌های ۳ و ٤ رویکرد حل مسئله و نتایج محاسباتی مطرح می‌گردد. درنهایت در بخش ۵ نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی مسئله مطرح خواهد شد.

۲-مسئله تحقیق و مدل‌سازی

در این تحقیق به ارائه مدلی برای توزیع اقلام دارویی درب منازل بیماران می‌پردازیم. شبکه توزیع شامل دو دسته از نقاط است، مشتریان که باید تقاضای آن‌ها برآورده شود و داروخانه طرف قرارداد با مرکز مراقبت در منزل، که باید اقلام دارویی از داروخانه به بیماران منتقل شود. هدف این تحقیق یافتن مسیرهایی برای وسایل نقلیه است که در آن تمامی مشتریان اقلام دارویی خود را قبل از زمان مشخصی (وابسته به نوع اقلام دارویی هر بیمار) دریافت نمایند. از سوی دیگر فرض شده است که در هر تور ماکزیمم تعداد منازلی که هر وسیله نقلیه می‌تواند برای تحویل اقلام دارویی مراجعه نماید محدود و از پیش تعیین‌شده است. در این تحقیق سیستم لجستیک یک طبقه‌ای بر روی گراف بدون جهت $G=(V,E)$ تعریف می‌شود. V مجموعه گره‌های این گراف، شامل داروخانه (I_0) و مشتریان (J) است. $V = I_0 \cup J$. یال‌های بدون جهت (E) مجموعه کلیه یال‌های ارتباطی موجود در گراف شبکه توزیع اتصال‌دهنده داروخانه به مشتریان و مشتریان به یکدیگر است. در مورد زمان حمل‌ونقل بر روی یال‌های اتصال‌دهنده نیز نامساوی زیر برقرار است: $(t_{ij} \leq t_{ik} + t_{kj})$. شکل ۱ شمای کلی مسئله تحقیق را نشان می‌دهد.



شکل ۱. شمای کلی مسئله تحقیق

مفروضات این مدل عبارتند از:

-طول افق برنامه‌ریزی محدود وتنها برای یک دوره زمانی است.

-از یک مسیر نباید بیش ازیک وسیله نقلیه برای مشتریان یکسان استفاده شود.

-هرگونه اتفاق پیش‌بینی نشده غیرمجازاست.

- **مجموعه‌ها**

J مجموعه بیماران

V مجموعه وسائل نقلیه

L مجموعه کلیه نقاط شامل داروخانه و بیماران

- **پارامترها**

b_j ماکزیمم زمان برای تحویل دارو درب منزل بیمارj

N حداکثر تعداد مشتریانی که توسط هر وسیله نقلیه می‌تواند ویزیت شوند.

t_{ij} زمان سفر بین مشتریان i و j

- **متغیرهای تصمیم**

x_{ijv} اگر برای وسیله نقلیه v از گره i به گره j مسیری وجود داشته باشد یک در غیراینصورت صفر خواهد بود.

h_v اگر وسیله نقلیه v ام بکار گرفته شود یک درغیراینصورت صفر خواهد بود.

u_j مدت زمان سرویس‌دهی در گره j

$$TC = C_1 \sum_{i\in L}\sum_{j\in L}\sum_{v\in v} c_{ij}\,.\,x_{ijv} + \sum_{v=1}^{n} C_{2v}h_v \qquad (۱)$$

st:

$$\sum_{i\in L}\sum_{v\in V} x_{ijv} = 1 \qquad j \in J \qquad (۲)$$

$$\sum_{j\in L} x_{ijv} - \sum_{j\in L} x_{jiv} = 0 \qquad \forall i \in J,\ v \in V \qquad (۳)$$

$$\sum_{j\in J} x_{0jv} \le 1 \qquad \forall v \in V \qquad (٤)$$

$$\sum_{i\in J} x_{i0v} \le 1 \qquad \forall v \in V \qquad (٥)$$

$$\sum_{i\in J}\sum_{j\in J} x_{ijv} \le N \qquad \forall v \in V \qquad (٦)$$

$$t_j \ge t_i + t_{ij} + u_i - \left(1 - x_{ijv}\right).M \qquad (٧)$$

$$\forall i \in L, \forall j \in J, v \in V$$

$$t_j \le b_j \qquad \forall j \in J \qquad (٨)$$

$$\sum_{j\in J} x_{0jv} \le M.\,h_v \qquad \forall v \in V \qquad (٩)$$

$$x_{ijv}, h_v \in \{0,1\} \qquad (١٠)$$

تابع هدف (۱) شامل حداقل‌سازی هزینه حمل‌ونقل و هزینه به‌کارگیری وسایل نقلیه است. محدودیت (۲) مشخص می‌کند که هر مشتری تنها یک‌بار ویزیت می‌شود. حدودیت (۳) نشان می‌دهد که هر وسیله نقلیه پس از تحویل دارو به مشتری، این گره را ترک می‌کند. محدودیت‌های (٤) و (٥) نشان می‌دهد که هر وسیله نقلیه، مسیرش را از داروخانه شروع می‌کند، به تعدادی از مشتریان اقلام دارویی تحویل می‌دهد و درنهایت به داروخانه بازمی‌گردد.(Tas et al. 2013) محدودیت (٦) نشان می‌دهد که تعداد کل مشتریان تخصیص داده‌شده به یک مسئله نقلیه نمی‌تواند از مقدار ثابت تجاوز کند. محدودیت (۷) زمان رسیدن هر وسیله نقلیه درب منزل هر بیمار را تعیین می‌کند. محدودیت (۸) نشان‌دهنده آن است که باید اقلام دارویی قبل از زمان مشخصی به دست بیماران برسد. محدودیت (۹) محدودیت مرتبط با این است که کدام وسیله نقلیه بکار گرفته‌شده است. محدودیت (۱۰) نشان‌دهنده نوع متغیرهای تصمیم مسئله هستند.

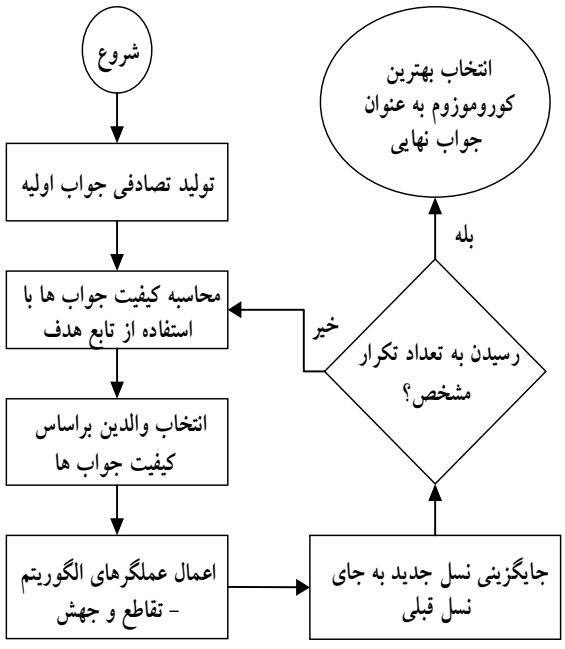
۳-روش حل

به‌منظور بررسی صحت و کارایی مدل، مدل ارائه‌شده با نرم‌افزار گمز حل شده و تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای مختلف مسئله انجام شده است. ازآنجاکه به دست آوردن جواب بهینه با نرم‌افزار گمز برای ابعاد بزرگ در زمان مناسب مقدور نبود، لذا برای مثال‌های با ابعاد بزرگ الگوریتم ژنتیک پیشنهاد شده است. به‌منظور ارزیابی الگوریتم فرا ابتکاری ارائه شده، تعدادی از مسائل در ابعاد کوچک حل شده با نرم‌افزار گمز با الگوریتم فراابتکاری ژنتیک مقایسه شده است. در مسائل با ابعاد کوچک الگوریتم فراابتکاری جواب بهینه یا نزدیک به بهینه ارائه می‌دهد. میانگین زمان حل برای الگوریتم فراابتکاری به‌مراتب کمتر از نرم‌افزار گمز است. با بزرگتر شدن ابعاد مسئله زمان لازم برای به دست آوردن جواب بهینه به‌صورت نمایی

افزایش می‌یابد و دیگر در مسائل با ابعاد بزرگ، به دست آوردن جواب بهینه با نرم‌افزار گمز امکان‌پذیر نخواهد بود. ازاین‌رو در مسائل با ابعاد بزرگ، روش فراابتکاری بسیار کاراتر وموثرتر خواهد بود. برای اجرای الگوریتم پیشنهادی ژنتیک، برنامه کامپیوتری در محیط نرم‌افزار متلب نوشته شده و روی کامپیوتر شخصی با پردازنده core(TM) i7 -6500 CPU:2.5GHz و RAM 8 GB اجرا شده است.

محدوده کاری الگوریتم ژنتیک بسیار وسیع بوده و هرروز با پیشرفت روزافزون علوم و تکنولوژی بکارگیری این روش در بهینه‌سازی و حل مسائل گسترش یافته است. الگوریتم ژنتیک یکی از زیرمجموعه‌های محاسبات تکامل‌یافته می‌باشد که رابطه مستقیمی با مبحث هوش مصنوعی دارد. الگوریتم ژنتیک بر روی یکسری از جواب‌های مسئله به امید به دست آوردن جواب‌های بهتر قانون بقای بهترین را اعمال می‌کند. درهر نسل به کمک فرآیند انتخابی متناسب با ارزش جواب‌ها و تولید مثل جواب‌های انتخاب شده به کمک عملگرهای تقاطع و جهش، تقریب‌های بهتری از جواب نهایی به‌دست می‌آورد.

الگوریتم ژنتیک ارائه‌شده در این تحقیق به شرح ذیل است.



الگوریتم: فلوچارت الگوریتم ژنتیک پیشنهادی برای مسئله تحقیق قسمت‌های مختلف الگوریتم ژنتیک پیشنهادی به شرح زیر می‌باشد.

بدنه اصلی الگوریتم: در این قسمت، بدنه اصلی الگوریتم ژنتیک که شامل فراخوانی داده‌های مسئله، تعیین پارامترهای الگوریتم از قبیل تعداد جمعیت، تعداد نسل (شرط توقف)، درصد عملگرها، فراخوانی تابع مربوط به جمعیت اولیه، محاسبه تابع هدف و انتخاب کروموزوم برای اعمال عملگرها است اجرا می‌شود.

جواب اولیه: ورودی این قسمت تعداد جمعیت یک نسل است، هدف اصلی این تابع تولید جمعیت اولیه با احتساب محدودیت‌ها است.

تابع هدف: همان‌گونه که از عنوان این قسمت مشخص است، هدف آن محاسبه برازندگی یک کروموزوم می‌باشد. توجه به این نکته ضروری است که درصورتی‌که جواب تولید شده امکان‌پذیر نباشد، مقدار تابع هدف آن بی‌نهایت در نظر گرفته می‌شود.

عملگر تقاطع: ورودی این عملگر، دو کروموزوم (والد) است و خروجی آن دو کروموزوم دیگر (فرزند) می‌باشد. در این الگوریتم از عملگر تقاطع تک نقطه‌ای استفاده شده است که بر روی مسیر حرکت وسایل نقلیه اعمال می‌شود.

عملگر جهش: یکی از بخش‌های دیگر در الگوریتم ژنتیک عملگر جهش می‌باشد. عملیات جهش برای بهبود جمعیت صورت می‌گیرد. پس از شکل‌گیری فرزندان بعضی از ژن‌ها دچار جهش می‌شود، هدف اصلی جهش، نگه داشتن تنوع و تمایز میان جمعیت و جلوگیری از همگرا شدن زودهنگام جمعیت به یک نوع خاص است.

شرط توقف الگوریتم: الگوریتم ارائه شده در این تحقیق زمانی خاتمه می‌یابد که به تعداد تکرار مشخصی برسد.

٤-نتایج عددی

یکی از روش‌های اعتبارسنجی مدل، انجام تحلیل حساسیت بر روی پارامترهای مهم و تأثیرگذار مسأله و مقایسه نتایج مورد انتظار از تغییر پارامتر با نتایج به دست آمده است. در این قسمت اعتبارسنجی مدل پیشنهادی برای مسأله تحقیق انجام گردیده است. به‌منظور بررسی صحت و کارایی مدل، مدل ارائه‌شده

با نرم‌افزار گمز حل شده و تحلیل حساسیت بر روی دو پارامتر تأثیرگذار مسأله انجام شده است. درنهایت نتایج مورد انتظار از تغییر پارامتر با نتایج به دست آمده مقایسه گردیده است.

در این مسئله تحقیق، پارامترهای تاثیرگذار شامل حداکثر تعداد منازل تخصیص داده شده به هر وسیله نقلیه و حداکثر مدت زمان مجاز تحویل دارو درب منازل بیماران می‌باشند، که به تفکیک نتایج تحلیل حساسیت برروی این دو پارامتر در جداول ۱ و ۲ آمده است.

جدول ۱. حداکثر تعداد منازل تخصیص داده شده به هر وسیله نقلیه

هزینه کل	تعداد وسایل نقلیه بکارگرفته شده	N	|J|
۹۴۹	۳	٤	۱۰
٦٤۰	۲	٦	۱۰
۱۳۹۲	٤	٤	۱۵
۱۰٤۲	۳	٦	۱۵
۱۷۹۱	۵	٤	۲۰
۱٤٤۸	٤	٦	۲۰

در جدول ۱، تأثیر حداکثر تعداد منازلی که هر وسیله نقلیه می‌تواند برای تحویل دارو مراجعه نماید بررسی شده است. این جدول شامل ستون‌های اندازه مسئله و حداکثر تعداد منازل مشخص شده برای هر وسیله نقلیه، جهت تحویل اقلام دارویی می‌باشد. مدل ارائه شده در این تحقیق، تعداد وسایل نقلیه بکار گرفته‌شده را تعیین می‌نماید، علاوه بر این، در ستون آخر هزینه کل گزارش شده است. در کلیه مثال‌های جدول ۱ با افزایش تعداد منازل از ٤ به ٦، تعداد وسائل نقلیه بکار گرفته شده کاهش یافته و در نتیجه هزینه کل سیستم کاهش می‌یابد. واضح است که این موضوع منطبق بر واقعیت است، چرا که بدون اجرای مدل، نتیجه از قبل مشخص بوده است که با تغییر این پارامتر چه اتفاقی می‌افتد؛ اما باید گفت این مورد یکی از ماهیت‌های تحلیل حساسیت برای دستیابی به درست عمل کردن مدل است. در واقع انتظار می‌رفت برای نمود درست عمل کردن مدل، با افزایش حداکثر تعداد منازل تخصیص داده شده به هر وسیله نقلیه، تعداد وسائل نقلیه بکار گرفته کاهش یابد. بنابراین در قسمت نتایج حل و یافته‌ها هم این تحلیل حساسیت انجام گردید و با توجه به نتایج ارائه شده در این قسمت مشخص است که مدل پیشنهادی درست عمل می‌کند. چرا که اگر ماکزیمم تعداد منازل تخصیص داده شده به هر وسیله نقلیه افزایش یابد، وسایل نقلیه می‌توانند به درب منازل بیماران بیشتری مراجعه نمایند، لذا در کل سیستم تعداد وسائل نقلیه بکارگرفته شده کاهش یافته و این موضوع منجر به کاهش هزینه کل سیستم می‌گردد.

در جدول ۲، تأثیر حداکثر زمان مجاز تحویل دارو، درب منازل بیماران بررسی شده است. این جدول شامل ستون‌های اندازه مسئله و حداکثر زمان تحویل دارو درب منزل بیماران می‌باشد. b_j حداکثر زمان مجاز برای تحویل اقلام دارویی می‌باشد که از توزیع یکنواخت پیروی می‌نماید. در ستون سوم، مدل ارائه شده تعداد وسایل نقلیه بکارگرفته شده جهت ارسال اقلام دارویی را تعیین می‌نماید، همان‌گونه که مشخص است اگر بازه زمانی تحویل دارو درب منازل بیماران محدودتر گردد تعداد وسایل نقلیه بکار گرفته شده و همین‌طور هزینه کل سیستم افزایش خواهد یافت. در جدول ۲ این تحلیل حساسیت انجام گردید و با توجه به نتایج ارائه شده در این قسمت مشخص است که مدل ارائه شده درست عمل می‌کند.

جدول ۲. ماکزیمم زمان مجاز برای تحویل دارو به بیماران

هزینه کل	تعداد وسایل نقلیه به کار گرفته‌شده	b_j	|J|
۷۰۸	۲	U[۱۰۰,۱۲۰]	۱۲
۱۳۵۲	٤	U[۵۰,٦۰]	۱۲
۱۰٤۲	۳	U[۱۰۰,۱۲۰]	۱۵
۱٤۲٦	٤	U[۵۰,٦۰]	۱۵
۱٤٤۸	٤	U[۱۰۰,۱۲۰]	۲۰
۲۱۵٦	٦	U[۵۰,٦۰]	۲۰

به‌منظور ارزیابی الگوریتم فراابتکاری ارائه شده، تعدادی از مسائل در ابعاد کوچک با نرم‌افزار گمز حل شده و نتایج با جواب‌های حاصل شده از الگوریتم فراابتکاری ژنتیک مقایسه شده است. الگوریتم فراابتکاری در مقایسه با نرم‌افزارگمز جواب بهینه یا نزدیک به بهینه ارائه می‌دهد، که حاکی از کارایی بالای الگوریتم فراابتکاری ارائه شده است.

با بزرگتر شدن ابعاد مسأله، زمان لازم برای به دست آوردن جواب بهینه به‌صورت نمایی افزایش می‌یابد و بدین دلیل، در مسائل با ابعاد بزرگ، بکارگیری الگوریتم فراابتکاری ژنتیک موثرتر خواهد بود. نتایج نشان می‌دهند که الگوریتم پیشنهادی از کارایی خوبی برخوردار می‌باشد و قادر است اطلاعات خوبی جهت تصمیمات مسیریابی، در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار دهد.

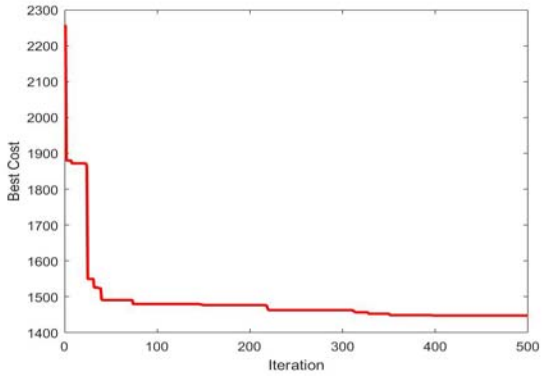
در جدول ۳ نتایج حاصل از اجرای نرم‌افزارگمز و الگوریتم ژنتیک مقایسه شده است، همان‌گونه که در این جدول مشخص است در مسائل با ابعاد کوچک الگوریتم ژنتیک جواب بهینه یا نزدیک به بهینه ارائه می‌دهد. با بزرگ‌تر شدن ابعاد مسئله، زمان لازم برای به دست آوردن جواب بهینه با نرم‌افزار گمز به‌صورت نمایی افزایش می‌یابد و دیگر در مسائل با ابعاد بزرگ، به دست آوردن جواب بهینه با نرم‌افزار گمز امکان‌پذیر نخواهد بود، از این‌رو در مسائل با ابعاد بزرگ، الگوریتم ژنتیک بسیار کاراتر خواهد بود. میانگین نتایج حاصل از ده اجرای الگوریتم ژنتیک و کمترین جواب به دست آمده حاصل از ده اجرا با هم مقایسه شده و گپ ناچیزی بین کمترین هزینه و متوسط هزینه وجود دارد. در شکل ٤ نتایج حاصل از ده اجرای الگوریتم ژنتیک برای مثال‌هایی با ۳۰ و ٤۰ بیمار آمده است.

نتایج حاصل از ده اجرای الگوریتم ژنتیک، نشان‌دهنده پایداری جواب‌های این الگوریتم می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که الگوریتم ژنتیک ارائه شده از کارایی مناسبی برخوردار می‌باشد و قادر است اطلاعات مطلوبی جهت تصمیمات مسیریابی، برای توزیع دارو درب منازل بیماران در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار دهد.

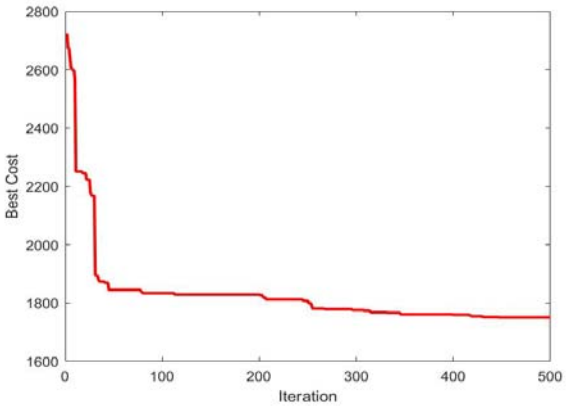
جدول ۳. مقایسه نتایج الگوریتم ژنتیک و نرم‌افزار گمز

الگوریتم ژنتیک			نرم‌افزار GAMS		
زمان اجرا(ثانیه)	متوسط هزینه	کمترین هزینه	زمان اجرا(ثانیه)	هزینه	تعداد بیماران	شماره
۱۱	٦۲۹	٦۲۹	۱۵	٦۲۹	۸	۱
۱۳	٦٤۰	٦٤۰	۱۰	٦٤۰	۱۰	۲
۱۳	۷۱۰	۷۰۸	۸٤۰	۷۰۸	۱۲	۳
۱٤	۱۰٤۳	۱۰٤۲	۳٦۰۰	۱۰٤۲	۱۵	٤
۱٤	۱٤۵۱	۱٤٤۸	۷۰۲۰	۱٤٤۸	۲۰	۵
۱۷	۱۷۵۰	۱۷٤۷	_	_	۳۰	٦
۱۸	۲۳٦٦	۲۳٦۱	_	_	٤۰	۷
۲۱	۲۹۹٦	۲۹۸۲	_	_	۵۰	۸

نتایج حاصل از اجرای الگوریتم ژنتیک برای مثالهای با ابعاد ۲۰ و ۳۰ در شکل های ۲و ۳ نمایش داده شده است.



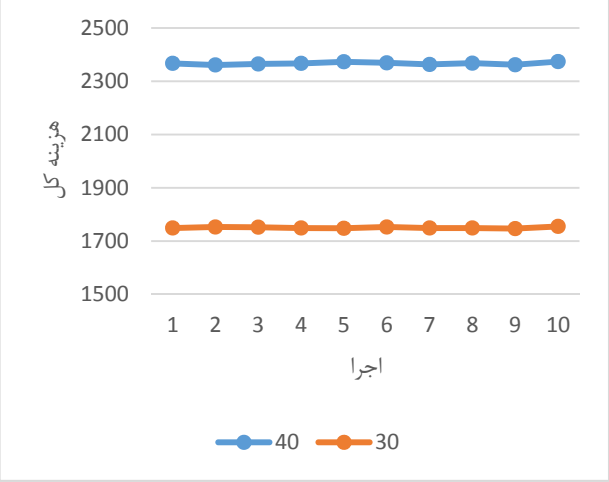
شکل ۲. نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک برای مسئله با ابعاد ۲۰



شکل ۳. نتایج حاصل از الگوریتم ژنتیک برای مسئله با ابعاد ۳۰

۵-نتیجه‌گیری

این تحقیق به مسئله مسیریابی وسایل نقلیه از داروخانه طرف قرارداد با مرکز مراقبت در منزل برای تحویل اقلام دارویی درب منازل بیماران می‌پردازد. مسئله تحویل داروهای موردنیاز بیماران همراه با یک سری محدودیت‌های عملیاتی همراه می‌باشد. در این تحقیق فرض شده است که هر بیمار توسط یک وسیله نقلیه داروی موردنیاز خود را دریافت می‌نماید. از سوی دیگر بایستی کلیه داروها قبل از زمان مشخصی (وابسته به نوع داروهای هر بیمار) به دست بیماران برسد. در این تحقیق، تعادل حجم کاری رانندگان وسایل نقلیه لحاظ گردیده است. مدل ارائه‌شده دراین تحقیق، تعداد وسایل نقلیه بکارگرفته شده، مسیرهای وسایل نقلیه و نیز زمان تحویل دارو به بیماران را تعیین می‌کند. به‌منظور حل مدل پیشنهادی، از نرم‌افزار بهینه‌سازی گمز استفاده شده است، ازآنجاکه به دست آوردن جواب بهینه با نرم‌افزار گمز در زمان مناسب برای ابعاد بزرگ امکانپذیر نیست، لذا برای مثال‌های با ابعاد بزرگ الگوریتم ژنتیک پیشنهاد شده است. نتایج محاسباتی نشان می‌دهد که مدل ارائه شده و الگوریتم پیشنهادی می‌تواند جهت تصمیم‌گیری بهینه برای توزیع اقلام دارویی درب منازل بیماران بکارگرفته شود.



شکل ٤. نتایج حاصل از ده اجرای الگوریتم ژنتیک برای مسائل با ابعاد ۳۰ و ٤۰ بیمار

٦-مراجع

قصیری، ک. و قنادپور، س.ف. (۱۳۸۷). مساله مسیریابی وسایل نقلیه همراه با پنجره زمانی با استفاده از الگوریتم ژنتیک، ششمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی صنایع، *تهران، انجمن مهندسی صنایع ایران*، دانشگاه صنعتی شریف.

-Braekers, K., Ramaekers, K., & Van Nieuwenhuyse, I. (2016). The vehicle routing problem: State of the art classification and review. *Computers & industrial engineering*, *99*, 300-313. **doi.org/10.1016/j.cie.2015.12.007.**

-Cissé, M., Yalçındağ, S., Kergosien, Y., Şahin, E., Lenté, C., & Matta, A. (2017). OR problems related to Home Health Care: A review of relevant routing and scheduling problems. *Operations research for health care*, *13*, 1-22. **doi.org/10.1016/j.orhc.2017.06.001**

-Di Mascolo, M., Espinouse, M. L., & El Hajri, Z. (2017). Planning in home health care structures: A literature review. *IFAC-PapersOnLine*, *50*(1), 4654-4659. **doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.689**

vehicle routing problem: past and future trends. *Expert systems with applications*, *41*(4), 1118-1138. **doi.org/10.1016/j.eswa.2013.07.107**

-World Health Organization. (2021). *Decade of healthy ageing: baseline report*. World Health Organization.

-Taş, D., Dellaert, N., Van Woensel, T., & De Kok, T. (2013). Vehicle routing problem with stochastic travel times including soft time windows and service costs. *Computers & Operations Research*, *40*(1), 214-224. **doi.org/10.1016/j.cor.2012.06.008**

-Toth, P., & Vigo, D. (Eds.). (2002). *The vehicle routing problem*. Society for Industrial and Applied Mathematics.

Toth, P., & Vigo, D. (Eds.). (2014). *Vehicle routing: problems, methods, and applications*. Society for industrial and applied mathematics.

-Di Mascolo, M., Martinez, C., & Espinouse, M. L. (2021). Routing and scheduling in home health care: A literature survey and bibliometric analysis. *Computers & Industrial Engineering*, *158*, 107255. **doi.org/10.1016/j.cie.2021.107255**

-Elshaer, R., & Awad, H. (2020). A taxonomic review of metaheuristic algorithms for solving the vehicle routing problem and its variants. *Computers & IndustrialEngineering*, *140*,106242.**doi.org/ 10.1016/j.cie.2019.106242**

-Fikar, C., & Hirsch, P. (2017). Home health care routing and scheduling: A review. *Computers & Operations Research*, *77*, 86-95. **doi.org/10.1016/j.cor.2016.07.019**

-Laporte, G. (2009). Fifty years of vehicle routing. *Transportation science*, *43*(4), 408-416.**doi.org/10.1287/trsc.1090.0301**

-Lin, C., Choy, K. L., Ho, G. T., Chung, S. H., & Lam, H. Y. (2014). Survey of green

Transport System Planning For Medication Distribution at Patients' Homes

Elham Samadpour, Ph.D., School of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

Rouzbeh Ghousi, Associate Professor, School of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

Ahmad Makui, Professor, School of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

Mehdi Heydari, Associate Professor, School of Industrial Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran, Iran.

E-mail: ghousi@iust.ac.ir

Received: June 2023- Accepted: November 2023

ABSTRACT

The vehicle routing problem (VRP) is one of the most well-known optimization problems. It has been the focus of extensive research on transportation systems planning in recent decades. The present aims to investigate the problem of routing vehicles from the pharmacy for the delivery of drugs at patients' homes. The problem of delivery of drugs required by patients is accompanied by a series of operational limitations. It is assumed that each patient receives drugs through a vehicle, and also drugs must reach the patients' homes before a certain time. To balance the workload of drivers, the maximum number of homes that each vehicle can go to deliver medicines is predetermined. The presented model determines the number of vehicles, the routes of the vehicles and also the time at which drugs are delivered at each patient' home. To solve the proposed model, in addition to GAMS optimization software, a genetic algorithm is proposed for large-scale instances. The computational results demonstrate that the proposed model can be used to make optimal decisions on the distribution of drugs from pharmacies to patients' homes.

Keywords: Medication Distribution, Home Healthcare, Vehicle Routing Problem, Genetic Algorithm