



فصلنامه علمی
اقتصاد و مدیریت شهری

فصلنامه علمی اقتصاد و مدیریت شهری، ۱۰(۲(پیاپی ۳۸))، ۱۶-۱

www.iueam.ir

نمایه در JSC, EconLit, Econbiz, EBZ, GateWay-Bayern, SID, Google Scholar, Noormags, Magiran,

Civilica, RICEST, Ensani

شاپا: ۲۸۷۰-۲۳۴۵

ارائه یک الگوریتم ژنتیک جهت حل مسئله جهت‌یابی با افق زمانی وابسته به منظور بهینه‌سازی مسائل حمل‌ونقل شهری

مهدی جعفریان*

عزیزاله جعفری

رامین صادقیان

دکتری رشته مهندسی صنایع، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران

دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه علم و فرهنگ، تهران، ایران

دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران

نوع مقاله: پژوهشی

دریافت: ۱۳۹۷/۰۴/۰۳ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۲/۰۷

چکیده: مسئله جهت‌یابی گونه‌ای از مسائل کلاسیک حوزه حمل‌ونقل قلمداد می‌شود که هدف آن، یافتن بهترین مسیر جهت بازدید مجموعه‌ای از رئوس مفروض می‌باشد، مشروط بر آن که طول مسیر از یک افق زمانی مشخص بیشتر نشود. از زمان پیدایش این مسئله، پژوهشگران متعددی با بهره‌گیری از ساختار خاص آن، اقدام به مدل‌سازی و حل مسائل متنوعی در حوزه‌های مختلف از جمله موضوعات و مشکلات حوزه حمل‌ونقل شهری کرده‌اند. به دلیل ماهیت NP-Hard مسئله، در این مقاله الگوریتم ژنتیک با درجه تصادفی بسیار بالا برای حل گونه‌ای جدید از این مسئله با عنوان مسئله جهت‌یابی با افق زمانی وابسته ارائه شده است. الگوریتم ژنتیک پیشنهادی از دو عملگر ترکیب و تلفیق و دو عملگر جهش استفاده کرده است که در این مقاله جهت نشان دادن همگرایی آن، بهترین جواب‌های موجود در ادبیات برای ۴۰ مثال استاندارد مسئله جهت‌یابی، ملاک عمل قرار گرفته است؛ بدین صورت که جواب‌های حاصل از حل این مثال‌ها با استفاده از الگوریتم پیشنهادی با آن‌ها مقایسه شده است و به دلیل عملکرد مطلوب الگوریتم، الگوریتم مذکور برای حل مسئله جهت‌یابی با افق زمانی وابسته به‌کار گرفته شده است.

واژگان کلیدی: حمل‌ونقل شهری، بهینه‌سازی ریاضی، مسئله جهت‌یابی، الگوریتم ژنتیک

* نویسنده مسئول: jafarian@student.pnu.ac.ir

۱- مقدمه

موضوع سفر و حمل و نقل درون شهری، همواره یکی از مهمترین دغدغه‌های حوزه مدیریت شهری بوده و پیشرفت و توسعه روزافزون و پویای شهرها به‌ویژه در کلان‌شهرهایی همچون تهران، پیچیدگی‌های مسائل مرتبط در این حوزه را به میزان قابل توجهی افزایش داده است. در شرایط عادی و غیربحرانی، تنها برای شهر تهران، در سال ۱۳۹۹ با جمعیتی حدود ۹ میلیون نفر، حدود ۱۹/۳ میلیون سفر به صورت روزانه به ثبت رسیده است (گزیده آمار و اطلاعات حمل و نقل شهری تهران، ۱۳۹۹) و طبیعتاً این میزان سفر با توجه به گسترش جمعیتی و فیزیکی شهر در سال‌های اخیر و آتی، با افزایش قابل ملاحظه‌ای روبه‌رو بوده و خواهد بود. از آنجایی که آمارها عموماً به صورت میانگین اعلام می‌شوند، بدیهی است مدیران شهری در برخی از ایام سال نیازمند مدیریت سفرهایی به مراتب بیش از مقدار اعلام شده می‌باشند. در چنین شرایطی، بدیهی است اتخاذ تصمیمات مناسب و بهینه، چه برای سیاست‌گذاران و مدیران شهری، چه برای برنامه‌ریزان بخش‌های مرتبط (نظیر شرکت‌های فعال در بخش حمل و نقل عمومی و خصوصی، شرکت‌های توزیع، شرکت‌های خدمات شهری و ...) و چه برای مسافران از ابعاد مختلفی؛ نظیر ابعاد هزینه‌ای و اقتصادی، سطح آلودگی و مضرات زیست‌محیطی و احتمال بروز انواع ریسک‌ها در شرایط بحرانی، از اهمیت به‌سزایی برخوردار می‌باشد. برای مثال در پژوهشی که در سال ۲۰۱۰ انجام شده است، سهم بخش حمل و نقل در تولید گازهای گلخانه‌ای ۱۵ درصد و در تولید CO₂ ۲۳ درصد اعلام شده است که این میزان انتشار گاز CO₂ در سال ۲۰۰۷ در مقایسه با سال ۱۹۹۰ حدود ۴۵ درصد افزایش داشته و پیش‌بینی می‌شود تا سال ۲۰۳۰ حدود ۴۰ درصد دیگر نیز افزایش داشته باشد (Leipzig, 2010) و این بخش در آلودگی شهر تهران از سهمی ۸۸ درصدی برخوردار است (آریانفر و همکاران، ۱۳۹۳)؛ لذا

به‌کارگیری ابزارهای مناسب تصمیم‌گیری در حوزه حمل و نقل نقش به‌سزایی در ارتقای سطح کیفیت شهر از ابعاد مختلف ایفا خواهد نمود (Chen et al., 2019).

با توجه به تغییرات مستمر پارامترهای مؤثر بر تصمیم‌گیری و نیز وجود پارامترهای ناشناخته و غیرقابل کنترل؛ نظیر تغییرات شدید اقلیمی یا بروز بحران‌های مختلف شهری، لازم است مدل‌ها و ابزارهای تصمیم‌گیری از انعطاف و انطباق کافی جهت مواجهه با این تغییرات برخوردار باشند (Richter & Stiller, 2016). برای مثال در برنامه‌ریزی برای امدادسانی به حادثه‌دیدگان یک زلزله در ناحیه خاصی از شهر، یک تیم امدادی در یک افق زمانی سه ساعته برای رجوع و خدمت‌رسانی به پنج نقطه حادثه‌دیده، تجهیز و مسیری بدین منظور تعیین شده است، اما موارد متعددی از جمله خرابی یا مسدود شدن خیابان‌ها، وخامت وضعیت حادثه‌دیدگان در یک نقطه خاص، وقوع بحران‌های ثانویه نظیر آتش‌سوزی‌ها و ... ایجاب می‌نماید که درخصوص مسیر اولیه تجدیدنظر گردد. لذا در بسیاری از تصمیمات حمل و نقل شهری ضروری است چنین شرایطی مدنظر قرار گیرد.

لازم به ذکر است در حوزه تحقیق در عملیات به‌عنوان یکی از معروف‌ترین و پراستفاده‌ترین ابزارهای تصمیم‌گیری مدیریتی (Vinoba & Kavitha, 2015)، توجه بسیار ویژه‌ای به مقوله حمل و نقل شده و تحقیقات بسیار گسترده‌ای به ارائه مدل‌های بهینه‌سازی برای انواع مسائل حمل و نقل، تحت عناوین مختلفی پرداخته‌اند. در این میان پژوهشگران متعددی، مسائل حمل و نقل را در قالب مسئله مسیریابی^۱ مدل‌سازی نموده و با در نظر گرفتن شرایط حاکم بر مسئله و به منظور افزایش قابلیت کاربردپذیری پژوهش‌ها، مدل‌های تحقیق در عملیاتی موجود را توسعه داده و زیرمجموعه‌های جدیدی برای مسئله مسیریابی به‌وجود آورده‌اند که در این میان مسئله

جهت‌یابی^۱ (OP) به جهت ویژگی‌های خاص ساختاری آن از تناسب بیشتری در هنگام مواجهه با پارامترهای غیرثابت برخوردار است.

هدف این مقاله حل حالت خاصی از مسائل حوزه حمل‌ونقل شهری است که در آن تصمیم‌گیران به دنبال تعیین مسیری بهینه برای بازدید از نقاط مختلف شهری جهت بازدید در یک افق زمانی می‌باشند، با این تفاوت که افق زمانی مسئله دیگر مقداری ثابت نبوده و متناسب با شرایط حاکم بر مسئله دستخوش تغییرات می‌شود. این مسئله در سال ۱۳۹۷ توسط جعفریان و همکاران با عنوان مسئله جهت‌یابی با افق زمانی وابسته^۲ (OPDTH)، معرفی و مدل‌سازی شده و با استفاده از روشی ابتکاری برای تعدادی مسئله تصادفی کوچک حل شده است. در مسئله مذکور فرض بر این است بین افق زمانی (زمان در دسترس) و وقایع، اتفاقات و شرایط به‌وجود آمده حین بازدید هر یک از رئوس، وابستگی وجود داشته و این وابستگی از طریق تعریف ضربی تحت عنوان ضریب تعدیل افق زمانی در مسئله لحاظ می‌شود. با توجه به عدم کارایی روش ابتکاری پیشنهادی برای حل این مسئله در ابعاد متوسط و بزرگ، در این مقاله روشی فراابتکاری مبتنی بر الگوریتم ژنتیک ارائه شده است. لذا این دو مقاله با وجود تشابه در مسئله مورد بررسی، از منظرهای ذیل با یکدیگر تفاوت‌های اساسی دارند:

ابعاد مسئله: در مقاله جعفریان و همکاران (۱۳۹۷)، ۸۵ مسئله تصادفی در ۷ دسته تولید و حل شده است که حداکثر ۱۱ رأس برای این مسائل در نظر گرفته شده است؛ حال آنکه در مقاله حاضر ۴۰ مسئله استاندارد جهت‌یابی مدنظر قرار گرفته که دارای ۶۴ یا ۶۶ رأس می‌باشند و با توجه به ماهیت NP-Hard بودن مسئله، حل مسئله در این ابعاد دارای اهمیت تحقیقاتی می‌باشد.

الگوریتم حل: الگوریتم به‌کار گرفته شده در مقاله جعفریان و همکاران (۱۳۹۷) برای حل مسئله در ابعاد مسائل بزرگ از کارایی کافی برخوردار نبوده؛ از این رو در مقاله حاضر یک الگوریتم ژنتیک سریع با درجه تصادفی بسیار بالا برای حل مسائل سایز بزرگ ارائه شده است.

۲- پیشینه تحقیق

الف) پژوهش‌های خارجی

کرش‌استاین و بیرویت^۳ (۲۰۱۸)، سان^۴ و همکاران (۲۰۱۸) و اوستروفسکی^۵ و همکاران (۲۰۱۷) به مدل‌سازی و حل مسئله OP با پنجره زمانی^۶ (OPTW) پرداخته‌اند که در آن الزاماً بازدید هر رأسی مانند i باید در یک بازه زمانی مانند $[si, fi]$ صورت پذیرد. بدیهی است این بازه‌های زمانی که در ابتدای زمان برنامه‌ریزی سفر مشخص می‌شوند اساساً نمی‌توانند کل زمان در دسترس برای سفر (افق زمانی) را تحت‌تأثیر قرار دهند. لیاو و ژنگ^۷ (۲۰۱۸)، واراکنثام^۸ و همکاران (۲۰۱۸) و اوستروفسکی (۲۰۱۷) گونه‌ی دیگری از OP به نام مسئله جهت‌یابی وابسته به زمان^۹ (TDOP) را مورد مطالعه قرار دادند که در آن مدت زمان سفر بین دو رأس به زمان شروع سفر بستگی دارد. این وابستگی ناشی از عوامل مختلفی؛ از جمله ترافیک و تراکم مسیر می‌باشد که شروع سفر در ساعت‌های مختلف منجر به تغییر زمان لازم جهت طی مسیر بین دو نقطه می‌شود؛ اما در هر صورت طول مسیر پیشنهادی مدل باید کوتاه‌تر از افق زمانی باشد؛ زیرا در غیر این صورت مدل یک جواب نشدنی ایجاد کرده است.

کاربوسکا و چوسیچ^{۱۰} (۲۰۱۸) و کوتیل‌وکلو^{۱۱} و همکاران (۲۰۱۷) برای مسئله جهت‌یابی به جای یک

3- Kirschstein and Bierwirth

4- Sun

5- Ostrowski

6- Orienteering Problem with Time Window

7- Liao and Zheng

8- Varakantham

9- Time-Dependent Orienteering Problem

10- Karbowska-Chilinska and Chociej

11- Kotiloglu

1- Orienteering Problems

2- Orienteering Problems with Dependent Time Horizon

افق زمانی، چند افق زمانی در نظر گرفته‌اند. برای مثال افق زمانی یک هفته برای یک گردشگر، به هفت افق زمانی هشت ساعته خرد شده و مدل برای هر هشت ساعت، یک مسیر بازدید پیشنهادی ارائه می‌نماید؛ اما در هر صورت کل افق زمانی و همچنین افق‌های زمانی کوتاه‌تر ثابت بوده و در ابتدای زمان برنامه‌ریزی مشخص می‌شوند.

ژانگ^۱ و همکاران (۲۰۱۸)، مسئله جهت‌یابی را با زمان‌های سفر و خدمت‌دهی تصادفی در نظر گرفته‌اند. با وجود شرایط تصادفی حاکم بر چنین مسائلی در نهایت طول مسیر پیشنهادی مدل باید کمتر از یک افق زمانی قطعی باشد که در ابتدای زمانی برنامه‌ریزی سفر مشخص شده است.

ب) پژوهش‌های داخلی

بشیری و کریمی^۲ (۲۰۱۸) در تحقیقی، مسئله جهت‌یابی را به صورت دو هدفه مدل‌سازی نموده‌اند. این مسئله با استفاده از یک روش ترکیبی فراابتکاری حل شده است. در مسائل خانواده جهت‌یابی افق زمانی همواره دارای مقداری ثابت و از قبل مشخص می‌باشد؛ در حالی که شرایطی را در دنیای واقعی می‌توان متصور کرد که این مقدار دیگر مقداری ثابت نبوده و با توجه به شرایط مسئله تغییر نماید.

جعفریان و همکاران (۱۳۹۷)، در مقاله‌ای با برقراری ارتباطی فیما بین مقدار افق زمانی و شرایط به‌وجود آمده حین بازدید یک رأس، اولین نوع از این دسته از مسائل را تحت عنوان مسئله جهت‌یابی با افق زمانی وابسته مطالعه کردند. در این مقاله، یک روش ابتکاری مبتنی بر مفاهیم حریصانه ارائه شد که علی‌رغم عملکرد مناسب برای مسائل در ابعاد کوچک، از سرعت حل مناسبی برخوردار نبوده و روشی کارا برای حل مسائل در ابعاد متوسط و بزرگ قلمداد نمی‌شود.

کشتکاران^۳ و همکاران (۲۰۱۶)، یک روش ابتکاری حریصانه جدید برای حل مسئله ارائه نموده‌اند که ۱۷ درصد بهبود در مقادیر جواب‌های مسائل استاندارد را به همراه داشته است. آنها برای مسئله جهت‌یابی در حالت تیمی، روشی دقیق مبتنی بر روش انشعاب و قیمت، ارائه شده است.

عزیزی و همکاران (۱۳۹۴)، در مقاله‌ای به منظور طراحی سفرهای برون‌شهری شخصی از ساختار مسئله جهت‌یابی وابسته به زمان استفاده نمودند و این مسئله را با استفاده از یک الگوریتم وراثتی حل کردند. در این مطالعه، مدل‌سازی فعالیت‌های شخصی، طراحی سفر با هدف بهینه‌سازی زمان سفر و ارزیابی چارچوب، پیشنهاد شده است. به منظور ارزیابی چارچوب پیشنهادی، مجموعه داده‌های جداول زمانی شبکه‌های حمل‌ونقل ۱۵ مرکز استان ایران برای سه شبکه حمل‌ونقل هواپیما، اتوبوس و قطار برای سفر بین شهرهای مدنظر جمع‌آوری شد و چارچوب پیشنهادی برای ۵۰ سفر با نقاط اولیه، زمان شروع و مدت زمان سفر، متفاوت ارزیابی شده است که به طور میانگین دارای خطای نسبی ۵/۲ درصد است. بهلول و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای، مسئله فروشنده دوره‌گرد سودده که نوعی از مسئله جهت‌یابی می‌باشد، با استفاده از الگوریتم تقریبی چندمعیاره هم‌زمان حل کردند. در این تحقیق طرح تقریبی برای برنامه‌ریزی صحیح و غیرصحیح دومعیاره مطرح شد. در روال‌های روش پیشنهادی، یک زیرمجموعه از نقاط مؤثر محاسبه و این نقاط مؤثر توسط هر دو معیار بررسی می‌گردد. نتایج نشان دادند که هم حل زیرمسئله‌ها و هم تعداد نقاط کارا با روش چندجمله‌ای و با ورودی اندازه مسئله و خطاهای مجاز دوجانبه انجام می‌گیرد.

در پژوهشی در سال ۲۰۱۱، مسئله برنامه‌ریزی تور وابسته به زمان، در محیط‌های پیچیده و بزرگ شهری که در ذیل مسائل جهت‌یابی قرار می‌گیرد، مدل‌سازی و حل شده است (Abbaspour & Samadzadegan, 2011).

1- Zhang

2- Karimi and Bashiri

3- Keshtkaran

۳- مبانی نظری

از زمان پیدایش مفهوم مسیرها و دورهای همیلتونی^۱ توسط ویلیام رومن همیلتون^۱ در اواسط قرن هجدهم میلادی، مسائل بسیار زیادی از جمله مسئله فروشنده دوره‌گرد^۲ (TSP) منطبق بر این مفهوم مدل‌سازی و حل شده‌اند. با پیشرفت علوم و فناوری و نیازهای جدیدتر انسان، گونه‌های خاص از مسئله TSP مطرح گردید که تطابق بیشتری با دنیای واقعی داشت. مسئله جهت‌یابی، از حالت‌های خاص مسئله فروشنده دوره‌گرد می‌باشد که تحت عناوین مختلفی از جمله مسئله فروشنده دوره‌گرد با سود^۳، مسئله فروشنده دوره‌گرد انتخابی^۴، مسئله طراحی مسیر گردشگر و مسئله فروشنده دوره‌گرد با زمان محدود^۵ در ادبیات شناخته می‌شود. در این مسئله تعدادی رأس با امتیاز مشخص موجود بوده و هدف، یافتن یک مسیر در یک افق زمانی محدود (یا با طول محدود) با گذر از برخی رئوس و حداکثر کردن مجموع امتیازات جمع‌آوری شده می‌باشد (Gunawan et al., 2016; Vansteenwegen et al., 2011).

مطابق با تعاریف کلاسیک موجود درخصوص مسئله جهت‌یابی، دو معیار امتیاز جمع‌آوری شده و هزینه/زمان سفر به‌عنوان معیارهای اصلی در بهینه‌سازی اینگونه مسائل وجود دارد که یا به صورت تابع هدف یا به صورت محدودیت در مدل‌ها ظاهر می‌شوند. بر این اساس سه مسئله به شرح ذیل وجود خواهد داشت (Feillet et al., 2005):

■ **مسئله تور سودآور^۶**: در این مسئله هر دو معیار فوق‌الذکر در قالب یک تابع هدف به‌کار گرفته شده و تابع هدف به‌صورت جمع کل هزینه منهای جمع کل سود جمع‌آوری شده دسته‌بندی می‌شوند. نام‌گذاری این

مسئله توسط دلامیکو^۷ و همکارانش در سال ۱۹۹۵ انجام شده است که البته این دسته از مسائل در ادبیات تواتر بالایی ندارند.

■ **مسئله جهت‌یابی**: در این دسته از مسائل، معیار هزینه/زمان سفر به‌عنوان محدودیت مدنظر قرار گرفته و هدف، یافتن بهترین تور/مسیری است که امتیاز حاصل از بازدید رئوس را حداکثر کند. شایان ذکر است در بیشتر پژوهش‌های انجام شده در این زمینه نقطه مبدأ و مقصد با یکدیگر متفاوت می‌باشد. در هر صورت این موضوع نکته چندان مهمی نبوده و با اضافه کردن یک کمان فرضی بین نقطه پایان و نقطه شروع پس از حل مسئله مرتفع می‌گردد.

■ **مسئله فروشنده دوره‌گرد امتیازآور^۸**: در این دسته از مسائل، معیار امتیاز جمع‌آوری شده به‌عنوان محدودیت مدنظر قرار گرفته و هدف، یافتن بهترین تور/مسیری است که هزینه/زمان سفر حاصل از بازدید رئوس را کاهش دهد. این نام‌گذاری توسط بالاس^۹ در سال ۱۹۸۹ صورت گرفته است.

عمدتاً در پژوهش‌های مربوط به مسئله جهت‌یابی، افق زمانی به‌عنوان مهمترین وجه تمایز این مسائل با سایر مسائل خانواده مسیریابی، دارای مقداری ثابت و از قبل مشخص بوده و کمتر برای آن حالت خاصی در نظر گرفته شده است (Gunawan et al., 2016; Vansteenwegen et al., 2011). این موضوع سرآغاز یک شاخه مهم از نوآوری برای مسئله جهت‌یابی قلمداد می‌شود؛ زیرا شرایط مختلف و متعددی را می‌توان تصور کرد که در آن‌ها افق زمانی دیگر، مقداری ثابت و از قبل مشخصی نداشته و متناسب با شرایط مسئله دچار تغییر و تحول خواهد شد و متعاقباً ساختار مسئله را به جهت تغییر در فضای جواب (به جهت تغییر مقدار سمت راست یک محدودیت مؤثر) تحت‌تأثیر جدی قرار خواهد داد؛ لذا در این مقاله مدل‌سازی و حل مسئله جهت‌یابی

7- Dell'Amico

8- Prize Collecting Traveling Salesman Problem

9- Balas

1- William Rowan Hamilton

2- Travelling Salesman (or Salesperson) Problem

3- Traveling Salesman Problems with Profits

4- Selective Traveling Salesman Problem

5- Time-Constrained Traveling Salesman Problem

6- Profitable Tour Problem

با افق زمانی غیر ثابت که در آن بین افق زمانی (زمان در دسترس) و وقایع، اتفاقات و شرایط به وجود آمده حین بازدید هر یک از رئوس، وابستگی وجود دارد، مدنظر قرار گرفته است. این وابستگی جهت ساده سازی، با استفاده از ضرایبی تحت عنوان ضرایب تعدیل افق زمانی که به نوعی تفسیری عملیاتی از ریسک بازدید هر رأس می باشد، در مسئله لحاظ شده است. بنابراین در مقاله حاضر به تبعیت از ساختار توسعه ادبیات مرتبط، معرفی یک گونه جدید از مسئله جهت یابی تحت عنوان مسئله جهت یابی با افق زمانی وابسته (OPDTH) و حل آن مدنظر قرار گرفته است.

روابط ریاضیاتی مسئله جهت یابی با افق زمانی وابسته به شرح زیر می باشد:

در یک مسئله پایه جهت یابی، مجموعه ای از رئوس به صورت $V=1,2,\dots,v$ مفروض اند؛ به گونه ای که هر کدام دارای امتیاز S_i می باشند. نقطه شروع (رأس ۱) و نقطه پایان (رأس v) ثابت و معلوم بوده و زمان سفر t_{ij} برای سفر از رأس i به رأس j نیز برای تمام رئوس معلوم است. همچنین فرض بر این است که هر رأس تنها یک بار بازدید شود. بر این اساس مدل پایه این مسئله به شرح ذیل می باشد (Gunawan et al., 2016; Vansteenwegen et al., 2011):

$$\text{Max} \sum_{i=2}^{N-1} \sum_{j=2}^N S_i \times x_{ij} \quad (1)$$

$$\sum_{j=2}^N x_{1j} = \sum_{i=1}^{N-1} x_{iN} = 1, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{N-1} x_{ik} = \sum_{j=2}^N x_{kj} \leq 1; \quad \forall k = 2, \dots, N-1, \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=2}^N t_{ij} \times x_{ij} \leq T_{\max}, \quad (4)$$

$$2 \leq u_i \leq N; \quad \forall i = 2, \dots, N, \quad (5)$$

$$u_i - u_j + 1 \leq (N-1)(1 - x_{ij}); \quad \forall i, j = 2, \dots, N, \quad (6)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}; \quad \forall i, j = 1, \dots, N. \quad (7)$$

که در آن $x_{ij}=1$ در صورتی که بازدید رأس j از پس از بازدید رأس i صورت پذیرد و در غیر این صورت مقدار آن صفر است. همچنین u_i موقعیت ترتیبی رأس i ام در مسیر است. تابع هدف مربوط به حداکثر کردن

مجموع امتیازات جمع آوری شده (حاصل از بازدیدها) بوده و محدودیت اول شروع مسیر از رأس ۱ و اتمام آن در رأس N را تضمین می کند. محدودیت دوم به منظور اطمینان از متصل بودن مسیر و اطمینان از بازدید حداکثر یک بار هر رأس به مدل اضافه شده است. محدودیت سوم بیانگر محدودیت افق زمانی بوده و محدودیت چهارم و پنجم نیز مربوط به حذف زیر تور با استفاده از فرمول بندی میلر-تاکر-زملین^۱ می باشد.

طبق تعریف جعفریان و همکاران (۱۳۹۷) OPDTH، ساختاری تکرارشونده از مسئله OP خواهد بود بدین صورت که پس از هر بازدید عملاً سه تغییر اساسی زیر بروز خواهد کرد که تغییر ساختار کلی مسئله جهت یابی مفروض را به دنبال خواهد شد:

- مقدار افق زمانی متناسب با مقدار ضریب تعدیل رأس بازدید شده تغییر کرده و منجر به تغییر مقدار سمت راست محدودیت منابع مسئله می شود.
- مبدأ جدیدی برای مسئله ایجاد می شود.
- مجموعه رئوس موجود جهت بازدید تغییر می نماید.

بنابراین پس از هر مرحله از بازدید، یک مسئله جدید به وجود می آید که این مسئله جدید در قالب روابط (۱) تا (۷) مدل سازی می شود؛ اما با رأس جدید، افق زمانی جدید و مجموعه رئوس بازدید نشده جدید.

مسئله جهت یابی یک مسئله NP-hard می باشد؛ بدین معنا که الگوریتمی با زمان چند جمله ای برای حل بهینه آن طراحی نشده و به احتمال بسیار زیاد نیز چنین الگوریتمی برای آن طراحی نخواهد شد. بر این اساس روش های حل دقیق این مسئله بسیار زمان بر بوده و کاربردی تر آن است که روش های ابتکاری و فراابتکاری در این خصوص به کار گرفته شود (Vansteenwegen et al., 2011). لذا با توجه به NP-hard بودن مسئله جهت یابی (OP)، مسئله جهت یابی با افق زمانی وابسته (OPDTH) نیز به عنوان زیرمجموعه ای از مسئله

۴- روش تحقیق

این پژوهش از نظر روش انجام، نظری و کاربردی قلمداد می‌گردد. در این پژوهش الگوریتم ژنتیکی با دو عملگر ترکیب و تلفیق و دو عملگر جهش، جهت حل مسئله OPDTH طراحی شده است که در این بخش ابتدا جزئیات الگوریتم مذکور تشریح شده است. شکل ۱ نشان‌دهنده کلیات این الگوریتم به صورت شماتیک می‌باشد. الگوریتم ژنتیک پیشنهادی این مقاله نیز مانند سایر الگوریتم‌های ژنتیک دارای اجزای استاندارد؛ از جمله نحوه توصیف کروموزومی جواب‌ها، تابع برازندگی، عملگر انتخاب، روش تولید جمعیت اولیه، عملگر ترکیب و تلفیق و عملگر جهش می‌باشد که در ادامه جزئیات هر یک از آن‌ها برای الگوریتم ژنتیک پیشنهادی ارائه می‌شود.

الف) توصیف کروموزومی جواب‌ها: اولین گام در پایه‌گذاری یک الگوریتم ژنتیک تصمیم‌گیری در خصوص نحوه تبدیل جواب‌های مسئله به کروموزوم می‌باشد. هینتردینگ^۴ در سال ۱۹۹۴ دو نوع نمایش کروموزومی برای مسئله کوله‌پشتی تحت عناوین مبتنی‌بر انتخاب و مبتنی‌بر ترتیب ارائه نموده است. عمده‌تأ مقالاتی که از الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله جهت‌یابی بهره گرفته‌اند، از روش مبتنی‌بر ترتیب جهت نمایش کروموزومی جواب‌های مسئله استفاده کرده‌اند. در این روش که در این مقاله نیز برای مسئله OPDTH مورد استفاده قرار گرفته است، ترتیب ارائه شده در یک مسیر عیناً برای نمایش کروموزوم‌ها در نظر گرفته می‌شود. برای مثال کروموزوم زیر بیانگر مسیر ۱-۶-۸-۵-۹-۱۰-۳-۲۱ می‌باشد (رأس ۱، مبدأ و رأس ۲۱، مقصد).

کروموزوم	1	6	8	5	9	10	3	21
----------	---	---	---	---	---	----	---	----

ب) تابع برازندگی: در مقاله حاضر، مجموع امتیازات حاصل از بازدید رئوس که همان تابع هدف مسئله OP می‌باشد، به‌عنوان تابع برازندگی در نظر گرفته شده است.

جهت‌یابی، NP-hard خواهد بود. بر این اساس با پذیرش اهمیت و ضرورت انجام تحقیقات در خصوص ارائه روش‌های حل ابتکاری و فراابتکاری برای مسائل جهت‌یابی و زیرمجموعه‌های آن، در این مقاله از الگوریتم ژنتیک جهت حل مسئله جهت‌یابی با افق زمانی وابسته (OPDTH) استفاده شده است.

الگوریتم ژنتیک در سال ۱۹۷۵ توسط هولند^۱ معرفی شده است. این الگوریتم، یکی از تکنیک‌های هوش مصنوعی و ابزار بسیار مناسبی در حل مسائل بهینه‌سازی می‌باشد (Lee, 2018). این الگوریتم که در ارتباط تنگاتنگ با جست‌وجوی محلی می‌باشد، با ساخت یک جمعیت اولیه آغاز شده و در ادامه با ترکیب و تلفیق اعضای جمعیت مذکور یا جهت دادن برخی از این اعضا، جمعیتی جدید تولید نموده و از بین آن‌ها بهترین‌ها با توجه به تابع برازندگی انتخاب و جهت تولید نسل بعدی به‌کار گرفته می‌شود. این الگوریتم در سال ۱۹۸۵ برای اولین توسط بردلی^۲ برای حل مسئله فروشنده دوره‌گرد استفاده شد (Scholz, 2019).

از آن زمان تاکنون این الگوریتم برای حل انواع مسائل فروشنده دوره‌گرد از جمله مسئله جهت‌یابی به طور وسیعی مورد استفاده قرار گرفته و همچنان نیز توسط پژوهشگران به‌کار گرفته می‌شود. از این رو در این مقاله نیز به منظور بهره‌مندی از قابلیت‌های الگوریتم ژنتیک، این الگوریتم جهت حل مسئله جهت‌یابی با افق زمانی وابسته (OPDTH) مدنظر قرار گرفته است. لازم به ذکر است تاسگتیرن و اسمیت^۳ برای اولین بار در سال ۲۰۰۰ برای حل مسئله جهت‌یابی از الگوریتم ژنتیک استفاده نموده‌اند

- 1- Holland
- 2- Brady
- 3- Tasgetiren and Smith

4- Hinterding

ج) عملگر انتخاب^۱: عملگر انتخاب، اولین عملگری است که باید در الگوریتم ژنتیک طراحی شود. درجه همگرایی الگوریتم به مکانیزم به کار گرفته شده در این عملگر وابسته است. (Dutta et al., 2015) در این مقاله، عملگر رولت ویل^۲ به عنوان عملگر انتخاب مورد استفاده قرار گرفته است که در این روش برای هر کروموزومی مانند i ، بر اساس مقدار تابع برازندگی آن (f_i)، احتمالی به میزان p_i مطابق با فرمول زیر به آن تخصیص داده می شود و بدین صورت، کروموزوم های دارای تابع برازندگی بیشتر، از شانس انتخاب بالاتری برخوردار خواهند بود. N تعداد کل رئوس موجود در مسئله می باشد.

$$p_i = \frac{f_i}{\sum_{j=1}^N f_j} \quad (8)$$

د) تولید جمعیت اولیه: در تولید جمعیت اولیه، به منظور اطمینان از شذنی بودن جواب ها، ابتداً از روش مرسوم در مسئله فروشنده دوره گرد استفاده نموده و یکسری جواب های اولیه با طول N به صورت تصادفی تولید می شود که ضرورتاً می توانند شذنی نیز نباشند. در نتیجه برای جواب های شذنی رویه ای اجرا می شود که طی آن با جابه جا کردن رأس مقصد در طول کروموزوم، محلی را که برای بار اول جواب متناظر کروموزوم، شذنی می شود، شناسایی می گردد.

و) عملگر ترکیب و تلفیق: در این مقاله از دو عملگر ترکیب و تلفیق مبتنی بر پرکاربردترین و کاراترین عملگرهای ترکیب و تلفیق ارائه شده برای مسئله فروشنده دوره گرد استفاده شده است. این دو عملگر عبارتند از:

- عملگر ترتیب^۳ (Davis, 1985)
- عملگر حلقه ای^۴ (Oliver et al., 1987)

در مقاله حاضر به صورت تصادفی ممکن است حداقل یک عملگر و حداکثر هر دو عملگر طراحی شده به منظور ترکیب و تلفیق دو والد مورد استفاده قرار گیرد. نوع عملگرها و ترتیب به کارگیری آنها نیز به صورت کاملاً تصادفی انتخاب می شود. لازم به ذکر است در الگوریتم طراحی شده دو رویکرد برای انتخاب والدین وجود دارد. در رویکرد اول از بین کل جمعیت و به صورت تصادفی دو کروموزوم انتخاب شده و با یکدیگر ترکیب می شوند و در رویکرد دوم یکی از والدین حتماً از بین بهترین ها انتخاب می شود.

ه) عملگر جهش: مانند عملگر ترکیب و تلفیق، در الگوریتم پیشنهادی دو عملگر جهش به شرح ذیل طراحی شده است:

- عملگر جابه جایی^۵ (Michalewicz & Hartley, 1996)
- عملگر وارون سازی^۶ ((Fogel, 1990))

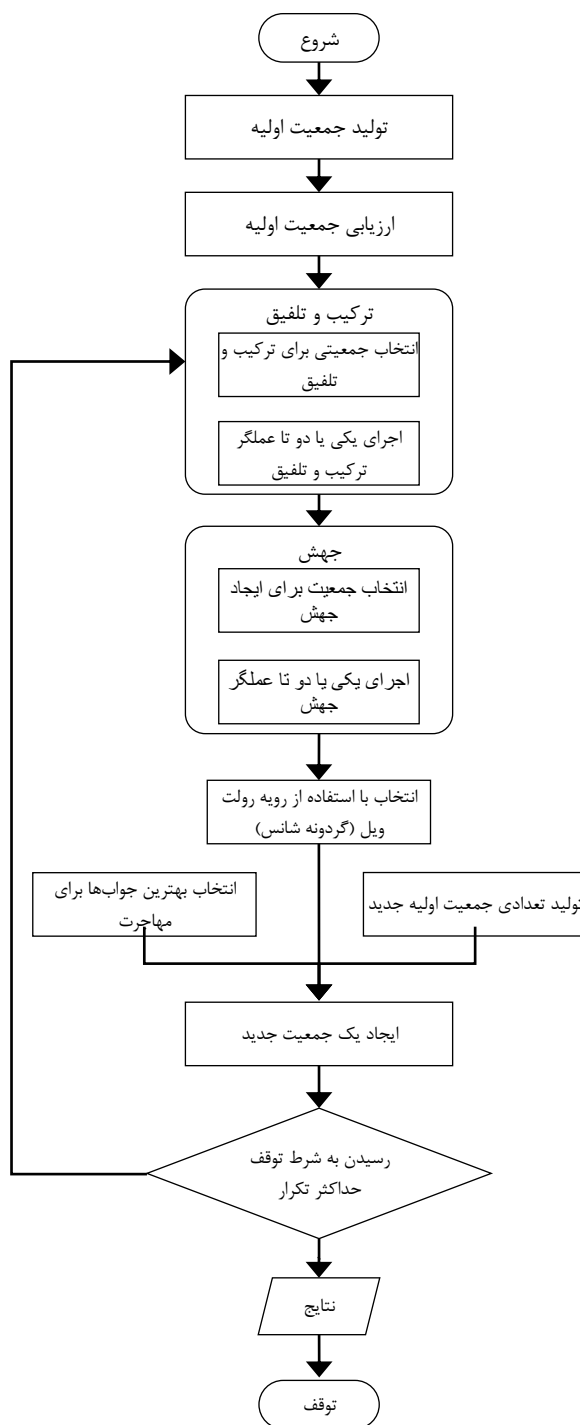
در خصوص عملگرهای جهش نیز در الگوریتم پیشنهادی، به صورت تصادفی ممکن است حداقل یک عملگر و حداکثر هر دو عملگر طراحی شده به منظور جهش یک جواب مورد استفاده قرار گیرد. نوع عملگرها و ترتیب به کارگیری آنها نیز به صورت کاملاً تصادفی انتخاب می شود.

ی) سایر: به منظور خروج سریع تر الگوریتم در مواقعی که در بهینه محلی متوقف می شود، علاوه بر عملگر جهش، دو اقدام زیر طراحی شده است:

- در هر تکرار، تعدادی از بهترین جواب های حاصل شده مجدداً وارد عملگر جهش می شوند.
- در هر تکرار، تعدادی جواب جدید به صورت تصادفی و با استفاده از رویه طراحی شده برای تولید جمعیت اولیه، تولید و به جمعیت موجود اضافه می شود.

5- Displacement
6- Inversion

1- Selection Operator
2- Roulette Wheel
3- Order Crossover
4- Cycle Crossover



شکل ۱- فلوچارت الگوریتم ژنتیک پیشنهادی

برای حالت پایه‌ای مسئله OP، ۸۹ داده استاندارد

توسط تیسیلی گیریدیس^۱ در سال ۱۹۸۴ و چاو^۲ در سال

۱۹۹۳ ارائه شده است (جدول ۱).

1- Tsiligirides

2- Chao

جدول ۱- مثال های استاندارد برای مسئله جهت یابی

منبع	تعداد مسائل استاندارد	تعداد رؤس
تیسلی گیری دیس (۱۹۸۴)	18	32
	11	21
	20	33
چاو (۱۹۹۳)	26	66
	14	64

مجدداً وارد عملگر جهش می شوند و نیز ۲۰ مسیر جدید تولید و به جمعیت اضافه می شود.

۵- یافته های پژوهش

نتایج حاصل از به کارگیری الگوریتم ژنتیک پیشنهادی با استفاده از نرم افزار MATLAB 2017a برای ۴۰ مسئله نمونه چاو در دو حالت زیر در این بخش ارائه می شود:

- حل مسائل استاندارد با ضرایب تعدیل صفر
- حل مسائل استاندارد اصلاح شده.

در این مقاله به منظور خلاصه سازی صرفاً بر حل ۴۰ مسئله چاو تمرکز شده است که البته با توجه به تعداد رؤس بیشتر این مسائل نسبت به مسائل تیسلی گیری دیس، این اقدام توجیه پذیر نیز می باشد. همچنین به منظور تطبیق مثال های استاندارد مسئله OP با مسئله OPDTH، ضرایبی به صورت تصادفی برای هر یک از رؤس تولید شده است (جدول ۲). تعداد جمعیت اولیه، حداکثر تعداد تکرار الگوریتم، احتمال ترکیب و تلفیق و احتمال جهش به ترتیب ۵۰۰، ۵۰۰، ۰/۱۵ و ۰/۱ فرض شده است. همچنین در هر تکرار، ۳۰ مورد از بهترین جواب های موجود در جمعیت

جدول ۲- ضرایب تعدیل تصادفی تولید شده برای تست های استاندارد چاو

1 st Dataset								2 nd Dataset							
Node (i)	VC(i)	Node (i)	VC(i)	Node (i)	VC(i)	Node (i)	VC(i)	Node (i)	VC(i)	Node (i)	VC(i)	Node (i)	VC(i)	Node (i)	VC(i)
1	0	18	-0.01	35	-0.1	52	-0.07	1	0	18	-0.06	35	0	52	-0.07
2	-0.07	19	0.01	36	-0.08	53	-0.06	2	-0.12	19	-0.03	36	-0.06	53	-0.1
3	0	20	-0.09	37	0.03	54	-0.04	3	-0.03	20	-0.04	37	-0.08	54	0.01
4	0.01	21	-0.12	38	0.03	55	-0.08	4	-0.09	21	0.01	38	-0.07	55	-0.01
5	0.03	22	-0.06	39	-0.03	56	-0.01	5	-0.04	22	-0.07	39	-0.07	56	-0.06
6	-0.01	23	0.01	40	-0.1	57	-0.03	6	-0.03	23	0.02	40	-0.01	57	0.01
7	-0.09	24	-0.08	41	-0.12	58	-0.05	7	-0.06	24	-0.08	41	-0.12	58	-0.12
8	-0.03	25	-0.04	42	-0.01	59	-0.11	8	0.02	25	0	42	-0.05	59	-0.08
9	-0.12	26	-0.08	43	0.03	60	-0.08	9	0.03	26	-0.05	43	0.02	60	0.02
10	0	27	-0.03	44	-0.02	61	0.01	10	-0.08	27	-0.09	44	-0.04	61	0.02
11	-0.02	28	-0.12	45	0.02	62	0.03	11	-0.06	28	-0.04	45	-0.07	62	0.02
12	-0.09	29	-0.12	46	-0.04	63	-0.01	12	-0.04	29	-0.05	46	-0.1	63	-0.05
13	0.03	30	-0.11	47	-0.01	64	-0.06	13	-0.03	30	-0.01	47	-0.02	64	0
14	0.01	31	0	48	0.01	65	0.02	14	-0.06	31	0.01	48	-0.05		
15	-0.09	32	-0.02	49	0.02	66	0	15	0.02	32	-0.09	49	-0.05		
16	-0.01	33	-0.07	50	0.01			16	-0.12	33	0.02	50	-0.08		
17	-0.09	34	-0.01	51	-0.08			17	0	34	-0.06	51	-0.06		

شرایط قابل مقایسه با نتایج ارائه شده در ادبیات برای مسئله OP است (جدول ۳).

حل مسائل استاندارد با ضرایب تعدیل صفر

این حالت در واقع حالت آزاد شده^۱ مسئله OPDTH یا همان مسئله OP پایه می باشد؛ لذا نتایج به دست آمده در این

1- Relaxed

جدول ۱- نتایج حل مسائل چآو با الگوریتم پیشنهادی و مقایسه با بهترین جواب موجود

NO	T _{max}	GA*	Best**	GAP	NO	T _{max}	GA	Best	GAP
1st Series									
1	5	10	10	0.00%	14	70	1040	1070	2.80%
2	10	40	40	0.00%	15	75	1130	1140	0.88%
3	15	120	120	0.00%	16	80	1205	1215	0.82%
4	20	205	205	0.00%	17	85	1260	1270	0.79%
5	25	290	290	0.00%	18	90	1320	1340	1.49%
6	30	400	400	0.00%	19	95	1390	1395	0.36%
7	35	465	465	0.00%	20	100	1455	1465	0.68%
8	40	575	575	0.00%	21	105	1495	1520	1.64%
9	45	650	650	0.00%	22	110	1550	1560	0.64%
10	50	730	730	0.00%	23	115	1590	1595	0.31%
11	55	825	825	0.00%	24	120	1625	1635	0.61%
12	60	895	915	2.19%	25	125	1655	1670	0.90%
13	65	975	980	0.51%	26	130	1675	1680	0.30%
2nd Series									
1	15	96	96	0.00%	8	50	900	900	0.00%
2	20	294	294	0.00%	9	55	978	984	0.61%
3	25	390	390	0.00%	10	60	1056	1062	0.56%
4	30	474	474	0.00%	11	65	1116	1116	0.00%
5	35	570	576	1.04%	12	70	1188	1188	0.00%
6	40	702	714	1.68%	13	75	1236	1236	0.00%
7	45	810	816	0.74%	14	80	1272	1284	0.93%

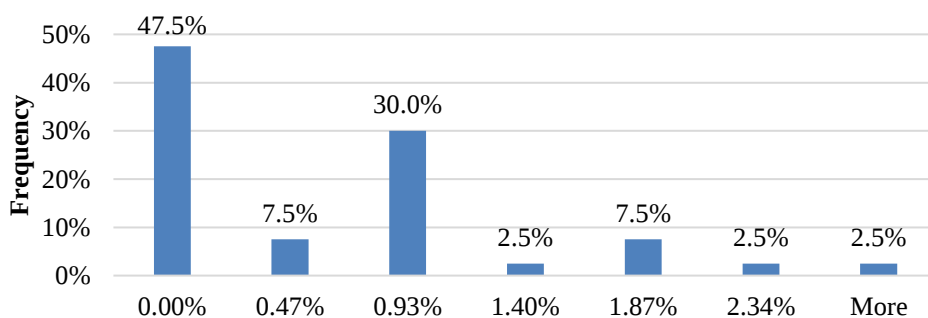
* Our Genetic Algorithm

** Best Score from Literature

بسیار نزدیک به بهترین جواب‌های موجود در ادبیات ارائه کرده است. بدین صورت که در ۴۷/۵ درصد از مسائل جواب دقیقاً با بهترین جواب برابر بوده و در ۹۵ درصد مسائل اختلاف با بهترین جواب کمتر از ۲ درصد می‌باشد. همچنین در بدترین حالت تنها ۲/۸ درصد اختلاف با بهترین جواب به‌وجود آمده است. از این رو این الگوریتم از کارایی مناسبی برخوردار بوده و به منظور حل مسائل استاندارد اصلاح شده (ضرایب تعدیل غیرصفر) نیز مورد استفاده قرار گرفته و نتایج آن در بخش بعدی ارائه شده است.

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۳، نکاتی به شرح ذیل حائز اهمیت می‌باشد:

- این جدول ضمن ارائه نتایج حاصل از به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک پیشنهادی برای مسائل استاندارد چآو، به مقایسه فاصله‌ای نیز بین امتیازات به‌دست آمده برای هر یک از مسائل مذکور با بهترین جوابی که در ادبیات ارائه شده است می‌پردازد.
- نمودار ۱، نمایشی گرافیکی از فراوانی فواصل اشاره شده در بند قبل می‌باشد. بر اساس نتایج ارائه شده در این نمودار، الگوریتم ژنتیک پیشنهادی جواب‌هایی



نمودار ۱- اختلاف نتایج حاصل از به‌کارگیری الگوریتم ژنتیک بر روی مسائل استاندارد با بهترین جواب موجود

حل مسائل استاندارد اصلاح شده

الگوریتم پیشنهادی حل شده و نتایج آنها با نتایج حاصل از حل مسائل استاندارد با الگوریتم پیشنهادی مقایسه شده‌اند (جدول ۴).

در این بخش مسائل استاندارد که با اضافه شدن ضرایب بازدید تولید شده‌اند (جدول ۲)، با استفاده از

جدول ۴- نتایج حل مسائل چا و با ضرایب تعدیل با الگوریتم پیشنهادی و مقایسه با حالت بدون ضرایب تعدیل

NO	T _{max}	GA	CPU	GAP*	NO	T _{max}	GA	CPU	GAP
1st Series									
1	5	10	0.11	0.00%	14	70	375	1.06	-63.94%
2	10	35	0.05	-12.50%	15	75	420	0.74	-62.83%
3	15	85	0.97	-29.17%	16	80	455	0.96	-62.24%
4	20	130	0.96	-36.59%	17	85	500	1.00	-60.32%
5	25	165	0.95	-43.10%	18	90	465	1.11	-64.77%
6	30	180	0.76	-55.00%	19	95	505	1.29	-63.67%
7	35	240	0.78	-48.39%	20	100	535	1.25	-63.23%
8	40	245	0.98	-57.39%	21	105	530	1.23	-64.55%
9	45	260	0.97	-60.00%	22	110	580	0.94	-62.58%
10	50	310	0.93	-57.53%	23	115	605	1.33	-61.95%
11	55	345	1.00	-58.18%	24	120	595	1.39	-63.38%
12	60	340	0.92	-62.01%	25	125	615	1.03	-62.84%
13	65	395	0.77	-59.49%	26	130	615	1.33	-63.28%
2nd Series									
1	15	78	0.73	-18.75%	8	50	342	0.97	-57.78%
2	20	132	0.51	-55.10%	9	55	384	0.83	-57.33%
3	25	168	0.81	-56.92%	10	60	390	1.01	-60.12%
4	30	222	0.36	-53.16%	11	65	396	1.07	-62.50%
5	35	270	0.92	-52.63%	12	70	420	0.94	-62.37%
6	40	270	0.85	-61.54%	13	75	474	1.02	-60.10%
7	45	300	1.10	-57.26%	14	80	474	1.11	-61.65%

• هر چند تصادفاً مقادیر ستون GAP، صفر یا کوچک‌تر از صفر می‌باشند، اما این موضوع کاملاً اتفاقی بوده و در شرایط مسائل تصادفی رخ داده است. برای مثال در صورتی که ترتیب بازدید رؤس به گونه‌ای باشد که چگالی رؤس با ضرایب تعدیل مثبت بر چگالی رؤس با ضرایب تعدیل منفی، غلبه نموده و از این رو باعث افزایش مقدار افق زمانی در دسترس شود، در این صورت امکان بازدید از رؤس بیشتری وجود داشته که متعاقباً می‌تواند افزایش در مقدار امتیاز را به همراه داشته باشد. لیکن با توجه به اینکه ضرایب تعدیل به صورت ریسک حاصل از بازدید قابل ترجمه و تفسیر نیز می‌باشد، مقادیر کاهش برای امتیاز به دست آمده از قابلیت تفسیر بهتری در دنیای واقعی برخوردار خواهد بود.

• نمودار ۲، نمایشی گرافیکی از فراوانی فواصل مندرج در جدول ۴ می‌باشد. این نمودار بیانگر آن است که در صورت در نظر گرفتن ضرایب تعدیل برای مسائل

در خصوص جدول ۴ نکاتی به شرح ذیل حائز اهمیت می‌باشد:

• از آنجایی که در این مقاله برای اولین بار داده‌های مسائل استاندارد با ضرایب تعدیل غیر صفر حل شده‌اند؛ لذا عملاً جوابی به غیر از جواب‌های ارائه شده در جدول ۳ در ادبیات به منظور مقایسه نتایج حاصله موجود نبوده و طبیعتاً در آینده با توسعه روش‌های حل جدید توسط سایر پژوهشگران امکان مقایسه فراهم خواهد شد.

• به منظور بررسی تأثیر ضرایب تعدیل در تغییر میزان بهینگی جواب‌های مسائل استاندارد، مقایسه‌ای فیمابین امتیازات حاصل شده از حل مسائل استاندارد با ضرایب تعدیل غیر صفر با امتیازات به دست آمده از حل مسائل استاندارد با ضرایب صفر (ستون GA از جدول ۳) توسط الگوریتم ژنتیک پیشنهادی در ستون GAP، ارائه شده است.

استاندارد چآو از صفر درصد تا ۶۴/۷۷ درصد اختلاف در جواب‌ها در مقایسه با حالت بدون ضریب تعدیل افق زمانی ایجاد می‌شود. همچنین در ۷۷/۵ درصد از مسائل، وجود ضرایب تعدیل که تفسیر عملیاتی از ریسک بازدید می‌باشد، بیش از ۵۰ درصد اختلاف با جواب‌های قبلی ایجاد نموده است. این مقدار اختلاف، مقدار قابل توجهی بوده و عملاً به معنای آن است که ضرایب تعدیل (به‌عنوان عاملی که مسائل را به شرایط دنیای واقعی

نزدیک‌تر می‌نماید)، جواب‌هایی که با روش‌های قدیمی و کلاسیک به‌دست می‌آیند را تا چه میزان تحت‌تأثیر افزایشی یا کاهشی قرار داده و عملاً سبب بی‌اعتبار شدن جواب‌های منتج از آن‌ها می‌شوند. این مهم گویای اهمیت بررسی مسائل حمل‌ونقل با در نظر گرفتن پارامترهایی مانند ضرایب تعدیل به منظور واقعی‌تر کردن مدل‌ها و باثبات‌تر نمودن جواب‌ها می‌باشد.



نمودار ۲- اختلاف نتایج حاصل از حل مسائل استاندارد در دو حالت با و بدون ضرایب تعدیل

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهاد

مسئله جهت‌یابی یکی از مهمترین و پایه‌ای‌ترین مسائل حوزه مسیریابی بوده و در موارد متعددی طیف وسیعی از مسائل حمل‌ونقل (اعم از شهری، غیرشهری، عمومی و خصوصی) در انطباق با آن مدل‌سازی و حل می‌شوند. در این مقاله حل گونه جدیدی از این مسئله تحت عنوان مسئله جهت‌یابی با افق زمانی وابسته مدنظر قرار گرفته است. این گونه جدید نسبت به مسئله پایه از قابلیت کاربرد بالاتری برخوردار می‌باشد؛ زیرا در شرایط متعددی در دنیای واقعی به‌ویژه در شرایط بحران، افق زمانی در دسترس مقداری ثابت نداشته و متناسب با وقایع و اتفاقات موجود در حین سفر دچار تغییر می‌شود. این موضوع یکی از مهمترین مواردی است که برنامه‌ریزی‌های حمل‌ونقل شهری را برای سیاست‌گذاران

و مدیران شهری، برنامه‌ریزان بخش‌های مرتبط (نظیر شرکت‌های فعال در بخش حمل‌ونقل عمومی و خصوصی، شرکت‌های توزیع، شرکت‌های خدمات شهری و ...) و مسافران بی‌اعتبار می‌نماید. مسئله جهت‌یابی با افق زمانی وابسته با در نظر گرفتن ضریبی تحت عنوان ضریب تعدیل افق زمانی برای هر رأس، سعی در مواجهه با این چالش دارد؛ بدین صورت که پس از هر مرحله از بازدید، مقدار افق زمانی در دسترس مسئله متناسب با ضریب تعدیل افق زمانی دچار تغییر شده و مقدار جدید به‌دست آمده، افق زمانی جدید مسئله خواهد بود. از منظر ریاضیات و مفاهیم مدل‌سازی و تحقیق در عملیات، در نظر گرفتن چنین ضریبی برای مقدار افق زمانی عملاً منجر به تغییر در مقدار سمت راست (RHS) یک محدود مؤثر و فعال در مدل شده و از این

رو اساس مسئله جهت‌یابی مورد بحث دچار تغییر شده و متعاقباً این موضوع پویایی موردانتظار در تصمیم را ایجاد می‌نماید.

نتایج اصلی این تحقیق برای حوزه مدیریت شهری را می‌توان از دو منظر نظری و کاربردی بررسی نمود. از منظر نظری این مقاله اهمیت بررسی عوامل مؤثر در بی‌اعتبار شدن نتایج حل از مسائل کلاسیک را بیش از پیش روشن نموده است و پیشنهاد می‌شود محققان در آینده بر این حوزه تحقیقاتی کمتر توجه شده، متمرکز شوند؛ همچنان که در مقاله حاضر سعی شده است تأثیرات سوء عدم قطعیت‌های ناشناخته موجود در بهینگی تصمیم‌گیری‌ها با استفاده از ضریب تعدیل افق زمانی، به حداقل رسانده شود. همچنین این مقاله زمینه‌ساز توسعه نوع جدیدی از مسئله جهت‌یابی با عنوان جهت‌یابی با افق زمانی غیر ثابت می‌باشد که موضوع تحقیقاتی جذابی برای پژوهشگران حوزه مدیریت شهری می‌باشد؛ زیرا این مسئله جدید در مقایسه با مسائل قبلی از درجه انطباق بالاتری با مسائل حمل‌ونقل شهری برخوردار است.

از منظر کاربردی نیز مسئله جدید می‌تواند زیرساخت‌های ریاضیاتی و نرم‌افزاری مناسب جهت اتخاذ تصمیمات مناسب و پایدار در حوزه برنامه‌ریزی حمل‌ونقل عمومی شهری به‌ویژه وسایل نقلیه خصوصی فعال در بخش عمومی، طراحی سیستم‌ها و شبکه‌های توزیع کالا یا ارائه خدمت در سطح شهر، امداد رسانی و انجام اقدامات در چارچوب نظام‌های مدیریت بحران که مستعد بروز تغییرات در افق زمانی خدمت‌رسانی هستند و ... را فراهم نماید و از این رهگذر کاهش تردها و تعدیل علل تولید سفرهای شهری و متعاقباً کاهش تبعات و آثار نامطلوب حاصل از این سفرها را به همراه داشته باشد.

در این مقاله یک الگوریتم سریع ژنتیک جهت حل مسئله OPDTH توسعه داده شده که از دو عملگر ترکیب و تلفیق و دو عملگر جهش بهره برده است و الگوریتم به صورت تصادفی از تعداد تصادفی از این عملگرها در ترتیبی تصادفی استفاده می‌نماید و این موضوع، سرعت خروج

الگوریتم از بهینه‌های محلی را به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد؛ از این رو الگوریتم پیشنهادی می‌تواند به‌عنوان بن‌مایه محاسباتی نرم‌افزارهای تحت وب مورد استفاده قرار گیرد. با این وجود به رغم عملکرد مطلوب الگوریتم، طبیعتاً محققان در آینده می‌توانند با توسعه الگوریتم‌های دقیق، ابتکاری و فراابتکاری مناسب ضمن بهبود جواب‌های به‌دست آمده توسط الگوریتم ژنتیک پیشنهادی، سرعت حل آن را نیز بهبود دهند.

به دلیل ماهیت عدم قطعیت‌های ذاتی موجود در مسئله جهت‌یابی با افق زمانی وابسته، مدل‌سازی و حل این مسئله تحت شرایط تصادفی یا فازی بودن پارامترها از ارزش تحقیقاتی بالایی برخوردار می‌باشد و نیز جهت افزایش سطح کاربردپذیری آن می‌توان برای هر یک از رئوس، یک افق زمانی قطعی یا حتی تصادفی در نظر گرفت. از آنجایی که حالت تیمی مسائل جهت‌یابی همواره یکی از توسعه‌های مدنظر پژوهشگران این حوزه بوده است، لذا بررسی حالت تیمی مسئله جهت‌یابی با افق زمانی وابسته را نیز می‌توان به‌عنوان یکی دیگر از زمینه‌های ارزشمند تحقیقاتی مرتبط معرفی کرد.

۷- منابع

- آریانفر، یاشار؛ ساعی، حسن؛ عباسعلی‌زاده، مجید. (۱۳۹۳). بررسی آلودگی هوای تهران و سهم خودروها در این آلودگی. *اولین همایش ملی بهداشت محیط، سلامت و محیط‌زیست پایدار*.
- پهلول، مرتضی؛ بخت همت، علی؛ رشنودی، امید. (۱۳۹۳). حل مسئله فروشنده دوره‌گرد سودده با الگوریتم تقریبی چندمعیاره هم‌زمان. *دومین همایش ملی مهندسی کامپیوتر و فناوری اطلاعات*.
- جعفریان، مهدی؛ جعفری، عزیزاله؛ صادقیان، رامین. (۱۳۹۷). بهینه‌سازی مسائل حمل‌ونقل حوزه مدیریت شهری با استفاده از مسئله جهت‌یابی با افق زمانی وابسته. *نشریه مدیریت فردا*، ۱۷ (۵۶)، ۱۳۷-۱۵۰.
- عزیزی، علی؛ کریمی‌پور، فرید؛ اسماعیلی، علی. (۱۳۹۴). طراحی سفرهای برون‌شهری شخصی در شبکه‌های

- Fomin, F. V., & Lingas, A. (2002). Approximation algorithms for time-dependent orienteering. *Information Processing Letters*, 83(2), 57-62.
- Gendreau, M., Laporte, G., & Semet, F. (1998). A tabu search heuristic for the undirected selective travelling salesman problem. *European Journal of Operational Research*, 106(2), 539-545.
- Golden, B. L., Levy, L., & Vohra, R. (1987). The orienteering problem. *Naval research logistics*, 34(3), 307-318.
- Gunawan, A., Lau, H. C., & Vansteenwegen, P. (2016). Orienteering problem: A survey of recent variants, solution approaches and applications. *European Journal of Operational Research*, 255(2), 315-332.
- Hinterding, R. (1994). *Mapping, order-independent genes and the knapsack problem*. Paper presented at the World Congress on Computational Intelligence, IEEE.
- Holland, J. H. (1975). Adaptation in natural and artificial systems: An introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence.
- Kantor, M. G., & Rosenwein, M. B. (1992). The orienteering problem with time windows. *Journal of the Operational Research Society*, 629-635.
- Karbowska-Chilinska, J., & Chocie, K. (2018). *Optimization of Multistage Tourist Route for Electric Vehicle*. Paper presented at the Computer Science On-line Conference.
- Karimi, A., & Bashiri, M. (2018). The bi-team orienteering problem with time window. *International Journal of Services and Operations Management*, 30(2), 203-225.
- Keshtkaran, M., & Ziarati, K. (2016). A novel GRASP solution approach for the Orienteering Problem. *Journal of Heuristics*, 22(5), 699-726.
- Keshtkaran, M., Ziarati, K., Bettinelli, A., & Vigo, D. (2016). Enhanced exact solution methods for the team حمل و نقل با الگوریتم وراثتی. نشریه مهندسی حمل و نقل، ۷(۲)، ۲۶۳-۲۷۶.
- معاونت و سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری تهران (۱۳۹۹). *گزیده آمار و اطلاعات حمل و نقل شهری تهران*.
- Abbaspour, R. A., & Samadzadegan, F. (2011). Time-dependent personal tour planning and scheduling in metropolises. *Expert Systems with Applications*, 38(10), 12439-12452.
- Balas, E. (1989). The prize collecting traveling salesman problem. *Networks*, 19(6), 621-636.
- Brady, R. (1985). Optimization strategies gleaned from biological evolution. *Nature*, 317(6040), 804.
- Chao, I. M. (1993). *Algorithms and solutions to multi-level vehicle routing problems*, Doctoral Dissertation, University of Maryland.
- Chen, G., Yu, B., & Nielsen, P. (2019). Preface: operations research for transportation. *Annals of Operations Research*, 273(1-2), 1-3.
- Davis, L. (1985). *Applying adaptive algorithms to epistatic domains*. Paper presented at the IJCAI.
- Dell'Amico, M., Maffioli, F., & Värbrand, P. (1995). On prize-collecting tours and the asymmetric travelling salesman problem. *International Transactions in Operational Research*, 2(3), 297-308.
- Dutta, J., Barma, P. S., & Chakraborty, S. (2015, September). An efficient and fast approach to the orienteering problem using hybrid genetic algorithm. In *2015 1st International Conference on Next Generation Computing Technologies (NGCT)*, IEEE.
- Feillet, D., Dejax, P., & Gendreau, M. (2005). Traveling salesman problems with profits. *Transportation science*, 39(2), 188-205.
- Fogel, D. B. (1990). *A parallel processing approach to a multiple travelling salesman problem using evolutionary programming*. Paper presented at the Proceedings of the fourth annual symposium on parallel processing.

- Information Systems and Industrial Management.
- Ostrowski, K., Karbowska-Chilinska, J., Koszelew, J., & Zabielski, P. (2017). Evolution-inspired local improvement algorithm solving orienteering problem. *Annals of Operations Research*, 253(1), 519-543.
- Richter, A. T., & Stiller, S. (2016). Robust strategic route planning in logistics. *Transportation Science*, 52(1), 38-58.
- Scholz, J. (2019). Genetic Algorithms and the Traveling Salesman Problem a historical Review. *arXiv preprint arXiv: 1901.05737*.
- Sun, P., Veelenturf, L. P., Dabia, S., & Van Woensel, T. (2018). The time-dependent capacitated profitable tour problem with time windows and precedence constraints. *European Journal of Operational Research*, 264(3), 1058-1073.
- Tasgetiren, M. F., & Smith, A. E. (2000). A genetic algorithm for the orienteering problem. Paper presented at the Evolutionary Computation, 2000. Proceedings of the 2000 Congress on.
- Tsiligirides, T. (1984). Heuristic methods applied to orienteering. *Journal of the Operational Research Society*, 797-809.
- Vansteenwegen, P., Souffriau, W., & VanOudheusden, D. (2011). The orienteering problem: A survey. *European Journal of Operational Research*, 209(1), 1-10.
- Varakantham, P., Kumar, A., Lau, H. C., & Yeoh, W. (2018). Risk-sensitive stochastic orienteering problems for trip optimization in urban environments. *ACM Transactions on Intelligent Systems and Technology (TIST)*, 9(3), 24.
- Vinoba, V., & Kavitha, M. (2015). • A Study on Technical Approaches of Transportation in Operation Research. *International Journal of Mathematical Archive EISSN 2229-5046*, 6(7).
- Zhang, M., Qin, J., Yu, Y., & Liang, L. (2018). Traveling salesman problems with profits and stochastic customers. *International Transactions in Operational Research*, 25(4), 1297-1313.
- orienteering problem. *International Journal of Production Research*, 54(2), 591-601.
- Kirschstein, T., & Bierwirth, C. (2018). The selective Traveling Salesman Problem with emission allocation rules. *OR Spectrum*, 40(1), 97-124.
- Kotiloglu, S., Lappas, T., Pelechrinis, K., & Repoussis, P. (2017). Personalized multi-period tour recommendations. *Tourism Management*, 62, 76-88.
- Larranaga, P., Kuijpers, C. M. H., Murga, R. H., Inza, I., & Dizdarevic, S. (1999). Genetic algorithms for the travelling salesman problem: A review of representations and operators. *Artificial Intelligence Review*, 13(2), 129-170.
- Lee, C. (2018). A review of applications of genetic algorithms in operations management. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 76, 1-12.
- Leipzig, I. (2010). Reducing Transport Greenhouse Gas Emissions: Trends & Data. *Germany: Background for the*.
- Liao, Z., & Zheng, W. (2018). Using a heuristic algorithm to design a personalized day tour route in a time-dependent stochastic environment. *Tourism Management*, 68, 284-300.
- Michalewicz, Z., & Hartley, S. J. (1996). Genetic algorithms+ data structures= evolution programs. *Mathematical Intelligencer*, 18(3), 71.
- Miller, C. E., Tucker, A. W., & Zemlin, R. A. (1960). Integer programming formulation of traveling salesman problems. *Journal of the ACM (JACM)*, 7(4), 326-329.
- Oliver, I., Smith, D., & Holland, J. (1987). A study of permutation crossover operators on the TSP, genetic algorithms and their applications. Paper presented at the Proceedings of the Second International Conference on Genetic Algorithms.
- Ostrowski, K. (2017). *Evolutionary algorithm for the time-dependent orienteering problem*. Paper presented at the IFIP International Conference on Computer