



فصلنامه علمی
اقتصاد و مدیریت شهری

فصلنامه علمی اقتصاد و مدیریت شهری، ۱۰(پیاپی ۳۸)، ۱-۱۶
www.iueam.ir
Magiran, Noormags, Google Scholar, SID, GateWay-Bayern, EBZ, Econbiz, EconLit, ISC, Civilica, RICeST, Ensani
نمایه در شاپ: ۲۳۴۵-۲۸۷۰

ارائه یک الگوریتم ژنتیک جهت حل مسئله جهت یابی با افق زمانی وابسته به منظور بهینه‌سازی مسائل حمل و نقل 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 جهت یابی گونه‌ای از مسائل کلاسیک حوزه حمل و نقل 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 حمل و نقل 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 جهت یابی 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 جهت یابی، 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 جهت یابی با افق زمانی وابسته به کار گرفته شده است.

واژگان کلیدی: حمل و نقل شهری، بهینه‌سازی ریاضی، مسئله جهت یابی، الگوریتم ژنتیک

به کارگیری ابزارهای مناسب تصمیم‌گیری در حوزه حمل و نقل نقش بهسازی 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؛ نظری 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 امدادرسانی 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 بین منظور تعیین شده است، اما موارد متعددی از جمله خرابی یا مسدود شدن خیابان‌ها، و خامت 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 به عنوان یکی از معروف‌ترین و پراستفاده‌ترین ابزارهای تصمیم‌گیری مدیریتی (Vinoba & Kavitha, 2015) توجه بسیار ویژه‌ای به مقوله حمل و نقل شده و تحقیقات بسیار گستره‌ای 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 کاربرد پذیری پژوهش‌ها، مدل‌های تحقیق در عملیاتی موجود را توسعه داده و زیرمجموعه‌های جدیدی برای مسئله مسیریابی به وجود آورده‌اند که در این میان مسئله

۱- مقدمه

موضوع سفر و حمل و نقل درون‌شهری، 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 غیربحارانی، 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 روبرو 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 آلایندگی و مضرات زیست‌محیطی و احتمال بروز انواع ریسک‌ها در شرایط بحرانی، از اهمیت بهسازی 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

الگوریتم حل: الگوریتم به کار 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 سییار بالا برای حل مسائل سایز بزرگ ارائه شده است.

۲- پیشینه تحقیق

الف) پژوهش‌های خارجی

کوشاستاین و بیرویث^۳ (۲۰۱۸)، سان^۴ و همکاران (۲۰۱۸) و اوسترووسکی^۵ و همکاران (۲۰۱۷) به مدل‌سازی و حل مسئله OP با پنجره زمانی^۶ (OPTW) پرداخته‌اند که در آن الزاماً بازدید هر رأسی مانند A 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)، واراکانثام^۸ و همکاران (۲۰۱۸) و اوسترووسکی (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 چوسیج^{۱۰} (۲۰۱۸) و کوتیل اوکلو^{۱۱} و همکاران (۲۰۱۷) برای مسئله جهت‌یابی به جای یک

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

هدف این مقاله حل حالت خاصی از مسائل حوزه حمل و نقل 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 به وجود آمده حین بازدید هر یک از رئوس، وابستگی وجود داشته و این وابستگی از طریق تعریف ضریبی تحت عنوان ضریب تعديل 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 فرالبتکاری 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 حداقل 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.

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

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 حمل و نقل ۱۵ مرکز استان ایران برای سه شبکه حمل و نقل 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 دو معیاره 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 دو جانبی 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).

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.

زانگ^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 به وجود آمده حين 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 شده 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.

1- Zhang

2- Karimi and Bashiri

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 به عنوان 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 به عنوان 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 به عنوان 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 مناسب 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) تحت تأثیر جدی قرار خواهد داد؛ لذا در این مقاله مدل‌سازی و حل مسئله جهت‌یابی

۳- مبانی نظری

از زمان پیدایش مفهوم مسیرها و دورهای همیلتونی^۱ توسط ویلیام رومن همیلتون^۲ در اواسط قرن هجدهم میلادی، مسائل بسیار زیادی از جمله مسئله فروشنده دوره‌گرد^۳ (TSP) منطبق بر این مفهوم مدل‌سازی و حل شده‌اند. با پیشرفت علوم و فناوری و TSP نیازهای جدیدتر انسان، گونه‌های خاص از مسئله مطرح گردید که تطابق بیشتری با دنیای واقعی داشت. مسئله جهت‌یابی، از حالت‌های خاص مسئله فروشنده دوره‌گرد می‌باشد که تحت عنوان مختلفی از جمله مسئله فروشنده دوره‌گرد با سود^۴، مسئله فروشنده دوره‌گرد انتخابی^۵، مسئله طراحی مسیر گردشگر و مسئله فروشنده دوره‌گرد با زمان محدود^۶ 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 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 به عنوان معیارهای اصلی در بهینه‌سازی این‌گونه مسائل وجود دارد که یا به صورت تابع هدف یا به صورت محدودیت در مدل‌ها ظاهر می‌شوند. بر این ساسه 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 به کار گرفته شده و تابع هدف به صورت جمع کل هزینه منهای جمع کل سود جمع‌آوری شده دسته‌بندی می‌شوند. نام‌گذاری این

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

مجموع امتیازات جمع‌آوری شده (حاصل از بازدیدها) بوده و محدودیت اول شروع مسیر از رأس ۱ و اتمام آن در رأس N را تضمین می‌کند. محدودیت دوم به منظور اطمینان از متصل بودن مسیر و اطمینان از بازدید حداکثر یکبار هر رأس به مدل اضافه شده است. محدودیت سوم بیانگر محدودیت افق زمانی بوده و محدودیت چهارم و پنجم نیز مربوط به حذف زیرتور با استفاده از فرمول‌بندی میلر-تاکر-زملین^۱ می‌باشد.

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 جهت‌یابی مفروض را به دنبال خواهد شد:

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

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

مسئله جهت‌یابی یک مسئله NP-hard می‌باشد؛ بدین معنا که الگوریتمی با زمان چندجمله‌ای برای حل بهینه آن طراحی نشده و به احتمال بسیار زیاد نیز چنین الگوریتمی برای آن طراحی نخواهد شد. بر این اساس روش‌های حل دقیق این مسئله بسیار زمان بر بوده و کاربردی‌تر آن است که روش‌های ابتکاری و فراابتکاری (Vansteenwegen et al., 2011) در این خصوص به کار گرفته شود. پس از توجه به NP-hard بودن مسئله جهت‌یابی (OP)، مسئله جهت‌یابی با افق زمانی وابسته (OPDTH) نیز به عنوان زیرمجموعه‌ای از مسئله

با افق زمانی غیرثابت که در آن بین افق زمانی (زمان در دسترس) و واقعی، اتفاقات و شرایط به وجود آمده حین بازدید هر یک از رئوس، وابستگی وجود دارد، مدنظر قرار گرفته است. این وابستگی جهت ساده‌سازی، با استفاده از ضرایب تحت عنوان ضرایب تعديل افق زمانی که به نوعی تفسیری عملیاتی از ریسک بازدید هر رأس می‌باشد، در مسئله لحاظ شده است. بنابراین در مقاله حاضر به تبعیت از ساختار توسعه ادبیات مرتبط، معرفی یک گونه جدید از مسئله جهت‌یابی تحت عنوان مسئله جهت‌یابی با افق زمانی وابسته (OPDTH) و حل آن مدنظر قرار گرفته است.

روابط ریاضیاتی مسئله جهت‌یابی با افق زمانی وابسته به شرح زیر می‌باشد:

در یک مسئله پایه جهت‌یابی، مجموعه‌ای از رئوس به صورت $V = \{1, 2, \dots, V\}$ مفروض‌اند؛ به گونه‌ای که هر کدام دارای امتیاز S_i می‌باشند. 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 یکبار بازدید شود. بر این اساس مدل پایه این مسئله به Gunawan et al., 2016؛ شرح ذیل می‌باشد (Vansteenwegen et al., 2011

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

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

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

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

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

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

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

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

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 استانداردی؛ از جمله نحوه توصیف کروموزومی جواب‌ها، تابع برازنده‌گی، 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^۱ در سال ۱۹۹۴ دو نوع نمایش کروموزومی برای مسئله کوله‌پشتی تحت عنوانین مبتنی بر انتخاب و مبتنی بر ترتیب ارائه نموده است. عمدتاً مقالاتی که از الگوریتم ژنتیک برای حل مسئله جهت‌یابی بهره گرفته‌اند، از روش مبتنی بر 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 ۱۰-۹-۸-۶-۵-۱-۲-۳ می‌باشد (رأس ۱، مبدأ و رأس ۲۱، مقصد).

۱	۶	۸	۵	۹	۱۰	۳	۲۱
کروموزوم							

ب) تابع برازنده‌گی: در مقاله حاضر، مجموع امتیازات حاصل از بازدید رئوس که همان تابع هدف مسئله OP می‌باشد، به عنوان تابع برازنده‌گی 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 فراتکاری 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^۲ 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 جستجوی 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 برازنده‌گی انتخاب و جهت تولید نسل بعدی به کار گرفته می‌شود. این الگوریتم در سال ۱۹۸۵ برای اولین توسط بردلی^۳ 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 به کار 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^۴ برای اولین بار در سال ۲۰۰۰ برای حل مسئله جهت‌یابی از الگوریتم ژنتیک استفاده نموده‌اند

1- Holland

2- Brady

3- Tasgetiren and Smith

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 می‌شود. 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 می‌شوند و در رویکرد دوم یکی از والدین حتماً از بین بهترین‌ها انتخاب می‌شود.

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

- **عملگر جابه‌جایی^۵** & (Michalewicz & Hartley, 1996)

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 می‌شود.

۶) **سایر:** به منظور خروج سریع‌تر الگوریتم در مواقعی که در بهینه محلی متوقف می‌شود، علاوه بر عملگر جهش، دو اقدام زیر طراحی شده است:

- در هر تکرار، تعدادی از بهترین جواب‌های حاصل شده مجدداً وارد عملگر جهش می‌شوند.

- 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 می‌شود.

ج) عملگر انتخاب! 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^۳ به عنوان عملگر انتخاب مورد استفاده قرار گرفته است که در این روش برای هر کروموزومی مانند، بر اساس مقدار تابع برازنده‌گی آن (f_i)، احتمالی به میزان p_i مطابق با فرمول زیر به آن تخصیص داده می‌شود و بدین صورت، کروموزوم‌های دارای تابع برازنده‌گی بیشتر، از شانس انتخاب بالاتری برخوردار خواهند بود N . تعداد کل رئوس موجود در مسئله می‌باشد.

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

د) تولید جمعیت اولیه: در تولید جمعیت اولیه، به منظور اطمینان از شدنی بودن جواب‌ها، ابتداً از روش مرسوم در مسئله فروشنده دوره‌گرد استفاده نموده و یکسری جواب‌های اولیه با طول N به صورت تصادفی تولید می‌شود که ضرورتاً می‌توانند شدنی نیز نباشند. در نتیجه برای جواب‌های نشدنی رویه‌ای اجرا می‌شود که طی آن با جابه‌جا کردن رأس مقصد در طول کروموزوم، محلی را که برای بار اول جواب متناظر کروموزوم، شدنی می‌شود، شناسایی می‌گردد.

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

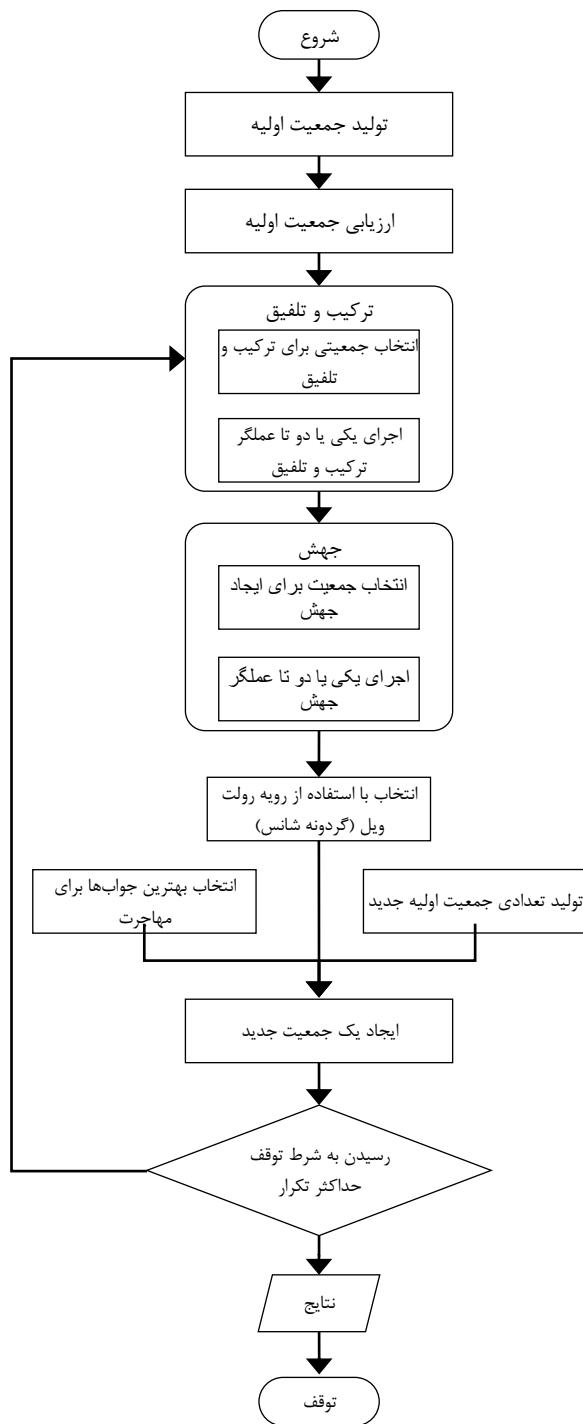
- **عملگر ترتیب^۳** (Davis, 1985)
- **عملگر حلقه‌ای^۴** (Oliver et al., 1987)

1- Selection Operator

2- Roulette Wheel

3- Order Crossover

4- Cycle Crossover



شكل ۱- فلوچارت الگوریتم ژنتیک پیشنهادی

برای حالت پایه‌ای مسئله OP، ۸۹ داده استاندارد

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

۱۹۹۳ ارائه شده است (جدول ۱).

1- Tsiligirides
2- Chao

جدول ۱- مثال‌های استاندارد برای مسئله جهت‌یابی

تعداد رئوس	تعداد مسائل استاندارد	منبع
32	18	تیسیلی گیریدیس (۱۹۸۴)
21	11	
33	20	
66	26	چاو (۱۹۹۳)
64	14	

مجدداً وارد عملگر جهش می‌شوند و نیز ۲۰ مسیر جدید تولید و به جمعیت اضافه می‌شود.

۵- یافته‌های پژوهش

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

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

در این مقاله به منظور خلاصه‌سازی صرفاً بر حل ۴۰ مسئله چاو تمرکز شده است که البته با توجه به تعداد رئوس بیشتر این مسائل نسبت به مسائل تیسیلی گیریدیس، این اقدام توجیه‌پذیر نیز می‌باشد. همچنین به منظور تطبیق مثال‌های استاندارد مسئله OP با مسئله OPDTH، ضرایبی به صورت تصادفی برای هر یک از رئوس تولید شده است (جدول ۲). تعداد جمعیت اولیه، حداقل تعداد تکرار الگوریتم، احتمال ترکیب و تلفیق و احتمال جهش به ترتیب ۵۰۰، ۵۰، ۰/۱۵ و ۰/۰۱ فرض شده است. همچنین در هر تکرار، ۳۰ مورد از بهترین جواب‌های موجود در جمعیت

جدول ۲- ضرایب تعديل تصادفی تولیدشده برای تست‌های 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)
1	0	18	-0.01	35	-0.1	52	-0.07	1	0	18	-0.06
2	-0.07	19	0.01	36	-0.08	53	-0.06	2	-0.12	19	-0.03
3	0	20	-0.09	37	0.03	54	-0.04	3	-0.03	20	-0.04
4	0.01	21	-0.12	38	0.03	55	-0.08	4	-0.09	21	0.01
5	0.03	22	-0.06	39	-0.03	56	-0.01	5	-0.04	22	-0.07
6	-0.01	23	0.01	40	-0.1	57	-0.03	6	-0.03	23	0.02
7	-0.09	24	-0.08	41	-0.12	58	-0.05	7	-0.06	24	-0.08
8	-0.03	25	-0.04	42	-0.01	59	-0.11	8	0.02	25	0
9	-0.12	26	-0.08	43	0.03	60	-0.08	9	0.03	26	-0.05
10	0	27	-0.03	44	-0.02	61	0.01	10	-0.08	27	-0.09
11	-0.02	28	-0.12	45	0.02	62	0.03	11	-0.06	28	-0.04
12	-0.09	29	-0.12	46	-0.04	63	-0.01	12	-0.04	29	-0.05
13	0.03	30	-0.11	47	-0.01	64	-0.06	13	-0.03	30	-0.01
14	0.01	31	0	48	0.01	65	0.02	14	-0.06	31	0.01
15	-0.09	32	-0.02	49	0.02	66	0	15	0.02	32	-0.09
16	-0.01	33	-0.07	50	0.01			16	-0.12	33	0.02
17	-0.09	34	-0.01	51	-0.08			17	0	34	-0.06

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

حل مسائل استاندارد با ضرایب تعديل صفر

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

جدول ۱- نتایج حل مسائل چاؤ 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

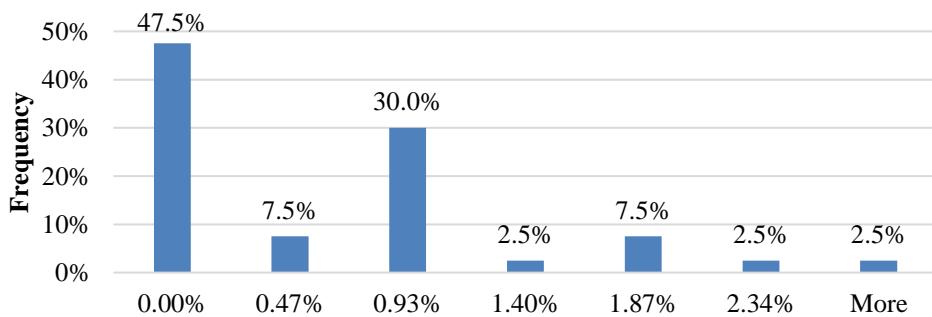
** Best Score from Literature

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 به وجود 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 به کارگیری الگوریتم ژنتیک پیشنهادی برای مسائل استاندارد چاؤ، به مقایسه فاصله‌ای نیز بین امتیازات به دست 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 به کارگیری الگوریتم ژنتیک بر روی مسائل استاندارد با بهترین جواب موجود

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

حل مسائل استاندارد اصلاح شده

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

جدول ۴ - نتایج حل مسائل چاو با ضرایب تعديل با الگوریتم پیشنهادی و مقایسه با حالت بدون ضرایب تعديل

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%

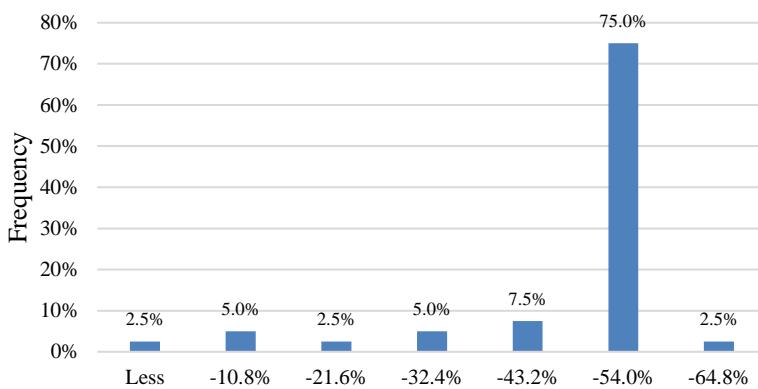
- هر چند تصادفاً مقداری ستون GAP ، صفر یا کوچکتر از صفر می‌باشد، اما این موضوع کاملاً اتفاقی بوده و در شرایط مسائل تصادفی رخ داده است. برای مثال در صورتی که ترتیب بازدید رئوس به گونه‌ای باشد که چگالی رئوس با ضرایب تعديل مشبت بر چگالی رئوس با ضرایب تعديل منفی، غلبه نموده و از این رو باعث افزایش مقدار افق زمانی در دسترس شود، در این صورت امکان بازدید از رئوس بیشتری وجود داشته که متعاقباً می‌تواند افزایش در مقدار امتیاز را به همراه داشته باشد. لیکن با توجه به اینکه ضرایب تعديل به صورت ریسک حاصل از بازدید قابل ترجمه و تفسیر نیز می‌باشد، مقداری کاهشی برای امتیاز بدست 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 تعديل 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 تعديل غیرصرف 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 تعديل در تعییر میزان بهینگی جواب‌های مسائل استاندارد، مقایسه‌ای فیما بین امتیازات حاصل شده از حل مسائل استاندارد با ضرایب تعديل غیرصرف با امتیازات بدست آمده از حل مسائل استاندارد با ضرایب صفر (ستون GA از جدول ۳) توسط الگوریتم ژنتیک پیشنهادی در ستون GAP ، ارائه شده است.

نzedیکتر می‌نماید)، جواب‌هایی که با روش‌های قدیمی و کلاسیک به دست می‌آیند را تا چه میزان تحت تأثیر افزایشی یا کاهشی قرار داده و عملاً سبب بی‌اعتبار شدن جواب‌های منتج از آن‌ها می‌شوند. این مهم‌گویی‌ای اهمیت بررسی مسائل حمل و نقل با در نظر گرفتن پارامترهایی مانند ضرایب تعديل به منظور واقعی‌تر کردن مدل‌ها و باثبات‌تر نمودن جواب‌ها می‌باشد.

استاندارد چاو از صفر درصد تا ۶۴/۷۷ درصد اختلاف در جواب‌ها در مقایسه با حالت بدون ضریب تعديل افق زمانی ایجاد می‌شود. همچنین در ۷۷/۵ درصد از مسائل، وجود ضرایب تعديل 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 تعديل (به عنوان عاملی که مسائل را به شرایط دنیای واقعی



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

و مدیران شهری، برنامه‌ریزان بخش‌های مرتبط (نظیر شرکت‌های فعال در بخش حمل و نقل 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 تعديل 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 تعديل افق زمانی دچار تغییر شده و مقدار جدید به دست 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 فعل در مدل شده و از این

۶- نتیجه‌گیری و پیشنهاد

مسئله جهت‌یابی یکی از مهمترین و پایه‌ای ترین مسائل حوزه مسیریابی بوده و در موارد متعددی طیف وسیعی از مسائل حمل و نقل (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 به ویژه 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 حمل و نقل شهری را برای سیاست‌گذاران

الگوریتم از بهینه‌های محلی را به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد؛ از این رو الگوریتم پیشنهادی می‌توانند به عنوان 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 فراتکاری مناسب‌ضمن بهبود جواب‌های به دست آمده توسط الگوریتم ژنتیک پیشنهادی، سرعت حل آن را نیز بهبود دهند.

به دلیل ماهیت عدم‌قطعیت‌های 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 به عنوان 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 آلایندگی. *اولین همایش ملی بهداشت محیط، سلامت و محیط‌زیست* پایدار.
- بهلول، 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 حمل و نقل حوزه مدیریت شهری با استفاده از مسئله جهت‌یابی با افق زمانی وابسته. *نشریه مدیریت فردی*، ۱۷(۵۶)، ۱۳۷-۱۵۰.
- عزیزی، علی؛ کریمی‌پور، فرید؛ اسماعیلی، علی. (۱۳۹۴). طراحی سفرهای برون‌شهری شخصی در شبکه‌های

رو اساس مسئله جهت‌یابی مورد بحث دجار تغییر شده و متعاقباً این موضوع پویایی موردنظر اداره 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 عدم‌قطعیت‌های ناشناخته موجود در بهینگی تصمیم‌گیری‌ها با استفاده از ضربی تغییر افق زمانی، به حداقل رسانده شود. همچنین این مقاله زمینه‌ساز توسعه نوع جدیدی از مسئله جهت‌یابی با عنوان جهت‌یابی با افق زمانی غیرثابت 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 حمل و نقل شهری برخوردار است.

از منظر کاربردی نیز مسئله جدید می‌تواند زیرساخت‌های ریاضیاتی و نرم‌افزاری مناسب جهت اتخاذ تصمیمات مناسب و پایدار در حوزه برنامه‌ریزی حمل و نقل عمومی شهری بهویژه وسائل نقلیه خصوصی فعال در بخش عمومی، طراحی سیستم‌ها و شبکه‌های توزیع کالا یا ارائه خدمت در سطح شهر، امدادرسانی 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 تردددها و تغییر 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

- 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., & Chociej, K. (2018). *Optimization of Multistage Tourist Route for Electric Vehicle*. Paper presented at the Computer Science Online 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 و راثتی. نشریه مهندسی حمل و نقل، ۷(۲)، ۲۶۳-۲۷۶.
- تعاونت 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.
- Tsilibigrides, 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