فصلنامه علمی اقتصاد و مدیریت شهری، ۱۰(۲(پیاپی ۳۸))، ۱۶-۱
www.iueam.ir
نمایه در ISC، EconLit، Econbiz، EBZ، GateWay-Bayern، SID، Google Scholar، Noormags، Magiran،
Civilica، RICeST، Ensani
شاپا: ۲۸۷۰-۲۳۴۵

فصلنامه علمی
اقتصاد و مدیریت شهری

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

مهدی جعفریان* دکتری رشته مهندسی صنایع، دانشگاه پیام‌نور، تهران، ایران
عزیزاله جعفری دانشیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه علم و فرهنگ، تهران، ایران
رامین صادقیان 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 آن‌که 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

[Downloaded from iueam.ir on 2026-11-08]

۱- مقدمه

موضوع سفر و حمل‌ونقل 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 قابل‌توجهی 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 حمل‌ونقل شهری تهران، ۱۳۹۹) و طبیعتاً این میزان سفر با توجه به گسترش جمعیتی و فیزیکی شهر در سال‌های اخیر و آتی، با افزایش قابل‌ملاحظه‌ای 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 حمل‌ونقل 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 به‌سزایی برخوردار می‌باشد. برای مثال در پژوهشی که در سال ۲۰۱۰ انجام شده است، سهم بخش حمل‌ونقل در تولید گازهای گلخانه‌ای ۱۵ درصد و در تولید CO_2 23 درصد اعلام شده است که این میزان انتشار گاز CO_2 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 حمل‌ونقل 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 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 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 حمل‌ونقل 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 حمل‌ونقل شده و تحقیقات بسیار گسترده‌ای به ارائه مدل‌های بهینه‌سازی برای انواع مسائل حمل‌ونقل، تحت عناوین مختلفی پرداخته‌اند. در این میان پژوهشگران متعددی، مسائل حمل‌ونقل را در قالب مسئله مسیریابی [1] 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

1- Routing Problem

[Downloaded from iueam.ir on 2026-11-08]

جهت‌یابی[1] (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[2] (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 ضریبی تحت عنوان ضریب تعدیل افق زمانی در مسئله لحاظ می‌شود. با توجه به عدم‌کارایی 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 بیرویث[3] (۲۰۱۸)، سان[4] و همکاران (۲۰۱۸) و اوستروسکی[5] و همکاران (۲۰۱۷) به مدل‌سازی و حل مسئله OP با پنجره زمانی[6] (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.

لیائو و ژنگ[7] (۲۰۱۸)، واراکانتام[8] و همکاران (۲۰۱۸) و اوستروسکی (۲۰۱۷) گونه‌ی دیگری از OP به نام مسئله جهت‌یابی وابسته به زمان[9] (TDOP) را موردمطالعه 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 این‌صورت مدل یک جواب نشدنی ایجاد کرده است.

کاربوسکا و چوسیج[10] (۲۰۱۸) و کوتیل‌اوقلو[11] و همکاران (۲۰۱۷) برای مسئله جهت‌یابی به جای یک

1- Orienteering Problems
2- Orienteering Problems with Dependent Time Horizon

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

[Downloaded from iueam.ir on 2026-11-08]

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[1] 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[2] (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 فیمابین 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 مبتنی‌بر مفاهیم حریصانه ارائه شدکه 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[3] 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

[Downloaded from iueam.ir on 2026-11-08]

۳- مبانی نظری

از زمان پیدایش مفهوم مسیرها و دورهای همیلتونی» توسط ویلیام رومن همیلتون [1] در اواسط قرن هجدهم میلادی، مسائل بسیار زیادی از جمله مسئله فروشنده دوره‌گرد[2] (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 [3]، مسئله فروشنده دوره‌گرد انتخابی[4] ، مسئله طراحی مسیر گردشگر و مسئله فروشنده دوره‌گرد با زمان محدود [5] 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 ساس سه مسئله به شرح ذیل وجود خواهد داشت (Feillet et al., 2005):

- **مسئله تور سودآور**[6]: 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[7] 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**[8]: 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[9] در سال ۱۹۸۹صورت 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

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
7- Dell'Amico
8- Prize Collecting Traveling Salesman Problem
9- Balas

[Downloaded from iueam.ir on 2026-11-08]

با افق زمانی غیرثابت که در آن بین افق زمانی (زمان در دسترس) و وقایع، اتفاقات و شرایط به‌وجود آمده حین بازدید هر یک از رئوس، وابستگی وجود دارد، مدنظر قرار گرفته است. این وابستگی جهت ساده‌سازی، با استفاده از ضرایبی تحت عنوان ضرایب تعدیل 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,…,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 شرح ذیل می‌باشد (Gunawan et al., 2016; Vansteenwegen et al., 2011):

$$Max \sum_{i=2}^{N-1}\sum_{j=2}^{N} S_i \times x_{ij} \quad (۱)$$

$$\sum_{j=2}^{N} x_{1j} = \sum_{i=1}^{N-1} x_{iN} = 1, \quad (۲)$$

$$\sum_{i=1}^{N-1} x_{ik} = \sum_{j=2}^{N} x_{kj} \le 1; \qquad \forall k = 2,\dots,N-1, \quad (۳)$$

$$\sum_{i=1}^{N-1}\sum_{j=2}^{N} t_{ij} \times x_{ij} \le T_{max}, \quad (۴)$$

$$2 \le u_i \le N; \qquad \forall i = 2,\dots,N, \quad (۵)$$

$$u_i - u_j + 1 \le (N-1)(1-x_{ij}); \qquad \forall i,j = 2,\dots,N, \quad (۶)$$

$$x_{ij} \epsilon \{0,1\}; \qquad \forall i,j = 1,\dots,N. \quad (۷)$$

که در آن x_ij=1 در صورتی که بازدید رأس j ام پس از بازدید رأس i ام صورت پذیرد و در غیر این‌صورت مقدار آن صفر است. همچنین u_i موقعیت ترتیبی رأس i ام در مسیر است. تابع هدف مربوط به حداکثر کردن 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[1] 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 تعدیل 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 به‌وجود 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 زمان‌بر بوده و کاربردی‌تر آن است که روش‌های ابتکاری و فراابتکاری در این خصوص به‌کار گرفته شود (Vansteenwegen et al., 2011). لذا با توجه به NP-hard بودن مسئله جهت‌یابی (OP) ، مسئله جهت‌یابی با افق زمانی وابسته (OPDTH) نیز به‌عنوان زیرمجموعه‌ای از مسئله

1- Miller-Tucker-Zemli

[Downloaded from iueam.ir on 2026-11-08]

جهت‌یابی، NP-hardخواهد 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[1] 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[2] 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[3] برای اولین بار در سال ۲۰۰۰ برای حل مسئله جهت‌یابی از الگوریتم ژنتیک استفاده نموده‌اند

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 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[4] در سال ۱۹۹۴ دو نوع نمایش کروموزومی برای مسئله کوله‌پشتی تحت عناوین مبتنی‌بر انتخاب و مبتنی‌بر ترتیب ارائه نموده است. عمدتاً 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.

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

[Downloaded from iueam.ir on 2026-11-08]

ج) عملگر انتخاب[1]: عملگر انتخاب ، اولین عملگری است که باید در الگوریتم ژنتیک طراحی شود. درجه همگرایی الگوریتم به مکانیزم به‌کار گرفته شده در این عملگر وابسته است .(Dutta et al., 2015) در این مقاله، عملگر رولت ویل[2] به‌عنوان عملگر انتخاب مورد استفاده قرار گرفته است که در این روش برای هر کروموزومی مانندi ، بر اساس مقدار تابع برازندگی آن (f_i)، احتمالی به میزان p_i مطابق با فرمول زیر به آن تخصیص داده می‌شود و بدین صورت، کروموزوم‌های دارای تابع برازندگی بیشتر، از شانس انتخاب بالاتری برخوردار خواهند بود .N تعداد کل رئوس موجود در مسئله می‌باشد.

$$p_i = \frac{f_i}{\sum_{j=1}^{N} f_j} \qquad (۸)$$

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 مبتنی‌بر پرکاربردترین و کاراترین عملگرهای ترکیب و تلفیق ارائه‌شده برای مسئله فروشنده دوره‌گرد استفاده شده است. این دو عملگر عبارتند از:

- عملگر ترتیب[3] (Davis, 1985)
- عملگر حلقه‌ای[4] (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 به‌کارگیری 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.

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

- عملگر جابه‌جایی[5] ((Michalewicz & Hartley, 1996))
- عملگر وارون‌سازی[6].((Fogel, 1990))

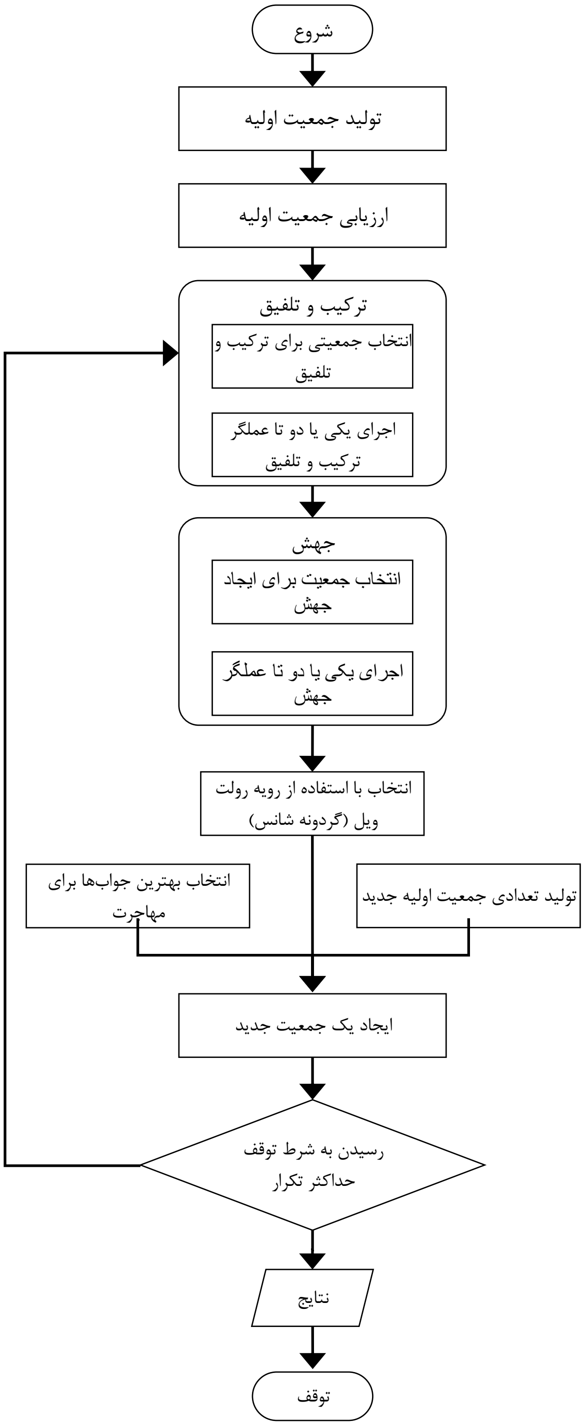
در خصوص عملگرهای جهش نیز در الگوریتم پیشنهادی، به صورت تصادفی ممکن است حداقل یک عملگر و حداکثر هر دو عملگر طراحی‌شده به منظور جهش یک جواب مورد استفاده قرار گیرد. نوع عملگرها و ترتیب به‌کارگیری آن‌ها نیز به صورت کاملاً تصادفی انتخاب می‌شود.

ی) 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.

1- Selection Operator
2- Roulette Wheel
3- Order Crossover
4- Cycle Crossover
5- Displacement
6- Inversion

[Downloaded from iueam.ir on 2026-11-08]



شکل ۱- فلوچارت الگوریتم ژنتیک پیشنهادی

برای حالت پایه‌ای مسئله OP، ۸۹ داده استاندارد توسط تیسیلی‌گیریدیس[1] در سال ۱۹۸۴ و چآو[2] در سال ۱۹۹۳ ارائه شده است (جدول ۱).

1- Tsiligirides
2- Chao

[Downloaded from iueam.ir on 2026-11-08]

جدول ۱- مثال‌های استاندارد برای مسئله جهت‌یابی

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

در این مقاله به منظور خلاصه‌سازی صرفاً بر حل ۴۰ مسئله چآو تمرکز شده است که البته با توجه به تعداد رئوس بیشتر این مسائل نسبت به مسائل تیسیلی‌گیریدیس، 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، حداکثر تعداد تکرار الگوریتم، احتمال ترکیب و تلفیق و احتمال جهش به ترتیب ۵۰۰، ۵۰۰، ۰/۱۵و ۰/۱ فرض شده است. همچنین در هر تکرار، ۳۰ مورد از بهترین جواب‌های موجود در جمعیت مجدداً وارد عملگر جهش می‌شوند و نیز ۲۰ مسیر جدید تولید و به جمعیت اضافه می‌شود.

۵- یافته‌های پژوهش

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

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

جدول ۲- ضرایب تعدیل تصادفی تولیدشده برای تست‌های استاندارد چآو

1st Dataset

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

2nd Dataset

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

حل مسائل استاندارد با ضرایب تعدیل صفر

این حالت در واقع حالت آزاد شده[1]» مسئله OPDTH یا همان مسئله OP پایه می‌باشد؛ لذا نتایج به دست آمده در این شرایط قابل‌مقایسه با نتایج ارائه شده در ادبیات برای مسئله OP است(جدول ۳).

1- Relaxed

[Downloaded from iueam.ir on 2026-11-08]

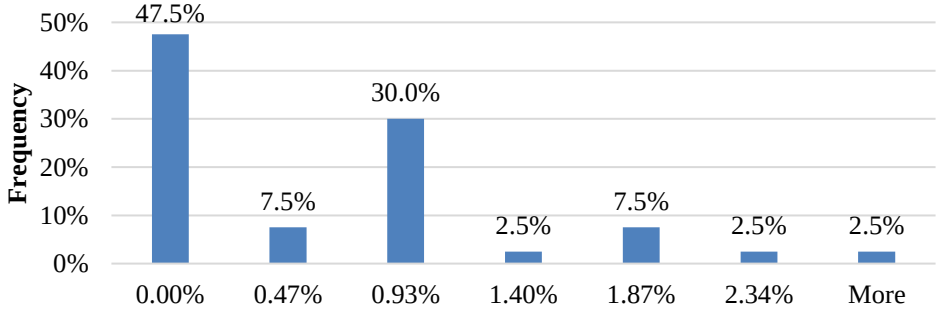
جدول ۱- نتایج حل مسائل چآو با الگوریتم پیشنهادی و مقایسه با بهترین جواب موجود

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

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 بسیار نزدیک به بهترین جواب‌های موجود در ادبیات ارائه کرده است. بدین صورت که در ۴۷/۵درصد 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.



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

[Downloaded from iueam.ir on 2026-11-08]

حل مسائل استاندارد اصلاح‌شده

در این بخش مسائل استانداردی که با اضافه شدن ضرایب بازدید تولید شده‌اند (جدول ۲)، با استفاده از الگوریتم پیشنهادی حل شده و نتایج آنها با نتایج حاصل از حل مسائل استاندارد با الگوریتم پیشنهادی مقایسه شده‌ند (جدول ۴).

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

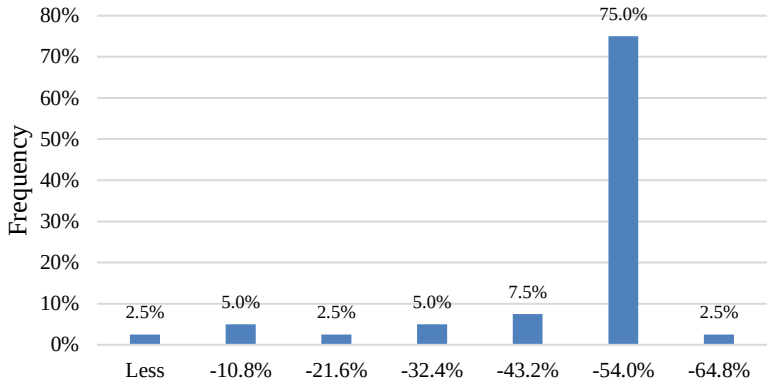
NO	T_{max}	GA	CPU	GAP*	NO	T_{max}	GA	CPU	GAP
1st Series									
1	5	10	0.11	0.00%	14	70	375	1.06	-63.94%
2	10	35	0.05	-12.50%	15	75	420	0.74	-62.83%
3	15	85	0.97	-29.17%	16	80	455	0.96	-62.24%
4	20	130	0.96	-36.59%	17	85	500	1.00	-60.32%
5	25	165	0.95	-43.10%	18	90	465	1.11	-64.77%
6	30	180	0.76	-55.00%	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%

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 غیرصفر 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 غیرصفر با امتیازات به‌دست آمده از حل مسائل استاندارد با ضرایب صفر (ستون GA از جدول ۳) توسط الگوریتم ژنتیک پیشنهادی در ستون GAP ، ارائه شده است.
- 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 رئوس به گونه‌ای باشد که چگالی رئوس با ضرایب تعدیل مثبت بر چگالی رئوس با ضرایب تعدیل 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 تعدیل به صورت ریسک حاصل از بازدید قابل ترجمه و تفسیر نیز می‌باشد، مقادیر کاهشی برای امتیاز به‌دست 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

[Downloaded from iueam.ir on 2026-11-08]

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 قابل‌توجهی 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

[Downloaded from iueam.ir on 2026-11-08]

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 عدم‌قطعیت‌های 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 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 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، 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 ترددها 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 می‌توانند 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 فرابتکاری مناسب ضمن بهبود جواب‌های به‌دست 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 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 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 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

[Downloaded from iueam.ir on 2026-11-08]

حمل‌ونقل بـا الگـوریتم وراثتـی. *نشـریه مهندسـی حمل‌ونقل*، *۷*(۲)، ۲۶۳-۲۷۶.

معاونت و سازمان حمل‌ونقل و ترافیـک شـهرداری تهـران (۱۳۹۹). گزیده آمار و اطلاعات حمل‌ونقل 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.

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 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

[Downloaded from iueam.ir on 2026-11-08]

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

[Downloaded from iueam.ir on 2026-11-08]