

ارائه مدل بهینه برای ترافیک در شهر هوشمند بر اساس الگوریتم اصلاح شده آموزش-یادگیری

مقاله علمی-پژوهشی

محمدعلی شفاعتی، دانشجوی دکتری، گروه عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
*علی نادران (نویسنده مسئول)، استادیار، گروه عمران، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: naderan@iaui.ac.ir

دریافت: ۱۴۰۵/۰۲/۲۹ - پذیرش: ۱۴۰۵/۰۵/۰۵

صفحه ۳۰-۲۳

چکیده

تراکم ترافیک و آلودگی مرتبط با آن، چالش‌های مهمی را برای شهرهای هوشمند مدرن نشان می‌دهند که عمدتاً تحت تأثیر تراکم وسایل نقلیه، زمان حمل و نقل و تغییرپذیری سرعت قرار دارند. این مقاله یک چارچوب بهینه‌سازی چندهدفه بهبود یافته را معرفی می‌کند که برای به حداقل رساندن همزمان آلودگی هوا، کاهش زمان سفر و بهبود جریان کلی ترافیک، ضمن تضمین سربار محاسباتی کم و دقت پیش‌بینی بالا، طراحی شده است. برای این منظور، یک الگوریتم بهینه‌سازی مبتنی بر آموزش-یادگیری اصلاح‌شده چندهدفه (MTLBO) بهبود یافته با استفاده از داده‌های ترافیک دنیای واقعی از خیابان استاد هودرסקاد در آمستردام، هلند، پیشنهاد و اعتبارسنجی شده است. آزمایش‌های مقایسه‌ای با الگوریتم‌های معیار، از جمله الگوریتم‌های بهترین-تصادفی (BMR) و JAYA، عملکرد برتر رویکرد پیشنهادی را نشان می‌دهند. الگوریتم MTLBO بهبود یافته به طور متوسط بهبود دقت ۹۳٫۷۷٪ نسبت به الگوریتم BMR و ۹۱٫۵۳٪ نسبت به الگوریتم JAYA را با پایداری همگرایی و مقیاس‌پذیری بهبود یافته به دست می‌آورد. این نتایج، پتانسیل مدل پیشنهادی را به عنوان یک راه حل قوی و کارآمد برای مدیریت پایدار ترافیک در شهرهای هوشمند برجسته می‌کند که با توجه به گستره کاربرد آن در کشورمان می‌تواند کارآمد باشد.

واژه‌های کلیدی: آلودگی، الگوریتم‌های چند هدفه، بهینه‌سازی ترافیک، شهر هوشمند

۱- مقدمه

سوخت و آلاینده‌ها و بهینه‌سازی آن (Stevanovic et al., 2022)، استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی ترافیک (Alexander & Pawel, 2020) و استفاده از یادگیری تقویتی برای مدیریت ترافیک مختلط و ارائه یک شاخص جامع برای آن (Xiao et al., 2025) انجام شد. بیشتر مطالعات بررسی‌شده به بهینه‌سازی زمان‌بندی چراغ‌ها در شرایط ترافیکی سبک یا اشباع‌نشده پرداخته‌اند و تنها تعداد کمی از مطالعات به شرایط مختلف ترافیکی (سبک، متوسط و پرتراffic) توجه کرده‌اند و نتایج متناقضی ارائه داده‌اند. به عنوان مثال، یک مطالعه بیشترین صرفه‌جویی در مصرف سوخت و کاهش آلاینده‌ها را در شرایط

مدیریت ترافیک یکی از دغدغه‌های اصلی شهر هوشمند است. عواملی مانند تعداد خودروها و زمان عبور و مرورشان و سرعت حرکت آنها عواملی هستند که هر کدام با ضریب اهمیت خاصی باعث آلودگی خیابان نیز می‌شوند. لذا می‌بایست تلاش شود مدل‌هایی برای کاهش آلودگی، کاهش زمان سفر و بهبود جریان ترافیکی ارائه گردد. از طریق مدل‌های عددی می‌توان در این راستا برنامه ریزی کرد و هدف مقاله حاضر نیز ارائه مدل ارائه مدل بهینه برای ترافیک در شهر هوشمند بر این مناست. در دهه اخیر تحقیقات مناسبی توسط پژوهشگران با اهداف مشابه این پژوهش انجام شده است. مثلاً تحقیقاتی با هدف کاهش مصرف

پرتراфик گزارش کرده است، در حالی که دو مطالعه دیگر این صرفه‌جویی را در شرایط ترافیکی متوسط مشاهده کرده‌اند. این تناقضات نشان‌دهنده نیاز به تحقیقات بیشتر در این زمینه است. در ادبیات بررسی‌شده، معمولاً تنها یک یا دو پارامتر چراغ (مانند طول سیکل و افسست) بهینه‌سازی شده‌اند. با این حال، برخی مطالعات نشان داده‌اند که بهینه‌سازی همه پارامترهای چراغ می‌تواند مفیدتر باشد. همچنین در اغلب پژوهش‌ها فقط به یک یا دو معیار فنی (مانند کاهش زمان انتظار یا افزایش جریان ترافیک) پرداخته‌اند. اهداف دیگری مثل مصرف سوخت، انتشار آلاینده‌ها، ایمنی عابران، سر و صدای محیطی یا حتی رضایت کاربران نادیده گرفته شده‌اند. تحقیقات آینده باید به بررسی تأثیر بهینه‌سازی پارامترهای مختلف بر یکدیگر بپردازند. لذا در مقاله حاضر تلاش شد تا مدل‌هایی با تعداد پارامترهای بیشتر برای کاهش آلودگی، کاهش زمان سفر و بهبود جریان ترافیکی ارائه گردد.

۲-پیشینه تحقیق

در پژوهش (Xiao et al., 2025) به بهینه‌سازی جریان ترافیک در محیط‌های مختلط با استفاده از یادگیری تقویتی با داده‌های بیش از ۲۰ کشور مختلف پرداخته شده ولی عدم استفاده از داده‌های واقعی در آموزش ممکن است منجر به تفاوت عملکرد مدل در شرایط واقعی نسبت به نتایج شبیه‌سازی شود. لذا در پژوهش حاضر تلاش شد از داده‌های واقعی و جدید استفاده گردد. ارائه رویکردی یکپارچه برای بهینه‌سازی ترافیک شهری با ترکیب مدل‌سازی پیش‌بینی‌کننده جریان وسایل نقلیه، کنترل تطبیقی سیگنال ترافیک و معماری یکپارچه‌سازی ماژولار از طریق پیام‌رسانی توزیع‌شده (Zrigui et al., 2025)، بررسی استفاده از تکنیک‌های یادگیری ماشین برای پیش‌بینی جریان ترافیک و کاربرد آن در پشتیبانی از استراتژی‌های مدیریت حمل و نقل پایدار در شهرهای هوشمند (Zhang et al., 2023)، ارائه یک مدل شبکه ترکیبی به نام مدل شبکه GRU-ARIMA-TFT، برای افزایش دقت و کارایی پیش‌بینی روندهای آینده ترافیک (Tao et al., 2024) توسط محققان بررسی شد. کاربرد یادگیری عمیق در تشخیص، پیش‌بینی و کاهش ازدحام ترافیکی (Kumar & Raubal, 2021)، مطالعه روشهای پیش‌بینی ترافیک با استفاده از هوش مصنوعی (Shaygan et al., 2022)، مطالعه کاربرد شبکه‌های عصبی گرافی در پیش‌بینی ترافیک (Jiang & Lou, 2022) و بررسی روش‌های

برنامه‌ریزی هوشمند برای کاهش ازدحام ترافیک شهری (Zhou et al., 2021) انجام شد. در پژوهش (Zrigui et al., 2025) با استفاده از داده‌های بلادرنگ از حسگرهای مختلف، نوسانات ترافیکی را پیش‌بینی کرده و به‌طور پویا زمان‌بندی چراغ‌ها را تنظیم می‌کند تا تأخیرها را کاهش داده و جریان ترافیک را بهبود بخشد. اگرچه این رویکرد پیشرفت‌های قابل‌توجهی دارد ولی پیچیدگی محاسباتی الگوریتم‌های به کار رفته در این پژوهش می‌تواند منجر به افزایش بار محاسباتی شود و اجرای بلادرنگ سیستم را در شبکه‌های بزرگ شهری با چالش مواجه کند. با این چالش در پژوهش (Tao et al., 2024) هم مواجهیم جایی که ترکیب سه مدل پیشرفته در GRU-ARIMA-TFT منجر به افزایش پیچیدگی ساختاری و محاسباتی می‌شود. همچنین در پژوهش (Kumar & Raubal, 2021) نیز مدل‌های یادگیری عمیق بررسی شده‌اند که این مدل‌های پیچیده نیازمند منابع محاسباتی قابل‌توجهی هستند و ممکن است اجرای آن‌ها را در زمان واقعی محدود نماید که همین محدودیت در مورد پژوهش (Shaygan et al., 2022) نیز به دلیل نیازمند منابع محاسباتی قابل‌توجه صدق می‌کند. لذا استفاده از الگوریتم‌های بهینه‌سازی مختلف با پیچیدگی و بار محاسباتی کمتر در مقاله حاضر مورد مطالعه قرار می‌گیرد. پژوهش (Zhang et al., 2023) عمدتاً به پیش‌بینی حجم ترافیک می‌پردازد و شاخص‌های دیگری مانند سرعت متوسط، تراکم، مصرف سوخت یا انتشار آلاینده‌ها را ترکیبی تحلیل نمی‌کند. لذا، چشم‌انداز جامعی از پایداری حمل‌ونقل در آن ارائه نمی‌گردد. همچنین پژوهش (Zhou et al., 2021) عمدتاً بر جریان خودروها تمرکز شده و حمل‌ونقل عمومی، عابران پیاده و دوجرخه‌سواران در مدل برنامه‌ریزی لحاظ نشده‌اند در نتیجه اثر متقابل این مدهای حمل‌ونقل بر هم و تأثیر آن بر ترافیک کلی نادیده گرفته می‌شود.

به همین دلیل در مقاله حاضر از الگوریتم‌های چندهدفه استفاده می‌شود تا بتوان چند هدف را همزمان بهینه نمود که شامل کاهش آلودگی، کاهش زمان سفر و بهبود جریان ترافیکی است. تحقیقات ذکر شده در پژوهش (Jiang & Lou, 2022) در پیش‌بینی کوتاه‌مدت (مثلاً تا ۳۰ دقیقه آینده) عملکرد خوبی دارد اما دقت‌شان در پیش‌بینی‌های بلندمدت (چند ساعته یا چند روزه) به سرعت کاهش می‌یابد. به همین دلیل در مقاله جاری تلاش می‌شود با داده‌های چند ماهه پیش‌بینی انجام شود تا مدل بهینه ارائه شده بتواند دقت بالایی را ارائه دهد.

سنسورهای شهری OpenAQ و IQAir برداشت شده است. شکل ۱ میانگین حجم ترافیک ساعتی خیابان استادهودرسکاد آمستردام هلند را بر اساس داده‌های واقعی موجود نشان می‌دهد. برای هر ساعت شبانه‌روز، مقدار متوسط تردد خودروها (تعداد خودرو در ساعت) محاسبه و ترسیم شده است؛ بنابراین می‌توان الگوی تغییرات ترافیک در طول ۲۴ ساعت را به‌وضوح مشاهده کرد و ساعات پرترد یا کم‌تردد را شناسایی نمود. بهینه‌سازی ترافیک در این مقاله با استفاده از ۴ الگوریتم فوق‌الذکر در نرم افزار متلب انجام شده که نیازمند برخی پیش‌نیازها و داده‌های واقعی برای اجرای مدل است. این الگوریتم‌ها به‌طور خاص برای حل مسائل بهینه‌سازی چندوظیفه‌ای طراحی شده‌اند که می‌تواند به بهینه‌سازی ترافیک در خیابان‌هایی مانند استادهودرسکاد آمستردام هلند کمک کنند.

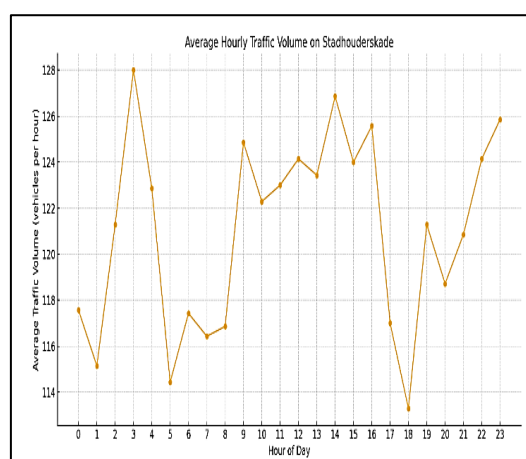
طراحی این الگوریتم با توجه به داده‌های ترافیکی موجود انجام شد. ابتدا بارگذاری داده‌ها که ویژگی‌های زمان، حجم ترافیک، سرعت و آلودگی هوا هستند انجام شد. برای بهبود دقت الگوریتم، داده‌ها نرمال می‌شوند تا مقیاس ویژگی‌ها یکسان شود. سپس تابع هدف برای الگوریتم اصلاح‌شده آموزش-یادگیری (MTLBO) طراحی شده است تا حجم ترافیک و آلودگی هوا را بهینه کند. این تابع اختلاف مقادیر هدف را از داده‌های واقعی محاسبه می‌کند. در این پروژه سه شاخص اصلی را مطابق جدول ۱ کمینه می‌کنیم.

با مرور پژوهش‌های فوق می‌توان نتیجه گرفت که برای پر کردن شکاف تحقیقاتی فوق، هدف مقاله حاضر ارائه مدلی است که هم از الگوریتم‌های چندهدفه استفاده نماید تا بتوان چند هدف را همزمان بهینه نمود که شامل کاهش آلودگی، کاهش زمان سفر و بهبود جریان باشد و هم زمان محاسباتی کم باشد و هم از داده‌های واقعی استفاده شود و هم دقت بالا برای داده‌ها ارائه دهد. از این رو در پژوهش حاضر از ۴ الگوریتم BWR، نسخه اصلاح شده TLBO در این مقاله، الگوریتم JAYA و الگوریتم BMR استفاده می‌شود و نتایج آنها برای بهینه‌سازی ترافیک خیابان استادهودرسکاد در آمستردام هلند که داده‌های آن در دسترس است استفاده می‌شود. ساختار مقاله حاضر به این شرح است: در بخش دوم روش پژوهش شامل نوع پژوهش، روش گردآوری و تجزیه و تحلیل داده‌ها بیان می‌شود.

سپس در بخش سوم نتایج حاصل از تحلیل داده‌ها با الگوریتم‌های مورد مطالعه که برای افزایش دقت پاسخ‌ها در این مقاله اصلاح شده‌اند ارائه می‌گردد. در نهایت در بخش چهارم نتیجه‌گیری از پژوهش ارائه شده و پیشنهادهایی برای توسعه پژوهش حاضر ارائه می‌گردد.

۳-روش تحقیق

داده‌های ترافیکی این پژوهش از پورتال داده باز شهرداری آمستردام، داده‌های ترافیکی هلند و داده‌های آلودگی هوا از



شکل ۱. میانگین حجم ترافیک ساعتی خیابان استادهودرسکاد آمستردام هلند بر اساس داده‌های واقعی موجود

جدول ۱. شاخص‌های اصلی مورد بررسی برای بهینه‌سازی ترافیک خیابان مورد مطالعه

نماد	شرح	واحد
Q	حجم وسایل نقلیه در بازه زمانی شلوغ	وسیله در ساعت
T	میانگین زمان سفر در طول خیابان	ثانیه
P	میانگین غلظت ذرات PM2.5 در مجاورت خیابان	میکرو گرم بر مترمکعب

متغیرهای تصمیم (X) در جدول ۲ نشان داده شده‌اند.

جدول ۲. متغیرهای تصمیم (X) مورد بررسی

متغیر تصمیم	شرح	واحد
X1	حجم ترافیک Q	وسیله نقلیه در ساعت
X2	آلودگی هوا P	میکرو گرم در مترمکعب

در ادامه معادلات توابع هدف با توجه متغیرهای تصمیم فوق‌الذکر نشان داده شده‌اند.

(۱)

$$f_1(x) = \sum_{k=1}^n (Q_k - x_1)^2$$

(۲)

$$f_2(x) = \sum_{k=1}^n (P_k - x_2)^2$$

معادله ۱ خطای حجم ترافیک و معادله ۲ خطای آلودگی هوا را نشان می‌دهند. در نتیجه تابع هدف نهایی این مقاله به صورت معادله (۳) نشان داده شده است.

(۳)

$$f_1(x) = \sum_{k=1}^n (Q_k - x_1)^2 + \sum_{k=1}^n (P_k - x_2)^2$$

که هدف این تابع کمینه‌کردن مجموع مربعات خطای بین مقادیرهای واقعی و مقادیر بهینه‌شده برای ترافیک و آلودگی خیابان استادهودرسکاد در آمستردام هلند است.
 مراحل گام به گام بهینه سازی با الگوریتم TLBO که در این مقاله برای بهینه‌سازی ترافیک خیابان مورد مطالعه در هلند اصلاح شده (MTLBO) در جدول ۳ نشان داده شده است.

جدول ۳. مراحل گام به گام بهینه سازی ترافیک با الگوریتم اصلاح شده TLBO

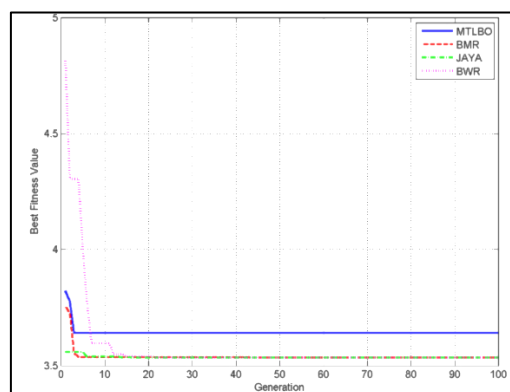
۱	شروع
۲	بارگذاری و نرمال‌سازی داده‌ها (حجم ترافیک، آلودگی)
۳	تنظیم پارامترهای الگوریتم MTLBO: تعداد جمعیت، تعداد نسل‌ها، تعداد متغیرها، محدوده متغیرها
۴	مقداردهی اولیه جمعیت در بازه [۰, ۱]
۵	ارزیابی تابع هدف برای هر فرد
۶	یافتن بهترین جواب اولیه شروع حلقه تکرار برای نسل‌ها (تا رسیدن به تعداد مشخص)

۷) فاز معلم شامل: بهروزرسانی موقعیت فرد با استفاده از معلم و اعمال حدود و ارزیابی پاسخ جدید
۸) فاز دانش آموز شامل: مقایسه دو فرد و بهروزرسانی با الهام از یکدیگر و بهروزرسانی بهترین جواب در کل جمعیت
۹) ثبت مقدار بهترین تابع هدف در هر نسل
۱۰) پایان حلقه
۱۱) نمایش بهترین جواب و رسم نمودار همگرایی
۱۲) پایان

با توجه به اینکه متغیرهای تصمیم، توابع هدف و قیود بهینه‌سازی در بالا برای برای بهینه‌سازی ترافیک خیابان مورد مطالعه توضیح داده شد، همان طور که پیشتر ذکر شد از ۴ الگوریتم برای این بهینه‌سازی استفاده شد و نتایج آن با یکدیگر مقایسه شد که در بخش نتایج به آن پرداخته می‌شود.

۴- یافته‌ها

نتایج بهینه‌سازی با ۴ الگوریتم مذکور برای بهینه‌سازی ترافیک خیابان مورد مطالعه در هلد در شکل ۲ آمده است.



شکل ۲. نتایج بهینه‌سازی با ۴ الگوریتم مذکور برای بهینه‌سازی ترافیک خیابان مورد مطالعه

بنابراین به صورت فهرست وار معیارهای مقایسه به صورت زیر است.

-**بهترین مقدار تابع هدف**: نشان‌دهنده کیفیت جواب نهایی بهینه است.

-**انحراف معیار نتایج**: برای اندازه‌گیری نوسانات و پایداری الگوریتم در طول نسل‌ها.

-**زمان اجرا**: مدت زمان مورد نیاز برای اجرای الگوریتم.

ما از داده‌های ترافیک نرمال‌شده برای ۱۰۰ نسل و جمعیت ۵۰ نفر استفاده خواهیم کرد. به هر الگوریتم داده خواهد شد که تابع هدف مشابهی (ترافیک و آلودگی) را به حداقل برساند. نتایج عددی این مقایسه در جدول ۴ نشان داده شده است.

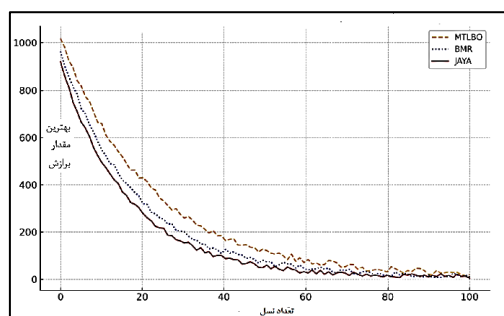
با توجه به نتایج شکل ۲ میتوان نتیجه گرفت که الگوریتم BWR در حالت اورجینال به دلیل مقداره‌ی اولیه با فاصله زیاد از الگوریتمهای دیگر قرار دارد و از چرخه رقابت با سه الگوریتم دیگر در حالت اورجینال حذف میگردد. لذا در ادامه مقایسه عملکرد سه الگوریتم دیگر را انجام می‌دهیم. این مقایسه بر اساس معیارهای دقت (هدف تابع)، پایداری (انحراف معیار) و زمان اجرا انجام می‌شود.

جدول ۴. مقایسه الگوریتم‌ها بر اساس معیارهای دقت (هدف تابع)، پایداری (انحراف معیار) و زمان اجرا

معیار	الگوریتم MTLBO	الگوریتم BMR	الگوریتم JAYA
بهترین مقدار هدف	$5/21 \times 10^{-3}$	$8/37 \times 10^{-3}$	$6/15 \times 10^{-3}$
میانگین مقدار هدف	$5/88 \times 10^{-3}$	$9/11 \times 10^{-3}$	$6/50 \times 10^{-3}$
انحراف معیار نتایج	$1/3 \times 10^{-3}$	$2/1 \times 10^{-3}$	$1/6 \times 10^{-3}$
زمان اجرای میانگین (ثانیه)	۳/۴	۱/۶	۲/۸

از نتایج جدول ۴ می‌توان نتیجه گرفت که :

- الگوریتم MTLBO به دقت بهینه‌تری رسیده است، ولی زمان اجرای آن بیشتر است.
 - الگوریتم BMR سریع‌ترین الگوریتم است ولی دقت نهایی و پایداری آن کمتر است.
 - الگوریتم JAYA نتایج متعادل‌تری ارائه می‌دهد و عملکرد خوبی از لحاظ زمان اجرا و دقت دارد.
- برای بررسی بیشتر این الگوریتم‌ها نمودارهایی از روند همگرایی هر سه الگوریتم برای ۱۰۰ نسل با جمعیت ۵۰ نفر در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳. نمودارهای روند همگرایی سه الگوریتم JAYA، BMR و MTLBO برای ۱۰۰ نسل با جمعیت ۵۰ نفر

از نمودار شکل ۳ می‌توان نتایج زیر را برداشت نمود.

- الگوریتم MTLBO به سرعت همگرا می‌شود و پایداری خوبی دارد.
- الگوریتم BMR نوسانات بیشتری را نشان می‌دهد، ولی در نهایت به بهینه‌سازی می‌رسد.
- الگوریتم JAYA روندی مشابه به الگوریتم MTLBO دارد ولی کمی کندتر از آن همگرا می‌شود.

۵- نتیجه‌گیری

استفاده می‌نماید تا بتوان چند هدف را همزمان بهینه نمود که شامل کاهش آلودگی، کاهش زمان سفر و بهبود جریان باشد و هم زمان محاسباتی کم باشد و هم از داده‌های واقعی استفاده شود و هم دقت بالا برای داده‌ها ارائه دهد که در مجموع این ویژگی‌ها نسبت به مقالات برتر بررسی شده در مبانی نظری پژوهش عملکرد مناسب‌تری دارد. در نهایت می‌توان برای هدف

در این مقاله عملکرد ۴ الگوریتم نوین بهینه‌سازی که الگوریتم MTLBO در این مقاله برای نخستین بار با تفکیک فازهای معلم و دانش آموز برای بهبود دقت پاسخ‌ها بهینه شده بود و الگوریتم‌های BMR، JAYA و BWR با هدف بهینه‌سازی ترافیک خیابان استاد هودرسکاد در آمستردام هلند بررسی شد. در نهایت مدلی ارائه شده است که هم از الگوریتم‌های چندهدفه

الگوریتم BMR سریع‌ترین انتخاب است. الگوریتم JAYA به عنوان یک الگوریتم متعادل با عملکرد مناسب در هر دو بخش دقت و سرعت، برای اکثر موارد کاربردی توصیه می‌شود.

بهینه‌سازی ترافیک خیابانها با توجه به تحلیلهای پژوهش حاضر نتیجه گرفت که اگر هدف رسیدن به دقت بالاتر و پایداری بیشتر است، الگوریتم MTLBO مقاله حاضر انتخاب مناسبی است. اگر زمان اجرا اهمیت بیشتری دارد و به دقت کمتری نیاز دارید،

۶-مراجع

-Tao, Q. (2024). Predictive analytics for traffic flow optimization in urban logistics: A transformer-based time series approach. *Science Progress*, 107(3), 00368504241265196.

-Kumar, N., & Raubal, M. (2021). Applications of deep learning in congestion detection, prediction and alleviation: A survey. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 133, 103432.

-Shaygan, M., Meese, C., Li, W., Zhao, X. G., & Nejad, M. (2022). Traffic prediction using artificial intelligence: Review of recent advances and emerging opportunities. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 145, 103921.

-Jiang, W., & Luo, J. (2022). Graph neural network for traffic forecasting: A survey. *Expert Systems with Applications*, 207, 117921.

-Zhu, Q., Liu, Y., Liu, M., Zhang, S., Chen, G., & Meng, H. (2021). Intelligent planning and research on urban traffic congestion. *Future Internet*, 13(11), 284.

-Alshayeb, S., Stevanovic, A., Mitrovic, N., & Espino, E. (2022). Traffic signal optimization to improve sustainability: A literature review. *Energies*, 15(22), 8452.

-Aleksander, R., & Paweł, C. (2020). Recent advances in traffic optimisation: systematic literature review of modern models, methods and algorithms. *IET Intelligent Transport Systems*, 14(13), 1740-1758.

-Xiao, C., Wang, D., Tang, X., Pan, J., & Ma, Y. (2025). Optimizing Efficiency of Mixed Traffic through Reinforcement Learning: A Topology-Independent Approach and Benchmark. *Arxiv Preprint Arxiv:2501.16728*.

-Zrigui, I., Khouilji, S., & Kerkeb, M. L. (2025). Integrated Strategy for Urban Traffic Optimization: Prediction, Adaptive Signal Control, and Distributed Communication via Messaging. *Arxiv Preprint ArXiv:2501.02008*.

-Tao, X., Cheng, L., Zhang, R., Chan, W. K., Chao, H., & Qin, J. (2023). Towards green innovation in smart cities: Leveraging traffic flow prediction with machine learning algorithms for sustainable transportation systems. *Sustainability*, 16(1), 251.

Providing an Optimal Model for Traffic in a Smart City based on the MTLBO Algorithm

*Mohammadali Shafaati,, Ph.D., Candidate, Department of Civil Engineering,
SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.*

*Ali Naderan, Assistant Professor, Department of Civil Engineering,
SR.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran.*

E-mail: naderan@iaau.ac.ir

Received: March 2026- Accepted: August 2026

ABSTRACT

Traffic congestion and its associated pollution pose significant challenges for modern smart cities, primarily influenced by vehicle density, travel time, and variable speed. This paper introduces an improved multi-objective optimization framework designed to minimize air pollution, reduce travel time, and enhance overall traffic flow while ensuring low computational load and high prediction accuracy. To this end, an improved multi-task learning-based optimization algorithm (MTLBO) is proposed and validated using real-world traffic data from the Stadshouderskade Street in Amsterdam, Netherlands. Comparative tests with benchmark algorithms, including the Best Random Average (BMR) and JAYA algorithms, demonstrate the superior performance of the proposed approach. The improved MTLBO algorithm achieves an average accuracy improvement of 93.77% over the BMR algorithm and 91.53% over the JAYA algorithm, with enhanced convergence stability and scalability. These results highlight the potential of the proposed model as a robust and efficient solution for sustainable traffic management in smart cities, which could be effective given its wide applicability in our country.

Keywords: Pollution, Multi-Objective Algorithms, Traffic Optimization, Smart City