Semnan University

Journal of Modeling in Engineering

Journal homepage: https://modelling.semnan.ac.ir/

ISSN: 2783-2538



Research Article

Evaluation and Prioritization of Parameters Affecting Terminal Entrance Traffic Using a Fuzzy Approach under Uncertainty of Departure and Arrival Times

Mohammad Mehdi Hosseini [a,*], Abdolvahab EhsaniRad [a], Hamed Zargari [a]

[a] *Department of computer Engineering, Sha.C., Islamic Azad University, Shahrood, Iran*

PAPER INFO

Paper history:

Received: 2022-03-13
Revised: 2022-05-12
Accepted: 2022-10-19

Keywords:

Traffic; travel time uncertainty; terminal, fuzzy logic ; class system.

ABSTRACT

Traffic management at the entrance points of passenger terminals is recognized as a critical challenge in transportation systems. While precise scheduling and traffic control are feasible under deterministic departure and arrival times, real-world terminal operations are characterized by significant temporal uncertainty. This uncertainty arises from a combination of human, technical, managerial, and environmental factors affecting bus movements. In this study, a fuzzy-based modeling framework is proposed to analyze traffic conditions at terminal entry points by explicitly accounting for uncertainty in bus departure and arrival times. To identify the most influential factors, a structured questionnaire was developed, including 13 parameters classified into four main categories: driver and passenger psychological factors, vehicle-related factors, terminal management factors, and environmental traffic conditions. Expert opinions were collected from transportation specialists, and both classical and fuzzy weighting approaches were applied to evaluate the direct effects of individual parameters as well as their interactions. A Gaussian probability density function was employed as the fuzzy membership function to represent the continuous and uncertain nature of traffic-related variables. The results indicate that driver experience, potential vehicle breakdowns, management of terminal entry points, and surrounding traffic conditions play the most significant roles in influencing congestion at terminal entrances. The proposed fuzzy framework is designed as a decision-support tool for terminal management under uncertainty and is particularly suitable for situations where reliable real-time traffic data are unavailable.

DOI: https://doi.org/10.22075/jme.2024.31282.2495

© 2024 Published by Semnan University Press.
This is an open access article under the CC-BY 4.0 license.(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

مقاله پژوهشی

*** Mohammad Mehdi hosseini.**
E-mail address: hosseini_mm@iau.ac.ir

How to cite this article:

UNCORRECTED PROOF

بررسی و اولویت‌بندی پارامترهای مؤثر بر ترافیک مبادی ورودی ترمینال با رویکرد فازی تحت عدم قطعیت زمان حرکت و رسیدن

محمدمهدی حسینی[۱،*]، عبدالوهاب احسانی راد[۱] و حامد زرگری[۱]

[۱] گروه کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران

اطلاعات مقاله

دریافت مقاله: ۰۰/۰۰/

بازنگری مقاله: ۰۰/۰۰/

پذیرش مقاله: ۰۰/۰۰/

واژگان کلیدی:

ترافیک، عدم قطعیت زمان حرکت، ترمینال، منطق فازی، سیستم کلاسی.

چکیده

مدیریت ترافیک در مبادی ورودی ترمینال‌های مسافربری به یکی از چالش‌های اساسی سیستم حمل‌ونقل تبدیل شده است. در شرایطی که زمان حرکت و زمان رسیدن وسایل نقلیه به‌صورت قطعی و مشخص باشد، امکان برنامه‌ریزی دقیق و کنترل مؤثر ترافیک برای مدیریت ترمینال فراهم خواهد بود؛ با این حال، در عمل، عدم قطعیت زمانی بالا در زمان حرکت و یا ورود اتوبوس‌ها به ترمینال وجود دارد که متأثر از عوامل متعدد است. در این مقاله، یک مدل فازی به‌منظور بررسی و تحلیل ترافیک در مبادی ورودی ترمینال‌ها با در نظر گرفتن عدم قطعیت در زمان حرکت و رسیدن اتوبوس‌ها پیشنهاد شده است. در گام نخست یک پرسشنامه تخصصی شامل ۱۳ پارامتر در چهار دسته اصلی تدوین شد. این دسته‌ها شامل پارامترهای روانی راننده و مسافر، پارامترهای مربوط به وسیله نقلیه، پارامترهای مدیریتی ترمینال و پارامترهای ترافیکی محیطی است. با اخذ نظرات خبرگان حوزه حمل‌ونقل، وزن‌دهی کلاسیک و فازی پارامترها و تحلیل برهم‌کنش متغیرها، میزان تأثیر هر پارامتر بر ترافیک ورودی ترمینال تعیین گردید. نتایج حاصل نشان می‌دهد سابقه راننده، خرابی احتمالی وسیله نقلیه، مدیریت مبادی ورودی ترمینال و شرایط ترافیکی محیطی بیشترین تأثیر را بر میزان ترافیک در ورودی ترمینال‌ها دارند. مدل پیشنهادی در این پژوهش با هدف پشتیبانی از تصمیم‌گیری مدیریتی و تحلیل نسبی اهمیت پارامترهای مؤثر بر ترافیک ورودی ترمینال‌ها تحت شرایط عدم قطعیت ارائه شده و تمرکز آن بر پیش‌بینی دقیق جریان ترافیک مبتنی بر داده‌های لحظه‌ای نمی‌باشد.

DOI: https://doi.org/10.22075/jme.2024.31282.2495

© 2024 Published by Semnan University Press.
This is an open access article under the CC-BY 4.0 license.(https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

UNCORRECTED PROOF

۱-مقدمه[۱]

حمل‌ونقل یکی از مهم‌ترین عوامل شکل‌دهنده جامعه مدرن امروزی است. نقش اساسی حمل‌ونقل در شکل‌گیری ساختار اقتصادی جوامع موجب شده که همواره در بحث رشد اقتصادی نقش زیرساخت حمل‌ونقل موردتوجه قرار گیرد. . ترافیک در لغت به معنای تردد و آمدوشد است که گاهی به‌اشتباه جهت بیان وضعیت راه‌بندان و تراکم به‌کاربرده می‌شود. ترافیک و حمل‌ونقل در عمل بررسی ارتباط فی‌مابین انسان، وسیله نقلیه، راه و محیط اطراف است و در مهندسی یک سیستم مناسب حمل‌ونقل و ترافیک باهماهنگی سه عامل مهندسی، نظارت بر اجرای مقررات و آموزش به دست می‌آید. هدف مهندسی و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل و ترافیک ایجاد دسترسی متعادل انسان و کالا با مفهوم زمان و هزینه کمتر، حرکت ایمن‌تر و آسایش بیشتر در هر سفر و اقتصاد بهتر جامعه در محیطی سالم‌تر، می‌باشد یا به‌عبارت‌دیگر کاربرد اصول فنی و علمی در برنامه‌ریزی، طراحی، بهره‌برداری و مدیریت تسهیلات

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: Hosseini_mm@iau.ac.ir

۱. دانشکده مهندسی کامپیوتر، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران

استناد به این مقاله: نحوه استناد فارسی در اینجا درج گردد.

مربوط به کلیه وسیله‌های حمل‌ونقل به‌منظور تأمین جابجایی ایمن، سریع، راحت، فراهم، باصرفه و سازگار با محیط‌زیست برای انسان و کالا. در این مقاله، به‌منظور حفظ انسجام مفهومی، از اصطلاح "ترافیک مبادی ورودی پایانه" به‌عنوان معادل یکسان برای مفاهیمی نظیر ازدحام ورودی، ترافیک دسترسی و تراکم ورودی استفاده شده است.

مهم‌ترین چالش‌های حمل‌ونقل در شرایط فعلی به شرح ذیل می‌باشد:

- بهبود ایمنی (آمار بالای تلفات و جراحات ناشی از سوانح حمل‌ونقل)
- مدیریت تراکم (فزونی تقاضا بر ظرفیت سیستم‌ها)
- تأمین دسترسی برابر (دسترسی مناسب به سیستم‌های حمل‌ونقل برای تمام گروه‌های مردم)
- حفظ محیط‌زیست (تأثیر سیستم‌های حمل‌ونقل بر محیط‌زیست)
- به‌کارگیری فن‌آوری‌های جدید (به‌کارگیری سیستم‌های هوشمند – ITS)
- تأمین منابع مالی (کمبود منابع مالی دولتی)
- ایجاد ساختار تشکیلاتی مناسب (استفاده از بخش خصوصی و بهبود ساختارهای دولتی)

۱-۱- عناصر اصلی سیستم حمل‌ونقل

بخش کالبدی غالب سیستم‌های حمل‌ونقل شامل چهار جزء اصلی زیراست:

- پیوندها: راه‌ها یا خطوط ارتباطی بین دو یا چند نقطه که لوله‌ها، نقاله‌ها، خطوط دریایی و راه‌های هوایی را نیز می‌توان در زمره پیوندها تلقی کرد.
- وسایل نقلیه: وسیله‌های جابجایی انسان و کالا از یک گره به گره دیگر در امتداد یک پیوند که خودروی سواری، اتوبوس، کشتی، هواپیما، تسمه و کابل نقاله مثال‌هایی از آن به شمارمی آیند.
- پایانه‌ها: گره‌هایی که سفر وسایل نقلیه در آن‌ها آغاز می‌شود یا پایان می‌پذیرد. توقفگاه‌های سرپوشیده، توقفگاه‌های روباز، باراندازها، ایستگاه‌های اتوبوس، فرودگاه‌ها، ایستگاه‌های راه‌آهن و پایانه‌های اتوبوس‌رانی از نمونه‌های پایانه‌ها می‌باشند.

برنامه عملیاتی و نیروی انسانی: بر اساس آن‌ها، ساخت، بهره‌برداری، مدیریت و نگهداری پیوندها، وسایل نقلیه و پایانه‌ها انجام می‌شود. امروزه با توجه به افزایش حمل‌ونقل برون‌شهری نیاز به راه‌کار و طرح‌های مختلف برای بهبود وضعیت موجود احساس می‌شود. ترمینال‌ها نیز جزئی از این طرح‌ها بوده که به‌عنوان یکی از عوامل مهم موجود مطرح‌شده است که مشکلات ترافیکی و ایمنی دارند؛ اما باوجود گسترش و بازطراحی آن، نیاز به راه‌کارهای نوین برطرف نشده و همچنان این نیاز وجود دارد. محققین با بررسی دقیق‌ترمینال‌ها متوجه مشکلات آن شده و با معرفی طرح‌های مختلفی سعی در برطرف کردن این مشکلات نموده‌اند؛ جداسازی قسمت‌های ورود و خروج، جداسازی خطوط، تغییر اولویت حق تقدم، کنترل توسط چراغ ازجمله تغییراتی بود که در ترمینال اعمال‌شده است. بنا بر راهکارهای پیشنهادشده در رفع مشکلات ترمینال‌ها یکی از معضل‌های مهم باقی‌مانده مشکل ورود و خروج از ترمینال‌هاست. در همین راستا پژوهش حاضر در جهت بررسی دقیق این موضوع تدوین‌شده است. روند پژوهش بر این اساس است که رفتار هر یک از اتوبوس‌ها هنگام خروج تحت شرایط مختلف بررسی‌شده و درنهایت با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

تاکنون ترمینال‌های مختلفی با ترافیک و حجم مسافر متفاوت توسط محققین موردبررسی قرارگرفته و تحت شرایط گوناگون، عملکرد آن‌ها تحلیل‌شده است؛ اما علی‌رغم اهمیت و کاربرد، این موضوع در ایران، موردتوجه دقیق محققین نبوده است. رفتار ترمینال تحت شرایط مختلف زمانی و ترافیکی نامشخص است. لذا ضرورت انجام مطالعات و بررسی این موضوع در ایران از اهمیت فراوانی برخوردار است. اهمیت شناسایی رفتار ترافیکی در خروجی ترمینال‌ها در این است که شرایطی که در آن بهتر عمل می‌کند مشخص‌شده و با شناسایی رفتار آن سعی در بهبود عملکرد آن خواهد شد. از منظر مدل‌سازی مهندسی، چالش اصلی در تحلیل ترافیک مبادی ورودی ترمینال‌ها صرفاً به تعدد عوامل مؤثر محدود نمی‌شود، بلکه عدم قطعیت زمانی و وجود اندرکنش‌های پیچیده میان عوامل انسانی، فنی، مدیریتی و محیطی، کارایی مدل‌های قطعی و وزن‌دهی ثابت را با محدودیت جدی مواجه می‌سازد. ازاین‌رو، توسعه یک چارچوب مدل‌سازی انعطاف‌پذیر که بتواند عدم قطعیت و پراکندگی نظرات خبرگان را به‌صورت نظام‌مند لحاظ

UNCORRECTED PROOF

نماید، ضروری به نظر می‌رسد.با توجه به خلأهای موجود در مطالعات پیشین، نوآوری‌ها و مشارکت‌های اصلی این پژوهش به شرح زیر قابل بیان است:

۱. ارائه یک چارچوب مدلسازی فازی برای تحلیل ترافیک مبادی ورودی پایانه‌ها با در نظر گرفتن عدم قطعیت زمان حرکت و ورود وسایل نقلیه.
۲. مدل‌سازی همزمان اثرات مستقیم و اندرکنش بین پارامترهای انسانی، فنی، مدیریتی و محیطی در قالب یک ماتریس اندرکنش.
۳. استفاده از تابع تعلق گاوسی به‌منظور بازنمایی دقیق‌تر پراکندگی نظرات خبرگان نسبت به توابع متداول.
۴. استخراج وزن‌های فازی نهایی مبتنی بر ترکیب تحلیل کلاسیک و شبیه‌سازی تصادفی.
۵. ارائه یک ابزار تصمیم‌یار برای اولویت‌بندی عوامل مؤثر بر ترافیک در شرایط عدم دسترسی به داده‌های لحظه‌ای.

این ویژگی‌ها موجب تمایز پژوهش حاضر از مطالعات پیشین شده و آن را به یک چارچوب کاربردی در مدیریت ترافیک پایانه‌ها تبدیل می‌نماید.

۲-سابقه تحقیق

در پژوهش [۱]، موقعیت نامناسب پایانه‌های مسافربری در کلان‌شهرها و پیامدهای اجتماعی ناشی از آن‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا، احداث پایانه شرق تهران (واقع در مجاورت اتوبان یاسینی) و اثرات و پیامدهای آن بر گروه‌های مختلف اجتماعی مطالعه شده است. یافته‌های این پژوهش عمدتاً بر پیامدهای اجتماعی، از جمله آسیب‌ها و انحرافات اجتماعی ناشی از فعالیت پایانه شرق تهران و پایانه جنوب در محدوده داخلی و محلات پیرامونی آن‌ها متمرکز بوده است. روش تحقیق به‌صورت پیمایشی و کیفی و با استفاده از مصاحبه‌های عمیق و گروهی انجام شده و نتایج نشان می‌دهد انتقال پایانه قبلی به مکان جدید، موجب کاهش آسیب‌ها و انحرافات اجتماعی در محدوده پایانه شرق قبلی و در مقابل، افزایش محسوس جرائم و ناهنجاری‌ها در محدوده پایانه شرق جدید، به‌ویژه در محله سرخه‌حصار، شده است. در پژوهش [۲]، مشابه مطالعه [۱]، پایانه‌های شرق و جنوب تهران مورد توجه قرار گرفته‌اند، با این تفاوت که تمرکز اصلی بر افزایش آلودگی‌ها و شکل‌گیری پدیده «زوال بافت شهری» بوده است. شاخص‌های زوال شهری بررسی‌شده شامل ابعاد اجتماعی (بزهکاری، اعتیاد، تجمع دست‌فروشان، شکل‌گیری فضاهای بی‌دفاع شهری)، اقتصادی (کاهش قیمت مسکن، افزایش فقر) و زیست‌محیطی (آلودگی هوا و آلودگی صوتی) می‌باشند. مطالعه [۳] به موضوع ایمن‌سازی پایانه‌ها پرداخته است. در این مقاله، با توجه به اهمیت شبکه حمل‌ونقل زمینی به دلیل گستردگی کاربری، سهولت دسترسی، هزینه پایین و نقش آن برای اقشار متوسط و کم‌درآمد، پایانه‌ها از منظر سوانح طبیعی، به‌ویژه زلزله، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در این راستا، عناصر اصلی پایانه‌ها و نقش آن‌ها در مدیریت بحران شناسایی شده و در نهایت معیارهای ایمن‌سازی اجزای پایانه‌ها به‌عنوان زیرساخت‌های استراتژیک ارائه گردیده است. پژوهش [۴] به مکان‌یابی پایانه مسافربری شهر ایلام با رویکرد توسعه پایدار اختصاص دارد. این مطالعه با استفاده از تحقیقات میدانی و پرسشنامه انجام شده و شاخص‌هایی نظیر دسترسی به شبکه معابر، مسائل اقتصادی، فاصله از مسیل‌ها و گسل‌ها، وسعت زمین و تراکم جمعیتی مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند. در نهایت، مناسب‌ترین جانمایی برای پایانه مسافربری شهر ایلام پیشنهاد شده است. در مطالعه [۵]، تمرکز بر پایانه‌های مسافری فرودگاه‌ها بوده است. در این مقاله، با برنامه‌ریزی جریان ترافیک در پایانه‌های مسافری و محدوده رمپ، تلاش شده است رضایت‌مندی مسافران افزایش یابد. اهمیت برنامه‌ریزی گیت‌ها به‌عنوان یکی از فضاهای کلیدی پایانه‌های هوایی، از نکات اصلی این پژوهش محسوب می‌شود. پژوهش [۶] به بررسی میزان رضایت‌مندی شهروندان از عملکرد سازمان پایانه‌ها و پارک‌سوارهای شهر تهران پرداخته است. روش تحقیق توصیفی–تحلیلی بوده و داده‌ها از طریق پرسشنامه جمع‌آوری شده‌اند. نتایج نشان می‌دهد سطح رضایت‌مندی شهروندان در وضعیت نامطلوبی قرار دارد و متغیرهایی نظیر آگاهی شهروندی، تکالیف شهروندی، سن، جنسیت و سطح سواد با رضایت‌مندی

UNCORRECTED PROOF

رابطه معنادار دارند. مطالعه [۷] به تعیین مکان مناسب برای احداث پایانه‌های مسافری برون‌شهری اختصاص یافته است. در این تحقیق، با استفاده از مصاحبه با کارشناسان و تحلیل معیارهای کمی و کیفی، یک مدل ریاضی چندهدفه برای مکان‌یابی پایانه‌ها پیشنهاد شده است که هدف آن تأمین همزمان دسترسی مطلوب مسافران و وسایل نقلیه برون‌شهری می‌باشد. پژوهش [۸] با رویکرد زیست‌محیطی، به طراحی و احداث پایانه‌های درون‌شهری پرداخته و بر ارتقای کیفیت فضا، تأمین آسایش و امنیت روانی مسافران و توسعه معماری پایدار تأکید دارد. در این راستا، ملاحظات هندسی سکوها، مسائل زیست‌محیطی، معماری و سازه‌ای و استفاده از مصالح نوین مورد توجه قرار گرفته است. در مطالعه [۹]، فضای پایانه به‌عنوان یکی از فضاهای عمومی شهری و بستری برای فعالیت‌های اجتماعی بررسی شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد در سال‌های اخیر تأکید بیشتری بر شاخص‌های کیفی، اجتماعی، پایداری محیطی و ایجاد امنیت در طراحی و بهره‌برداری از پایانه‌ها وجود دارد.

پژوهش [۱۰] به بررسی تأثیر عوامل زیست‌محیطی بر عملکرد پایانه مسافربری پرداخته است. نتایج نشان می‌دهد عامل باد بیشترین تأثیر را در مکان‌یابی پایانه داشته و پس از آن بارش، توپوگرافی و ترافیک در اولویت قرار دارند. مطالعه [۱۱] به استقرار مطلوب پایانه‌های مسافربری درون‌شهری پرداخته و نشان داده است که مکان‌یابی صحیح پایانه‌ها موجب بهبود الگوی دسترسی، صرفه‌جویی اقتصادی و کاهش آلودگی‌های شهری می‌شود. این پژوهش به‌صورت مطالعه موردی در شهر بجنورد انجام شده و نتایج حاکی از نامناسب بودن مکان‌یابی پایانه موجود این شهر است. در پژوهش [۱۲]، ابعاد مشتری‌مداری و تأثیر آن بر کسب مزیت رقابتی در پایانه‌های مسافربری بررسی شده است. نتایج تحلیل آماری نشان‌دهنده وجود رابطه معنادار بین مشتری‌مداری و مزیت رقابتی و همچنین بین سرعت، سهولت و کیفیت ارائه خدمات با مزیت رقابتی می‌باشد.

جدول ۱- مقایسه رویکرد پژوهش حاضر با مطالعات پیشین

مرجع	حوزه تمرکز	روش مورد استفاده	لحاظ عدم قطعیت	تحلیل ترافیک ورودی ترمینال
[1–4]	ابعاد اجتماعی و مکانی پایانه‌ها	توصیفی–پیمایشی	خیر	خیر
[5–7]	برنامه‌ریزی جریان مسافر	AHP / بهینه‌سازی	محدود	تا حدی
[8–11]	عوامل زیست‌محیطی و مکانی	آماری / GIS	خیر	خیر
پژوهش حاضر	ترافیک ورودی ترمینال	مدل‌سازی فازی مبتنی بر اندرکنش پارامترها	بله	بله

در نهایت، پژوهش [۱۳] به مکان‌یابی و طراحی شبکه اتوبوس‌رانی شهر شهرضا با هدف بهبود شاخص‌های کارایی شبکه در افق کوتاه‌مدت پرداخته است. جمع‌بندی مطالعات پیشین نشان می‌دهد بخش عمده تحقیقات انجام‌شده بر مکان‌یابی پایانه‌ها، ابعاد کالبدی، زیست‌محیطی، اجتماعی و مدیریتی آن‌ها متمرکز بوده و علیرغم اهمیت بالای مقوله زمان و عدم قطعیت در حرکت و ورود وسایل نقلیه، تاکنون پژوهشی که به‌صورت مستقیم به تحلیل ترافیک مبادی ورودی پایانه‌ها با در نظر گرفتن عدم قطعیت زمانی بپردازد، ارائه نشده است. این خلأ پژوهشی، ضرورت انجام تحقیق حاضر را آشکار می‌سازد. مطالعات اخیر در حوزه تحلیل و پیش‌بینی ترافیک نشان می‌دهد که رفتار جریان ترافیکی به‌شدت تحت تأثیر عدم قطعیت‌های زمانی و مکانی قرار دارد. در پژوهش [۱۴]، با استفاده از رویکردهای داده‌محور، اهمیت در نظر گرفتن نوسانات زمانی و عدم قطعیت در مدل‌سازی جریان ترافیک مورد تأکید قرار گرفته و نشان داده شده است که مدل‌های کلاسیک قطعی قادر به بازنمایی دقیق این پیچیدگی‌ها نیستند. در سال‌های اخیر، استفاده از مدل‌های هوشمند و غیرقطعی در تحلیل

UNCORRECTED PROOF

سیستم‌های حمل‌ونقل رشد قابل توجهی داشته است. در مطالعه [۱۵]، کاربرد روش‌های یادگیری عمیق در پیش‌بینی ترافیک بررسی شده و نتایج نشان می‌دهد که بهره‌گیری از رویکردهای مبتنی بر عدم قطعیت می‌تواند دقت تحلیل و پیش‌بینی رفتار سیستم‌های ترافیکی را به‌طور معناداری افزایش دهد. در مقایسه با مطالعات پیشین، پژوهش حاضر دارای چند تفاوت کلیدی است. نخست، برخلاف مطالعاتی که عمدتاً بر مکانیابی پایانه‌ها یا تحلیل شاخص‌های اجتماعی و زیست‌محیطی تمرکز داشته‌اند، این تحقیق به‌صورت مستقیم بر تحلیل ترافیک مبادی ورودی تمرکز دارد. دوم، در حالی که بسیاری از پژوهش‌ها از روش‌های قطعی یا چندمعیاره کلاسیک (مانند AHP) استفاده نموده‌اند، در این مطالعه از یک چارچوب فازی مبتنی بر عدم قطعیت استفاده شده است. سوم، در این پژوهش، اندرکنش بین پارامترها به‌صورت صریح مدل‌سازی شده، در حالی که در اغلب مطالعات پیشین، فرض استقلال بین عوامل در نظر گرفته شده است. این تفاوت‌ها نشان می‌دهد که مدل پیشنهادی قادر است رفتار پیچیده‌تر و واقع‌بینانه‌تری از سیستم ترافیک ورودی پایانه‌ها ارائه دهد.

۳- روش پیشنهادی

۳-۱ چارچوب کلی روش

در این پژوهش، به‌منظور مدل‌سازی ترافیک در مبادی ورودی ترمینال‌های مسافربری با در نظر گرفتن عدم قطعیت ذاتی در زمان حرکت و ورود اتوبوس‌ها، یک رویکرد ترکیبی مبتنی بر سیستم‌های مهندسی کلاسیک و منطق فازی ارائه شده است. منطق اصلی روش پیشنهادی بر این فرض استوار است که رفتار ترافیک، به دلیل دخالت هم‌زمان عوامل انسانی، مدیریتی، فنی و محیطی، ماهیتی پیوسته، غیرقطعی و فازی دارد و استفاده از وزن‌دهی ثابت و قطعی قادر به بازنمایی صحیح این پیچیدگی نیست. در این راستا، ابتدا با استفاده از رویکرد سیستم‌های مهندسی کلاسیک، اندرکنش میان پارامترهای مؤثر بر ترافیک شناسایی و تحلیل شده و سپس، به‌منظور لحاظ نمودن پراکندگی نظرات خبرگان و عدم قطعیت موجود، وزن‌دهی پارامترها به‌صورت فازی و با بهره‌گیری از توابع تعلق گاوسی انجام می‌گیرد. خروجی نهایی، یک سیستم طبقه‌بندی فازی است که قادر به ارزیابی و پیش‌بینی میزان ترافیک در ورودی ترمینال می‌باشد. شایان ذکر است که هدف از مدل پیشنهادی، پیش‌بینی عددی دقیق حجم یا سرعت ترافیک نیست، بلکه تمرکز اصلی بر تحلیل نسبی اهمیت و اندرکنش پارامترهای مؤثر بر ترافیک ورودی ترمینال‌ها در شرایط عدم قطعیت می‌باشد. بدین‌ترتیب، مدل ارائه‌شده به‌عنوان یک ابزار تصمیم‌یار مهندسی برای پشتیبانی از مدیریت و برنامه‌ریزی ترافیک ترمینال‌ها قابل استفاده است.

۳-۲ شناسایی پارامترها و تشکیل ماتریس اندرکنش

در گام نخست، بر اساس مطالعات پیشین و نظر خبرگان حوزه حمل‌ونقل، ۱۳ پارامتر اصلی مؤثر بر ترافیک ورودی ترمینال انتخاب شدند. قابل توجه است که در تدوین چارچوب مفهومی و شناسایی پارامترهای مؤثر بر ترافیک مبادی ورودی پایانه‌ها، از ضوابط و معیارهای ارائه‌شده در نشریه شماره ۳۵۲ سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی کشور با عنوان "معیارهای فنی طراحی پایانه‌های مسافری جاده‌ای" بهره‌گیری شده است. این نشریه به‌عنوان یکی از مراجع معتبر ملی، چارچوبی نظام‌مند برای تحلیل اجزای عملکردی پایانه‌ها ارائه می‌دهد که در این پژوهش، مبنای طبقه‌بندی پارامترها در چهار دسته انسانی، فنی، مدیریتی و محیطی قرار گرفته است. این پارامترها شامل عوامل انسانی (مانند سابقه و مهارت راننده)، فنی (مانند کیفیت و خرابی احتمالی وسیله نقلیه)، مدیریتی (مدیریت مبادی ورودی ترمینال) و محیطی–ترافیکی (وضعیت ترافیک، علائم و شرایط جوی) می‌باشند. به‌منظور بررسی اثرات متقابل این پارامترها، یک ماتریس اندرکنش مربعی ۱۳×۱۳ تشکیل شد که در آن، پارامترها روی قطر اصلی و شدت تأثیر هر پارامتر بر سایر پارامترها در درایه‌های غیرقطری قرار گرفت. کدگذاری ماتریس با استفاده از روش نیمه‌عددی

UNCORRECTED PROOF

خبره (ESQ) در پنج سطح صفر تا چهار انجام شد که به‌ترتیب بیانگر عدم وجود اندرکنش تا اثر بحرانی می‌باشد. دقت داشته باشید که، اندرکنش بین پارامترها در قالب یک ماتریس مربعی تعریف شده است که در آن هر درایه x_{ij} بیانگر میزان تأثیر پارامتر i بر پارامتر j می‌باشد. این ماتریس را می‌توان به‌صورت یک گراف جهت‌دار وزن‌دار نیز تفسیر نمود که در آن گره‌ها نمایانگر پارامترها و یال‌ها بیانگر شدت اثرگذاری هستند.

۳-۳ تحلیل سیستم کلاسیک و استخراج وزن‌های اولیه

پس از تکمیل ماتریس اندرکنش توسط ۳۰ فرد خبره، برآیند عددی نظرات استخراج شد. سپس، برای هر پارامتر P_i، دو شاخص زیر محاسبه گردید:

- **اثرگذاری (Cause)**:

$$C_i = \sum_{j=1}^{n} a_{ij} \quad (۱)$$

- **تأثیرپذیری (Effect)**:

$$E_i = \sum_{j=1}^{n} a_{ji} \quad (۲)$$

که در آن a_{ij} مقدار کدگذاری‌شده اثر پارامتر P_i بر P_j است.

وزن کلاسیک هر پارامتر از رابطه ۳ محاسبه شد:

$$w_i = \frac{(C_i + E_i)}{\sum_{k=1}^{n} (C_k + E_k)} \quad (۳)$$

اگرچه این روش امکان شناسایی پارامترهای غالب و متعامل را فراهم می‌کند، اما به دلیل ماهیت قطعی وزن‌ها، قادر به انعکاس عدم قطعیت و پراکندگی نظرات خبرگان نیست. ازاین‌رو، در ادامه روش فازی پیشنهاد می‌شود.

۴-۳ فازی‌سازی وزن پارامترها با تابع تعلق گاوسی

۱-۴-۳ ضرورت استفاده از تابع گاوسی

در روش پیشنهادی، به‌جای تخصیص وزن ثابت به هر پارامتر، وزن‌ها به‌صورت فازی و پیوسته تعریف می‌شوند. از آنجا که فرآیندهای ترافیکی و رفتاری انسان‌ها غالباً از الگوهای طبیعی تبعیت می‌کنند، تابع تعلق گاوسی (نرمال) به‌عنوان مناسب‌ترین تابع تعلق انتخاب شده است. این تابع امکان لحاظ نمودن میانگین و پراکندگی داده‌ها را به‌صورت هم‌زمان فراهم می‌کند. برخلاف اغلب مطالعات پیشین که از توابع تعلق مثلثی یا ذوزنقه‌ای استفاده نموده‌اند، در این پژوهش از تابع تعلق گاوسی استفاده شده است. مزیت اصلی این تابع، قابلیت مدل‌سازی پیوسته عدم قطعیت و لحاظ هم‌زمان میانگین و پراکندگی داده‌ها است. این ویژگی باعث می‌شود مدل پیشنهادی بتواند رفتار غیرخطی و پراکندگی نظرات خبرگان را با دقت بیشتری بازنمایی نماید.

۲-۴-۳ تعریف تابع تعلق فازی

تابع تعلق گاوسی برای هر پارامتر به‌صورت معادله ۴ تعریف می‌شود:

$$\mu(x) = \exp\left(\frac{-(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) \quad (۴)$$

که در آن:

- μ: میانگین نظرات خبرگان،
- σ: انحراف معیار نظرات خبرگان،
- x: مقدار عددی اندرکنش پارامتر موردنظر است.

پارامتر میانگین (μ) برای هر درایه از ماتریس اندرکنش، به‌صورت میانگین نظرات ۳۰ خبره محاسبه شده است. همچنین واریانس (σ^2) بیانگر میزان پراکندگی نظرات بوده و از طریق انحراف معیار داده‌ها استخراج شده است. این پارامترها به‌صورت مستقل برای هر زوج پارامتر تعیین شده و مبنای تولید توزیع گاوسی مربوطه قرار گرفته‌اند.

۵-۳ تولید الگوی فازی نهایی و ترکیب توابع تعلق

به‌منظور ترکیب توابع تعلق فازی و استخراج یک مقدار فازی نهایی برای هر پارامتر، از شبیه‌سازی عددی استفاده شد. برای هر درایه، با بهره‌گیری از دستور normrnd در نرم‌افزار

UNCORRECTED PROOF

MATLAB، ۱۰٬۰۰۰ نمونه تصادفی گاوسی با پارامترهای μ و σ تولید شد.

سپس:

۱. نمونه‌های تصادفی مربوط به هر سطر و ستون تجمیع شدند.
۲. یک بردار تصادفی با ابعاد بالا تشکیل گردید.
۳. مجدداً یک توزیع گاوسی معادل برای هر پارامتر استخراج شد.

در نتیجه، برای هر پارامتر P_i، دو وزن فازی به‌دست آمد:

- وزن فازی سطری W_i^{row}
- وزن فازی ستونی W_i^{col}

۳-۶ محاسبه وزن نهایی فازی پارامترها

وزن نهایی فازی هر پارامتر با ترکیب وزن‌های سطری و ستونی مطابق رابطه ۵ محاسبه شد:

$$W_i^{final} = (W_i^{row} + W_i^{col}) / 2 \qquad (۵)$$

این وزن نهایی، بیانگر میزان تأثیر واقعی، پیوسته و غیرقطعی هر پارامتر بر ترافیک ورودی ترمینال می‌باشد. همچنین، به‌منظور مقایسه‌پذیر شدن وزن‌ها، مقادیر به‌دست‌آمده نرمال‌سازی شدند. فرآیند نرمال‌سازی به‌صورت رابطه زیر انجام شد:

$$W_i^{norm} = \frac{W_i}{\sum_{i=1}^{n} W_i} \qquad (۶)$$

که در آن W_i وزن اولیه پارامتر i و W_i^{norm} وزن نرمال‌شده آن می‌باشد.

۳-۷ خروجی مدل پیشنهادی

خروجی نهایی روش پیشنهادی، یک سیستم طبقه‌بندی فازی مبتنی بر وزن‌های فازی گاوسی است که قادر است:

- پارامترهای مؤثر بر ترافیک را به‌صورت واقع‌بینانه رتبه‌بندی نماید،
- اثر عدم قطعیت زمانی حرکت و ورود اتوبوس‌ها را لحاظ کند،
- و نسبت به روش‌های کلاسیک، دقت و انعطاف‌پذیری بالاتری در تحلیل ترافیک ورودی ترمینال‌ها ارائه دهد.

وزن‌های فازی نهایی به‌دست‌آمده در این پژوهش می‌توانند به‌عنوان یک شاخص کمی برای اولویت‌بندی اقدامات مدیریتی در مبادی ورودی پایانه‌ها مورد استفاده قرار گیرند. به‌طور مشخص، پارامترهایی که دارای وزن فازی بالاتری هستند (مانند علائم ترافیکی ورودی و سابقه راننده)، در اولویت مداخلات کنترلی قرار می‌گیرند. برای مثال، در شرایط محدودیت منابع، مدیران پایانه می‌توانند با تمرکز بر بهبود سیستم علائم ترافیکی، مدیریت صف ورودی و کنترل رفتار رانندگان، بیشترین تأثیر را بر کاهش تراکم ورودی اعمال نمایند. همچنین این وزن‌ها قابلیت تعریف سناریوهای تصمیم‌گیری را فراهم می‌کنند؛ به‌گونه‌ای که با تغییر شرایط محیطی یا مدیریتی، می‌توان تأثیر تغییر هر پارامتر را بر وضعیت کلی ترافیک ارزیابی نمود.

۴- نتایج روش پیشنهادی

۴-۱ معرفی داده‌ها و جامعه آماری

در این پژوهش، داده‌های مورد استفاده از طریق توزیع پرسشنامه تخصصی در میان ۳۰ نفر از خبرگان حوزه حمل‌ونقل برون‌شهری، مدیریت ترمینال‌ها و کارشناسان ترافیک گردآوری شده است. تمرکز اصلی جمع‌آوری داده‌ها بر ترمینال جنوب تهران و ترمینال آرژانتین بوده که به دلیل حجم بالای تردد، نمونه‌ای مناسب از شرایط پرترافیک کشور محسوب می‌شوند. پرسشنامه تدوین‌شده شامل ۱۳ پارامتر مؤثر بر ترافیک ورودی ترمینال بوده که

UNCORRECTED PROOF

در چهار دسته انسانی، فنی، مدیریتی و ترافیکی–محیطی طبقه‌بندی شده‌اند.

۲-۴ نتایج تحلیل کلاسیک پارامترها

در گام نخست، تحلیل کلاسیک بر اساس ماتریس اندرکنش ۱۳×۱۳ و کدگذاری نیمه‌عددی خبره (ESQ) انجام شد. پس از تجمیع نظرات خبرگان، مقادیر علت (C) و اثر (E) برای هر پارامتر محاسبه گردید و شاخص‌های $C+E$ و $C-E$ به‌عنوان معیارهای شدت تعامل و میزان تسلط یا مغلوب بودن پارامترها مورد استفاده قرار گرفتند. نمونه‌ای از ماتریس تکمیل‌شده توسط یک فرد خبره در جدول ۲ ارائه شده است که در این جدول، P_R: سابقه قبلی راننده، SKL: مهارت راننده، N: تعداد مسافر، Fa: خستگی راننده، H_R: اتفاقات مسیر، Wea: وضعیت هوا، TRAF: پارامترهای ترافیکی هنگام رسیدن ماشین، QUA: کیفیت ماشین، Pas: وضعیت اعتراض مسافر، Wh: وضعیت چرخها S_TR: علائم ترافیکی ورودی ترمینال، RU: خرابی احتمالی ماشین و M_E: مدیریت مبانی ورودی ترمینال می‌باشد. پس از تجمیع نظرات ۳۰ خبره، ماتریس برآیند تشکیل و مقادیر علت (C) و اثر (E) برای هر پارامتر محاسبه گردید. نتایج محاسبات کلاسیک که در جدول ۳ ارائه شده‌اند نشان می‌دهد پارامتر Wh(وضعیت چرخها) بیشترین میزان تعامل را با سایر پارامترها داشته و پارامتر QUA(کیفیت وسیله نقلیه) کم‌تعامل‌ترین پارامتر سیستم می‌باشد. همچنین بر اساس شاخص $C-E$، پارامتر QUAبه‌عنوان پارامتر غالب و P_R(سابقه قبلی راننده) به‌عنوان پارامتر مغلوب سیستم شناسایی شده‌اند. با وجود شناسایی روابط کلی، نتایج نشان داد که مدل کلاسیک به دلیل ماهیت قطعی وزن‌ها و ناتوانی در لحاظ پراکندگی نظرات خبرگان، توانایی کافی در تحلیل دقیق رفتار پیچیده و غیرقطعی ترافیک ورودی ترمینال‌ها را ندارد. نتایج نهایی روش کلاسیک در جدول ۳ نشان داده شده است. بر اساس این جدول، پارامتر Whمتعامل‌ترین و پارامتر QUAکم‌تعامل‌ترین عامل در سیستم کلاسیک شناسایی شده است.

جدول ۲- نمونه ماتریس تکمیل‌شده توسط یک فرد خبره

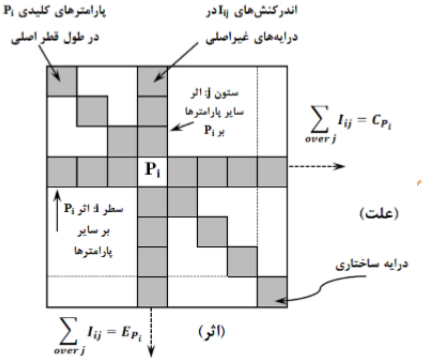
	P_R	SKL	N	Fa	H_R	Wea	Traf	QUA	Pas	Wh	S_TR	RU	M_E
P_R	P_R	۲	۰	۲	۱	۲	۲	۰	۱	۰	۲	۱	۱
SKL	۳	SKL	۰	۱	۲	۱	۱	۰	۱	۰	۱	۱	۱
N	۲	۴	N	۲	۴	۱	۲	۰	۱	۰	۲	۲	۰
Fa	۳	۳	۳	Fa	۳	۲	۳	۰	۱	۱	۲	۲	۱
H_R	۲	۳	۴	۳	H_R	۲	۲	۰	۱	۲	۲	۲	۲
Wea	۳	۲	۲	۲	۱	Wea	۲	۱	۱	۲	۲	۲	۱
Traf	۳	۲	۲	۲	۱	۱	Traf	۰	۲	۱	۲	۲	۱
QUA	۳	۳	۲	۳	۲	۳	۳	QUA	۲	۲	۳	۳	۲
Pas	۳	۲	۱	۲	۱	۲	۲	۱	Pas	۱	۲	۲	۱
Wh	۲	۳	۲	۳	۳	۲	۳	۱	۱	Wh	۳	۳	۲
S_TR	۳	۳	۳	۳	۲	۲	۳	۱	۲	۱	S_TR	۳	۴
RU	۳	۲	۲	۳	۲	۲	۲	۱	۱	۱	۳	RU	۳
M_E	۳	۳	۲	۳	۲	۳	۳	۲	۲	۲	۳	۳	M_E

جدول ۳- محاسبه مقادیر وزن پارامترهای مؤثر بر ترافیک با روش کلاسیک

پارامتر	P_R	SKL	N	Fa	H_R	Wea	Traf	QUA	Pas	S_TR	Wh	RU	M_E	مجموع
C+E	۵۲/۲۵	۴۶/۵	۴۱/۸۷۵	۵۱/۳۷۵	۴۲/۷۵	۴۳/۱۲۵	۴۳/۷۵	۳۵/۸۷۵	۳۹/۳۷۵	۳۷/۸۷۵	۵۴/۱۲۵	۴۸/۷۵	۴۶/۳۷۵	۵۸۴
C-E	-۱۷/۲۵	-۱۲/۵	۱/۸۷۵	-۱/۳۷۵	۰	-۶/۱۲۵	-۹/۲۵	۲۷/۳۷۵	۹/۸۷۵	۱۵/۳۷۵	-۱/۳۷۵	-۶/۲۵	۴/۶۲۵	-
α_i	۸/۹۵	۷/۹۶	۷/۱۷	۸/۸	۷/۳۲	۷/۳۸	۷/۴۹	۶/۱۴	۶/۷۴	۶/۴۹	۹/۲۷	۸/۳۵	۷/۹۴	۱۰۰

UNCORRECTED PROOF

برای تحلیل بصری روابط متقابل، مقادیر C و E در صفحه دوبعدی ترسیم شدند. پارامترهایی مانند QUA در ناحیه غالب و پارامترهایی مانند P_R در ناحیه مغلوب سیستم قرار گرفته‌اند. این نمودار نشان می‌دهد تغییر در پارامترهای با C+E بالا می‌تواند اثرات گسترده‌ای بر کل سیستم ترافیکی داشته باشد.



شکل (۱): نحوه شکل‌گیری محورهای علت – اثر در ماتریس اندرکنش

پس از فازی‌سازی ماتریس اندرکنش، وزن‌های سطری و ستونی فازی برای هر پارامتر محاسبه شد. نتایج این مرحله در جدول ۴ ارائه شده است. **این الگو در حقیقت خروجی نهایی روش پیشنهادی محسوب می‌شود. از مزایای دیگر این روش، تأثیر مستقیم میانگین و انحراف معیار تمامی توابع تعلق در جواب نهایی می‌باشد، که تمامی آن‌ها بلااستثناء ازنظر ریاضی به‌صورت کامل در پاسخ نهایی تأثیری به‌صورت فازی داشته است.**

جدول ۴- وزن سطری، ستونی و نهاییِ فازی هر متغیر

نام متغیر	سطر		ستون		وزن نهایی فازی
	واریانس	میانگین	واریانس	میانگین	
P_R	۰/۷۶۹	۲/۸۶۲	۱/۰۶۰	۱/۴۴۸	۰/۰۹۰۰
SKL	۰/۶۸۴	۲/۳۸۳	۱/۱۷۶	۱/۴۲۴	۰/۰۸۰۲
N	۱/۱۵۳	۱/۶۵۹	۱/۲۳۳	۱/۷۸۲	۰/۰۷۱۵
Fa	۰/۹۵۲	۲/۱۹۹	۱/۰۹۵	۲/۰۸۱	۰/۰۸۸۸
H_R	۱/۰۴۹	۱/۷۵۹	۱/۰۹۰	۱/۶۶۴	۰/۰۷۱۰
Wea	۱/۰۲۵	۲/۰۷۱	۰/۹۱۱	۱/۵۷۳	۰/۰۷۶۱
Traf	۰/۷۵۶	۲/۱۳۵	۰/۹۴۶	۱/۴۱۷	۰/۰۷۴۲
QUA	۰/۸۸۶	۰/۵۳۳	۱/۱۲۹	۲/۳۳۲	۰/۰۵۹۴
PAS	۰/۸۲۲	۱/۲۶	۲/۰۳۹	۰/۸۳۸	۰/۰۶۸۶
Wh	۰/۸۹۲	۰/۸۸۳	۲/۲۱۵	۰/۹۳۹	۰/۰۶۴۲
S_TR	۰/۸۰۱	۲/۲۸	۲/۱۶۶	۱/۱۹۹	۰/۰۹۲۱
RU	۰/۷۰۴	۲/۲۴۹	۱/۷۸۴	۰/۹۹۳	۰/۰۸۴۰
M_E	۱/۱۳۴	۱/۷۴۱	۲/۰۸۸	۰/۹۹۳	۰/۰۷۹۸

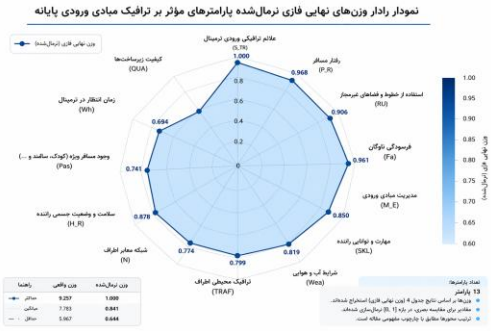
همانطور که در جدول ۴ آورده شده است. انحراف معیارهای به‌دست‌آمده هیچ‌کدام از ۱/۵ بیشتر نمی‌باشد. فرایند فازی، به‌صورت منطقی و ریاضی، متغیرها را با یکدیگر ترکیب کرده و درنهایت برآیند کنش و اندرکنش متغیرها به‌دست‌آمده است. در جدول ۳، سطر اول نام دو متغیری که نظر افراد خبره در آن‌ها با یکدیگر هم‌خوانی نداشته و سطر دوم انحراف معیار را نشان می‌دهد. به‌عنوان نمونه عدد ۱/۰۳۵ در ستون اول بیان‌گر آن است که تأثیر P_R بر M_E در نظر افراد خبره دارای پراکندگی نسبتاً زیادی بوده است.

جدول ۵- میزان وزن نهایی به‌دست‌آمده برای متغیرها درروش فازی

متغیر	وزن نهایی
S_TR	۹/۲۵۷
P_R	۸/۹۷۳
RU	۸/۳۹۸
Fa	۸/۹۱۰
M_E	۷/۹۷۳
SKL	۷/۹۲۶
Wea	۷/۵۸۶
TRAF	۷/۳۹۶
N	۷/۱۶۵
H_R	۸/۱۲۸
Pas	۶/۸۷۰
Wh	۶/۴۵۰
QUA	۵/۹۶۷

به‌عنوان نتیجه نهایی و جمع‌بندی کلی، در جدول ۵ وزن نهایی حاصله، برای میزان تأثیر کلیه متغیرها بر ترافیک مبادی ورودی ترمینال با ملاحظه نظر افراد خبره و کارهای آماری و فازی آورده شده است.

UNCORRECTED PA



شکل ۲- نمودار وزن نهایی فازی نرمال شده پارامترهای موثر

بیشترین و کم‌ترین وزن به ترتیب مربوط به متغیر S_TR و متغیر QUA می‌باشد. به‌منظور درک بصری بهتر از اهمیت نسبی پارامترها، نمودار میله‌ای وزن‌های فازی نهایی در شکل (۲) ارائه شده است. این نمودار امکان مقایسه سریع بین پارامترها و شناسایی عوامل بحرانی مؤثر بر ترافیک ورودی را فراهم می‌سازد. مقایسه نتایج در جدول ۶ نشان می‌دهد که فازی‌سازی وزن پارامترها موجب تعدیل اثر پارامترهای غالب در روش کلاسیک شده و از تمرکز بیش از حد اهمیت بر یک عامل خاص جلوگیری می‌کند. این ویژگی باعث می‌شود مدل فازی ارائه‌شده، بازنمایی واقع‌بینانه‌تری از رفتار پیچیده و غیرقطعی سیستم ترافیک ورودی ترمینال‌ها ارائه دهد.

جدول ٦- مقایسه رتبه‌بندی پارامترها در روش کلاسیک و فازی

پارامتر	رتبه در روش کلاسیک	رتبه در روش فازی	تغییر رتبه
S_TR	2	1	+1
P_R	4	2	+2
RU	3	3	0
Fa	6	4	+2
M_E	5	5	0
QUA	1	13	−12

۵- بحث و نتیجه گیری

۵-۱- بحث در مورد یافته های اصلی

در این پژوهش، ترافیک و تأخیر در مبادی ورودی ترمینال‌های مسافربری به‌عنوان یکی از نقاط کلیدی ایجاد تأخیر در سفرهای برون‌شهری مورد بررسی قرار گرفت. بررسی‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که بخش قابل‌توجهی از تأخیرهای ناوگان برون‌شهری نه در طول مسیر، بلکه در زمان حرکت اولیه و به‌ویژه هنگام ورود وسایل نقلیه به ترمینال مقصد رخ می‌دهد. این در حالی است که در مسیرهای بین‌شهری، به دلیل نظارت‌های پلیس‌راه و یکنواخت بودن شرایط ترافیکی، سرعت حرکت اتوبوس‌ها معمولاً در بازه‌ای نسبتاً ثابت قرار دارد و نوسانات کمتری مشاهده می‌شود. ازاین‌رو، تمرکز بر تحلیل ترافیک مبادی ورودی ترمینال‌ها می‌تواند نقش مؤثری در کاهش تأخیرهای کلی سفر ایفا نماید. بر این اساس، در پژوهش حاضر یک چارچوب مدل‌سازی مبتنی بر نظر خبرگان طراحی شد که در آن، ۱۳ پارامتر مؤثر بر ترافیک ورودی ترمینال‌ها در چهار دسته اصلی شامل عوامل مرتبط با راننده و مسافر، عوامل فنی وسیله نقلیه، عوامل مدیریتی ترمینال و پارامترهای ترافیکی–محیطی شناسایی و بررسی شدند. پارامترهایی نظیر مهارت و خستگی راننده، سابقه تأخیر قبلی، وضعیت اعتراض مسافران، کیفیت وسیله نقلیه، خرابی احتمالی، علائم ترافیکی ورودی و مدیریت مبادی ورودی ترمینال از جمله متغیرهایی بودند که بر اساس نظر ۳۰ نفر از خبرگان حوزه حمل‌ونقل برون‌شهری مورد ارزیابی قرار گرفتند. علاوه بر تأثیر مستقیم هر پارامتر بر ترافیک، روابط متقابل و اندرکنش میان پارامترها نیز در قالب یک ماتریس اندرکنش لحاظ شد؛ امری که برای بازنمایی واقع‌بینانه رفتار پیچیده سیستم ترافیک ضروری است. در گام نخست، تحلیل کلاسیک مبتنی بر ماتریس اندرکنش انجام شد و وزن نسبی پارامترها بر اساس روابط علت–معلولی استخراج گردید. نتایج این مرحله اگرچه امکان شناسایی کلی پارامترهای غالب و مغلوب را فراهم نمود، اما بررسی‌ها نشان داد که وزن‌دهی قطعی قادر به انعکاس پراکندگی نظرات خبرگان و عدم قطعیت ذاتی موجود در رفتار ترافیک نیست. به همین دلیل، در ادامه چارچوب کلاسیک به یک مدل فازی مبتنی بر توابع تعلق گاوسی توسعه داده شد تا عدم قطعیت و تغییرپذیری قضاوت‌های انسانی به‌صورت صریح در فرآیند وزن‌دهی لحاظ گردد. نتایج حاصل از تحلیل فازی نشان داد که پارامترهایی نظیر

UNCORRECTED PROOF

علائم ترافیکی ورودی ترمینال، سابقه قبلی راننده، خرابی احتمالی وسیله نقلیه و خستگی راننده از بیشترین اهمیت نسبی در شکل‌گیری ترافیک ورودی برخوردار هستند. مقایسه نتایج روش کلاسیک و فازی حاکی از آن است که فازی‌سازی وزن پارامترها موجب تعدیل غلبه بیش از حد برخی متغیرها شده و اهمیت عوامل مختلف را به‌صورت متعادل‌تر و منطقی‌تر بازتوزیع می‌کند. این ویژگی باعث می‌شود مدل فازی ارائه‌شده، در مقایسه با روش کلاسیک، بازنمایی واقع‌بینانه‌تری از رفتار غیرقطعی و وابسته به عامل انسانی در سیستم ترافیک ورودی ترمینال‌ها ارائه دهد.

۵-۲ محدودیت‌های پژوهش

با وجود مزایای مدل پیشنهادی، این پژوهش با محدودیت‌هایی همراه است:

۱. اتکای مدل به نظرات خبرگان که ممکن است تحت تأثیر سوگیری‌های ذهنی قرار گیرد.

۲. محدود بودن جامعه آماری به یک منطقه خاص که تعمیم‌پذیری نتایج را کاهش می‌دهد.

۳. عدم استفاده از داده‌های لحظه‌ای و واقعی ترافیک، که می‌تواند دقت پیش‌بینی عددی را محدود نماید.

۴. فرض ایستایی نسبی سیستم و عدم مدل‌سازی دینامیک زمانی ترافیک.

این محدودیت‌ها باید در تفسیر نتایج مدنظر قرار گیرند.

، اما در مقابل، چارچوب ارائه‌شده به‌عنوان یک ابزار تصمیم‌یار مهندسی، در شرایطی که داده‌های دقیق و پیوسته در دسترس نیستند، قابلیت پشتیبانی مؤثر از تصمیم‌گیری مدیریتی و برنامه‌ریزی ترافیک ترمینال‌ها را دارا می‌باشد. همانطور که در بالا ذکر گردید، یکی از محدودیت‌های اصلی این پژوهش، اتکای مدل به نظرات خبرگان است که ممکن است تحت تأثیر سوگیری‌های فردی قرار گیرد. همچنین جامعه آماری محدود به خبرگان یک منطقه خاص بوده و این موضوع می‌تواند تعمیم‌پذیری نتایج به سایر پایانه‌ها را محدود نماید. از دیگر محدودیت‌های پژوهش می‌توان به عدم استفاده از داده‌های لحظه‌ای ترافیکی اشاره نمود. مدل پیشنهادی مبتنی بر تحلیل خبرگان است و رفتار دینامیکی لحظه‌ای سیستم را به‌صورت مستقیم مدل‌سازی نمی‌کند. ترکیب این چارچوب با داده‌های واقعی یا سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل (ITS)می‌تواند به‌عنوان مسیر توسعه آتی در نظر گرفته شود.در مجموع، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که به‌کارگیری مدل‌سازی فازی برای تحلیل ترافیک مبادی ورودی ترمینال‌ها، به‌ویژه در مسائل پیچیده و انسان‌محور، می‌تواند درک بهتری از اهمیت نسبی و اندرکنش پارامترهای مؤثر فراهم آورد.

۵-۳ پیشنهادات برای تحقیقات آینده

بر اساس نتایج این پژوهش، مسیرهای زیر برای تحقیقات آتی پیشنهاد می‌شود:

۱. ترکیب مدل پیشنهادی با داده‌های واقعی و لحظه‌ای ترافیک به‌منظور افزایش دقت پیش‌بینی.

۲. توسعه مدل در قالب سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل (ITS) برای کاربردهای عملیاتی.

۳. استفاده از روش‌های یادگیری ماشین در کنار مدل فازی برای بهبود عملکرد تصمیم‌گیری.

۴. تعمیم مدل به سایر انواع پایانه‌ها (هوایی، ریلی) و مقایسه نتایج.

۵. تحلیل دینامیکی رفتار ترافیک با در نظر گرفتن تغییرات زمانی.

این مسیرها می‌توانند به توسعه و کاربردی‌تر شدن مدل پیشنهادی کمک نمایند.

تقدیر و تشکر

از مسئولین واقع در ترمینال ورودی مسافر در ترمینال جنوب تهران و ترمینال آرژانتین بابت جمع اوری نظرات تشکر میشود.

تعارض منافع

نویسندگان این مقاله در مورد انتشار این مقاله اعلام مینمایند که تعارض منافع وجود ندارد.

تاییدیه اخلاقی

نویسندگان متعهد می‌شوند که مطالب این مقاله را در هیچ مجله دیگری به چاپ نرسانده اند.

مشارکت های نویسندگان

UNCORRECTED PROOF

نویسندگان در نوشتن و شبیه سازی مقاله مشارکت یکسانی داشته اند.

منابع مالی

منابع مالی مورد استفاده قرار نگرفته است.

مراجع

[1] Ali, Mohammad, Fatemi Nia, and Ali Khaksari. "Management of public spaces and social instabilities: A case study of passenger terminals in Tehran." Quarterly Journal of Urban and Regional Development Planning 7, no. 23 (2023).

[2] Fateminia, Mohamadali, and Ali Khaksari. "Management of public spaces and social instabilities: A case study of passenger terminals in Tehran." Quarterly Journal of Urban and Regional Development Planning 7, no. 23 (2022): 1-47.

[3] Mahmoudzadeh, Amir, and Peiman Sanandaji. "Presentation of a fuzzy model for the crisis management during an earthquake in a Tehran bus company." International Journal of Health System and Disaster Management 4, no. 4 (2016): 109.

[4] Arzani, Mosadegh, Reza Borna, Kamran Jafarpour Ghalehteimouri, Jafar Morshedi, and Manijeh Zohoorian Pordel. "Impact of climatic elements on the political and social development of Ilam city: A logistics perspective." Discover Atmosphere 2, no. 1 (2024): 22.

[5] Rizk, Carl, Félix Mora-Camino, and Hadj Batatia. "Optimization of passenger screening operations in air terminals." Transportation Research Procedia 35 (2018): 23-34.

[6] Saeidi, Tara, Mahmoud Mesbah, Meeghat Habibian, Amirali Soltanpour, Mina Sahraei, and Babak Mehran. "Passenger satisfaction across multiple public transit modes." Transportation Research Procedia 82 (2025): 1637-1653.

[7] Arabi, Mehrdad, Ehsan Beheshtitabar, Bahador Ghadirifaraz, and Behrooz Forjanizadeh. "Optimum locations for intercity bus terminals with the AHP approach: Case study of the city of Esfahan." International Journal of Environmental, Ecological, Engineering 9 (2015): 545-551.

[8] Nooraie, Homayoon, and Fardin Kohan. "Comparative evaluation of inter-provincial passenger terminals: Case of Sofeh and Kaveh terminals, Isfahan city." International Journal of Urban Management and Energy Sustainability 3, no. 1 (2022): 1-12.

[9] Alonso, Andrea, Andrés Monzón, and Rocío Cascajo. "Comparative analysis of passenger transport sustainability in European cities." Ecological Indicators 48 (2015): 578-592.

[10] Jugović, Alen, Daniela Gračan, and Marina Barkiđija Sotošek. "Environmental requirements for passenger terminal development: Case study of Zadar County." Transactions on Maritime Science 12, no. 1 (2023).

[11] Farasyabi, Mona, Yahya Khodabakhsh, and Ali Khodapanah. "Location of intercity (centralized) passenger terminal using AHP method: Case study of Bojnourd city." In Third International Conference on Research in Engineering, Science and Technology, 2016. (in Persian)

[12] Namini, Iraj Irankhah, Asma Bahranifard, and Fariba Adibi. "Investigating the relationship between service quality and customer satisfaction: Case study of passengers of Kaveh and Sofeh terminals in Isfahan." 2017. (in Persian)

[13] Mahmoudi, Reza. "Optimal configurations for urban transit: A study on bus and express network design via analytical approaches and mathematical programming." 2024. (thesis in persian)

[14] Vlahogianni, Eleni I., Matthew G. Karlaftis, and John C. Golias. "Data-driven approaches for traffic flow forecasting: Recent developments and future challenges." Transportation Research Part C: Emerging Technologies 140 (2022): 103706.

UNCORRECTED PROOF

[15] Zhang, Yichi, and Xiaolei Ma. "Deep learning for traffic prediction: Methods, data, and challenges." IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems 23, no. 6 (2022): 4920-4934.

UNCORRECTED PROOF