

Accepted Manuscript

Accepted Manuscript (Uncorrected Proof)

Title: Safety Risk Management System for Tehran's Walking and Cycling Paths Based on SSM-FMEA

Authors: Marzieh Samadi-Froshani¹, Mehdi Salehi², Mohammad Hossein Boochani^{3,*}, Esmaeil Ghaffari⁴, Kourosh Behzadian⁵

1. *Department of Industrial Engineering, Faculty of Industrial Engineering, Ivankay University, Ivankay, Iran*
2. *Faculty of Architecture and Urban Planning, University of Science and Technology and Mayor of District 2 of Tehran Municipality, Tehran, Iran*
3. *Department of Urban Planning, Faculty of Art and Architecture, South Tehran Azad University, Tehran, Iran*
4. *Tehran University of Science and Research and Deputy Mayor of District 2 of Tehran, Tehran, Iran*
5. *Department of Smart Infrastructure, Faculty of Computing and Engineering, University of West London, London, England.*

To appear in: **Disaster Prevention and Management Knowledge**

Received date: 2026/02/14

Accepted date: 2026/04/15

First Online Published: 2026/10/06

This is a “Just Accepted” manuscript, which has been examined by the peer-review process and has been accepted for publication. A “Just Accepted” manuscript is published online shortly after its acceptance, which is prior to technical editing and formatting and author proofing. Archives of Rehabilitation provides “Just Accepted” as an optional service which allows authors to make their results available to the research community as soon as possible after acceptance. After a manuscript has been technically edited and formatted, it will be removed from the “Just Accepted” Website and published as a published article. Please note that technical editing may introduce minor changes to the manuscript text and/or graphics which may affect the content, and all legal disclaimers that apply to the journal pertain.

Please cite this article as:

Samadi-Froshani, M., Salehi, M., Boochani, M. H., Ghaffari, E., & Behzadian, K. [Safety Risk Management System for Tehran’s Walking and Cycling Paths Based on SSM-FMEA]. Disaster Prevention and Management Knowledge. Forthcoming 2026.

نسخه پذیرفته شده پیش از انتشار

عنوان: توسعه سیستم مدیریت ریسک ایمنی مسیر پیاده روی و دوچرخه سواری سرزندگی شهر تهران مبتنی بر رویکرد ترکیبی

SSM-FMEA

نویسندگان: مرضیه صمدی فروشانی^۱، مهدی صالحی^۲، محمدحسین بوجانی^{۳*}، اسماعیل غفاری^۴، کوروش بهزادیان^۵

۱. گروه مهندسی صنایع، دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه ایوان کی، ایوان کی، ایران
۲. دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران و شهردار منطقه دو شهرداری تهران، ایران
۳. گروه شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه آزاد تهران جنوب، تهران، ایران
۴. دانشگاه علوم و تحقیقات تهران و معاون برنامه ریزی شهرداری منطقه دو شهر تهران، تهران، ایران.
۵. گروه زیرساخت هوشمند، دانشکده محاسبات و مهندسی، دانشگاه وست لندن، لندن، انگلستان.

نشریه: دانش پیشگیری و مدیریت بحران

تاریخ دریافت: 1404/11/25

تاریخ پذیرش: 1405/1/26

تاریخ انتشار اولیه: 1405/07/14

این نسخه «پذیرفته‌شده پیش از انتشار» مقاله است که پس از طی فرایند داوری، برای چاپ، قابل پذیرش تشخیص داده شده است. این نسخه در مدت کوتاهی پس از اعلام پذیرش به صورت آنلاین و قبل از فرایند ویراستاری منتشر می‌شود. نشریه آرشیو توانبخشی گزینه «پذیرفته‌شده پیش از انتشار» را به عنوان خدمتی به نویسندگان ارائه می‌دهد تا نتایج آن‌ها در سریع‌ترین زمان ممکن پس از پذیرش برای جامعه علمی در دسترس باشد. پس از آنکه مقاله‌ای فرایند آماده‌سازی و انتشار نهایی را طی می‌کند، از نسخه «پذیرفته‌شده پیش از انتشار» خارج و در یک شماره مشخص در وبسایت نشریه منتشر می‌شود. شایان ذکر است صفحه آرایی و ویراستاری فنی باعث ایجاد تغییرات صوری در متن مقاله می‌شود که ممکن است بر محتوای آن تأثیر بگذارد و این امر از حیطه مسئولیت دفتر نشریه خارج است.

لطفا این‌گونه استناد شود:

Samadi-Froshani, M., Salehi, M., Boochani, M. H., Ghaffari, E., & Behzadian, K. [Safety Risk Management System for Tehran's Walking and Cycling Paths Based on SSM-FMEA]. Disaster Prevention and Management Knowledge. Forthcoming 2026.

Abstract

Objective: The process of urban transport transition towards sustainable mobility by encouraging soft mobility approaches increases the number of two vulnerable user groups, pedestrians and cyclists in urban areas; it requires strategies to reduce travel safety risks. The present study aims to provide a framework based on “learning by doing” with the aim of intervening systematically in the process of identifying and assessing the safety risk of pedestrians and cyclists. The study attempts to identify critical risks and propose agreed solutions to reduce pedestrian and cyclist accidents.

Methodology: A hybrid and creative approach of integrating safety risk assessment based on failure mode and effects analysis (FMEA) within the framework of soft systems methodology (SSM). This integration provides an action research platform for collective learning of the planners involved in the problem and proposes relatively agreed solutions to improve the safety of pedestrians and cyclists. A systemic intervention in the safety planning process of the pedestrian and bicycle path "Sorzendegi" in the Municipality of District 2 of Tehran has been completed.

Findings: With the participation of path safety planners, after two stages of monitoring, 67 safety risks were identified and analyzed in 15 thematic areas including: road safety, structural safety, traffic safety, equipment safety, fire safety, electrical safety, behavioral safety, environmental safety and security, comprehensive safety, emergency medical services, emergency management, safety maintenance, data-driven smart monitoring, transparency and accountability, and continuous learning and improvement. According to the results, 41 risks were identified at a critical level and required immediate preventive action, and 62 targeted actions to reduce the safety risk of the path were partially agreed upon with the participation of planners.

Conclusion: The present study is an attempt to frame the process of pedestrian and bicycle path safety risk management and shows how a systematic learning approach provides for the management of safety risks in the process of action and over time.

Keywords: Risk Assessment, Failure Mode and Effect Analysis, Soft Systems Methodology, Safety and Accident Mitigation, Cycling Path, Sustainable Mobility

چکیده

هدف: فرایند گذار حمل نقل شهری به سمت تحرک پایدار با تشویق رویکردهای تحرک نرم، افزایش تعداد دو گروه کاربران آسیب پذیر عابران پیاده و دوچرخه سواران در مناطق شهری را تشویق می کند؛ مستلزم استراتژی های کاهش ریسک ایمنی سفر است. پژوهش حاضر با هدف مداخله سیستمی در فرایند شناسایی و ارزیابی ریسک ایمنی مسیرهای پیاده روی و دوچرخه سواری، چارچوبی مبتنی بر «یادگیری در عمل» ارائه می دهد. این مطالعه می کوشد با شناسایی ریسک های بحرانی، راهکارهایی مورد توافق برای کاهش حوادث عابران پیاده و دوچرخه سواران پیشنهاد دهد.

روش شناسی: رویکردی ترکیبی و خلاقانه از ادغام ارزیابی ریسک ایمنی مبتنی بر آنالیز حالات و اثرات شکست (FMEA) در چارچوب روش شناسی سیستم های نرم (SSM) است. این تلفیق، بستری اقدام پژوهانه برای یادگیری جمعی برنامه ریزان درگیر با مسئله فراهم آورده و راهکارهای مورد توافق نسبی بهبود سیستم ایمنی مسیر پیاده روی و دوچرخه سواری را پیشنهاد داده است. مداخله سیستمی در فرایند طرح ریزی ایمنی مسیر پیاده روی و دوچرخه سواری «سرزندگی» در شهرداری منطقه دو تهران به انجام رسیده است.

یافته ها: با مشارکت برنامه ریزان ایمنی مسیر پس از دو مرحله پایش ۶۷ ریسک ایمنی در ۱۵ زمینه موضوعی شامل: ایمنی معابر، ایمنی سازه ای، ایمنی ترافیکی، ایمنی تجهیزاتی، ایمنی حریق، ایمنی الکتریکی، ایمنی رفتاری، ایمنی و امنیت محیطی، ایمنی فراگیر، خدمات فوریت های پزشکی، مدیریت شرایط اضطراری، نگهداشت ایمنی، پایش هوشمند داده محور، شفافیت و پاسخگویی و یادگیری و بهبود مستمر شناسایی و تجزیه و تحلیل گردید. با توجه به نتایج، ۴۱ ریسک در سطح بحرانی و نیازمند اقدام پیشگیرانه فوری شناسایی و با مشارکت برنامه ریزان ۶۲ اقدام هدفمند کاهش ریسک ایمنی مسیر مورد توافق نسبی قرار گرفت.

نتیجه گیری: مطالعه حاضر تلاشی برای چارچوب بندی فرایند مدیریت ریسک ایمنی مسیر پیاده روی و دوچرخه سواری است و نشان می دهد که چگونه رویکرد یادگیری سیستمی در مدیریت ریسک های ایمنی در فرایند عمل و در طول زمان را فراهم می کند.

واژگان کلیدی: ارزیابی ریسک، آنالیز حالات و اثرات شکست، سیستم های نرم، ایمنی و پیشگیری از حوادث، مسیر دوچرخه سواری، تحرک پایدار

مقدمه

تحقق اهداف توسعه پایدار و بهبود مسئله تغییرات اقلیمی، کاهش نود درصدی انتشار گازهای گلخانه‌ای از بخش حمل‌ونقل را می‌طلبد و نیاز به تحرک چندوجهی یکپارچه و هوشمند و حرکت به سوی تحرک پایدار وجود دارد (Bokolo, 2025). بسیار مهم است که شهرهای هوشمند پایدار استفاده از حالت‌های تحرک نرم مانند دوچرخه، اسکوتر برقی یا پیاده روی را در اولویت سفرهای کوتاه در محیط شهری قرار دهند و وسایل نقلیه آلاینده فقط به عنوان مکمل در نظر گرفته شوند. بنابراین تحرک نرم جایگزینی پایدار برای استفاده از خودروهای شخصی در نظر گرفته می‌شود که منجر به انگیزه پذیرش و سرمایه‌گذاری رو به رشد قابل توجهی توسط شهرداری‌ها در شهرهای بزرگ جهان شده است (Martins, 2023) و پیش‌بینی می‌شود در آینده تحرک نرم به بخش جدایی‌ناپذیر حمل و نقل و تفریحات شهری تبدیل شود (Biggar, 2020). با این وجود دوچرخه‌سواران و عابران پیاده دو گروه بزرگ آسیب‌پذیر از کاربران تحرک شهری هستند (Paudel et al., 2022). بطوری که عابران پیاده، دوچرخه‌سواران، کاربران وسایل نقلیه حرکتی انفرادی (اسکیت و اسکوتر) و موتورسواران در حدود ۶۶ درصد قربانیان تصادفات شهری را در جهان تشکیل می‌دهند (Faus et al., 2025) و (Gonçalves et al., 2023) و ایمنی دوچرخه‌سواری و عابران پیاده به یک نگرانی مهم در مورد ایمنی عمومی در سطح جهانی تبدیل شده است (Dai, et al., 2025). از آن جا که در بسیاری از شهرها به دوچرخه‌سواران اجازه داده‌اند تا در مسیرهای پیاده‌روی و مسیرهای خارج از جاده، فضای خود را با عابران پیاده به اشتراک بگذارند تا برخورد با وسایل نقلیه موتوری کاهش یابد، ریسک تصادفات دوچرخه‌سوار-عابر پیاده بر این اساس افزایش یافته است (Paudel et al., 2022). بنابراین فرایند گذار به سمت تحرک پایدار، که افزایش استفاده از روش‌های تحرک نرم و در نتیجه افزایش تعداد کاربران آسیب‌پذیر در مناطق شهری را تشویق می‌کند؛ مستلزم استراتژی‌های مختلف برای محافظت از کاربران آسیب‌پذیر جاده به طور مرتب برای افزایش رفتار سفر ایمن است (Faus et al., 2025) و درک عوامل ریسک تصادفات مرتبط با عابران پیاده و دوچرخه‌سواران برای تضمین پایداری سیستم حمل و نقل شهری ضروری است (Ashraf et al., 2022).

در شهر تهران نیز مسئله گذار تحرک شهری و تغییر تقاضای سفر از خودرو شخصی به پیاده‌مداری و دوچرخه‌سواری با توجه به دو معضل درهم‌تنیده ترافیک و آلودگی هوا همواره مورد توجه برنامه‌ریزان شهری بوده است، به طوری که بر اساس مصوبات طرح جامع ترافیک شهر تهران و طرح جامع شهر تهران، شهرداری تهران موظف است در جهت «بسترسازی کالبدی، فرهنگی و اجتماعی برای گسترش استفاده از دوچرخه در شهر تهران» اقدام نماید. با این وجود طرح‌ها و برنامه‌های اجرایی تاکنون موفقیت چندانی را در تغییر رفتار شهروندان تهرانی نشان نمی‌دهد. بطوری که شهر تهران حدود ۲۰ میلیون سفر روزانه درون شهری را تجربه می‌کنند که طبق آمار و اطلاعات حمل و نقل و ترافیک شهر تهران، ۵۵ درصد سفرهای روزانه شهروندان تهرانی با استفاده از وسایل نقلیه شخصی، ۳۳ درصد سامانه حمل و نقل عمومی، ۷ درصد موتورسیکلت، دوچرخه و با سایر وسایل نقلیه انجام می‌شود و به طور مشخص سفرهای دوچرخه در مجموع دو حالت تفریح و کاری، هم‌اکنون زیر یک درصد است (گزارش سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری تهران، ۱۴۰۳). بررسی آمار کلی تصادفات منجر به فوت شهر تهران شامل حدود ۴۵ درصد موتورسیکلت‌سواران و دوچرخه‌سواران و ۳۷ درصد عابران پیاده هستند (گزارش پلیس راهور، ۱۴۰۴). کیفیت پایین دوچرخه‌های اجاره‌ای، نبود کلاه ایمنی، نبود علائم هشدار و شیب‌های تند بدون حفاظ ایمنی، از جمله مواردی هستند که ایمنی دوچرخه‌سواران را تهدید می‌کنند. علی‌رغم اهمیت مسئله ایمنی در ترویج حمل و نقل پایدار، کمبود قابل توجهی در تحقیقات ارزیابی و کاهش ریسک حوادث و بهبود ایمنی مسیر برای کاربران آسیب‌پذیر وجود دارد (Huber et al., 2024).

پژوهش حاضر با هدف مداخله سیستمی در فرایند شناسایی و ارزیابی ریسک ایمنی مسیرهای پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری، چارچوبی مبتنی بر «یادگیری در عمل» ارائه می‌دهد. این مطالعه می‌کوشد با شناسایی ریسک‌های بحرانی، راهکارهایی مورد توافق برای کاهش حوادث عابران پیاده و دوچرخه‌سواران پیشنهاد دهد. مداخله سیستمی در فرایند طرح‌ریزی مسیر پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری «سرزندگی» در شهرداری منطقه دو تهران به انجام رسیده است؛ روش‌شناسی پژوهش، رویکردی ترکیبی و خلاقانه

از ادغام ارزیابی ریسک ایمنی مبتنی بر آنالیز حالات و اثرات شکست^۱ (FMEA) در چارچوب روش‌شناسی سیستم‌های نرم^۲ (SSM) است. این تلفیق، بستری اقدام‌پژوهانه برای یادگیری جمعی برنامه‌ریزان درگیر با مسئله فراهم آورده و راهکارهای مورد توافق نسبی بهبود سیستم ایمنی مسیر پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری را پیشنهاد داده است.

مرور ادبیات و بررسی پیشینه

تحرك نرم^۳ به‌عنوان رویکرد انسان‌محور تحرك و زیرمجموعه‌ای از تحرك فردی شامل اشكال غیرموتوری و كم‌اثر بر محیط‌زیست مانند پیاده‌روی، دوچرخه‌سواری و اسکوترهای سبك است كه در سیاست‌گذاری‌های نوین شهری جایگاه ویژه‌ای یافته است (Gattuso, et al., 2018). تحرك نرم در تحرك پایدار، به‌عنوان هسته اصلی کاهش اثرات زیست‌محیطی و ارتقای سلامت عمومی تلقی می‌شود (Paganelli, 2019).

كاربران آسیب‌پذیر جاده^۴ (VRU) متشكل از عابران پیاده، دوچرخه‌سواران، كاربران وسایل نقلیه حركتی انفرادی (اسكیت و اسكوتر) و موتورسواران هستند كه در انتقال به سمت يك مدل تحرك پایدار، با توجه به آن كه افزایش استفاده از روش‌های تحرك نرم و در نتیجه افزایش تعداد كاربران آسیب‌پذیر جاده در مناطق شهری تشویق می‌شود، استراتژی‌های مختلف برای محافظت از كاربران آسیب‌پذیر جاده به طور مرتب برای افزایش رفتار سفر ایمن مورد نیاز است (Faus et al., 2025).

ایمنی مسیر پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری معیاری چندبعدی است كه میزان قرارگیری در معرض ریسك عینی^۵ تصادف و همچنین ایمنی درك‌شده^۶ در تقابل با طراحی هندسی مسیر، نوع تفكیک از ترافیک و الگوی تداخلات در نقاط تلاقی می‌سجد. همچنین درك چگونگی رفتار كاربران آسیب‌پذیر جاده (دوچرخه‌سواران و عابران پیاده) امکان ساخت مسیرهای بهتر با طراحی هندسی و سطحی تطبیق‌یافته را فراهم می‌كند كه منجر به بهبود ایمنی و راحتی دوچرخه‌سواری می‌شود (Shoman et al., 2023).

تحلیل ریسك^۷ (RA) بخش مهمی از برنامه‌ریزی قبل از وقوع است كه به پیش‌بینی ریسك‌های احتمالی كمك و اقدامات پیشگیرانه را توسعه می‌دهد تا اطمینان حاصل گردد كه زیرساخت‌های كنترل مشكلات احتمالی وجود دارد (Sharma et al., 2019). در طول دو دهه گذشته، رویكردهای بهبود سیستم ایمنی مبتنی بر تحلیل فرآیندهای پر ریسك اتخاذ شده است و رویكرد آنالیز حالات و اثرات شكست (FMEA) و کاربردهای آن در مطالعات ارزیابی ریسك در حال گسترش است (Yamamoto ET AL., 2023).

با توجه به مسئله پژوهش مرور پیشینه به بررسی مطالعات ایمنی مسیرهای پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری پرداخته است. در بررسی مطالعات ایمنی مسیرهای پیاده‌مداری و دوچرخه‌سواری گروهی از مطالعات به ارائه الزامات ایمنی تمرکز یافته‌اند از این گروه مطالعات می‌توان به پژوهش برونو (۲۰۲۰) اشاره نمود كه جداسازی و تفكیک مسیر پیاده‌روی، دوچرخه‌سواری و خودرو، تصویب مقررات خاص برای مسیر دوچرخه‌سواری و امکان بازنگری و اصلاح مقررات بر اساس نتایج واقعی را مورد تأکید قرار دادند (Bruno, 2020). چن و همكاران (۲۰۲۵) نشان دادند كه قوانین و مقررات تحرك نرم در موقعیت‌های شهرهای جهان متفاوت است و توصیه‌های مبتنی بر شواهد برای بهبود طراحی، ساخت، بهره‌برداری، نگهداری و مدیریت ایمن زیرساخت‌های تحرك نرم مورد نیاز است (Chen et al., 2025). البرتی (۲۰۲۳) نیز در راستای بهبود ایمنی مسیر تدوین قوانین رویه‌های پیاده‌راه‌سازی را پیشنهاد داده است (Alberti, 2023) و فراری و همكاران (۲۰۲۴) اقدامات نظارتی مسیر دوچرخه و پیاده را به منظور بهبود مستمر پیشنهاد داده است (Ferrari et al., 2024). در چارچوب‌های بین‌المللی نیز توجه به تامین روشنایی، کیفیت روشنایی در شب و نظارت در فضاهای

¹ Failure Modes and Effects Analysis (FMEA)

² Soft Systems Methodology (SSM)

³ Soft Mobility

⁴ Vulnerable Road Users (VRU)

⁵ Objective Risk

⁶ Perceived Safety

⁷ Risk Analysis (RA)

عمومی، ایمنی سازه‌های مسیرها و اتصال‌ها، ایمنی محیطی (نصب نرده، روشنایی، هموارسازی و کنترل شیب و...)، نصب علائم ترافیکی ایمنی مسیر (UN-Habitat, 2020) و دسترسی به خدمات اورژانس و کمک‌های اولیه و مناسب‌سازی مسیر برای دسترسی گروه‌های خاص کودکان، افراد دارای معلولیت، سالمندان، افراد کم‌توانو برآوردن نیازهای کاربران گروه‌های خاص در مسیرهای تحرک نرم را مورد تأکید قرار گرفته است (UN-Habitat & WHO, 2020; OECD, 2023; UN-Habitat, 2020). کورتیسل و همکاران (۲۰۲۲) و دلو تو (۲۰۲۲) نیز استفاده از داده‌های شهری پایش کیفیت هوا و مدیریت تردد در مسیر، راهنمای هوشمند هدایت کاربران (تابلوهای دیجیتال یا اپلیکیشن‌های موبایلی) را به منظور پایش مسیر و بهبود ایمنی سفر پیشنهاد دادند (De Lotto et al., 2022). (Corticelli, et al., 2022).

گروهی دیگر از مطالعات چارچوب‌های ارزیابی ایمنی را توسعه دادند بطوری که دای و همکاران (۲۰۲۵) یک چارچوب برای ارزیابی ایمنی روش‌های محافظت‌شده برای خطوط دوچرخه در تقاطع‌ها ارائه دادند و بر اجرای مؤثر راهکارهای پیشگیرانه تغییر جهت جانبی، باید اقدامات اجرایی تقویتی را مورد تأکید قرار دادند (Dai, et al., 2025). شومان و همکاران (۲۰۲۳) به ارزیابی ایمنی و راحتی دوچرخه‌سواری در شرایط بد آب و هوایی با استفاده از دوچرخه مجهز به ابزار دقیق مجهز به ابزار می‌پردازد که امکان جمع‌آوری داده‌های دقیق در مورد دینامیک دوچرخه، مسیر و سرعت و همچنین اطلاعات ضروری برای مطالعه رفتار دوچرخه‌سواران، واکنش آنها به ویژگی‌های مختلف سطح جاده و طراحی هندسی و تعامل آنها با سایر کاربران جاده مانند عابران پیاده، وسایل نقلیه و سایر دوچرخه‌سواران را فراهم می‌کند. این مطالعه رفتار دوچرخه‌سواران را از طریق محاسبه شاخص ریسک رفتاری^۱ (BRI) بر اساس عوامل خطر مختلف ناشی از شرایط آب و هوایی، جاده و ترافیک، تعامل با سایر کاربران جاده و واکنش به معایب زیرساخت ارزیابی نموده و خطرات ناشی از عوامل ترافیکی متعدد و معایب زیرساختی را ارزیابی و تعاملات دوچرخه‌سوار-دوچرخه-جاده و تأثیرات آنها بر ایمنی دوچرخه‌سواری را بررسی نموده است. علاوه بر این، این مفهوم پایه جدیدی برای ایجاد اقدامات ایمنی دوچرخه‌سواری فراهم می‌کند که می‌تواند برای بهبود زیرساخت‌ها و کاهش تصادفات رانندگی به منظور جذب افراد بیشتر به دوچرخه‌سواری اعمال شود (Shoman et al., 2023). دوزا و همکاران (۲۰۲۲) چارچوبی مبتنی بر داده برای ادغام ایمن تحرک نرم در سیستم حمل‌ونقل با مقایسه دوچرخه و اسکوترهای الکترونیکی پرداختند و نشان می‌دهد که اسکوترهای الکترونیکی مانورپذیرتر و ایمن‌تر از دوچرخه‌ها هستند و در بلندمدت، در یک سیستم حمل و نقل اشتراکی ترویج خواهند شد (Dozza et al., 2022).

مطالعات دیگری نیز به بررسی ایمنی عابران و دوچرخه‌سواران در سفرهای شهری تمرکز یافتند. اشرف و همکاران (۲۰۲۲) به بررسی ایمنی عابران پیاده و دوچرخه‌سواران در سیستم‌های حمل‌ونقل شهری پرداختند و اقدامات ایمنی ترافیک مناطق شهری را اولویت‌بندی نمودند (Ashraf et al., 2022). هابر و همکاران (۲۰۲۴) در مطالعه‌ای نشان می‌دهد که خطر بالای تصادف در طول یک مسیر دوچرخه‌سواری و پیاده‌روی، تأثیر منفی اندکی بر انتخاب مسیر دارد (Huber et al., 2024). فایوس و همکاران (۲۰۲۵) نقش کمپین‌های ارتباطی در حفاظت از کاربران آسیب‌پذیر جاده‌ها را مورد بحث قرار داده و به حداکثر رساندن اثربخشی آنها با استفاده از فناوری‌های نوظهور مانند هوش مصنوعی و کلان داده و ارائه از طریق ترکیبی از رسانه‌های سنتی و دیجیتال توصیه نمودند (Faus et al., 2025). فائودل و همکاران (۲۰۲۲) یک مطالعه محاسباتی بر اساس محدودیت سرعت ایمن برای دوچرخه‌ها در مسیرهای مشترک با توجه به شدت آسیب‌های سر عابر پیاده در تصادفات دوچرخه‌سوار-عابر پیاده و پیامدهای احتمالی آسیب ارائه دادند. نتایج این مطالعه می‌تواند مبنایی برای تدوین قوانینی جهت به حداقل رساندن برخورد بین دوچرخه‌سواران و عابران پیاده در مسیرهای مشترک و کاهش آسیب‌های احتمالی به عابران پیاده مفید باشد (Paudel et al., 2022).

بررسی مطالعات پیشین نشان می‌دهد، اگر چه در زمینه ایمنی مسیرهای دوچرخه و پیاده‌روی مطالعات گسترده‌ای وجود دارد اما مطالعات بسیار محدودی در زمینه ارزیابی ریسک‌های ایمنی مسیر وجود دارد و تاکنون با استفاده از رویکرد آنالیز حالات و اثرات شکست، ریسک‌های مسیر پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری مورد تحلیل قرار نگرفته علاوه بر آن تا آن جایی که از دید محققان گذشت

¹ Behavior Risk Index (BRI)

تاکنون طراحی سیستم یادگیری در فرایند عمل و در ترکیب ارزیابی ریسک‌های ایمنی مسیر تحرک مورد توجه نبوده است. بر این مبنا نوآوری پژوهش از منظر کاربرد و ترکیب خلاقانه رویکردهای سیستمی و توسعه مدل بهبود سیستم ایمنی مسیر دوچرخه‌سواری- پیاده‌روی تبیین می‌گردد.

روش‌شناسی

روش‌شناسی پژوهش، رویکردی ترکیبی از ادغام ارزیابی ریسک ایمنی مبتنی بر آنالیز حالات و اثرات شکست (FMEA) در چارچوب روش‌شناسی سیستم‌های نرم (SSM) است. در ادامه به روش‌شناسی SSM و رویکرد FMEA شرح داده شده است. روش‌شناسی سیستم‌های نرم یک رویکرد اقدام‌پژوهانه برای یادگیری سیستم‌های هدفمند انسانی در موقعیت پیچیده مسئله است و موقعیت مسئله را با رویکرد کل نگر سیستمی مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و با طرح یک فرآیند یادگیری در عمل، زمینه یادگیری گروهی از تجارب مشارکت‌کنندگان و درگیران مسئله را در قالب مدل‌های مفهومی فراهم می‌آورد. گام‌های روش‌شناسی سیستم‌های نرم عبارتند از: ۱-۲- مواجهه‌شدن با موقعیت مسئله: این مرحله شامل ورود به موقعیت مسئله و شناسایی افراد، فرهنگ، استانداردها و ارزش‌های حاکم بر موقعیت از طریق مصاحبه و مباحثه، طوفان فکری و تصاویر گویا است. ۳- توسعه تعاریف ریشه‌ای: تعریف ریشه‌ای، عبارتی است که یک سیستم ایده‌آل، اهداف آن و این که چه کسانی در آن درگیر خواهند بود را توصیف می‌کند. یک تعریف ریشه‌ای، در قالب یک توصیف کلامی، معمولاً از شش جزء تشکیل شده است که به‌طور خلاصه در CATWOE بیان می‌شود: مشتریان^۱ (C): افرادی هستند که بی واسطه، از فعالیت سیستم، منتفع یا متضرر می‌شوند. کنشگران^۲ (A): در هر سیستم فعالیت انسانی وجود دارند که یک یا چند فعالیت را در سیستم انجام می‌دهند. فرایند تبدیل^۳ (T): این قسمت محور اصلی هر سیستم فعالیت انسانی است که در آن ورودی‌های مشخص به خروجی تبدیل می‌شود. جهان‌بینی^۴ (W): این قسمت معمولاً دیدگاه یا جهان‌بینی بدیهی فرض شده‌ای است که تعریف ریشه‌ای ایجاد شده را معقول و منطقی جلوه می‌دهد. مالکیت^۵ (O): فرد یا گروهی که مسئول سیستم ارائه شده هستند، به این معنی که قدرت تغییر و یا حتی متوقف ساختن آن را نیز دارند. محدودیت‌های محیطی^۶ (E): همه سیستم‌های فعالیت انسانی در درون محدودیت‌های تحمیل شده توسط محیط خارجی فعالیت می‌کنند. این محدودیت‌ها می‌توانند اخلاقی، فیزیکی یا قانونی باشند. ۴- ساخت مدل مفهومی: نموداری که از مجموعه فعالیت‌ها و خطوط ارتباطی میان آن‌ها تشکیل یافته است. ۵- مقایسه مدل با دنیای واقعی: در این مرحله، مدل‌ها با دنیای واقعی مقایسه می‌شوند. ۶- شناسایی و تعیین تغییرات مورد نیاز: این مرحله شامل تعیین تغییرات سیستمی مطلوبی است که از نظر فرهنگی نیز در دنیای واقعی امکان‌پذیر باشند. ۷- اجرا: در این مرحله تغییرات تعیین شده در مرحله قبل در عمل اجرا می‌شوند (Jackson, 2019). مطالعات انجوين و همکاران (۲۰۱۹)، دلیما و همکاران (۲۰۲۰) و نصیری و همکاران (۲۰۲۲) نمونه‌ای از کاربردهای SSM را ارائه داده است.

شناسایی و ارزیابی ریسک‌های ایمنی، مبتنی بر رویکرد آنالیز حالات و اثرات شکست (FMEA) به انجام خواهد رسید. بر این مبنا یک تیم چند تخصصی از برنامه‌ریزان طراحی مسیر پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری سرزندگی شهرداری منطقه دو شهر تهران ریسک‌های ایمنی و وقوع حوادث را به عنوان حالت‌های شکست بالقوه شناسایی و در ادامه با توجه به شاخص‌های میزان احتمال وقوع، شدت وقوع و توانایی کشف امتیازدهی و منطبق با رابطه (۱) نمره اولویت ریسک^۷ (RPN) محاسبه گردید.

$$\text{Risk Priority Number (RPN)} = \text{Probability (P)} \times \text{Severity (S)} \times \text{Detectability (D)}$$

برای محاسبه احتمال وقوع ریسک (P) شاخص کمی در جدول (پیوست ب) بر حسب مقیاس ۱ تا ۱۰ برای هر یک از ریسک‌ها سنجیده شده است. برای محاسبه شدت ریسک (S) شاخص کمی در جدول (پیوست پ) بر حسب مقیاس ۱ تا ۱۰ برای هر یک از

¹ Customers

² Actors

³ Transformer

⁴ Worldview

⁵ Owner

⁶ Environmental constraints

⁷ Risk Priority Number

ریسک‌ها سنجیده شده است. برای محاسبه توانایی کشف ریسک (D) شاخص کمی در جدول (پیوست ت) بر حسب مقیاس ۱ تا ۱۰ برای هر یک از ریسک‌ها سنجیده شده است. RPN عددی بین ۱ و ۱۰۰۰ خواهد بود که حاصل ضرب سه عدد شدت، احتمال وقوع و توانایی کشف است. اقدامات پیشگیرانه برای هر یک از ریسک‌های بحرانی تعیین می‌گردد.

سطوح بحرانی عبارتند از: ۱-سطح عادی که در آن عدد هر سه شاخص کمتر از ۶ هستند و نیاز به اقدامات پیشگیرانه احساس نمی‌شود. ۲-سطح نیمه بحرانی که در آن حداکثر یک عدد بالاتر از ۶ است ولی RPN پایین است. در این سطح اقدامات پیشگیرانه ضروری است. ۳-سطح بحرانی که در آن حداقل دو عدد بالاتر از ۶ هستند و عدد RPN نیز بالا است. این سطح نیاز به اقدامات پیشگیرانه فوری دارد (Kim et al., 2018). مطالعات سان و همکاران (۲۰۲۴) و یاماموتو و همکاران (۲۰۲۳) نمونه کاربردی FMEA را ارائه داده است.

با توجه میانگین نظرات ریسک‌های بحرانی شناسایی و اقدامات پیشگیرانه و کاهش و کنترل ریسک بحرانی طی جلسات گروهی تصمیم‌گیری در طول برنامه ریزی مسیر به اجماع رسیده است. شناسایی اولیه ریسک‌ها با استفاده از بررسی چارچوب‌های بین‌المللی، اسناد و قوانین بالادستی، مرور مطالعات پیشین و مصاحبه گروهی با خبرگان برنامه‌ریزی و ایمنی شهری و برنامه‌ریزان مسیر سرزندگی شهرداری منطقه دو گردآوری شده است. جامعه پژوهش‌کنندگان طرح‌ریزی مسیر دوچرخه‌سواری و پیاده‌روی سرزندگی شهرداری منطقه دو شهر تهران است و نمونه‌گیری به صورت هدفمند و در مسیر اجرای پژوهش و بر مبنای تحلیل CATWOE شناسایی گردید. مشخصات برخی از مشارکت‌کنندگان منتخب پژوهش در جدول (پیوست الف) آمده است.

مورد مطالعاتی: مسیر پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری سرزندگی شهرداری منطقه دو شهرداری تهران

«مسیر ۴۷ کیلومتری دوچرخه‌سواری و پیاده‌روی سرزندگی شهرداری منطقه دو شهر تهران» با اتصال پنج بوستان فرامنطقه‌ای شامل بوستان‌های فدک، ۱۳ هکتاری، پردیسان، نهج البلاغه ۱ و نهج البلاغه ۲ با احداث دو پل و یک تونل مسیر پیوسته و متصل به یکدیگر ایجاد شده است. به منظور اتصال پارک‌ها پل تندرستی (A) و پل تندرستی (B) بر فراز اتوبان‌های شیخ فضل الله نوری و شهید همت به یکدیگر پیوند خورده‌اند و این بوستان‌ها که پیش از این ارتباطی با یکدیگر نداشتند شبکه تحرک نرم شهری را ایجاد نمودند. با این اتصال، مسیری پیوسته به طول ۴۷ کیلومتر ایجاد شده که شهروندان می‌توانند آن را به صورت پیاده، با دوچرخه یا دیگر شیوه‌های حمل و نقل سبک طی کنند. این مسیر بدون هیچ گونه تداخل با ترافیک خودرویی طراحی شده و به صورت مداوم در دسترس عموم قرار دارد. در راستای برنامه‌ریزی مشارکتی علاوه بر واحدهای سازمانی تعامل با سازمان اورژانس، سازمان حفاظت از محیط زیست، آب و برق منطقه‌ای و ... نیز صورت گرفت.

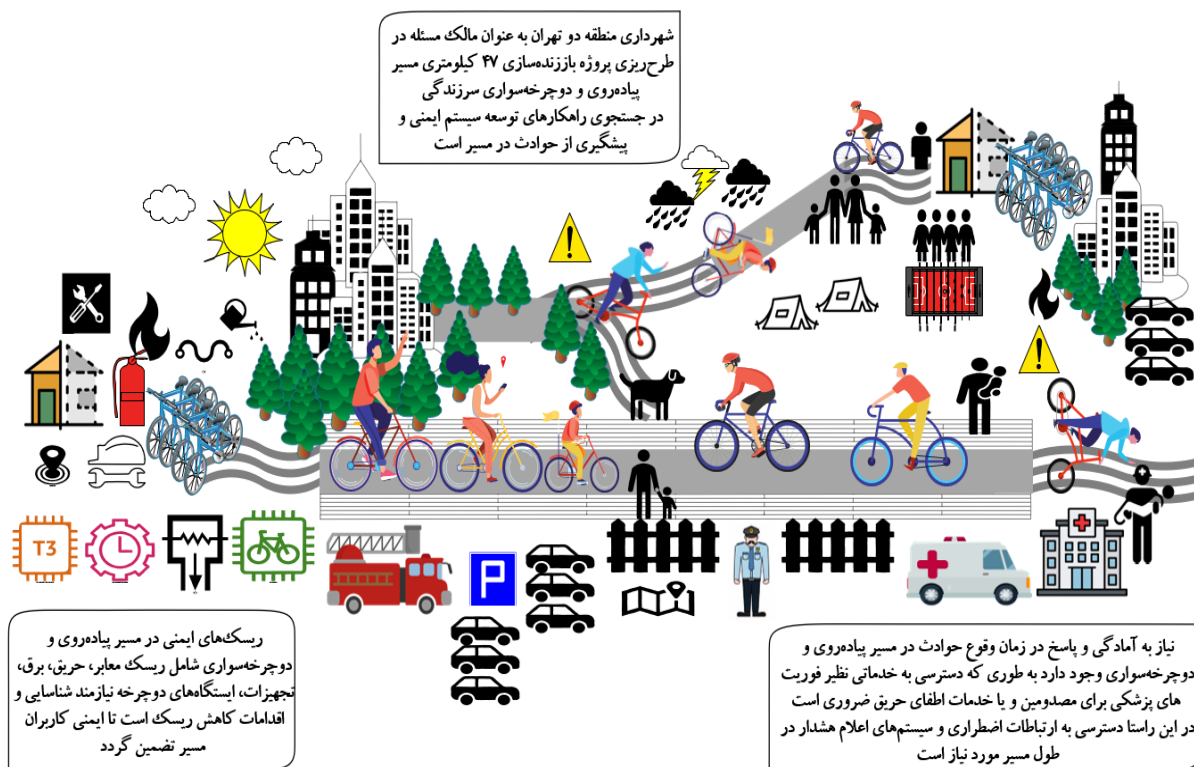


شکل (۱) نقشه شبکه تحرک نرم در طرح‌ریزی مسیر پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری سرزندگی شهرداری منطقه دو تهران

یافته‌ها

یافته‌های پژوهش منطبق با مراحل روش‌شناسی سیستم‌های نرم (SSM) تشریح شده است.

مرحله یک و دو-مواجه‌شدن با موقعیت مسئله: مرحله یک و دو با توجه به مستندات در دسترس، موقعیت مسئله مطالعه و از طریق مصاحبه و مباحثه با برنامه‌ریزان طرح، فرایند کنونی مورد بررسی قرار گرفت. با مشارکت تیم مداخله، تصویر گویا از موقعیت ترسیم شد و بر مبنای آن بحث‌هایی پیرامون موقعیت مسئله سیستم ایمنی و پیشگیری از حوادث شکل گرفت. شکل (۱) تصویر گویای مسئله را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، در طراحی مداخله سیستمی حاضر، شهرداری منطقه دو تهران به‌عنوان مالک مسئله در جستجوی توسعه سیستم ایمنی و پیشگیری از حوادث در مسیر است تا زمینه کنترل ایمنی و بهره‌برداری در دیگر پروژه‌های مسیر دوچرخه‌سواری را فراهم سازد. اگر چه مسیر به طور کامل از مسیر خودرویی مجزا است اما در موقعیت‌هایی از مسیر ترکیبی از عابران پیاده و دوچرخه‌سواران به صورت مشترک است و همچنین وجود زمین‌های بازی کودکان و ناآگاهی کاربران از رفتار ترافیکی در مسیر و ریسک‌های ایمنی در مسیر پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری شامل ریسک معابر، حریق، برق، تجهیزات و ... نیازمند شناسایی و اقدامات کاهش ریسک است تا ایمنی کاربران مسیر را تضمین کند. علاوه بر آن نیاز به آمادگی و پاسخ در صورت وقوع حادثه در مسیر پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری وجود دارد به طوری که دسترسی به خدماتی نظیر فوریت‌های پزشکی برای مصدومین و یا خدمات اطفای حریق ضروری است. در این راستا دسترسی به ارتباطات اضطراری پایدار و سیستم‌های اعلام هشدار سریع در مسیر مورد نیاز است.



شکل (۲) تصویر گویا مسئله مدیریت ریسک‌های ایمنی مسیر سرزندگی شهرداری منطقه دو تهران

مرحله سه- توسعه تعاریف ریشه‌ای: برای توسعه تعاریف ریشه‌ای از تکنیکی CATWOE استفاده گردید. نتایج این تحلیل در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول (۱) مولفه‌های CATWOE سیستم ایمنی و پیشگیری از حوادث مسیر سرزندگی شهرداری منطقه دو تهران

مولفه‌های CATWOE		سیستم ایمنی و پیشگیری از حوادث مسیر پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری سرزندگی
مشتریان	C	پیاده‌مداران و دوچرخه‌سواران شهر تهران؛ کارکنان شهرداری تهران؛ کارکنان شهرداری منطقه دو تهران؛ تامین‌کنندگان و سرویس‌دهندگان ایستگاه‌های دوچرخه‌سواری.
بازیگران	A	شهرداری منطقه دو تهران؛ سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری تهران؛ سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران؛ سازمان خدمات ایمنی و آتش‌نشانی شهر تهران؛ معاونت فنی و عمرانی شهرداری تهران؛ معاونت مالی و اقتصاد شهری؛ اداره کل آموزش شهروندی؛ سازمان زیباسازی، نیروی انتظامی، سازمان اورژانس، سازمان حفاظت از محیط‌زیست، آب و برق منطقه‌ای.
فرایند تبدیل	T	توسعه سیستم ایمنی و پیشگیری از حوادث در مسیر سرزندگی
جهان‌بینی	W	شناسایی و ارزیابی ریسک ایمنی و اجرای اقدامات کاهش ریسک منجر به پیشگیری از حوادث در مسیر پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری سرزندگی می‌گردد.
مالکان	O	شهرداری منطقه دو شهر تهران
محدودیت‌های محیطی	E	کوهستانی بودن و شیب تند و اختلاف ارتفاع در مسیر، آگاهی ناکافی کاربران از مسائل ایمنی؛ کمبود قوانین و مقررات مسیرهای دوچرخه‌سواری؛ کیفیت تجهیزات ایمنی دوچرخه‌های موجود در کشور؛ ناتوانی در استفاده از تجهیزات ایمنی؛ کمبود نیروهای امدادی، تورم اقتصادی و افزایش هزینه‌های رعایت الزامات ایمنی

در ادامه با مشارکت بازیگران درگیر مسئله به شناسایی و ارزیابی ریسک‌های ایمنی مسیر پرداخته شد. پس از دو مرحله پایش همان طور که در جدول (۲) مشاهده می‌شود ۶۷ ریسک ایمنی مسیر دوچرخه‌سواری با مشارکت برنامه‌ریزان در ۱۵ زمینه موضوعی شناسایی و عدد RPN هر یک از ریسک‌ها محاسبه گردید. با توجه به نتایج تحلیل ریسک، ۴۱ ریسک در سطح بحرانی و نیازمند اقدام پیشگیرانه فوری شناسایی گردید. با مشارکت برنامه‌ریزان ۶۲ اقدام هدفمند کاهش ریسک ایمنی همان طور که جدول (۳) نشان می‌دهد مد نظر قرار گرفت.

جدول (۲) شناسایی و ارزیابی ریسک‌های ایمنی مسیر پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری سرزندگی شهر تهران

زمینه موضوعی	نماد	ریسک ایمنی شناسایی شده	احتمال وقوع ریسک (P)	شدت اثر ریسک (S)	توانایی کشف ریسک (D)	شاخص اولویت ریسک (RPN)
۱- ایمنی معابر	R01	ناهمواری مسیر و عدم کنترل دوچرخه سواران	۶	۶	۸	۲۸۸
	R02	خطر سقوط از ارتفاع دوچرخه‌سواران و پیاده‌مداران	۴	۵	۴	۸۰
	R03	شیب تند مسیر و عدم کنترل دوچرخه سواران	۵	۹	۷	۳۱۵
	R04	ورود پیاده‌ها به مسیر دوچرخه‌سواران و بالعکس	۵	۷	۸	۲۸۰
	R05	انحراف دوچرخه‌سوار به دلیل ورود حیوانات به مسیر	۲	۲	۴	۱۶
	R06	انسداد به دلیل رهاشدگی دوچرخه در مسیر	۱	۳	۵	۱۵
	R07	مکان‌یابی نامناسب فضاهای استراحتگاه و پارکینگ	۲	۴	۶	۴۸
۲- ایمنی ترافیکی	R08	فقدان جداکننده ترافیکی مسیر رفت و برگشت	۲	۲	۴	۱۶
	R09	تداخل مسیر پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری	۵	۹	۷	۳۱۵
	R10	ازدحام جمعیت پیاده در برخی نقاط مسیر	۶	۶	۸	۲۸۸
	R11	عدم نصب علائم ترافیکی ایمنی مسیر	۵	۷	۸	۲۸۰
	R12	عدم کنترل سرعت بالای دوچرخه در شیب	۴	۵	۴	۸۰
	R13	ایمنی ناکافی سازه‌ای پل‌های اتصالی و تونل مسیر	۵	۹	۷	۳۱۵

زمینه موضوعی	نماد	ریسک ایمنی شناسایی شده	احتمال وقوع ریسک (P)	شدت اثر ریسک (S)	توانایی کشف ریسک (D)	شاخص اولویت ریسک (RPN)
۳- ایمنی سازه‌ای	R14	عدم استحکام سازه‌های موقت مستقر در مسیر	۲	۴	۶	۴۸
	R15	عدم استحکام آلاچیق‌ها و سازه‌های پوششی مسیر	۲	۹	۸	۱۴۴
	R16	ایمنی ناکافی سازه‌های اطلاع‌رسانی	۴	۴	۴	۶۴
۴- ایمنی حریق	R17	وقوع حوادث آتش‌سوزی در ایستگاه‌های دوچرخه	۲	۴	۶	۴۸
	R18	وقوع حریق بر اثر شاخه برگ خشک درختان	۳	۶	۷	۱۲۶
	R19	در دسترس نبودن کپسول‌های آتش‌نشانی	۶	۶	۸	۲۸۸
	R20	ناتوانی کاربران در استفاده از کپسول‌های آتش‌نشانی	۵	۷	۸	۲۸۰
	R21	عدم رعایت استاندارد انبارش مواد شیمیایی در ایستگاه‌های دوچرخه	۱	۳	۵	۱۵
۵- ایمنی الکتریکی	R22	برق‌گرفتگی ناشی از نفوذ رطوبت به تجهیزات الکتریکی ایستگاه‌های شارژ دوچرخه برقی	۶	۶	۸	۲۸۸
	R23	خرابی پریزها و شارژرهای دوچرخه‌ها در ایستگاه‌ها	۲	۷	۸	۱۱۲
	R24	اختلال در سیستم روشنایی و نورپردازی مسیر	۶	۶	۸	۲۸۸
	R25	اختلال در کابل و سیم کشی برق مسیر	۲	۲	۴	۱۶
	R26	دسترسی ناکافی به تجهیزات ایمنی استاندارد برای دوچرخه سواری در ایستگاه‌ها	۵	۷	۸	۲۸۰
۶- ایمنی تجهیزاتی	R27	تعمیر نامناسب دوچرخه‌های اشتراکی مسیر	۲	۴	۶	۴۸
	R28	انبارش نامناسب و بیش از ظرفیت ایستگاه دوچرخه	۲	۲	۴	۱۶
	R29	نصب نامناسب دوچرخه و اسکوترهای الکتریکی	۴	۵	۴	۸۰
	R30	نامناسب بودن ایمنی دوچرخه‌های در دسترس	۱	۳	۵	۱۵
	R31	عدم برنامه‌ریزی سرویس دوره‌ای ایمنی دوچرخه‌ها	۲	۲	۴	۱۶
	R32	عدم استفاده کاربران از تجهیزات ایمنی هنگام دوچرخه سواری (دستکش، کلاه، زانوبند و ...)	۹	۸	۸	۵۷۶
۷- ایمنی رفتاری	R33	انتخاب نامناسب دوچرخه به توجه به کاربر	۲	۴	۶	۴۸
	R34	دو ترکه سوار شدن، حرکات نمایشی و رفتارهای هیجانی و عاطفی، حمل بار نامتعارف و اشیای دیگر	۴	۵	۴	۸۰
	R35	عدم تسلط و کنترل ناکافی دوچرخه‌سواران تازه کار	۲	۷	۸	۱۱۲
	R36	عدم استفاده از تجهیزات حفاظت فردی اپراتور ایستگاه دوچرخه	۲	۲	۴	۱۶
	R37	فقدان دوره آموزش دوچرخه‌سواری برای تازه کاران	۹	۸	۸	۵۷۶
	R38	فقدان دوره‌های آموزشی حرفه‌ای دوچرخه‌سواری در مسیر کوهستانی برای کاربران عادی	۲	۴	۶	۴۸
	R39	عدم آگاهی دوچرخه سواران از رعایت اصول ایمنی	۵	۹	۷	۳۱۵
	R40	آموزش ناکافی ایمنی کارکنان ایستگاه دوچرخه	۲	۴	۶	۴۸
۸- ایمنی فراگیر	R41	ورود کودکان به مسیر دوچرخه با توجه به مجاورت با زمین‌های بازی کودکان	۳	۶	۷	۱۲۶

زمینه موضوعی	نماد	ریسک ایمنی شناسایی شده	احتمال وقوع ریسک (P)	شدت اثر ریسک (S)	توانایی کشف ریسک (D)	شاخص اولویت ریسک (RPN)
	R42	نادیده گرفتن نیازهای ایمنی گروه‌های خاص (سالمندان، افراد کم‌توان، دارای معلولیت و ...)	۵	۹	۷	۳۱۵
۹-ایمنی محیطی	R43	اطلاع رسانی ناکافی علائم ترافیکی و هشدار مسیر	۲	۲	۴	۱۶
	R44	فقدان راهنمای هوشمند هدایت کاربران در مسیر	۴	۵	۴	۸۰
	R45	دسترسی ناکافی کاربران به نقشه‌های مسیر	۱	۳	۵	۱۵
	R46	کیفیت ناکافی نور و روشنایی در شب مسیر	۹	۸	۸	۵۷۶
	R47	احتمال سرقت دوچرخه‌ها در مسیر	۶	۶	۸	۲۸۸
	R48	نظارت و بازرسی ناکافی رعایت الزامات ایمنی مسیر	۳	۶	۷	۱۲۶
۱۰-نگهداشت ایمنی	R49	تاخیر در تعمیرات مرتبط با سیستم ایمنی مسیر	۲	۴	۶	۴۸
	R50	تخمین نامناسب هزینه‌ها در قرارداد پیمانکار بهره‌بردار مسیر و عدم رعایت الزامات ایمنی	۳	۶	۷	۱۲۶
	R51	نامشخص بودن مسیر تخلیه اضطراری ایمن	۵	۹	۷	۳۱۵
۱۱-مدیریت شرایط اضطراری	R52	عدم دسترسی و امکان تردد خودروهای امدادی	۳	۶	۷	۱۲۶
	R53	عدم دسترسی به ارتباطات اضطراری (شماره تلفن اطلاع وضعیت اضطراری، کلید اضطراری و ...)	۹	۸	۸	۵۷۶
	R54	عدم دسترسی کاربران مسیر به سیستم صوتی اعلام شرایط اضطراری	۶	۶	۸	۲۸۸
	R55	فقدان نیروهای امدادی و اورژانس در مسیر	۲	۹	۸	۱۴۴
۱۲-خدمات فوریت‌های پزشکی	R56	عدم دسترسی به تجهیزات درمانی و کمک‌های اولیه	۳	۶	۷	۱۲۶
	R57	عدم دسترسی به تجهیزات احیا و پایش بیمار	۴	۵	۴	۸۰
	R58	فقدان قوانین و مقررات مسیر دوچرخه سواری	۹	۸	۸	۵۷۶
۱۳-شفافیت و پاسخگویی	R59	عدم شفافیت در مسئولیت ایمنی مسیر	۳	۶	۷	۱۲۶
	R60	ضعف در پاسخگویی رفع نایمنی‌های مسیر	۲	۴	۶	۴۸
	R61	عدم طراحی سیستم ارزیابی و پایش ایمنی مسیر	۹	۸	۸	۵۷۶
۱۴-پایش هوشمند داده‌محور	R62	عدم وجود حسگرها و دوربین‌های هوشمند	۵	۹	۷	۳۱۵
	R63	فقدان رویکردهای تحلیل هوشمند داده‌های مسیر	۴	۵	۴	۸۰
	R64	تخصص ناکافی در شناسایی ریسک‌های جدید	۲	۴	۶	۴۸
۱۵-یادگیری و بهبود مستمر	R65	عدم ثبت و گزارش‌دهی نایمنی‌ها و وقوع حوادث	۹	۸	۸	۵۷۶
	R66	فقدان تحلیل ریشه‌ای علل حوادث مسیر	۶	۶	۸	۲۸۸
	R67	ناتوانی در بازنگری دستورالعمل‌های رعایت الزامات ایمنی در بهره برداری و نگهداشت مسیر	۲	۹	۸	۱۴۴

جدول (۳) اقدامات کاهش ریسک ایمنی مسیر سرزندگی

زمینه	ریسک‌های بحرانی (CR)	اقدامات کاهش ریسک (RRA)
۱- ایمنی معابر	ناهمواری مسیر و عدم کنترل دوچرخه سواران ورود پیاده‌ها به مسیر دوچرخه‌سواران و بالعکس شیب تند مسیر و عدم کنترل دوچرخه سواران	ساماندهی معابر ورودی، خروجی، تونل و پل‌های اتصال فضاها عملیات هموارسازی و کفسازی، کنترل شیب، نصب گریتینگ نصب جان پناه (نرده) و نرده‌های حفاظتی فضاها مسیر

زمینه	ریسک‌های بحرانی (CR)	اقدامات کاهش ریسک (RRA)
	-انسداد مسیر به دلیل رهاشدگی دوچرخه	-طراحی، ساخت و مکان‌یابی ایستگاه‌های دوچرخه و اسکوتر -نصب کفیپوش بافت‌دار در مسیر پیاده و کفیپوش روان مسیر دوچرخه
۲- ایمنی ترافیکی	-تداخل مسیر پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری -ازدحام جمعیت پیاده در برخی نقاط مسیر -عدم نصب علائم ترافیکی ایمنی مسیر	-جداسازی و تفکیک مسیر پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری -باریک‌سازی هوشمند مسیر در نقاط حساس برای کاهش سرعت -نصب تابلوها و علائم ترافیکی و خط‌کشی مسیر دوچرخه و پیاده -راهنمای هوشمند مدیریت ترافیک و هدایت کاربران در مسیر -نصب حسگرهای تشخیص سرعت دوچرخه و هشدار سرعت بالا -تابلوهای هوشمند هشدار ازدحام برای کنترل سرعت دوچرخه در محدوده تجمع پیاده‌ها
۳- ایمنی سازه‌ای	-ایمنی ناکافی سازه‌ای پل‌های و تونل اتصالی -عدم استحکام آلاچیق‌ها و سازه‌های پوششی	-مرمت و تقویت استحکام سازه‌ای آلاچیق‌ها و المان‌ها بوستان‌ها -الزام به رعایت استانداردهای ایمنی سازه‌ای پل‌ها، تونل‌ها و ...
۴- ایمنی حریق	-در دسترس نبودن کپسول‌های آتش‌نشانی -نا توانی در استفاده از کپسول‌های آتش‌نشانی -وقوع حریق بر اثر شاخه برگ خشک درختان	-نصب خاموش‌کننده‌های آتش‌نشانی در فواصل و نقاط مشخص -وجود هیدرانت آتش‌نشانی در نزدیکی مسیر و با فاصله استاندارد -آموزش اطفای حریق اولیه کارکنان مسیر و ایستگاه‌های دوچرخه -کاهش خطر آتش‌سوزی در فضای سبز با هرس دوره‌ای گیاهان خشک و یا استفاده از گیاهان کم اشتعال در حاشیه مسیر -حسگرهای تشخیص دود و حرارت و ارسال هشدار به محیط‌بانان
۵- ایمنی الکتریکی	-برق‌گرفتگی ناشی از نفوذ رطوبت به تجهیزات الکتریکی ایستگاه‌های شارژ دوچرخه برقی -خرابی پریزها و شارژرهای دوچرخه‌ها در ایستگاه‌ها	-حفاظت تجهیزات الکتریکی ایستگاه‌های دوچرخه در برابر رطوبت -ایمن‌سازی و حفاظت سیستم آبیاری فضای سبز و تجهیزات الکتریکی -ایمنی الکتریکی استفاده از کابل‌های دفنی استاندارد و نصب ارتینگ
۶- ایمنی تجهیزاتی	-دسترسی ناکافی به تجهیزات ایمنی استاندارد برای دوچرخه‌سواری در ایستگاه‌ها	-دسترسی و الزام کاربران مسیر به استفاده از تجهیزات ایمنی پایه نظیر کلاه، زانوبند، بازتابنده نور، عینک و ... -تجهیز دوچرخه‌های اشتراکی به کلاه ایمنی هوشمند مجهز به GPS -نصب آینه‌ها و رادارهای عقب هوشمند و سیستم هشدار لرزشی یا صوتی روی دوچرخه‌ها
۷- ایمنی رفتاری	-عدم تسلط و کنترل ناکافی دوچرخه‌سواران تازه‌کار -عدم آگاهی دوچرخه‌سواران از رعایت اصول ایمنی -عدم استفاده کاربران از تجهیزات ایمنی هنگام دوچرخه سواری (دستکش، کلاه، زانوبند و ...)	-برگزاری دوره‌های آموزشی ایمنی دوچرخه‌سواری -راهناندازی اپلیکیشن آموزشی تعاملی به منظور یادگیری رفتار ایمن -نصب نمایشگرهای هوشمند پیام ایمنی بر اساس شرایط لحظه‌ای -بکارگیری نیروهای داوطلب محلی افسر ایمنی مسیر
۸- ایمنی و امنیت محیطی	-اطلاع‌رسانی ناکافی علائم ترافیکی و هشدار مسیر -کیفیت ناکافی نور و روشنایی در شب مسیر -دسترسی‌پذیری به مراکز حساس و ناامنی محیطی -احتمال سرقت دوچرخه‌ها در مسیر	-تولید محتوا اطلاع‌رسانی محیطی نشانگرها و راهنمای مسیر -مرمت و بازسازی شبکه روشنایی مسیر -طراحی سیستم روشنایی تطبیقی و تنظیم با ورود دوچرخه -بررسی الزامات پدافند غیرعامل -پارکینگ‌های هوشمند دوچرخه با قفل دیجیتال و ضدسرقت
۹- ایمنی فراگیر	-احتمال ورود کودکان به مسیر دوچرخه با توجه به مجاورت با زمین‌های بازی کودکان -نادیده گرفتن نیازهای ایمنی گروه‌های خاص (سالمندان، افراد کم‌توان، دارای معلولیت و ...)	-پیاده‌سازی اصول طراحی فراگیر مانند عرض کافی برای عبور ویلچر و کالسکه، رمپ به جای پله، علائم واضح و خوانا، و ... -تدوین و الزام به رعایت استانداردهای دسترسی و ایمنی برای گروه‌های خاص مانند استفاده از مسیرهای هدایتگر لمسی و علائم صوتی در

زمینه	ریسک‌های بحرانی (CR)	اقدامات کاهش ریسک (RRA)
		تقاطع‌ها برای نابینایان و یا اجرای دروازه‌های کندکننده خروجی زمین بازی کودکان و ...
۱۰-نگهداشت ایمنی	-نظارت و بازرسی ناکافی رعایت الزامات ایمنی -تخمین نامناسب هزینه‌ها در قرارداد پیمانکار -بهره‌بردار مسیر و عدم رعایت الزامات ایمنی	-برنامه‌ریزی مدون دوره‌ای تعمیر و نگهداشت دوچرخه‌های اشتراکی -پیش‌بینی واقع‌بینانه از هزینه‌های نگهداشت مسیر -اختصاص سهم از درآمدهای سالانه مسیر به نگهداشت ایمنی
۱۱-مدیریت شرایط اضطراری	-نامشخص بودن مسیر تخلیه اضطراری ایمن -عدم امکان تردد خودروهای امدادی -عدم دسترسی به ارتباطات اضطراری -عدم دسترسی به سیستم صوتی اعلام هشدار سریع -شرایط اضطراری توسط کاربران مسیر	-تهیه نقشه تخلیه امن و خروج اضطراری مسیر پیاده و دوچرخه -نصب سیستم‌های اعلام هشدار با نصب بلندگوهای پخش پیام -نصب دکمه‌های ارتباط اضطراری در فواصل مشخص -پیش‌بینی راه دسترسی خودروهای امدادی در زمان وقوع حوادث -اپلیکیشن اختصاصی مسیر برای ارسال هشدار اضطراری با یک لمس
۱۲-خدمات فوریت‌های پزشکی	-فقدان نیروهای امدادی و اورژانس در مسیر -عدم دسترسی به تجهیزات کمک‌های اولیه -عدم دسترسی به تجهیزات احیا و پایش بیمار	-ساخت ایستگاه‌های امدادی خدمات فوریت‌های پزشکی اورژانس -تجهیز ایستگاه‌ها با جعبه کمک‌های اولیه، دستگاه شوک قلبی و ... -تامین خودرو برقی امدادی با قابلیت حمل برانکارد مصدومین حادثه -استقرار نیروهای امدادی سیار شامل دوچرخه‌های امدادی -تشویق کاربران به همراه داشتن اطلاعات پزشکی ضروری
۱۳-شفافیت و پاسخگویی	-فقدان قوانین و مقررات مسیر دوچرخه سواری -ضعف در پاسخگویی رفع نایمنی‌های مسیر	-تدوین مقررات دوچرخه‌سواری با تعریف قانونی، حقوقی و مسئولیتی -تعیین سرعت مجاز و مقررات تجهیزات ایمنی، رفتار کاربران و بیمه -اشتراک سالانه و کم‌هزینه بسته‌های بیمه‌ای جامع ترکیبی (بیمه مسئولیت مدنی و بیمه مسئولیت کاربران) توسط شهرداری -نظارت و بازرسی دوره‌ای رعایت الزامات ایمنی توسط بهره‌بردار
۱۴-پایش هوشمند داده‌محور	-عدم طراحی سیستم ارزیابی و پایش ایمنی -عدم وجود حسگرها و دوربین‌های هوشمند -فقدان رویکردهای تحلیل داده و تصمیم‌گیری مبتنی بر شواهد	-ایجاد سیستم جمع‌آوری داده و پایش مستمر -تحلیل داده‌های تردد با نصب حسگرهای شمارش کاربران مسیر -نصب دوربین و سنسور برای شناسایی و تحلیل نقاط حادثه‌خیز -نصب سنسور روی دوچرخه‌ها و پایش لحظه‌ای کیفیت مسیر
۱۵-یادگیری و بهبود مستمر	-عدم ثبت و گزارش‌دهی نایمنی‌ها و وقوع حوادث -فقدان تحلیل ریشه‌ای علل حوادث مسیر -ناتوانی در بازنگری دستورالعمل‌های رعایت الزامات ایمنی در بهره‌برداری و نگهداشت	-ثبت حوادث و شبه حوادث و گزارش‌دهی عدم انطباق‌های ایمنی -بازخوردگیری فعال از کاربران از طریق نظرسنجی و کانال ارتباطی -تحلیل دوره‌ای ایمنی و تصمیم‌گیری رفع نایمنی‌ها مبتنی بر شواهد -تحلیل ریشه‌ای علل حوادث مسیر و ارائه راهکارهای رفع نایمنی -تعامل با نهادهای تخصصی (آتش نشانی، اورژانس، HSE شهرداری، سازمان پیشگیری و مدیریت بحران، انجمن‌های دوچرخه سواری برای یادگیری جمعی و هماهنگی با استانداردهای روز -اجرای اصلاحات سریع و کم هزینه رفع نایمنی‌ها با مشارکت جمعی

مرحله چهار-ساخت مدل مفهومی توسعه سیستم ایمنی و پیشگیری از حوادث مسیر دوچرخه‌سواری: سیستم ایده‌آل ایمنی و پیشگیری از حوادث مسیر دوچرخه سواری، دربرگیرنده اجزایی است که لازم است شهرداری تهران به‌منظور توسعه سیستم ایمنی و پیشگیری از حوادث در پروژه‌های بازآفرینی و توسعه شبکه تحرک نرم مد نظر قرار دهد. توسعه سیستم ایده‌آل با توجه به درک و شناخت و مدل ذهنی مشارکت‌کنندگان و استخراج دانش ضمنی مدیران در یک فرایند مداخله سیستمی به انجام رسیده و مداخله‌گر با توجه به درک از موقعیت مسئله و تحلیل محتوا و استخراج مضامین از متن مصاحبه مشارکت‌کنندگان، مدل‌های

مفهومی توسعه سیستم را ترسیم کرده است و در نهایت طی فرایند اعتبارسنجی، مدل‌های استخراجی را نهایی کرده است. شکل (۳) مدل مفهومی توسعه سیستم ایمنی و پیشگیری حوادث در مسیرهای پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری را نشان می‌دهد. با توجه به آن که فرایند مدلسازی یک چرخه یادگیری است؛ در فرایند مدلسازی سیستم، نیاز است عملکرد ایمنی و پیشگیری از حوادث با توجه به سیستم ایده‌آل ارزیابی شود و معیارهای کارایی و اثربخشی در هر مرحله تعیین گردد و به کیفیت پیاده‌سازی راهکارهای توسعه سیستم نظارت شود به طوری که حوادث مسیر مورد تحلیل قرار گیرد. همچنین لازم است اقدامات کنترلی در شناسایی موانع اجرایی و نیز ارزیابی با توجه به تغییرات و محدودیت‌های محیطی در بازه‌های زمانی متناسب مورد بررسی قرار گیرد و در یک چرخه یادگیری اجزای سیستم ایده‌آل نیز تکامل یابد.



شکل (۳) مدل توسعه سیستم ایمنی مسیر پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری سرزندگی

مرحله پنج-مقایسه مدل با دنیای واقعی: مدل با دنیای واقعی مقایسه و بحث‌هایی در خصوص ضرورت تغییر در میان کنشگران کلیدی در شهرداری تهران شکل گرفت. در این مقایسه مدل مفهومی با استناد و ارجاع به برنامه‌ریزی مسیر سرزندگی شهرداری منطقه دو تهران مورد بررسی قرار گرفت. جزئیات مدل مفهومی سیستم ایده‌آل با جزئیات آن چه که هست، مورد بررسی و مقایسه قرار گرفت و همپوشانی مدل مفهومی با مدل واقعی کنونی شناسایی شد.

مرحله شش و هفت- شناسایی تغییرات مطلوب سیستمی امکان‌پذیر و پیاده‌سازی و اجرا: این مرحله با مشارکت خبرگان تغییرات امکان‌پذیر سیستم با توجه به شکاف بین وضعیت کنونی و ایده‌آل تعریف گردید. برای این منظور اطمینان حاصل شد که تغییرات و راهکارهای پیشنهادی در راستای منابع و امکانات موجود و در دسترس باشد. بر این مبنا تغییرات مطلوب و امکان‌پذیر جهت توسعه سیستم ایمنی مسیر پیاده‌روی و دوچرخه سواری برنامه‌ریزی گردید. شکل (۴) برخی اقدامات و فعالیت‌های هدفمند بهبود سیستم ایمنی و پیشگیری از حوادث را در مسیر سرزندگی شهرداری منطقه دو شهر تهران را نشان می‌دهد.



نصب علائم ترافیکی راهنما و هشدار مسیر



خط کشی مسیر پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری



خودرو برقی با قابلیت حمل برانکارد



نصب نرده و جان پناه در بوستان‌ها

شکل (۴) برخی اقدامات هدفمند بهبود سیستم ایمنی مسیر دوچرخه‌سواری سرزندگی

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

پژوهش حاضر با هدف مداخله سیستمی در فرایند شناسایی و ارزیابی ریسک ایمنی مسیر پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری، چارچوبی ترکیبی مبتنی بر یادگیری در عمل ارائه داده است. یافته‌های مطالعه نشان می‌دهد که تلفیق روش‌شناسی سیستم‌های نرم (SSM) و آنالیز حالات و اثرات شکست (FMEA) می‌تواند به‌عنوان رویکردی اثربخش در شناسایی سیستمی ریسک‌های ایمنی و ارائه

راهکارهای مورد توافق کنشگران درگیر مسئله عمل کند. این نوآوری روش شناختی، ضمن پاسخ به شکاف پژوهشی موجود در زمینه ارزیابی ریسک ایمنی مسیرهای تحرک نرم، بستری برای یادگیری جمعی برنامه‌ریزان و سیاست‌گذاران شهری فراهم آورده است.

- بازتعریف ایمنی مسیرهای تحرک نرم؛ از مسئله‌ای صرفاً مهندسی به پدیده‌ای سیستمی: یافته‌های این پژوهش نشان می‌دهد ایمنی مسیرهای پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری نه یک ویژگی ذاتی در طراحی هندسی یا تفکیک ترافیکی، بلکه برساخته‌ای چندبعدی و شبکه‌ای از کنش‌های متقابل میان عوامل کالبدی، رفتاری، نهادی و مدیریتی است. شناسایی پانزده دسته ریسک بحرانی در حوزه‌های متنوعی چون ایمنی معابر، ترافیک، سازه، حریق، الکتریک، تجهیزات، رفتار کاربران، محیط، فراگیری، نگهداشت، مدیریت اضطراری، فوریت‌های پزشکی، شفافیت و پاسخگویی، پایش هوشمند و یادگیری مستمر، مؤید آن است که نگاه سنتی فروکاسته‌ای که ایمنی را صرفاً در استانداردهای فنی و الزامات ترافیکی خلاصه می‌کرد، دیگر پاسخگوی پیچیدگی مسئله در شهرهای امروز نیست. ایمنی در مسیرهای تحرک نرم، شبکه‌ای درهم‌تنیده از الزامات فنی، اجتماعی، نهادی، رفتاری و محیطی است که فهم و مداخله در آن نیازمند نگرش سیستمی و کل‌نگر است.

- چارچوب ترکیبی ارزیابی ریسک؛ تلفیق تحلیل کمی ریسک با اجماع‌سازی کیفی کنشگران: چارچوب نوآورانه پژوهش برای ارزیابی ریسک ایمنی مسیرهای تحرک نرم، فرایند شناسایی حالت‌های شکست بالقوه و متمایزدهی به شاخص‌های ریسک را نه تنها در یک فرایند صرفاً کارشناسی، بلکه در بستر گفت‌وگوی جمعی کنشگران و با بهره‌گیری از تعاریف ریشه‌ای و مدل‌های مفهومی به انجام رسانیده است. این تلفیق، دو دستاورد مهم به همراه داشت: نخست، ریسک‌های شناسایی شده صرفاً بازتابی از دیدگاه کارشناسان فنی نبود، بلکه برآمده از جهان‌بینی‌ها، تجرب و دغدغه‌های طیف متنوعی از کنشگران شامل برنامه‌ریزان، بهره‌برداران، کارشناسان ایمنی و نمایندگان جامعه دوچرخه‌سواران بود. دوم، اقدامات کاهش ریسک طیف گسترده‌ای از مداخلات را در بر داشت و نشان داد که ارزیابی ریسک در سیستم‌های پیچیده اجتماعی-فنی، نیازمند گذار از مدل‌های خطی و تک‌رشته‌ای به مدل‌های یادگیرنده و مشارکتی است.

- یادگیری در عمل به مثابه کانون بهبود مستمر سیستم مدیریت ریسک ایمنی: برجسته‌ترین یافته این پژوهش، ریسک بحرانی «یادگیری و بهبود مستمر» و آشکار ساختن فقدان چرخه یادگیری در سیستم طرح‌ریزی و بهره‌برداری مسیرهای تحرک نرم است. مشکل اصلی فقدان استانداردهای فنی نیست، بلکه نبود سازوکاری نهادی برای تبدیل تجربه زیسته کنشگران و کاربران به دانش سازمانی و عملیاتی است. نوآوری پژوهش در فعال‌سازی چرخه پویای «تجربه، بازاندیشی جمعی، تدوین دانش و کاربست مجدد» در بستر یادگیری در عمل است؛ چرخه‌ای که سیستم ایمنی را از وضعیتی ایستا به مسیری تکاملی وارد می‌کند. مدل‌های مفهومی برآمده از این فرایند، به اجماع نسبی در خصوص راهکارهایی انجامید که نه تنها مبتنی بر شواهد و تحلیل ریسک، بلکه برآمده از جهان‌بینی و بافت فرهنگی-نهادی کنشگران بودند. این یافته مؤکد آن است که یادگیری جمعی در بستر عمل، هسته مرکزی و موتور محرکه بهبود مستمر سیستم ایمنی است و سیستم مدیریت ریسک زمانی اثربخش خواهد بود که خود را در معرض جریان دائمی داده‌ها، بازخوردها و بازاندیشی‌های جمعی قرار داده و گام‌به‌گام تکامل یابد.

پیشنهادهای سیاستی و بینش‌های مدیریتی

پژوهش حاضر بینش‌های سیاستی مشخصی برای سیاست‌گذاری و مدیریت تحرک نرم در شهر تهران و سایر شهرهای کشور دارد:

- تدوین «مقررات دوچرخه‌سواری شهری» با تعریف شفاف حقوق، مسئولیت‌ها و الزامات ایمنی برای کاربران، بهره‌برداران و مدیران شهری، یک ضرورت غیرقابل اجتناب است. فقدان این چارچوب قانونی در شهر تهران، هرگونه تلاش برای ارتقای ایمنی را با ابهام در تخصیص مسئولیت‌ها و پیگیری مطالبات مواجه می‌کند.

- طراحی و استقرار «برنامه جامع آموزش ایمنی» برای طیف متنوع مخاطبان شامل کاربران عادی، دوچرخه‌سواران تازه‌کار، دانش‌آموزان، سالمندان و همچنین بهره‌برداران و نگهبانان مسیر. این برنامه باید ترکیبی از آموزش‌های حضوری، محتوای دیجیتال تعاملی، کارگاه‌های عملی در ایستگاه‌های دوچرخه، و کمپین‌های ارتباطی مستمر با بهره‌گیری از ظرفیت شبکه‌های اجتماعی و رسانه‌های شهری باشد.
- ایجاد «سامانه یکپارچه پایش ایمنی مسیرهای تحرک نرم» مبتنی بر داده‌های میدانی (حسگرها، دوربین‌ها، بازرسی‌ها و بازخورد کاربران) برای تصمیم‌گیری مبتنی بر شواهد ضروری است. این سامانه باید امکان تحلیل ریشه‌ای علل حوادث و شبه‌حوادث، شناسایی نقاط پرخطر و ارزیابی اثربخشی مداخلات را فراهم آورد.
- «پیش‌بینی واقع‌بینانه هزینه‌های نگهداشت در قراردادهای بهره‌برداری» و اختصاص «سهم مشخصی از درآمدهای سالانه مسیر به نگهداشت ایمنی» به‌عنوان راهکاری برای پایداری مالی مداخلات ایمنی در بلندمدت ضرورت دارد.
- طراحی «بسته‌های بیمه‌ای ترکیبی کم‌هزینه» برای کاربران مسیر توسط شهرداری، می‌تواند ضمن پوشش ریسک‌های مالی ناشی از حوادث، به افزایش احساس امنیت روانی و جذب جمعیت به دوچرخه‌سواری کمک کند.
- با توجه به قرارگیری کلان‌شهر تهران در معرض مخاطرات طبیعی نظیر زلزله و سیلاب و همچنین مخاطرات انسان‌ساخت، نیاز به ارزیابی ریسک ایمنی مسیرهای پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری در شرایط وقوع بحران و همچنین کارکرد این مسیرها به‌عنوان فضاهای امن و شبکه تخلیه اضطراری مورد توجه است.
- شهر تهران به‌عنوان کلان‌شهر با مشکلات مزمن ترافیک و آلودگی هوا، نیازمند پذیرش و بومی‌سازی پارادایم نوین تحرک شهری است که در آن حمل‌ونقل پاک، فعال و انسان‌محور، جایگزین رویکردهای خودرومحور سنتی می‌شود. این گذار مستلزم بازتعریف جایگاه دوچرخه و پیاده‌روی در سلسله‌مراتب برنامه‌ریزی حمل‌ونقل شهری، تخصیص عادلانه منابع و فضاهای شهری به این مدها، و طراحی سناریوهای واقع‌بینانه برای افزایش سفرهای فعال است. تجارب جهانی نشان می‌دهد تحقق این هدف بدون عزم سیاسی پایدار، تخصیص منابع مستمر و مشارکت شهروندان امکان‌پذیر نیست.
- تحرک نرم اگرچه در ظاهر همگانی و فراگیر به نظر می‌رسد، اما در عمل گروه‌های کم‌درآمد و دهک‌های پایین جامعه با موانع متعددی برای دسترسی ایمن به مسیرهای پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری مواجه‌اند. این موانع شامل کیفیت نامناسب پیاده‌روها در مناطق حاشیه‌ای، نبود اتصال مسیرهای دوچرخه به مراکز اشتغال و خدمات، هزینه‌های تهیه دوچرخه و تجهیزات ایمنی، و احساس ناامنی در محلات کم‌برخوردار است. سیاست‌گذاری عادلانه ایجاب می‌کند که توزیع خدمات و زیرساخت‌های تحرک نرم بر اساس اصل «اولویت با مناطق محروم» بازتعریف شود، یارانه‌های هدفمند برای دسترسی گروه‌های کم‌درآمد به دوچرخه و تجهیزات ایمنی پیش‌بینی گردد، و ایستگاه‌های اشتراک دوچرخه در این مناطق با شرایط مالی تسهیل‌شده راه‌اندازی شود.
- توسعه همزمان «فرهنگ‌سازی، نهادسازی و اصلاحات حقوقی-قانون» در راستای تحقق تحرک نرم ایمن مورد تاکید است. نخست، فرهنگ‌سازی و ارتقای سواد تحرکی شهروندان از طریق آموزش رسمی (مدارس و دانشگاه‌ها)، آموزش غیررسمی (رسانه‌ها و کمپین‌های اجتماعی) و الگوسازی رفتاری (سفر مسئولان با دوچرخه و ترویج الگوهای موفق). دوم، نهادسازی از طریق ایجاد ساختارهای متولی تحرک نرم در شهرداری‌ها با اختیارات و منابع کافی، تشکیل شوراهای مشورتی با مشارکت جامعه دوچرخه‌سواران، و طراحی فرایندهای بین‌بخشی برای هماهنگی میان نهادهای مسئول (راهنمایی و رانندگی، سازمان حمل‌ونقل و ترافیک، سازمان بوستان‌ها، آتش‌نشانی و اورژانس). سوم، اصلاحات حقوقی-قانونی شامل تدوین «قانون جامع دوچرخه‌سواری شهری»، بازنگری در قوانین راهنمایی و رانندگی برای تفکیک حقوقی کاربران آسیب‌پذیر، الزام به تأمین زیرساخت‌های ایمنی در طرح‌های توسعه شهری، و تضمین پاسخگویی نهادهای مسئول در قبال نقص ایمنی مسیرها. تعامل هم‌افزای این سه ضلع، زمینه‌ساز تحولی پایدار در نظام تحرک شهری خواهد بود.

این مطالعه با محدودیت‌هایی مواجه بوده است به طوری که مطالعه در بستر طرح‌ریزی یک مسیر مشخص (سرزندگی منطقه دو تهران) انجام شده و تعمیم‌پذیری یافته‌ها به سایر مناطق و شهرها نیازمند پژوهش‌های مقایسه‌ای است. ارزیابی اثربخشی راهکارهای پیشنهادی به دلیل محدودیت زمانی این پژوهش امکان‌پذیر نبود. پژوهش‌های آتی می‌توانند با طراحی مطالعه پیامدی به سنجش تأثیر مداخلات اجراشده بر شاخص‌های ایمنی عینی (کاهش تصادفات) و ادراکی (احساس امنیت کاربران) بپردازند. همچنین این پژوهش عمدتاً بر فرایند برنامه‌ریزی و طراحی مسیر متمرکز بود و پژوهش‌های آتی می‌توانند در مراحل بهره‌برداری، نگهداشت و ارزیابی پس از اجرا بپردازند. پژوهش‌های آتی می‌توانند با طراحی مطالعات پیش‌آزمون-پس‌آزمون یا سری‌های زمانی منقطع، تأثیر مداخلات ایمنی را بر شاخص‌های کمی نظیر کاهش تعداد و شدت تصادفات، کاهش سرعت میانگین دوچرخه‌سواران در نقاط پرتداخل، افزایش میزان استفاده از تجهیزات ایمنی و تغییر الگوی تردد کاربران آسیب‌پذیر بسنجند. همچنین ارزیابی شاخص‌های کیفی نظیر احساس امنیت روانی، رضایت مندی کاربران و تغییر نگرش نسبت به سفرهای فعال شهری پیشنهاد می‌شود. پژوهش‌های آتی می‌توانند به توسعه مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره و روش‌های تحلیل شبکه‌ای فازی یا فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی برای وزندهی و اولویت‌بندی ریسک‌های ایمنی با در نظر گرفتن عدم قطعیت در قضاوت خبرگان بپردازند. مطالعات تطبیقی در سایر مناطق تهران، کلان‌شهرهای ایران و شهرهای با بافت فرهنگی-مدیریتی متفاوت پیشنهاد می‌گردد. این مطالعات می‌توانند به شناسایی الگوهای مشترک و متمایز ریسک‌های ایمنی و همچنین اصلاح و بومی‌سازی چارچوب بر اساس ویژگی‌های زمینه‌ای بپردازند. همچنین انجام مطالعات بین‌المللی با همکاری شهرهای پیشرو در تحرک نرم (نظیر کپنهاگ، آمستردام، فرایبورگ) برای اعتبارسنجی برون‌نگر یافته‌ها پیشنهاد می‌شود. علاوه بر آن مطالعات ایمنی فراگیر با تمرکز بر گروه‌های خاص شامل سالمندان، کودکان، افراد دارای معلولیت جسمی-حرکتی، نابینایان و کم‌بینایان، ناشنوایان، زنان باردار و همراهان کودکان (کالسکه) برای شناسایی نیازها، موانع و ریسک‌های اختصاصی این گروه‌ها پیشنهاد می‌شود. همچنین با توجه به یافته پژوهش در خصوص ریسک‌های «ایمنی رفتاری» شامل عدم تسلط دوچرخه‌سواران تازه‌کار و عدم استفاده از تجهیزات ایمنی، ضرورت انجام مطالعات میان‌رشته‌ای در مرز دانش برنامه‌ریزی حمل‌ونقل و اقتصاد رفتاری برجسته است.

مشارکت نویسندگان

نویسندگان در کلیه مراحل پژوهش و تدوین مقاله مشارکت داشته‌اند.

تشکر و قدردانی

همکاری شهرداری منطقه دو تهران را ارج نهاده و از کلیه مشارکت‌کنندگان پژوهش سپاسگزاریم.

تعارض منافع

نویسندگان اعلام می‌دارند در انجام این پژوهش هیچ‌گونه تعارض منافع برای ایشان وجود ندارد.

References

- Alberti, F. (2023). Regenerative streets: Pathways towards the post-automobile city. *Sustainability*, 15(13), 10266.
- Ashraf, M. T., Dey, K., & Pyrialakou, D. (2022). Investigation of pedestrian and bicyclist safety in public transportation systems. *Journal of Transport & Health*, 27, 101529.
- Biggar, M. (2020). Non-motorized transport: walking and cycling. In *Sustainable cities and communities* (pp. 428-437). Cham: Springer International Publishing.
- Bokolo, A. J. (2025). Examining Sustainable Mobility Planning and Design for Smart Urban Development in Metropolitan Areas. *Urban Science*, 9(8), 314.
- Bruno, M. (2020). The challenge of the bicycle street: Applying collaborative governance processes while protecting user centered innovations. *Transportation research interdisciplinary perspectives*, 7, 100209.
- Chen, C., Christoforou, Z., & Farhi, N. (2025). Review on Soft Mobility Infrastructure Design Codes. *Applied Sciences*, 15(12), 6406.
- Corticelli, R., Pazzini, M., Mazzoli, C., Lantieri, C., Ferrante, A., & Vignali, V. (2022). Urban regeneration and soft mobility: The case study of the Rimini canal port in Italy. *Sustainability*, 14(21), 14529.
- Dai, B., Wang, X., Guo, Q., Yang, L., & Bai, Y. (2025). Safety evaluation of protected bike Lane treatments at Intersections: A causal framework. *Accident Analysis & Prevention*, 220, 108132.
- De Lotto, R., Greco, A., Moretti, M., Pietra, C., & Venco, E. M. (2022). Collaborative soft mobility planning for university cities: The case of Pavia. *Transportation Research Procedia*, 60, 472-479.
- De Lima Medeiros, M., Terra, L. A. A., & Passador, J. L. (2020). Geographical indications and territorial development: A soft-system methodology analysis of the Serro Case. *Systems Research and Behavioral Science*, 37(1), 82-96.
- Dozza, M., Violin, A., & Rasch, A. (2022). A data-driven framework for the safe integration of micro-mobility into the transport system: Comparing bicycles and e-scooters in field trials. *Journal of safety research*, 81, 67-77.
- Faus, M., Alonso, F., Esteban, C., & Velarte, J. L. (2025). More sustainable but more dangerous cities: The role of communication campaigns in protecting vulnerable road users. *Sustainability*, 17(5), 2002.
- Ferrari, G., Tan, Y., Diana, P., & Palazzo, M. (2024). The platformisation of cycling—The development of bicycle-sharing systems in China: Innovation, Urban and Social regeneration and sustainability. *Sustainability*, 16(12), 5011.
- Gattuso, D., Cassone, G. C., & Malara, M. (2018). Integrated urban regeneration policy and soft mobility planning for transport energysaving. *Instrumentation Measure Métrologie*, 18(4), 527-547.
- Gonçalves, M. S. C. (2023). A safety perspective for soft mobility in the ITS ecosystem.
- Gore, R., Lynch, C. J., Jordan, C. A., Collins, A., Robinson, R. M., Fuller, G., ... & Kandukuri, Y. (2022). Estimating the health effects of adding bicycle and pedestrian paths at the census tract level: multiple model comparison. *JMIR public health and surveillance*, 8(8), e37379.
- Huber, S., Lindemann, P., & Schröter, B. (2024). Safety and bicycle route choice: To what extent do accident risk and perceived safety influence bicycle route choice?. *Transportation Engineering*, 18, 100240.

- Jackson, M. C., (2019). Critical systems thinking and the management of complexity. John Wiley & Sons.
- Tehran City Islamic Council (1401), Fourth Plan for the Development and Progress of Tehran City Based on the Realization of Urban Justice 1401-1404, approved on 16/12/1401. <https://laws.tehran.ir/Law/TreeText/7357>
- Kim, K.O. and Zuo, M.J. 2018. General model for the risk priority number in failure mode and effects analysis, Reliab. Eng. Syst. Saf., vol. 169, pp. 321–329.
- Martins, J. M. N. (2023). *Soft Mobility Modes in Lisbon: A Descriptive Analysis of the City's Paradigm* (Master's thesis, Universidade NOVA de Lisboa (Portugal)).
- Nasiri A, Samadi Foroushani M, Mirasmaeeli S S, Ramek N. Development of COVID-19 Crisis Management System of Tehran Municipality: Combined Approach of Soft Systems Methodology (SSM) and Social Network Analysis (SNA). Disaster Prev. Manag. Know. 2022; 12 (3) :347-364
- Nguyen, T. T., Scognamillo, D. G., & Comer, C. E. (2019). Revealing community perceptions for ecological
- Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), 2020, Smart Cities and Inclusive Growth. https://www.oecd.org/content/dam/oecd/en/publications/reports/2020/08/smart-cities-and-inclusive-growth_332850c0/8a4ce475-en.pdf
- Paganelli, F. (2019). Urban Mobility and Transportation. In: Leal Filho, W., Azeiteiro, U., Azul, A., Brandli, L., Özuyar, P., Wall, T. (eds) Sustainable Cities and Communities. Encyclopedia of the UN Sustainable Development Goals. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-71061-7_67-1
- Paudel, M., Yap, F. F., Rosli, T. B. M., Tan, K. H., Xu, H., Vahdati, N., ... & Shiryayev, O. (2022). A computational study on the basis for a safe speed limit for bicycles on shared paths considering the severity of pedestrian head injuries in bicyclist-pedestrian collisions. Accident Analysis & Prevention, 176, 106792.
- Selected transportation and traffic statistics of Tehran (2024), transportation and traffic organization of Tehran. <https://trafficorg.tehran.ir/Portals/0/documents/amar/%D8%B3%D8%A7%D9%84%D9%86%D8%A7%D9%85%D9%87%201402.pdf>
- Sharma, U., Desikachari, B. R., & Sarma, S. (2019). Protocol for development of a risk assessment tool for planning and management of religious mass-gathering events of India—a health system-strengthening initiative. *Pilot and feasibility studies*, 5, 1-9.
- Shoman, M. M., Imine, H., Acerra, E. M., & Lantieri, C. (2023). Evaluation of cycling safety and comfort in bad weather and surface conditions using an instrumented bicycle. IEEE access, 11, 15096-15108.
- Statistics of traffic accidents in the first eight months of 2025 were reported by the Tehran traffic police station, quoted by the Shahr news database and Asrshahrvand news report. <https://asrshahrvand.com/?p=303179>
- Sun, L., Fang, M., Xu, T., Liu, M., Fang, S., & Feng, W. (2024). Application of Healthcare Failure Mode and Effect Analysis in the Management of Patients with Intrathecal Morphine Pump Implantation. Pain Management Nursing.
- UN-Habitat. 2020. 2012-2025 United Nations Human Settlements Programme, Global Urban Safety Indicators and Monitoring Tool <https://unhabitat.org/global-urban-safety-indicators-and-monitoring-tool>

UN-Habitat; World Health Organization. (2020). Integrating health in urban and territorial planning: A sourcebook
https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/05/1-final_highres_20002_integrating_health_in_urban_and_territorial_planning_a_sourcebook.pdf

Yamamoto, R., Maeshima, K., Asakawa, S., Haiden, A., Nishida, Y., Yamazaki, N., ... & Sasaki, J. (2023). Development of on-site medical system for mass-gathering events during TOKYO 2020: vulnerability analysis using healthcare failure mode and effect analysis. Disaster medicine and public health preparedness, 17, e66.

نسخه پذیرفته شده پیش از انتشار

Appendix

الف- مشخصات مشارکت کنندگان پژوهش توسعه سیستم ایمنی مسیر سرزندگی

ردیف	سطح تحصیلات	دانش تخصصی	سابقه (سال)	حوزه سازمانی
۱	دکتری تخصصی (PhD)	برنامه ریزی شهری	۲۰<	معاونت مالی و اقتصاد شهری شهرداری
۲	دکتری تخصصی (PhD)	مهندسی حمل و نقل	۱۵>	معاونت حمل و نقل و ترافیک شهرداری
۳	کارشناسی ارشد (MSc)	مهندسی عمران	۲۰<	معاونت فنی و عمرانی
۴	دکتری تخصصی (PhD)	مهندسی معماری	۱۰>	معاونت شهرسازی و معماری
۵	دکتری تخصصی (PhD)	مدیریت دولتی	۲۰<	معاونت برنامه ریزی و سرمایه انسانی
۶	دکتری تخصصی (PhD)	شهرسازی	۲۰<	سازمان زیباسازی شهرداری تهران
۷	کارشناسی ارشد (MSc)	مهندسی محیط زیست	۱۰>	سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران
۸	دکترای حرفه ای (MD)	پزشکی	۲۰<	خدمات درمانی و فوریت های پزشکی اورژانس تهران
۹	کارشناسی ارشد (MSc)	مهندسی محیط زیست	۲۰<	سازمان بوستان ها و فضای سبز شهرداری
۱۰	کارشناسی ارشد (MSc)	مدیریت فناوری اطلاعات	۱۵>	معاونت خدمات شهری و محیط زیست شهرداری
۱۱	دکتری تخصصی (PhD)	مهندسی عمران	۱۰>	سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری
۱۲	دکتری تخصصی (PhD)	مدیریت تحقیق در عملیات	۱۰>	سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران

ب- نحوه محاسبه میزان احتمال وقوع ریسک ایمنی مسیر سرزندگی

The probability of a risk occurrence	Rate	Rank
Very high-the risk is almost unavoidable	1 in 2 or more	10
	1 in 3	9
High-repetitive risk	1 in 8	8
	1 in 20	7
Medium-case risks	1 in 80	6
	1 in 400	5
	1 in 2000	4
Low-relatively rare risks	1 in 15000	3
	1 in 150000	2
Unlikely-the risk is unlikely	Less than 1 in 15000000	1

پ- نحوه محاسبه شدت ریسک ایمنی مسیر سرزندگی

The severity of risk	Rate	Rank
Deterioration is unfortunate, like the risk of death, complete destruction	Dangerous-no warning	10
The deterioration is unfortunate but comes with a warning	Dangerous-with warning	9
Impairment is irreversible	Very high	8
There is a lot of damage	High	7
Aggravation is medium	Average	6
Aggravation is very low	Low	5
The deterioration is very small	Very low	4
It leaves a slight effect	Slight effects	3
It has a very slight effect	Very slight	2
No effect	No effect	1

پ-نحوه محاسبه میزان احتمال کشف ریسک ایمنی مسیر سرزندگی

The detection probability of risk	Rate	Rank
There is no control or, if there is, it is unable to detect the potential hazard	Absolutely not	10
There is a very small chance that the risk will be detected and detected with existing controls	Very insignificant	9
There is an insignificant chance that the risk will be detected and detected with existing controls	Insignificant	8
There is very small chance that the risk will be detected and exposed with existing controls	Very low	7
It is unlikely that the hazard will be detected and detected with existing controls	Low	6
In half of the cases, it is likely that the potential hazard will be detected and detected with existing controls	Average	5
There is a relatively high probability that the potential hazard will be detected and detected by existing controls	Relatively high	4
There is a high probability that the potential risk will be detected and revealed by existing controls	High	3
There is a very high probability	Very high	2
There potential hazard will almost certainly be detected and detected with the existing controls	Almost certain	1