



Investigating individual and mixed of urban land use on bicycle transportation using spatial computing

Yousef Esmaeili¹ , Hamid Motieyan^{*2}

1- M.Sc. Student of GIS, Department of geomatics, Faculty of civil engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran.

Email: yousefes@stu.nit.ac.ir

2- (*Corresponding author) Assistant professor, Department of geomatics, Faculty of civil engineering, Babol Noshirvani University of Technology, Babol, Iran. Email: H.motieyan@nit.ac.ir

Article Info

Date of receive:

2024/06/14

Date of last review:

2024/12/11

Date of accept:

2024/12/12

Date of online publication:

2024/12/13

Keywords:

Cycling,
Detour,
Mixed land use,
Trajectory,
Stop point

Extended Abstract

Introduction

Cities are experiencing a surge in non-motorized transportation like bicycles and scooters. This trend offers environmental advantages that are crucial for sustainable urban development. Bicycles, in particular, are attracting new riders due to their sustainability, affordability, and positive health impacts. However, encouraging cycling heavily relies on suitable cycling infrastructure. Understanding why people choose specific routes and how the built environment influences these choices is key to advancing urban planning. Advancements in technologies like volunteered geographic information systems (GIS) and GPS have made it possible to continuously track individuals' locations and share them openly. These sequential location data points, over time, form trajectories, which can be analyzed to reveal patterns and assess the role of the urban environment in shaping cycling behavior.

Extensive research has explored the role of the urban environment in influencing pedestrian and cycling route choices, informing strategies for promoting active travel in cities. However, these studies often overlook the impact of user demographics and trip purposes. This article presents a novel approach by investigating the individual and combined effects of intended uses on cyclists' route selection. Our aim is to identify which trip purposes contribute to longer cycling distances.

Materials and Methods

Sari, a densely populated city in Mazandaran province, was chosen as the study area. Mazandaran's central location and attractive natural features, including good weather, religious sites, historical landmarks, and natural sights, contribute to Sari's strong data availability. ... ► Page 08

How to Cite:

Esmaeili, Y. Motieyan, H. (2025). Investigating individual and mixed of urban land use on bicycle transportation using spatial computing. Scientific - Research Quarterly Geographical Data (SEPEHR). 34(133), 07-24.

We leveraged WikiLock, an open-source platform where users can record their movement paths with their mobile phones. This platform offers valuable data with 15-second time resolution, capturing each individual's date, time, and location. Additionally, OpenStreetMaps (OSM) data provided information about existing users within Sari.

Our analysis delves deeper into users' movement paths by identifying their stopping points along the route. We achieve this by examining consecutive recorded positions with a specific time interval. If two consecutive positions remain the same, indicating a lack of movement for at least 90 seconds, we classify this as a "stop point." These stops likely signify the user pausing their journey to visit a point of interest, potentially revealing their preferred locations within the city. Furthermore, we don't simply identify stopping points; we also analyze the users associated with these stops. This allows us to understand if specific user profiles are more likely to deviate from a direct route. To quantify the extent of route deviations, we employ the Dijkstra algorithm. This algorithm calculates the shortest possible path between a user's starting and ending points. By comparing this shortest path with the user's actual route, we can calculate the percentage deviation. This deviation percentage helps us understand the reasons behind the user's extended journey. By analyzing patterns in deviations and their association with stopping points, we can gain valuable insights into the factors that influence cyclists' route choices within the urban environment.

Results and Discussion

To analyze the types of locations influencing cyclists' route choices, we defined a 300-meter radius around each identified stop point. This allowed us to examine existing land uses within this area and assess their potential role in causing cyclists to pause their journeys. Our findings revealed that the service and welfare category had the most significant individual impact on user stops. This category encompasses like restaurants, cafes, cinemas, and other amenities. Among these, cafes were identified as the most frequent reason for cyclists to deviate from their routes. These results suggest that cyclists may be

more likely to make unplanned stops for refreshment breaks compared to other service and welfare options. Further analysis explored the impact of combined land uses. Here, the service and welfare category maintained its dominance. Cyclists with combined trip purposes that included service and welfare needs exhibited the highest percentage deviation from the shortest path. This suggests that when cyclists have a combination of errands or destinations within the service and welfare category, they are more likely to deviate from the most direct route. Interestingly, our analysis also revealed a significant influence of the Tejen River. This natural feature affected 47% of the data points, suggesting that cyclists frequently adjust their routes in response to the Tejen River's presence. This deviation could be due to factors like using bridges or designated cycling paths along the river or avoiding specific areas due to safety concerns or terrain.

Conclusion

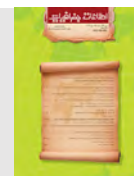
This study delves into the connection between cycling routes and land uses within Sari city. The goal is to equip urban planners with valuable insights for designing more efficient and cyclist-friendly infrastructure. The research reveals that cyclists often opt for longer routes to access areas with commercial, service, and amenity destinations. Interestingly, educational areas saw the least cycling activity. Based on these findings, urban planners should prioritize creating dedicated cycling paths near service and amenity locations. Additionally, incorporating green spaces and recreational facilities along these paths could further incentivize cycling within the city.



صفحات ۲۴ - ۷

فصلنامه علمی - پژوهشی

اطلاعات جغرافیایی (سپهر) دوره ۳۴، شماره ۱۳۳، بهار ۱۴۰۴



مقاله پژوهشی

<https://doi.org/10.22131/SEPEHR.2024.2032133.3081>

بررسی اثرات کاربری‌های شهری به صورت منفرد و ترکیبی بر حمل و نقل دوچرخه مبنا به کمک محاسبات مکانی

یوسف اسماعیلی^۱، حمید مطیعان^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران yousefes@stu.nit.ac.ir
۲- (*نویسنده مسئول) استادیار گروه مهندسی نقشه‌برداری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل، بابل، ایران H.motieyan@nit.ac.ir

چکیده

دوچرخه‌سواری به عنوان یکی از ارکان اصلی حمل و نقل فعال، بر روی کاهش استفاده از وسایل حمل و نقل موتوری، آلودگی محیطی و صوتی و توسعه شهری تأثیر به سزایی دارد. ترغیب افراد به دوچرخه‌سواری در عصر حاضر بیش از همه وابسته به برنامه‌ریزی شهری و توسعه مسیرهای شهری است. یکی از ارکان این توسعه، استفاده از داده‌هایی است که افراد به صورت رایگان از مسیر حرکتی خود بر بسترهای متن باز به اشتراک می‌گذارند و در تحلیل‌های مکانی مورد استفاده قرار می‌گیرند. یکی از تحلیل‌های مهم در دوچرخه‌سواری، بررسی مسیر حرکتی افراد و تأثیر کاربری‌ها بر روی آن است، که به کمک آن می‌توان جذابیت مسیرهای مختلف برای عبور افراد را بررسی کرد. این بررسی می‌تواند با استفاده از تحلیل موقعیت نقاط شروع و پایان مسیر افراد به همراه میزان توقف و کاربری‌های موجود در همسایگی این نقاط توقف، انجام گیرد. بنابراین در تحقیق حاضر اطلاعات مسیر حرکت افراد و داده‌های کاربری‌های موردنظر در شهر ساری جمع‌آوری شده تا مورد مطالعه قرار گیرند. در این راستا، نقاط توقف اطلاعات حاصل از بسترهای متن باز پس از آماده‌سازی و صحت‌سنجی، استخراج شده‌اند. کوتاه‌ترین مسیر موجود بین نقاط شروع و پایان استخراج و میزان انحراف افراد از کوتاه‌ترین مسیر موجود محاسبه شد. نتایج به دست آمده در تأثیر کاربری‌ها به صورت تکی و ترکیب کاربری‌ها حاکی از آن است که کاربری خدماتی و رفاهی با ۲۲/۷٪ و ترکیب کاربری خدماتی و رفاهی و تجاری با ۹/۷۳٪ بیشترین تأثیر را بر روی انحراف افراد از مسیر اصلی داشته‌اند. همچنین رودخانه تجن با ۴۷٪، بیشترین تأثیر را در انحراف افراد از مسیر داشته است. نتایج حاصل از پژوهش حاضر بینش‌های ارزشمندی در رابطه با چگونگی انتخاب مسیر توسط دوچرخه‌سواران و تأثیر انواع کاربری‌ها بر روی آن را نشان می‌دهد. طراحان و مسئولین شهری با استفاده از این نتایج می‌توانند در جهت پویایی شهر قدم بردارند.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت:

۱۴۰۳/۰۳/۲۵

تاریخ آخرین بازنگری:

۱۴۰۳/۰۹/۲۱

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۰۹/۲۲

تاریخ انتشار:

۱۴۰۳/۰۹/۲۳

واژه‌های کلیدی:

دوچرخه‌سواری؛
انحراف از مسیر؛
ترکیب کاربری‌ها؛
خطوط سیر؛
نقاط توقف

استناد به این مقاله:

اسماعیلی، ی؛ مطیعان، ح (۱۴۰۴) بررسی اثرات کاربری‌های شهری به صورت منفرد و ترکیبی بر حمل و نقل دوچرخه مبنا به کمک محاسبات مکانی؛ فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، ۳۴، (۱۳۳)، ۲۴-۷

۱- مقدمه

در دنیای امروز، شهرها شاهد رشد بی‌سابقه‌ای در سطوح وسایل حمل و نقلی کوچک^۱ (مانند دوچرخه‌برقی، اسکوتر) هستند که استفاده از آن‌ها مزایای زیست محیطی، اجتماعی و همچنین فرصت‌هایی را برای توسعه سیستم‌های حمل و نقل فعال ایجاد می‌کند (Felipe-Falgas et al., 2022; Pucher & Buehler, 2017). حمل و نقل فعال (پیاده روی یا دوچرخه‌سواری) به‌عنوان یک حالت حمل و نقل غیرموتوری تلقی می‌شود و عامل مهمی در توسعه مدل‌های رشد هوشمند^۲ شهری مانند مدل توسعه بر مبنای حمل و نقل عمومی^۳ است. در واقع اساس رشد هوشمند شهری بر مبنای رشد داخل شهر و در مقابل رشد خارجی و نامنظم شهری است و برای دستیابی به این هدف در راستای توسعه پایدار، اصولی همچون توسعه متمرکز شهر و افزایش پویایی محله‌ها، توسعه قابلیت پیاده‌روی، دسترسی مناسب به حمل و نقل عمومی، و افزایش سطح اختلاط کاربری‌های شهری را دنبال می‌کند (Bagheri & Shaykh-Baygloo, 2021; Jung et al., 2024; Kwan & Neutens, 2014; Motieyan et al., 2022; Sallis et al., 2004; Ye et al., 2005).

دوچرخه به‌دلیل پایداری، سرعت و مقرون به‌صرفه بودن، امروزه مورد توجه مردم قرار گرفته است (Bhandal et al., 2022; Noonan, 2022; Bretones & Marquet, 2022). از این وسیله به‌جای روش‌های حمل و نقل موتوری (مانند خودرو)، باعث کاهش آلودگی‌های زیست محیطی و افزایش سلامتی افراد در راستای توسعه شهر هوشمند خواهد شد. در این راستا، یکی از پارامترهای مهم در برنامه‌ریزی و ترغیب افراد به دوچرخه‌سواری، مسیر حرکت آن است. بنابراین بررسی مسیر انتخابی افراد و چگونگی تأثیر محیط‌های ساخته شده در طول مسیر، در مطالعات اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده است (Chung et al., 2024; Codina i Lara, 2021; Cole-Hunter et al., 2015; Pekdemir

et al., 2024). به‌عنوان مثال مشاهده شده که دوچرخه‌سواران مسافت‌های طولانی‌تری را طی می‌کنند تا از ترافیک و پیامد آن مانند صدمات جسمی، آلودگی صوتی و محیطی جلوگیری کنند (Desjardins et al., 2021; Hu et al., 2023; Scott et al., 2021). لذا با بررسی مناطق مختلف شهری و داده‌های حرکتی دوچرخه‌سواری می‌توان به درک خوبی از تأثیر مناطق مختلف در جذب دوچرخه‌سوارها و تشویق افراد به دوچرخه‌سواری رسید.

پیشرفت روزافزون فناوری‌هایی مانند سیستم اطلاعات مکانی داوطلبانه^۴ (شاکری و همکاران، ۱۳۹۳: تیموریان و همکاران، ۱۳۹۳) و سیستم تعیین موقعیت جهانی^۵ باعث شده است که موقعیت لحظه‌ای افراد به‌صورت مداوم در دسترس باشد و بتوان این اطلاعات را در قالب خطوط سیر^۶، که دنباله موقعیت‌های متوالی مکانی در طول زمان است، در بستری رایگان به اشتراک گذاشت (Sharif et al., 2019). از این دانش می‌توان در مطالعات مختلفی مانند خدمات مکان محور (Millonig & Gartner, 2011)، مدیریت بحران (Zheng et al., 2009)، مدیریت ترافیک (Castro et al., 2012) و برنامه‌ریزی شهری (van der Spek, 2010) استفاده کرد. محققان در علوم مختلف از داده‌های مسیر برای پیش‌بینی مسیر استفاده می‌کنند. برای مثال، مهندسان ترافیک و شهرسازی از اطلاعات ترافیک و وسایل نقلیه برای تعیین مکان سیستم‌های نظارت بر ترافیک و پیش‌بینی ترافیک استفاده می‌کنند. همچنین می‌توان الگوهایی را از خطوط سیر استخراج نمود و نقش محیط شهری را در آن ارزیابی کرد (Felipe-Falgas et al., 2022; Jalili et al., 2018).

تحقیقات زیادی در راستای تحلیل خطوط سیر حمل و نقل فعال انجام شده که به بررسی نوع خطوط سیر، علت انتخاب مسیر و همچنین تأثیر کاربری زمین بر روی آن‌ها پرداخته شده است.

لوان و همکاران (۲۰۲۰)، در منطقه‌ای از چین نشان دادند

4- Volunteered Geospatial Information System

5- Global Positioning System

6- Trajectory

1- Micromobility

2- Smart Growth

3- Transit-Oriented Development (TOD)

سکونت، آموزش، طراحی جاده و امکانات حمل و نقل نقش غالبی در مشارکت در رفتارهای پرخطر عبور از خیابان را دارند. همچنین مشخص شد که بهینه‌سازی فیزیکی راه‌ها و خط‌کشی‌های متقاطع در نقاط سیاه برای دستیابی به عمل غیرقانونی و کاهش خطر ترافیک ضروری است (Bi et al., 2023). لی و همکاران (۲۰۲۳)، یک چارچوب یکپارچه دو لایه برای پیش‌بینی مسیر دوچرخه پیشنهاد کرده‌اند که از قوانین سینماتیک برای مسیرهای امکان‌پذیر و یادگیری عمیق در مسیرهای کامل استفاده می‌کند. یک مدل مبتنی بر ابزار برای مبادله دوچرخه‌سواران بین کارایی مسیر و ریسک در تعاملات چندگانه پیشنهاد شد. مدل پیشنهادی اعتبار بالاتری را برای پیش‌بینی تصمیمات دوچرخه‌سواری در طول تغییرات ناگهانی در رفتارها نشان داد. محدودیت اصلی پیش‌بینی مسیر دوچرخه، عدم قطعیت نقاط پایانی است. تابع مطلوبیت مبتنی بر مبادله بین بازده مسیر پیش‌بینی‌شده و ریسک، توصیفی ذهنی از انتخاب مسیر دوچرخه‌سواران ارائه داده است. مدل پیشنهادی پتانسیل یادگیری آنلاین برای به‌روزرسانی یا اصلاح پیش‌بینی‌ها را به دلیل چارچوبی که به راحتی قابل توسعه است، دارد (Bi et al., 2023).

پارک و همکاران (۲۰۱۹)، میزان انحراف سفرهای دوچرخه‌سواری سودمند و روابط آن‌ها با اجزای محیطی سطح مسیر را تحلیل کردند. این مطالعه دو شاخص انحرافی را محاسبه کرده و یک تحلیل مقایسه‌ای از ویژگی‌های محیط ساخته‌شده برای سطوح انحرافی کم، متوسط و زیاد ارائه داده است. بیشتر سفرهای دوچرخه شامل یک مسیر انحرافی هستند. از داده‌های GPS برای شناسایی انحرافات سفر از کوتاه‌ترین مسیرها و عوامل مرتبط با این انحرافات استفاده کرد. این مطالعه نشان داد که ۹۱/۱ درصد از ۴۳۹ سفر با دوچرخه نمونه‌برداری شده، شامل یک مسیر رفت و برگشت است و به‌طور متوسط ۱۳/۵ درصد طولانی‌تر از کوتاه‌ترین مسیر خود هستند. الگوهای کاربری زمین ارتباط تنگاتنگی با محیط دوچرخه‌سواری دارند و دوچرخه‌سواران مسیرهای انحرافی را طی می‌کنند تا از بلوک‌های مسکونی

که دوچرخه‌سواران با رفتار دوچرخه‌سواری اشتباه^۱ برای ایمنی ترافیک شهری خطراتی ایجاد می‌کنند. این مطالعه یک چارچوب تشخیص دوچرخه‌سواری در مسیر اشتباه (WWR) ایجاد کرد و اثرات عوامل محیط ساخته شده بر فرکانس WWR را بررسی نمود. همچنین آن‌ها از مدلی مبتنی بر دوجمله‌ای منفی^۲ برای توصیف فرکانس WWR استفاده کردند و در نتیجه ایستگاه‌های اتوبوس و ایستگاه‌های مترو از ویژگی‌های ترافیکی و همچنین کاربری زمین شرکت، مسکونی، تحصیلی و غذا به عنوان تأثیرگذارترین متغیرها شناسایی شدند. بخش‌های جاده‌ای که اطراف آن‌ها مجموعه گسترده‌ای از کسب‌وکارها، مراکز آموزشی، اقامتگاه‌ها، ایستگاه‌های حمل‌ونقل عمومی و خدمات پذیرایی قرار دارند، نیازمند توجه ویژه آژانس‌های حمل‌ونقل هستند تا از ایمنی و کارایی در این مناطق پرتردد اطمینان حاصل شود. همچنین محققین در انتها پیشنهاد کردند که برای جلوگیری از WWR، ایمنی دوچرخه‌سواری، باید استراتژی‌های حصار جغرافیایی^۳ اتخاذ شود تا دوچرخه‌سواران دوچرخه‌های مشترک خود را در مناطق تعیین‌شده پارک کنند (Luan et al., 2020).

بی و همکاران (۲۰۲۳)، یک چارچوب تشخیص مبتنی بر GPS را برای ثبت اقدامات خطرناک عبور از خیابان برای دوچرخه‌سواران از داده‌های مسیر اشتراک‌گذاری دوچرخه در مقیاس بزرگ ایجاد کردند. این مطالعه از یک مدل درخت تصمیم تقویت کننده گرادیان^۴ (GBDT) برای تفکیک اینکه چگونه ویژگی‌های محیط ساخته شده ممکن است بر فرکانس رویدادهای عبور پرخطر تأثیر بگذارد، استفاده کرده است. همچنین از یک تکنیک جدید یادگیری ماشینی به نام STM^۵ برای استخراج الگوهای پنهان اقدامات عبور غیرقانونی بکار برده است. نتایج این تحقیق نشان داد که گذرهای غیرقانونی بیشتر در قسمت مرکزی جاده دورتر از تقاطع‌ها رخ می‌دهد و بخش‌های اشتغال، پذیرایی،

1- Bicycle Wrong Way Riding

2- Negative Binomial

3- Geofencing

4- Gradient Boosting Decision Tree

5- Structured Topic Modeling

رایگان مسیر حرکت دوچرخه‌سواران که دوچرخه‌سواران خودشان در محیط‌های متن‌باز^۱ به اشتراک گذاشته‌اند، انجام می‌شود. آنچه مشخص است و به‌عنوان فرضیه تحقیق در نظر گرفته شده، این است که چگونگی ترکیب کاربری‌های محیط‌های ساخته شده بر روی مسیر حرکت افراد تأثیر دارد. بنابراین برای تأیید این فرضیه ابتدا، نقاط مختلف مسیر حرکت افراد از ابتدای مسیر تا انتهای آن‌ها در نظر گرفته شده و براساس این داده‌ها و محیط‌های ساخته شده در مسیر، جذابیت دوچرخه‌سواری ارزیابی می‌شود. همچنین برای نقاط توقف افراد در طول مسیر، همسایگی در نظر گرفته می‌شود تا بررسی شود که کدام کاربری‌ها در توقف دوچرخه‌سواران تأثیر داشته‌اند.

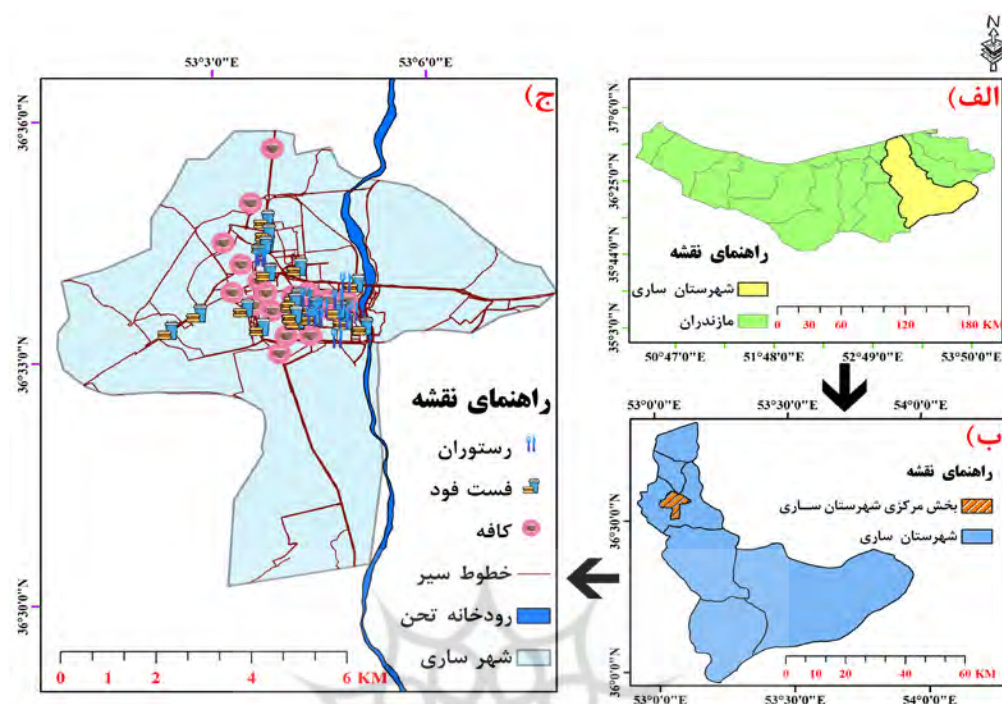
۲- داده و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

با توجه به موقعیت جغرافیایی استان مازندران، این استان دارای طبیعت چشم‌نواز و آب و هوای خوب است. مازندران ۲۲ شهرستان به مرکزیت ساری دارد. شهرستان ساری مساحت ۳٬۶۸۵ کیلومتر مربع و جمعیت ۸۳۹٬۴۵۳ نفر را سال ۱۳۹۵ داشته است (مرکز آمار ایران). به‌عنوان مرکز استان، جاذبه‌های گردشگری، اماکن دیدنی مذهبی، تاریخی و طبیعی، علاوه بر این امکانات توریستی و تفریحی زیادی دارد. جمعیت زیاد و مرکزیت این شهرستان یکی از علت‌های تردد زیاد در آن است. به همین دلیل منبع داده بیشتری در رابطه با دوچرخه‌سواری در این شهرستان وجود دارد. زیرا افراد بیشتری به دوچرخه‌سواری می‌روند و داده‌های بیشتری را به اشتراک می‌گذارند. به‌این سبب مرجع مناسبی برای جامعه آماری هدفمندتر برای دوچرخه‌سواری محسوب می‌شود. بنابراین، تصمیم گرفته شد که از شهر ساری با توجه به مزایای ذکر شده و مساحت و جمعیت آن به‌عنوان منطقه مورد مطالعه، استفاده شود. در نگاره ۱ محدوده منطقه مورد مطالعه به نمایش گذاشته شده است. در قسمت

تک خانواری و مناطقی که کاربری تجاری زمین دارند اجتناب کنند. توسعه‌های کاربری مختلط باید با امکانات دوچرخه یا سایر امکانات حفاظتی در خیابان‌های شلوغ همراه باشند. تراکم خیابان‌های بالاتر همراه با خیابان‌های محلی با محدودیت‌های سرعت کم تا متوسط نیز می‌تواند به نگه‌داشتن افراد در کوتاه‌ترین مسیرها کمک کند. به‌دلیل ویژگی‌های شخصی مشاهده نشده، تغییرات قابل توجهی در تأثیرات مسیرهای خاص در سطوح انحرافی وجود داشت (Park & Akar, 2019).

کوبلز و همکاران (۲۰۲۳)، بررسی کردند، که چگونه عوامل اجتماعی جمعیت‌شناختی و اولویت‌های زیرساختی بر انتخاب مسیر حرکتی فرد تأثیر می‌گذارند. از ۱۱۵ کاربر اسکوتر الکتریکی و دوچرخه در بارسلونا، اسپانیا به‌صورت داوطلب استفاده نمودند؛ شرکت‌کنندگان به ندرت کوتاه‌ترین مسیر را به‌دلیل عوامل مرتبط با ایمنی، دسترسی و زیبایی‌شناسی انتخاب کردند. زنان مسیرهای انحرافی کوتاه‌تری نسبت به مردان داشته و عناصر خاصی مانند ماشین‌های پارک شده و زیرساخت‌های دوچرخه‌سواری را در سفرهای خود ترجیح می‌دادند. همچنین شرکت‌کنندگان از مناطق عابر پیاده و خیابان‌هایی که مغازه‌ها و چراغ‌های خیابان زیادی دارند اجتناب می‌کردند (Cubells et al., 2023). همانطور که مشاهده می‌شود اکثر تحقیقات صورت گرفته در رابطه با بررسی خطوط سیر دوچرخه‌ها، به خطرات دوچرخه‌سواری در محیط شهری و علت وجود آن پرداخته‌اند. در حالی که تحقیقات اندکی در رابطه با علت دوچرخه‌سواری افراد و عبور آن‌ها از یک مسیر خاص انجام شده است. بنابراین مقاله حاضر به بررسی اینکه محیط‌های موجود چگونه باعث می‌شوند تا دوچرخه‌سواران به آن مناطق جذب شوند و از آن مسیرها عبور کنند، پرداخته است. هدف اصلی پژوهش حاضر این است که بررسی شود، دوچرخه‌سواران ترجیح می‌دهند از چه مسیری عبور کنند و محیط‌های ساخته شده چه تأثیری بر روی مسیر آن‌ها دارند، به‌طوری که این بررسی با استفاده از داده‌های



نگاره ۱: منطقه مورد مطالعه: الف) استان مازندران به همراه شهرستان ساری ب) شهرستان ساری به همراه بخش مرکزی ج) بخش مرکزی شهر ساری به همراه نمونه‌ای از کاربری‌های استفاده شده

الف) محدوده جغرافیایی استان مازندران و در قسمت
ب) محدوده جغرافیایی شهرستان ساری به همراه بخش
مرکزی آن و در قسمت ج) محدوده جغرافیایی شهر ساری
به همراه معابر و کاربری‌های مورد استفاده ملاحظه می‌شود.

۲-۲- داده

و افراد می‌توانند با استفاده از آن و GPS موبایل، مسیر خود را به صورت آنلاین ذخیره کرده و با سایر مشتریان در سایت مورد نظر به اشتراک بگذارند. داده‌های حرکتی افراد فقط شامل مسیرهای فرعی نیستند. افراد از مسیرهای اصلی نیز عبور کرده‌اند که این امر برخلاف قوانین کلان‌شهرها است. به همین سبب مسیرهای اصلی نیز در نظر گرفته شده‌اند. داده‌هایی از جابه‌جایی افراد در این سایت ذخیره شده و قابل دانلود هستند. این داده‌ها فرمت‌های GPX و KML را شامل می‌شوند و تفکیک زمانی آن‌ها حدود ۱۵ ثانیه است. برای هر جسم متحرک، اطلاعات ثبت شده عبارتند از: تاریخ، زمان، موقعیت (طول - عرض جغرافیایی)، ارتفاع. به دلیل امکان سازی استفاده از داده‌ها و انجام پردازش بر روی آن‌ها در محیط کدنویسی، با استفاده از کتابخانه gpx_converter در زبان برنامه‌نویسی پایتون فرمت داده‌ها به CSV^۲ تبدیل شد. برای اعتبارسنجی داده‌های استخراج شده، بررسی‌هایی

در این تحقیق، مسیر دوچرخه‌سواران در تاریخ تیرماه ۱۴۰۰ تا تیرماه ۱۴۰۲ که از شهر ساری عبور کرده‌اند، از منبع داده متن باز ویکی‌لاک^۱ مورد بررسی قرار گرفت. ویکی‌لاک یک وب‌سرویس متن باز است که خدماتی را در زمینه ذخیره اطلاعات حرکت افراد (دوچرخه‌سواری، پیاده روی، اتومبیل و غیره) ارائه می‌دهد. در جدول شماره (۱) نمونه‌ای از داده‌های مسیر حرکتی دوچرخه‌سواران از منبع داده ویکی‌لاک ارائه شده است. این وب‌سرویس دارای اپلیکیشن موبایل است که بر روی تلفن همراه مشترکین نصب می‌شود

جدول ۱: نمونه‌ای از داده مسیر حرکتی دوچرخه‌سواران از منبع داده ویکی لاک

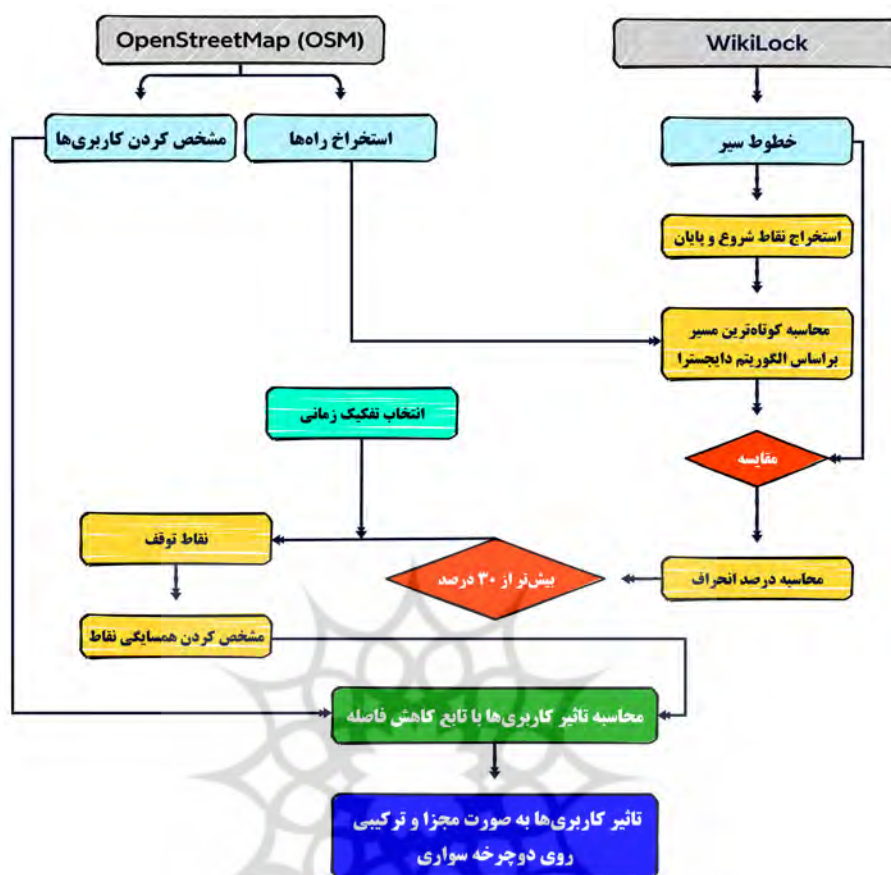
زمان (شمسی)	زمان (میلادی)	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع (متر)
۰۷:۱۴:۲۷+۰۰:۱۵ ۱۴۰۱/۰۲/۲۲	۰۷:۱۴:۲۷+۰۰:۱۵ ۲۰۲۲-۰۵-۱۲	۳۶/۵۶۳	۵۳/۰۸۶	۳۷/۶۳۵
۰۷:۱۴:۲۷+۰۰:۳۵ ۱۴۰۱/۰۲/۲۲	۰۷:۱۴:۲۷+۰۰:۳۵ ۲۰۲۲-۰۵-۱۲	۳۶/۵۶۳	۵۳/۰۸۶	۳۷/۴۱۹
۰۷:۱۴:۲۸+۰۰:۰۰ ۱۴۰۱/۰۲/۲۲	۰۷:۱۴:۲۸+۰۰:۰۰ ۲۰۲۲-۰۵-۱۲	۳۶/۵۶۳	۵۳/۰۸۶	۳۷/۲۷۲
۰۷:۱۴:۲۹+۰۰:۰۰ ۱۴۰۱/۰۲/۲۲	۰۷:۱۴:۲۹+۰۰:۰۰ ۲۰۲۲-۰۵-۱۲	۳۶/۵۶۳۷۸	۵۳/۰۸۶۲۵	۳۷/۱۹۴
۰۷:۱۴:۲۹+۰۰:۳۰ ۱۴۰۱/۰۲/۲۲	۰۷:۱۴:۲۹+۰۰:۳۰ ۲۰۲۲-۰۵-۱۲	۳۶/۵۶۳۹	۵۳/۰۸۶۲۸	۳۷/۱۳۶
۰۷:۱۴:۳۰+۰۰:۰۲ ۱۴۰۱/۰۲/۲۲	۰۷:۱۴:۳۰+۰۰:۰۲ ۲۰۲۲-۰۵-۱۲	۳۶/۵۶۳۹۶	۵۳/۰۸۶۲۹	۳۷/۱۳۴

داده‌های وب‌سرویس متن باز ویکی لاک (شامل اطلاعات مربوط به مسیرهایی هستند که دوچرخه‌سواران در شهر طی می‌کنند). در ابتدا با استفاده از این دو منبع داده خطوط سیر افراد و کاربری‌های مختلف در منطقه مورد نظر استخراج می‌شوند. از آنجا که خطوط سیر مانند هر اطلاعات رقومی دیگر شامل برخی اطلاعات نامعتبر و از دست رفته است، از این‌رو فرآیند پاکسازی داده‌ها به همراه تبدیل داده‌ها به فرمت مناسب برای انجام تحلیل‌های موردنظر بعدی صورت می‌گیرد. سپس براساس اطلاعات پیش پردازش شده خطوط سیر، نقطه شروع و پایان مسیر مشخص می‌شود تا بتوان با استفاده الگوریتم Dijkstra و شبکه راه‌های به‌دست آمده از OSM، کوتاه‌ترین مسیر بین نقاط شروع و پایان مسیرها را محاسبه نمود. سپس با مقایسه مسیر حرکتی صورت گرفته و کوتاه‌ترین مسیر محاسبه شده، درصد انحراف مسیرها مشخص می‌شود. در این تحقیق مسیرهای دارای بیشتر از ۳۰ درصد انحراف انتخاب می‌شوند تا همسایگی نقاط توقف موجود در این مسیرها مورد بررسی قرار گیرد زیرا فرض می‌شود کاربری یا جذابیت خاصی در مسیر انحرافی وجود داشته که فرد مسیر خود را از مسیر کوتاه‌ترین فاصله منحرف کرده است. به‌منظور مشخص کردن نقاط توقف، یک حد آستانه توقف تعیین می‌شود تا توقف بیشتر از این حد در یک نقطه از مسیر، مشخص کننده نقطه توقف یا جذاب فرد در منطقه باشد. اما از آنجا که بررسی شود چه

مانند ورودی‌های تکراری، اطمینان از قرار گرفتن مختصات مکانی در محدوده جغرافیایی، شناسایی داده‌های خالی، شناسایی داده‌های پرت انجام شده است. برای مثال به‌منظور شناسایی داده‌های پرت، از موقعیت افراد (طول و عرض جغرافیایی) استفاده شده است. موقعیت‌های ثبت شده با یک ضریب خطایی باید در راستای یکدیگر باشند. در این تحقیق کاربری اراضی که توسط دوچرخه‌سواران مورد بازدید قرار می‌گیرند، استخراج و تحلیل می‌شوند. بنابراین از OSM^۱ به‌عنوان ابزاری برای استخراج و بررسی داده‌های کاربری زمین استفاده می‌شود. OSM یک پلتفرم متن باز است که کاربران را قادر می‌سازد تا اطلاعات جغرافیایی و مکانی را در سطح جهانی مشاهده و اصلاحات را اعمال کنند. نقشه‌های تولید شده تاکنون دقیق، جاری و در برنامه‌های مختلف ادغام شده‌اند. OSM می‌تواند ارتباط در مورد مسیر حرکت افراد و محیط‌های ساخته شده‌ی واقع در آن مسیر را تسهیل کند. با شناسایی نقطه مورد نظر، نزدیک‌ترین محیط انتخاب و متعاقباً مشاهده می‌شود.

۳-۲- روش

نمودار روش اجرا شده در این تحقیق، در نگاره ۲ به نمایش درآمده است. این نمودار با دو منبع داده اصلی آغاز می‌شود: OSM (برای بررسی مکانی داده‌های کاربری و شبکه راه‌ها بر روی نقشه در تاریخ ۱۴۰۲/۰۳/۱۵) و



نگاره ۲: نمودار روش پیشنهادی در ارزیابی دوچرخه‌سواری و تأثیر ترکیب کاربری‌ها در منطقه مورد مطالعه

کاربری باعث این توقف شده است، در یک همسایگی و ۲-۳-۱- نقاط توقف مجاورت خاصی از نقاط توقف، کاربری‌های منطقه ارزیابی می‌شوند. همچنین به منظور وزندهی تأثیر کاربری‌های مختلف در این همسایگی از تحلیل تابع کاهش فاصله‌ای^۱ استفاده شده است، به طوری که کاربری‌های نزدیک‌تر دارای تأثیر بیشتر و کاربری‌های دورتر دارای تأثیر کمتری در محاسبه جذابیت کاربری‌ها داشته باشند. در انتها مجموع تأثیر کاربری‌ها به صورت مجزا و ترکیبی بر روی مسیر دوچرخه‌سواران بررسی می‌شود. ضمناً تمامی محاسبات و تحلیل‌ها با استفاده از زبان برنامه‌نویسی پایتون و کتابخانه‌های GeoPandas، MovingPandas، Shapely^۲، و Numpy صورت گرفته است.

1- Distance Decay Function

2- <https://movingpandas.org/>

3- Point of Interest

متری این نقاط وجود داشته‌اند استفاده شده است تا نقش جذابیت و دسترسی کاربری‌ها به صورت مجزا یا ترکیبی از آن‌ها در انتخاب مسیرهای دوچرخه‌سواری مشخص شود. در این راستا از آنالیز بافر^۲ که یکی از آنالیزهای مجاورت است، استفاده شده تا همسایگی نقاط توقف مشخص شود. در ادامه با استفاده از همپوشانی^۳ داده‌های کاربری مشخص شده که چه کاربری‌های مختلفی در داخل محدوده واقع شده‌اند. حال برای اینکه مشخص شود کاربر مورد نظر از کدام کاربری تأثیر بیشتری گرفته است، از تابع کاهش فاصله استفاده شده است.

تابع کاهش فاصله در تحلیل‌های مکانی برای نشان دادن کاهش تأثیر یا تعامل بین دو نقطه با افزایش فاصله بین آن‌ها به کار می‌رود. این مفهوم بیان می‌کند که هر چه فاصله مکانی بین دو نقطه بیشتر باشد، احتمال یا شدت تعامل بین آن‌ها کاهش می‌یابد. در این تحقیق، تابع کاهش فاصله برای تحلیل تأثیرات کاربری‌های شهری مجاور بر مسیرهای دوچرخه‌سواری به کار رفته است. این تابع به ما کمک می‌کند تا به طور دقیق‌تر تأثیر نزدیکی یا دوری کاربری‌ها بر احتمال توقف دوچرخه‌سواران را ارزیابی کنیم. به این صورت که هر چه مرکز^۴ کاربری مورد نظر به نقطه توقف فرد نزدیک‌تر باشد، تأثیر آن بر توقف فرد بیشتر بوده است. این تحلیل به این صورت بررسی شده که بعد از محدوده مورد نظر (۳۰۰ متر) تأثیر کاربری‌ها بر روی توقف فرد صفر است. معادله محاسبه تابع کاهش فاصله در رابطه (۱) ارائه است.

$$I = \frac{k}{n^d} \quad \text{رابطه ۱: فرمول عمومی تابع کاهش فاصله}$$

I نمایانگر شدت تأثیر، k ثابت تناسب (معمولاً نمایانگر شدت اولیه تعامل)، d فاصله بین نقاط و n ضریب کاهش (نشان‌دهنده سرعت کاهش تعامل با افزایش فاصله) است.

توجه در یک مکان باشند، به عبارت دیگر فرد حرکت نکند، یک نقطه توقف پیدا می‌شود. برای استخراج نقاط توقف مسیر حرکت باید از بعد زمانی برای هر نقطه استفاده کرد. برای تعیین موقعیت شروع و پایان نقطه توقف، الگوریتم استفاده شده فاصله زمانی بین هر جفت نقطه را بررسی می‌کند. در این تحقیق آستانه توقف ۹۰ ثانیه است. اگر دو نقطه متوالی در مسیر، فاصله زمانی بیشتر از آستانه مورد نظر داشته باشند و در یک مکان باشند، الگوریتم آن نقطه را به عنوان نقطه توقف مشخص می‌کند. در مقالات مختلف از زمان توقف بین ۶۰ تا ۹۰ ثانیه برای استخراج نقاط توقف با توجه به محیط مورد نظر استفاده کرده‌اند. ما از آستانه ۹۰ ثانیه استفاده کرده‌ایم؛ بر این اساس که احتمال قطع اینترنت وجود داشته و افراد دوچرخه‌سوار باید تا یک حد مناسبی در محل توقف داشته باشند تا آن نقطه به عنوان نقطه توقف انتخاب شود.

با استفاده از نقاط توقف می‌توان مناطقی را استخراج کرد که باعث شده‌اند افراد در مسیر توقف کنند. با این بررسی می‌توان نوع کاربری این مناطق را استخراج کرده و این کار کمک بزرگی به برنامه‌ریزان شهری در بررسی بهتر شهر می‌کند. یکی از کاربردهای نقاط توقف استخراج شده، این است که می‌توان دلایل دوچرخه‌سواری افراد را درک کرد. به عنوان مثال، شخصی سه بار در مسیر خود توقف کرده است که دو بار در نزدیکی یک مرکز خرید بوده است. از این توقف‌ها می‌توان دریافت که این فرد به قصد خرید رفته است. این نقاط در رفتارهای متفاوت به عنوان نقاط مورد علاقه‌ی افراد هم شناسایی می‌شوند. به این علت که می‌خواهند از یک مسیری که برایشان جذاب‌تر است عبور کنند.

تحلیل مجاورت^۱ در مطالعات مکانی برای اندازه‌گیری فاصله یا نزدیکی بین نقاط و عوارض استفاده می‌شود تا تأثیر مکان‌های نزدیک بر رفتار کاربران بررسی شود. در نتیجه از تحلیل مجاورت برای سنجش فاصله نقاط توقف دوچرخه‌سواران با کاربری‌های شهری‌ایی که در شعاع ۳۰۰

2- Buffer

3- Overlay

4- Centroid

1- Proximity

۲-۳-۲- انتخاب کاربری زمین

مطالعات گذشته در رابطه با ارتباط بین عوامل محیطی ساخته شده و دوچرخه‌سواری، چندین نوع کاربری را شناسایی کرده‌اند که بر روی دوچرخه‌سواری تأثیر می‌گذارند و افراد طول مسیر خود را بیشتر می‌کنند تا از آن محیط‌های جذاب عبور کنند. (Cubells et al., 2023) اینگونه بیان کرده‌اند که مناطقی همچون رستوران‌ها، درخت‌ها، مراکز خرید و غیره، بر روی اینکه دوچرخه‌سوارها از مسیر اصلی خود منحرف شوند، تأثیر زیادی دارند. براساس این شاخص‌ها، در تحقیق حاضر بررسی خواهد شد که هر کاربری بر روی دوچرخه‌سواری تأثیر دارد. جدول ۲ نوع کاربری‌های مناطق و مثالی از آن‌ها را نمایش می‌دهد. در این تحقیق با استفاده از نقاط توقف افراد در مسیر حرکتی‌شان، و نوع کاربری محیط ساخته شده در مقیاس همسایگی، ارتباط بینشان بررسی می‌شود.

جدول ۲: نوع کاربری انتخاب شده برای مناطق

و زیرمجموعه‌های آن

نوع کاربری	زیرمجموعه‌ها
اداری	بانک، خدمات دولتی، مؤسسات مالی و اعتباری، بیمه، کارگزاری بورس، دفاتر ثبت اسناد رسمی، سازمان‌ها، نهادها
تجاری	فروشگاه، املاک، عرضه و فروش کالا، بازار، بازارچه
خدماتی و رفاهی	رستوران، سینما، تئاتر، اقامتگاه‌ها، هتل، شهر بازی، کافه، رودخانه
فضای سبز	پارک، جنگل، بوستان، فضای بازی کودکان، حرائم سبز معابر
آموزشی	دبستان، راهنمایی، دبیرستان، پیش دانشگاهی، هنرستان، مراکز آموزشی فنی و حرفه‌ای، کلاس‌های نهضت سوادآموزی، سالن‌های ورزشی، کتابخانه
بهداشتی و درمانی	بیمارستان، درمانگاه، پایگاه‌های بهداشت، مراکز بهداشتی، کلینیک، داروخانه

۲-۳-۳- انحراف

برای درک هدف دوچرخه‌سواری افراد (ورزش، سرگرمی، کار و غیره) و نقاط مورد علاقه در طول مسیر، می‌توان از میزان انحراف مسیر اصلی از کوتاه‌ترین مسیر موجود بین نقاط شروع و پایان نتیجه‌ی خوبی گرفت (Cubells et al., 2023). در این بخش انحراف افراد از کوتاه‌ترین مسیر موجود سنجیده شده است. مسیر حرکتی افراد به همراه نقاط شروع و پایان آن‌ها در دسترس است. با استفاده از الگوریتم Dijkstra و دو نقطه شروع و پایان می‌توان کوتاه‌ترین مسیر بین آن دو نقطه را محاسبه نمود. با استفاده از رابطه (۲)، درصد انحراف افراد از کوتاه‌ترین مسیر موجود محاسبه می‌شود (Park & Akar, 2019; Ta et al., 2016).

$$\text{انحراف} = \left(\frac{\text{مسافت مسیر انتخاب شده توسط فرد}}{\text{مسافت کوتاه‌ترین مسیر موجود بین نقطه شروع و پایان}} - 1 \right) \times 100$$

رابطه ۲: درصد انحراف از مسیر

عدد به دست آمده می‌تواند مثبت یا منفی باشد. عدد مثبت به این معنا است که از کوتاه‌ترین مسیر منحرف شده و از محل مورد نظر خود عبور کرده است. مقادیر منفی به این دلیل است که هر دو مسیر دارای طول یکسانی هستند، اما به دلیل اینکه کوتاه‌ترین مسیر از خیابان‌ها استخراج می‌شود، دوچرخه‌سواران می‌توانند از پیاده‌رو و برخی کاربری‌ها (پارک‌ها و ...) عبور کنند در نتیجه مقادیر منفی نیز وجود دارد.

الگوریتم دایجسترا یک الگوریتم برای یافتن کوتاه‌ترین مسیر بین دو نقطه شروع و پایان است. این الگوریتم برای یافتن کوتاه‌ترین مسیر بین دو رأس در یک گراف جهت‌دار و وزن‌دار (وزن‌های مثبت) استفاده می‌شود. الگوریتم دایجسترا از یک ساختار داده به نام «صف اولویت» برای یافتن کوتاه‌ترین مسیر استفاده می‌کند. در این ساختار، رئوس گراف براساس فاصله تخمینی آن‌ها تا رأس مقصد مرتب می‌شوند (Javaid, 2013). در هر مرحله از

در شعاع ۳۰۰ متری نقاط توقف وجود دارند، با استفاده از تابع کاهش فاصله مورد بررسی قرار می‌گیرند. یکی از مناطقی که دوچرخه‌سواران در آن محدوده توقف زیادی در مسیر خود داشته‌اند، «رودخانه تجن» شهر ساری است. این رودخانه به علت موقعیت مکانی خوب و زیبایی که دارد، افراد را جذب خود می‌کند.

در ادامه بررسی شده که علت توقف دوچرخه‌سواران در هر منطقه به چه علتی است. در حقیقت کاربری‌های اطراف نقاط توقف که علت توقف هستند بررسی شده‌اند. بررسی‌های این کاربری‌ها به چند صورت انجام شده است. بررسی‌ها به صورت تکی (هر کاربری جدا)، دوتایی (ترکیب دوتایی) و تا ترکیب همگی دسته‌ها بوده است. همانطور که در نگاره ۳ ملاحظه می‌شود، یک نمودار میزان تأثیر هر گروه از کاربری‌ها را به صورت تکی نشان می‌دهد. بیشترین تأثیر مربوط به گروه خدماتی و رفاهی و در رتبه بعدی کاربری تجاری است. این به معنای آن است که منظور از توقف دوچرخه‌سواران به علت استفاده از کاربری‌های خدماتی و رفاهی بوده است. در گروه خدماتی و رفاهی، مراکزی شامل رستوران، کافه، سینما و ... وجود دارند. از بین این اماکن، مورد علاقه‌ترین مکان، کافه بوده است. دوچرخه‌سواران زیادی بعد از مدت زمان توقف زیاد در مسیرشان به کافه می‌رفتند. کم‌ترین استفاده از دوچرخه در کاربری آموزشی است. با توجه به بررسی مشخصات کاربری افرادی که داده‌های حرکتی خود را در وب‌سایت به اشتراک گذاشته‌اند و بازدید میدانی صورت گرفته، مشاهده شد که افراد با سن کمتر، از دوچرخه برای رفتن به کاربری‌های آموزشی استفاده کرده‌اند. به طور واضح بیشتر مدرسين از خودروی شخصی استفاده کرده‌اند. یعنی افراد محصل ترجیح می‌دهند پیاده، با استفاده از دوچرخه شخصی و یا با استفاده از وسایل حمل و نقل عمومی به محل تحصیل خود بروند.

الگوریتم، کوتاه‌ترین مسیر شناخته شده تا آن لحظه به روز می‌شود و رئوس جدیدی به صف اولویت اضافه می‌شوند. این فرآیند تا زمانی ادامه می‌یابد که به رأس مقصد برسیم.

$$\text{dist}[v] = \min(\text{dist}[u] + w(u, v)) \text{ for all edges } (u, v) \in E$$

رابطه ۳: فرمول اصلی الگوریتم دایجسترا برای محاسبه فاصله کوتاه‌ترین مسیر بین دو رأس u و v در یک گراف جهت‌دار و وزن‌دار

$\text{dist}[v]$ فاصله تخمینی رأس v تا رأس مقصد، $\text{dist}[u]$ فاصله تخمینی رأس u تا رأس مقصد، $w(u, v)$ وزن یال بین رأس u و v مجموعه یال‌های گراف است.

۳- بحث و یافته‌های تحقیق

با توجه به توضیحات داده شده، برای بررسی تأثیر کاربری‌های مختلف بر روی مسیر دوچرخه‌سواری، شهر ساری به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شده است. در ادامه داده‌هایی که دوچرخه‌سواران از مسیرهای خود در طول مسیر حرکت به اشتراک گذاشته‌اند، استخراج شدند. کوتاه‌ترین مسیر موجود بین نقاط شروع و پایان مسیر افراد با توجه به معادله ۳ محاسبه و ذخیره شد. حال با استفاده از کوتاه‌ترین مسیر و مسیر طی شده برای هر شخص، با توجه به معادله ۲ درصد انحراف افراد محاسبه شد. در ادامه، مسیرهایی که بیش از ۳۰ درصد انحراف داشته‌اند، انتخاب شده و در مراحل بعدی از آن‌ها استفاده شده است. با توجه به شرایط شهری و بررسی‌های انجام شده، تفکیک زمانی برای انتخاب نقاط توقف در طول مسیر برابر با ۹۰ ثانیه انتخاب شده است. با توجه به این تفکیک زمانی، نقاط توقف در طول مسیر افراد استخراج شده است. برای بررسی اینکه کدام یک از کاربری‌ها چه به صورت مجزا، چه به صورت ترکیبی، مدنظر فرد بوده، یک محدوده‌ای در اطراف نقاط توقف در نظر گرفته شده است، که برابر با شعاع ۳۰۰ متر است. کاربری‌هایی که

ترکیب کاربری‌ها با یکدیگر نیز بر روی مسیر حرکت افراد تأثیر دارد. منظور از ترکیب کاربری‌ها این است، دوچرخه‌سواران ممکن است در مسیر حرکت، به یک یا چند کاربری از دیگر انواع کاربری‌های انتخاب شده برخورد کنند و در شعاع مدنظر آن کاربری‌ها توقف داشته باشند. در نگاره ۴ نمودارهایی ملاحظه می‌شود که میزان تأثیر هر کاربری در ترکیب با کاربری‌های دیگر را به نمایش گذاشته‌اند. ترکیب کاربری‌ها به صورت دوتایی، سه‌تایی و چهارتایی مورد بررسی قرار گرفته است. در ترکیب کاربری‌ها به صورت دوتایی (نگاره ۴ - الف) بیشترین تأثیر را کاربری خدماتی و رفاهی داشته است. این کاربری همراه با ترکیب دیگر کاربری‌ها بیشترین درصد تأثیر را در انحراف دوچرخه‌سواران از مسیر اصلی داشته است. بیشترین تأثیر مربوط به گروه تجاری و خدماتی و رفاهی است. بیشترین توقف دوچرخه‌سواران در محدوده‌ای بوده که این دو کاربری به صورت همزمان وجود داشته‌اند. از بین اعضای موجود در این دو کاربری، بیشترین توقف در محلی بوده که در آن کافه و فروشگاه قرار داشت.

نتیجه ترکیب کاربری‌ها به صورت سه‌تایی (نگاره ۴ - ب) همانند ترکیب دوتایی شده، اما درصد تأثیر کاربری‌ها در ترکیب سه‌تایی متفاوت است. در ترکیب چهارتایی (نگاره ۴ - پ) نتیجه حاصل تغییر داشته است. درصد تأثیر کاربری آموزشی در ترکیب چهارتایی بیشتر از فضای سبز است. علت افزایش تأثیر کاربری آموزشی در نگاره ۴ - پ، نزدیکی به کاربری‌های پرتردد مانند تجاری و خدماتی و رفاهی به صورت همزمان است. به عنوان مثال دبیرستان کوشیار که بین دو میدان پلیس و سلمان فارسی واقع شده، در نزدیکی چند کافه، رستوران فست فود، بانک و کاربری‌های دیگر واقع شده، که عبور و توقف در محدوده آن زیاد بوده است. تأثیر فضای سبز در کاربری‌های ترکیب و ترکیب کاربری‌ها کم بوده است. این نتیجه نشان می‌دهد که افراد برای رفتن به فضای سبز از دوچرخه کمتر استفاده می‌کنند. بیشتر افراد دوچرخه را برای کاربری‌های اداری،



نگاره ۳: بررسی تأثیر کاربری‌ها بر نقاط توقف به صورت ترکیبی



(الف)



(ب)



(پ)

نگاره ۴: بررسی تأثیر کاربری‌ها بر روی مسیر دوچرخه‌سواران به صورت چندتایی: (الف) دوتایی (ب) سه‌تایی (پ) چهارتایی

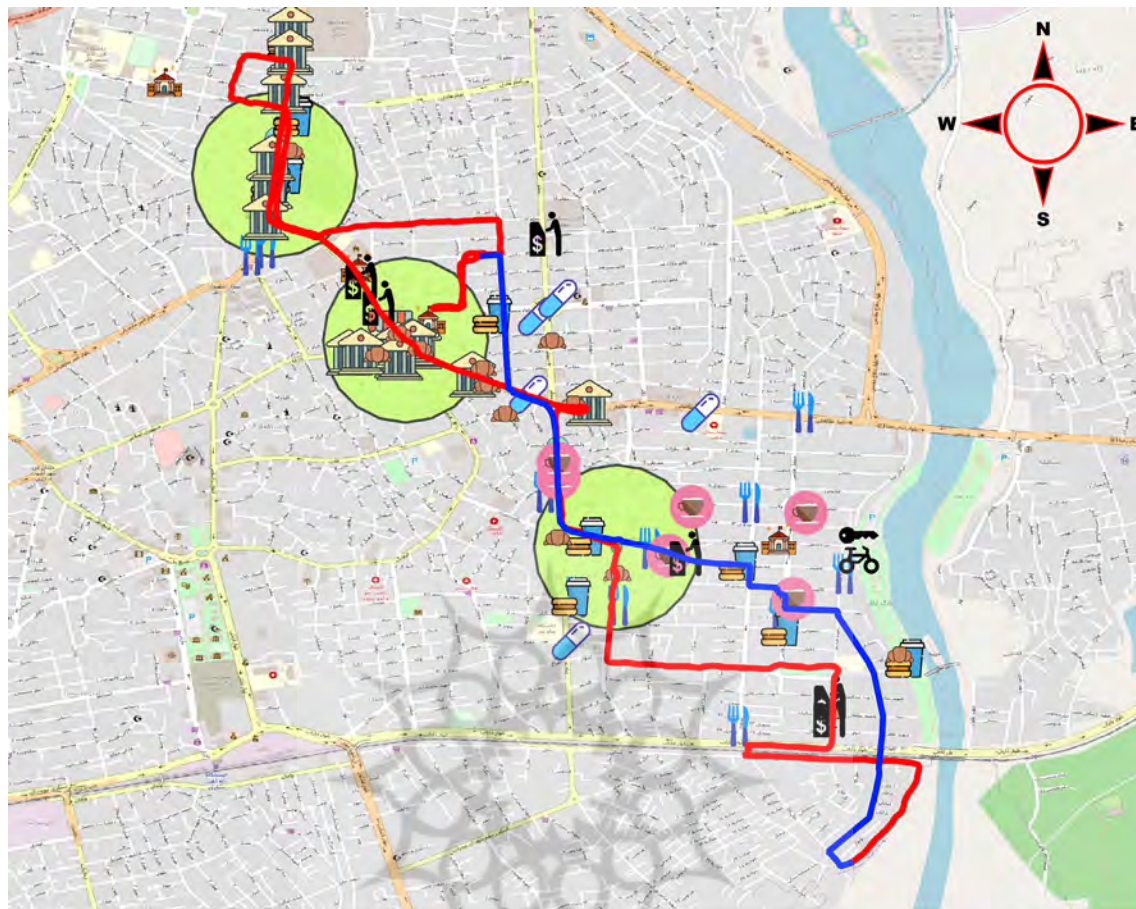
و خیابان‌های عابر پیاده، همگی به‌طور قابل توجهی بر مسیر حرکت و انحراف دوچرخه‌سواران تأثیر می‌گذارند. این مطالعه نتایج پژوهش حاضر را تأیید می‌کند. در نگاره ۵ یک مثال انحراف از کوتاه‌ترین مسیر یکی از افراد به نمایش گذاشته شده است. کوتاه‌ترین مسیر موجود بین نقطه شروع و پایان ۳۵۱۰/۳۸ متر است. این فرد برای رفتن از نقطه شروع تا پایان مسیری به طول ۸۵۰۵،۲۰ متر را پیموده است. این فرد درصد انحرافی برابر با ۱۴۲/۲۹٪ درصد را ثبت کرده است. اختلاف مسافت بسیار زیاد و توقف فرد در مسیر منحرف شده نشان‌دهنده این است که این فرد به کاربری‌هایی جذب شده و تغییر مسیر داده است.

در ابتدای مسیر، فرد انحرافی در مسیر خود ایجاد می‌کند (فاصله از نقطه پایان افزایش یافته) تا وارد خیابان اصلی شود. در مسیر خود از کاربری‌های متفاوتی عبور می‌کند، که در نگاره ۵ چندین مثال از کاربری خدماتی و رفاهی به نمایش گذاشته شده است. واضح است که فرد در طول مسیر خود سه بار توقف داشته است. همانطور که قبلاً گفته شده به‌منظور بررسی تأثیر کاربری‌ها بر روی مسیر افراد محدوده ۳۰۰ متری برای نقاط توقف در نظر گرفته شده است. در محل‌های توقف فرد کاربری‌های زیادی وجود دارد که هر کدام می‌توانند دلیلی بر توقف و طولانی شدن مسیر او باشند. میدان‌های شهدا و مرحوم جابر معافی دارای سربیزی و کاربری‌های همچون تجاری هستند که فرد را از کوتاه‌ترین مسیر خود دورتر کرده‌اند. در ادامه فرد سعی می‌کند از خیابان‌های اصلی دوری کند، در صورتی که کوتاه‌ترین مسیر از خیابان‌های اصلی گذر می‌کند. قبل از رسیدن به رودخانه تجن، فرد مسیر خود را به سمت میدان سعد سلمان منحرف می‌کند تا از پارک موجود در آن مسیر دیدن کند. در ادامه به سمت رودخانه تجن که قبلاً گفته شد بیشترین دلیل انحراف از مسیر بوده، منحرف می‌شود، تا قبل رسیدن به مقصد در مسیر رودخانه تجن حرکت کند.

خدماتی و رفاهی و تجاری مورد استفاده قرار می‌دهند. با ترکیب کاربری‌ها میزان تأثیر هر کاربری به‌صورت جدا کاهش یافته است. تأثیرات ترکیب کاربری‌ها لزوماً خطی و فزاینده نیست. به عبارتی، وقتی تعداد کاربری‌ها بیشتر می‌شود، تأثیر کل ممکن است به جای افزایش، به دلیل رقابت یا تداخل کاهش یابد. همچنین ممکن است دوچرخه‌سواران دیگر نیازی به استفاده یا توجه به همه کاربری‌ها نداشته باشند، به خصوص اگر کاربری‌های مشابه یا متنوعی در مسیر قرار داشته باشد. یکی از دلایل دیگر این است که، دوچرخه‌سواران به‌صورت ناخودآگاه اولویت‌هایی را برای کاربری‌های مورد نظر خود تعیین می‌کنند. به‌عنوان مثال، کاربری‌های خدماتی یا تجاری ممکن است اهمیت بیشتری نسبت به کاربری فضای سبز داشته باشند. بنابراین، تأثیر کاربری‌های با اولویت کمتر، در ترکیب‌های چندتایی کاهش می‌یابد. در ترکیب کاربری‌ها به‌صورت چهارتایی، بیشترین تأثیر در انحراف افراد را محدوده‌هایی داشتند، که به‌صورت همزمان در آن بانک، فروشگاه، کافه و داروخانه وجود داشت. این اتفاق بیشتر در میدان‌های شهر اتفاق می‌افتاد. در اکثر میدان‌ها این کاربری‌ها به‌صورت همزمان وجود دارند. نتیجه برای ترکیب پنج‌تایی تغییری نداشته است. برای تأثیر کاربری‌ها به‌صورت ترکیبی از همه‌ی آن‌ها همانطور که انتظار می‌رفت، درصد بالایی از تأثیر را به خود اختصاص داده است. در شهر ساری با توجه به محدوده در نظر گرفته شده، در اطراف رودخانه تجن، حداقل یکی از زیرمجموعه‌های کاربری‌ها موجود است. «رودخانه تجن» با تأثیر بر روی ۴۷ درصد از داده‌های در دسترس (افراد)، بیشترین تأثیر را داشته است. این انحراف و توقف می‌تواند به‌دلیل عواملی مانند استفاده از پل‌ها یا مسیرهای دوچرخه‌سواری تعیین شده در امتداد رودخانه یا اجتناب از مناطق خاص به‌دلیل نگرانی‌های ایمنی یا زمین باشد.

(Cubells et al., 2023) به این نتیجه رسیدند که عوامل

خاصی از جمله نقاط جذاب، درختان، رستوران‌ها، مغازه‌ها



نقشه‌ی انحراف از کوتاه‌ترین مسیر دوچرخه سوار - درصد انحراف از کوتاه‌ترین مسیر: ۱۴۲/۲۹٪



نگاره ۵: مثالی از انحراف دوچرخه‌سوار از مسیر اصلی حرکت

۴- نتیجه‌گیری

مؤثر است. حمل و نقل فعال می‌تواند به بهبود کیفیت هوای شهری، کاهش ترافیک و همچنین افزایش ارتباطات اجتماعی و دسترسی بهتر به فضاهای عمومی منجر شود. همانطور که پیش‌تر اشاره شد، توجه و بررسی کاربری زمین‌ها و مسیر حرکتی دوچرخه‌سواران، ارتباط مستقیمی

دوچرخه‌سواری به عنوان یکی از ارکان اصلی حمل و نقل فعال، نه تنها به کاهش استفاده از وسایل نقلیه موتوری و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کند، بلکه در بهبود سلامت عمومی و افزایش تحرک روزانه افراد نیز

روش‌های استفاده شده در این مقاله با توجه به نتایج حاصله و عملکرد آن در مقایسه با سایر تحقیقات، یکی از روش‌های کارآمد و نوین در این راستا بوده است. از آنجایی که اطلاعات اولیه از داده‌های به اشتراک گذاشته شده توسط خود دوچرخه‌سواران حاصل می‌شود، در صورت عدم فعالیت کاربران در این فضاها استفاده از این داده‌ها غیر ممکن خواهد شد. این امر مهم‌ترین مشکل مدل ارائه شده محسوب می‌شود. محدودیت‌های دیگر این مطالعه شامل عدم بررسی داده‌های مسیر دوچرخه‌سواران در سایر شهرها و عدم توجه کافی به عوامل فردی مانند سن، جنسیت و سطح درآمد دوچرخه‌سواران است. پیشنهادات برای تحقیقات آتی شامل انجام تحقیقات مشابه در سایر شهرها با شرایط مختلف، بررسی عوامل فردی موثر بر انتخاب مسیر دوچرخه‌سواران و بررسی تأثیر کیفیت مسیرهای دوچرخه بر انتخاب مسیر است. با انجام این تحقیقات، می‌توان به برنامه‌ریزان شهری در ایجاد شبکه‌های دوچرخه‌سواری کارآمدتر و ایمن‌تر که به نفع همه ساکنان شهر باشد، کمک کرد. به دلیل اینکه اشتراک داده‌های دوچرخه، ممکن است مخصوص قشرهای خاصی از افراد باشد، احتمال دارد بیان‌کننده خوبی از جامعه ما نباشد، بنابراین اگر نمونه‌ی بهتری از جامعه خود داشته باشیم، می‌توان نتایج قابل اعتمادتری را به دست آورد. بنابراین پیشنهاد می‌شود که یکسری افراد به صورت داوطلب از قشرهای مختلف با خصوصیت‌های متفاوت انتخاب شوند، که نمونه‌ی خوبی از جامعه آماری ما باشند. در ادامه هم می‌توان علاوه بر بحث دوچرخه‌سواری، خصوصیت‌های اقتصادی، اجتماعی و شخصیتی افراد را در کنار دوچرخه‌سواری افراد تحلیل نمود و مشخص کرد که نحوه حرکت با توجه به درآمد، تحصیلات، سن و جنسیت چگونه تغییر می‌کند.

تعارض منافع

در این پژوهش، حامی مالی و تعارض منافع وجود ندارد.

با پویایی و پایداری شهر دارد؛ از این رو بررسی این مقاله و تحلیل‌های آماری به دست آمده، می‌تواند بسیار کارآمد باشد. در این مقاله سعی بر کشف ارتباط مسیرهای دوچرخه‌سواری و کاربری‌های موجود در شهر ساری شده است. به این معنا که جذابیت کاربری‌ها برای دوچرخه‌سواران بررسی شد. اینکه کدام یک از کاربری‌ها برای دوچرخه‌سواران جذابیت بیشتری دارند و آن‌ها را جذب می‌کنند تا از نزدیکی آن‌ها عبور و توقف کنند. این امر مهم به شهرداری و طراحان شهری برای طراحی بهینه مسیرهای دوچرخه‌سواری کمک می‌کند. همچنین می‌تواند به دوچرخه سواران کمک کند تا مناطق پرطرفدار برای دوچرخه‌سواری را شناسایی و از کیفیت مسیر انتخابی خود، اطمینان حاصل نمایند. در این مقاله با توجه به پردازش‌های انجام شده به کمک داده‌هایی که دوچرخه‌سواران به اشتراک گذاشته‌اند و داده‌های کاربری زمین، نتایج حاصله به این شکل بود که رودخانه تجن به دلیل موقعیت مکانی و زیبایی، یکی از محبوب‌ترین مکان‌های توقف دوچرخه‌سواران است. کاربری‌های خدماتی و رفاهی، به ویژه رستوران‌ها و کافه‌ها، بیشترین تأثیر را بر انتخاب مسیر دوچرخه‌سواران دارند. دوچرخه‌سواران تمایل دارند مسیرهای طولانی‌تر انتخاب کنند تا از مکان‌هایی با کاربری‌های تجاری و خدماتی و رفاهی عبور کنند. کمترین استفاده از دوچرخه در کاربری‌های آموزشی مشاهده شد. برنامه‌ریزان شهری باید توجه ویژه‌ای به ایجاد مسیرهای دوچرخه در نزدیکی مکان‌های دارای کاربری‌های خدماتی و رفاهی داشته باشند. همچنین، ایجاد فضای سبز و امکانات تفریحی در امتداد مسیرهای دوچرخه می‌تواند به جذب دوچرخه‌سواران بیشتر کمک کند. در راستای توسعه حمل و نقل پایدار، نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که ایجاد زیرساخت‌های مناسب برای دوچرخه‌سواری در مناطق شهری و افزایش دسترسی به کاربری‌های خدماتی و رفاهی می‌تواند نه تنها کیفیت زندگی ساکنان شهر را بهبود بخشد، بلکه به تحقق اهداف زیست‌محیطی و کاهش اثرات منفی حمل و نقل موتوری کمک کند.

photo-journeys to compare objective attributes and bicyclists' perceptions of bicycle routes. *Journal of Transport & Health*, 22, 101092.

11- Felipe-Falgas, P., Madrid-Lopez, C., & Marquet, O. (2022). Assessing environmental performance of micromobility using lca and self-reported modal change: The case of shared e-bikes, e-scooters, and e-mopeds in barcelona. *Sustainability*, 14(7), 4139.

12- Hu, Y., Shao, C., Wang, S., Sun, H., Sun, P., & Chu, Z. (2023). Evaluating Bicycling Environments with Trajectory Data on Shared Bikes: A Case Study of Beijing. *Journal of Advanced Transportation*, 2023(1), 2560780.

13- Iran's, (2016). Population and Housing Census Results, (www.amar.org.ir) [In Persian]

14- Jalili, M., Hakimpour, F., & Van der Spek, S. C. (2018). Extraction of usage patterns for land-use types by pedestrian trajectory analysis. *Web and Wireless Geographical Information Systems: 16th International Symposium, W2GIS 2018, A Coruña, Spain, May 21–22, 2018, Proceedings 16*,

15- Javaid, A. (2013). Understanding Dijkstra's algorithm. Available at SSRN 2340905.

Jung, M. C., Wang, T., Kang, M., Dyson, K., Dawwas, E. B., & Alberti, M. (2024). Urban landscape affects scaling of transportation carbon emissions across geographic scales. *Sustainable Cities and Society*, 113, 105656.

16- Kwan, M.-P., & Neutens, T. (2014). Space-time research in GIScience. *International Journal of Geographical Information Science*, 28(5), 851-854.

17- Luan, S., Li, M., Li, X., & Ma, X. (2020). Effects of built environment on bicycle wrong Way riding behavior: A data-driven approach. *Accident Analysis & Prevention*, 144, 105613.

18- Millonig, A., & Gartner, G. (2011). Identifying motion and interest patterns of shoppers for developing personalised wayfinding tools. *Journal of Location Based Services*, 5(1), 3-21.

19- Motieyan, H., Kaviari, F., & Mostofi, N. (2022). Quantifying walking capability: a novel aggregated index based on spatial perspective and analyses. *Papers in Regional Science*, 101(2), 483-504.

References

1- Bagheri, B., & Shaykh-Baygloo, R. (2021). Spatial analysis of urban smart growth and its effects on housing price: The case of Isfahan, Iran. *Sustainable Cities and Society*, 68, 102769.

2- Bhandal, J., & Noonan, R. J. (2022). Motivations, perceptions and experiences of cycling for transport: A photovoice study. *Journal of Transport & Health*, 25, 101341.

3- Bi, H., Li, A., Zhu, H., & Ye, Z. (2023). Bicycle safety outside the crosswalks: Investigating cyclists' risky street-crossing behavior and its relationship with built environment. *Journal of transport geography*, 108, 103551.

4- Bretones, A., & Marquet, O. (2022). Sociopsychological factors associated with the adoption and usage of electric micromobility. A literature review. *Transport policy*, 127, 230-249.

5- Castro, P. S., Zhang, D., & Li, S. (2012). Urban traffic modelling and prediction using large scale taxi GPS traces. *International Conference on Pervasive Computing*,

6- Chung, J., Namkung, O. S., Ko, J., & Yao, E. (2024). Cycling distance and detour extent: Comparative analysis of private and public bikes using city-level bicycle trajectory data. *Cities*, 151, 105134.

7- Codina i Lara, O. (2021). Built Environment Bikeability as a Predictor of Cycling Frequency: Lessons from Barcelona.

8- Cole-Hunter, T., Donaire-Gonzalez, D., Curto, A., Ambros, A., Valentín, A., Garcia-Aymerich, J., Martínez, D., Braun, L. M., Mendez, M., & Jerrett, M. (2015). Objective correlates and determinants of bicycle commuting propensity in an urban environment. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 40, 132-143.

9- Cubells, J., Miralles-Guasch, C., & Marquet, O. (2023). E-scooter and bike-share route choice and detours: modelling the influence of built environment and sociodemographic factors. *Journal of transport geography*, 111, 103664.

10- Desjardins, E., Higgins, C. D., Scott, D. M., Apatu, E., & Paez, A. (2021). Using environmental audits and

- 27- Ta, N., Zhao, Y., & Chai, Y. (2016). Built environment, peak hours and route choice efficiency: An investigation of commuting efficiency using GPS data. *Journal of transport geography*, 57, 161-170.
- 28- Teymourian, F., Alesheikh, A. A., Alimohammadi Sarab, A., & Sadeghi Niaraki, A. (2014). Developing a System for Measuring Transportation Performance and Information Distribution of Urban Bus using Volunteer Geographic Information (VGI). *Quarterly Journal of Transportation Engineering*, 6(2), 225-236. [In Persian]
- 29- van der Spek, S. (2010). Tracking tourists in historic city centres. In *Information and Communication Technologies in Tourism 2010* (pp. 185-196). Springer.
- 30- Ye, L., Mandpe, S., & Meyer, P. B. (2005). What is "smart growth?"—Really? *Journal of Planning Literature*, 19(3), 301-315.
- 31- Zheng, X., Zhong, T., & Liu, M. (2009). Modeling crowd evacuation of a building based on seven methodological approaches. *Building and environment*, 44(3), 437-445.
- 20- Park, Y., & Akar, G. (2019). Why do bicyclists take detours? A multilevel regression model using smartphone GPS data. *Journal of transport geography*, 74, 191-200.
- 21- Pekdemir, M. I., Altintasi, O., & Ozen, M. (2024). Assessing the Impact of Public Transportation, Bicycle Infrastructure, and Land Use Parameters on a Small-Scale Bike-Sharing System: A Case Study of Izmir, Türkiye. *Sustainable Cities and Society*, 101, 105085.
- 22- Pucher, J., & Buehler, R. (2017). Cycling towards a more sustainable transport future. *Transport reviews*, 37(6), 689-694.
- 23- Sallis, J. F., Frank, L. D., Saelens, B. E., & Kraft, M. K. (2004). Active transportation and physical activity: opportunities for collaboration on transportation and public health research. *Transportation research part A: policy and practice*, 38(4), 249-268.
- 24- Scott, D. M., Lu, W., & Brown, M. J. (2021). Route choice of bike share users: Leveraging GPS data to derive choice sets. *Journal of transport geography*, 90, 102903.
- 25- Shakeri, M., Alimohammadi, A., Sadeginiaraki, A., & Alesheikh, A. (2014). Design of a System using SDI and VGI Integration for Road Transportation. *Quarterly Journal of Transportation Engineering*, 6(1), 83-98. [In Persian]
- Sharif, M., Alesheikh, A. A., & Tashayo, B. (2019). CaFIRST: A context-aware hybrid fuzzy inference system for the similarity measure of multivariate trajectories. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, 36(6), 5383-5395.
- 26- Spaccapietra, S., Parent, C., Damiani, M. L., de Macedo, J. A., Porto, F., & Vangenot, C. (2008). A conceptual view on trajectories. *Data & knowledge engineering*, 65(1), 126-146.

COPYRIGHTS

©2025 by the authors. Published by National Geographical Organization. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons [Attribution-NoDerivs 4.0 International \(CC BY-ND 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/)

