



Behavioral Analysis of Motorcyclists Using Simulation and the Development of Behavioral Models

Hamid Reza Behnood^{1*} | Saadi Rasouli²

1. Corresponding Author, Department of Civil-Transportation, Faculty of Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. Email: behnood@eng.ikiu.ac.ir
2. Department of Civil-Transportation, Faculty of Engineering, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. Email: Saadirasouli1376@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 23 November 2025
Revised 22 December 2025
Accepted 20 February 2026
Published Online 01 June 2026

Keywords:
Behavioral models,
Motorcyclist behavior,
Motorcycle rider behavior questionnaire (MRBQ),
Simulation,
Theory of planned behavior (TPB).

ABSTRACT

The behavior of motorcyclists is one of the key determinants of traffic safety and the reduction of road accidents. Motorcycles are more at risk of accidents due to their specific characteristics, including the lack of adequate physical protection and the high mobility of drivers. A detailed analysis of the behavior of this group of road users, especially using well-known behavioral models such as the Theory of Planned Behavior (TPB) and the Motorcycle Rider Behavior Questionnaire (MRBQ), can help predict risky behaviors and improve safety policies. In addition, the use of computer simulations in the analysis of motorcyclist behavior allows for the examination of their reactions in controlled and diverse environments, which may not be possible in the real world for reasons of cost and safety. The main objective of the study is to provide a comprehensive framework for analyzing motorcycle rider behavior based on the Theory of Planned Behavior (TPB) and the Motorcycle Rider Behavior Questionnaire (MRBQ) and its application in traffic simulations. The research method is based on a literature review and selected studies are collected from reputable international databases. A review of previous studies shows that qualitative data from TPB and MRBQ can be converted into quantitative parameters using methods such as numerical scoring (Likert scale) and component weighting. When these parameters are integrated into traffic simulation models, it is possible to analyze different scenarios and predict the risk of motorcyclist behavior with higher accuracy.

Cite this article: Behnood, H. R. & Rasouli, S. (2026). Behavioral Analysis of Motorcyclists Using Simulation and the Development of Behavioral Models. *Urban Development Policy Making*, 3 (2), 187-200. DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2026.570426.1083>



© Hamid Reza Behnood, Saadi Rasouli
DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2026.570426.1083>

Introduction

Motorcyclists constitute one of the most vulnerable groups of road users, particularly in developing countries where motorcycles represent a significant share of urban traffic. Due to the lack of physical protection, high maneuverability, and frequent exposure to complex traffic environments, motorcyclists face a substantially higher risk of severe injuries and fatalities in traffic crashes. Numerous studies have emphasized that rider behavior plays a decisive role in accident occurrence and severity. Consequently, understanding and modeling motorcyclists' behavioral patterns is essential for improving traffic safety and developing effective countermeasures. Behavioral frameworks such as the Theory of Planned Behavior (TPB) and the Motorcycle Rider Behavior Questionnaire (MRBQ) have been widely applied to analyze psychological determinants and observable riding behaviors. In parallel, advances in traffic simulation technologies have provided new opportunities to examine

motorcyclist behavior under controlled and diverse traffic scenarios. This review paper aims to systematically examine the application of TPB and MRBQ in motorcyclist behavior analysis and to explore their integration with behavioral simulation approaches.

Materials and Methods

This study adopts a narrative review methodology, focusing on peer-reviewed research related to motorcyclist behavior modeling, behavioral theories, and simulation-based studies. Relevant literature was collected from major academic databases, emphasizing studies that applied TPB, MRBQ, traffic simulation models, or combinations of these approaches. The reviewed studies were categorized based on their methodological frameworks, types of simulation (microscopic, macroscopic, or agent-based), and behavioral modeling strategies. Particular attention was given to research integrating psychological models with simulation environments to enhance behavioral realism and predictive accuracy.

Results

The reviewed literature indicates that TPB is highly effective in explaining and predicting motorcyclists' risky and safe behaviors by incorporating key psychological constructs such as attitudes, subjective norms, and perceived behavioral control. Studies consistently report significant relationships between these constructs and behaviors such as speeding, helmet use, red-light violations, and aggressive maneuvers. MRBQ, as a standardized self-report instrument, has demonstrated strong capability in quantitatively identifying risky riding behaviors and classifying riders based on behavioral profiles. Simulation-based studies reveal that traditional traffic simulation models often fail to fully capture the complexity of motorcyclists' behavior when psychological and motivational factors are neglected. However, integrating TPB variables as behavioral parameters and using MRBQ-derived data to calibrate rider behavior distributions significantly improves model realism. Agent-based and rule-based simulation frameworks, in particular, have shown promising results in representing heterogeneous rider behaviors and their interactions with traffic environments. Recent studies employing machine learning and artificial intelligence further enhance predictive performance by modeling nonlinear and complex behavioral patterns.

Discussion and Conclusion

The findings of this review highlight that combining behavioral models such as TPB and MRBQ with traffic simulation constitutes a powerful and multidimensional approach to understanding motorcyclist behavior. TPB contributes valuable insights into the underlying psychological motivations driving behavior, while MRBQ provides measurable and behavior-specific indicators. When integrated into simulation environments, these models enable more accurate prediction of risky behaviors, assessment of safety interventions, and evaluation of traffic management policies under various scenarios. Despite these advantages, several challenges persist, including model complexity, limited availability of high-quality behavioral data, high computational requirements, and cultural variability affecting behavioral generalizability. Addressing these challenges requires future research to focus on developing flexible and adaptive behavioral models, expanding real-world data collection through sensors and intelligent systems, and leveraging artificial intelligence to reduce data dependency. In conclusion, the integration of behavioral theories and simulation techniques offers significant potential for advancing motorcyclist safety research. Interdisciplinary collaboration among traffic engineers, psychologists, data scientists, and policymakers is essential to develop effective, evidence-based strategies aimed at reducing motorcycle-related crashes and enhancing overall traffic safety.



رفتارشناسی موتورسیکلت سواران با استفاده از شبیه‌سازی و توسعه مدل‌های رفتاری

حمیدرضا بهنود^{۱*} | سعدی رسولی^۲

۱. نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مهندسی عمران - حمل‌ونقل، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی^(۶)، قزوین، ایران. رایانامه:

behnood@eng.ikiu.ac.ir

۲. دانشجوی دکتری تخصصی، گروه مهندسی عمران - حمل‌ونقل، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی^(۶)، قزوین، ایران. رایانامه:

Saadirasouli1376@gmail.com

چکیده

اطلاعات مقاله

رفتار موتورسیکلت سواران یکی از عوامل کلیدی تعیین‌کننده در ایمنی ترافیکی و کاهش تصادفات جاده‌ای به شمار می‌آید. موتورسیکلت‌ها به دلیل ویژگی‌های خاص خود، از جمله نبود محافظ فیزیکی مناسب و تحرک بالای رانندگان، بیشتر در معرض خطر حوادث قرار دارند. تحلیل دقیق رفتار این گروه از کاربران راه، به‌ویژه با استفاده از مدل‌های رفتاری شناخته‌شده مانند نظریه رفتار برنامه‌ریزی‌شده (TPB) و پرسشنامه رفتار راننده موتورسیکلت (MRBQ)، می‌تواند به پیش‌بینی رفتارهای پرخطر و بهبود سیاست‌های ایمنی کمک کند. علاوه بر این، استفاده از شبیه‌سازی‌های کامپیوتری در تحلیل رفتار موتورسیکلت سواران، امکان بررسی واکنش‌های آنان در محیط‌های کنترل‌شده و متنوع را فراهم می‌کند که در دنیای واقعی ممکن است به دلایل هزینه و ایمنی قابل انجام نباشد. هدف اصلی مطالعه، ارائه چارچوبی جامع برای تحلیل رفتار رانندگان موتورسیکلت بر اساس نظریه رفتار برنامه‌ریزی‌شده (TPB) و پرسشنامه رفتار راننده موتورسیکلت (MRBQ) و اعمال آن در شبیه‌سازی‌های ترافیکی است. روش پژوهش مبتنی بر مرور ادبیات سیستماتیک است و مطالعات منتخب از پایگاه‌های معتبر بین‌المللی جمع‌آوری شده‌اند. مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد داده‌های کیفی حاصل از TPB و MRBQ می‌توانند با استفاده از روش‌هایی مانند نمره‌دهی عددی (Likert scale) و وزن‌دهی مؤلفه‌ها به پارامترهای کمی تبدیل شوند. وقتی این پارامترها در مدل‌های شبیه‌سازی ترافیک ادغام شوند، امکان تحلیل سناریوهای مختلف و پیش‌بینی ریسک رفتار موتورسیکلت سواران با دقت بیشتری فراهم می‌شود. ترکیب داده‌های روانشناختی با مدل‌های شبیه‌سازی می‌تواند ابزاری مؤثر برای تحلیل و پیش‌بینی رفتار موتورسواران و طراحی سیاستگذاری‌های ایمنی شهری باشد.

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۹/۰۱

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۱۰/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۲/۰۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۵/۰۳/۱۱

کلیدواژه:

پرسشنامه رفتار راننده موتورسیکلت (MRBQ)، رفتار موتورسیکلت سواران، شبیه‌سازی، مدل‌های رفتاری، نظریه رفتار برنامه‌ریزی‌شده (TPB).

استناد: بهنود، حمیدرضا و رسولی، سعدی (۱۴۰۵). رفتارشناسی موتورسیکلت سواران با استفاده از شبیه‌سازی و توسعه مدل‌های رفتاری. *سیاستگذاری پیشرفت شهری*،

۳ (۲) ۱۸۷-۲۰۰.

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2026.570426.1083>

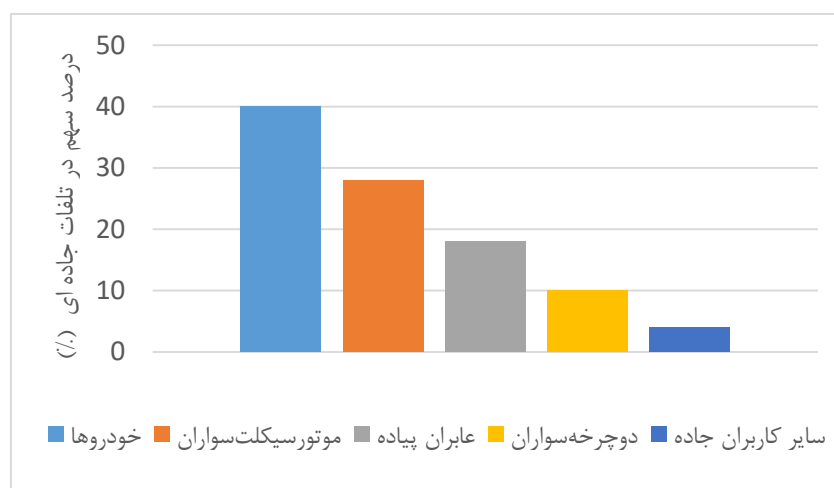
© حمیدرضا بهنود، سعدی رسولی

DOI: <http://doi.org/10.22034/judpm.2026.570426.1083>



۱. مقدمه

موتورسیکلت‌ها به عنوان یکی از وسایل نقلیه پرکاربرد به‌ویژه در کشورهای درحال توسعه، سهم قابل توجهی از ترافیک شهری را به خود اختصاص داده‌اند [۱]. این وسایل نقلیه به دلیل وزن کم، تحرک بالا و توانایی عبور از ترافیک سنگین، جذابیت زیادی برای کاربران دارند؛ اما همین ویژگی‌ها باعث افزایش آسیب‌پذیری آن‌ها در برابر حوادث و تصادفات نیز شده است [۲]. طبق گزارش سازمان جهانی بهداشت، موتورسیکلت‌سواران در بسیاری از کشورها بیشترین سهم را در آمار مرگ‌ومیر ناشی از تصادفات جاده‌ای دارند [۲]. شکل ۱ سهم موتورسیکلت‌سواران در تلفات جاده‌ای نسبت به سایر وسایل نقلیه را نشان می‌دهد.



شکل ۱. سهم موتورسیکلت‌سواران در تلفات جاده‌ای نسبت به سایر وسایل نقلیه [۲]

رفتار موتورسیکلت‌سواران از جمله عوامل مهم در وقوع تصادفات است و تحلیل دقیق آن می‌تواند به شناسایی عوامل مؤثر و طراحی مداخلات پیشگیرانه کمک کند [۳]. مدل‌های رفتاری مانند: نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده (TPB)^۱ که توسط ایژن (۱۹۹۱) معرفی شده است، با تمرکز بر نگرش‌ها، هنجارهای ذهنی و کنترل رفتاری ادراک‌شده، چارچوبی مناسب برای درک انگیزه‌های رفتاری رانندگان فراهم می‌آورد [۴]. همچنین، پرسشنامه رفتار راننده موتورسیکلت (MRBQ)^۲ نیز ابزاری استاندارد برای ارزیابی رفتارهای مشاهده‌شده و قابل اندازه‌گیری موتورسیکلت‌سواران کاربرد دارد [۵].

پیشرفت فناوری‌های شبیه‌سازی کامپیوتری باعث شده است که این ابزارها، در تحلیل رفتار کاربران راه، به‌ویژه موتورسیکلت‌سواران، به طور فزاینده‌ای مورد استفاده قرار گیرند [۶]. شبیه‌سازی، امکان بررسی واکنش‌های کنترل‌شده و سناریوهای متنوع را فراهم کرده و در کنار مدل‌های رفتاری، به پیش‌بینی دقیق‌تر رفتار موتورسیکلت‌سواران کمک می‌کند [۷]. بنابراین، تلفیق روانشناسی رفتاری و مهندسی ترافیک، تحلیل دقیق و جامع رفتار رانندگان موتورسیکلت را ممکن می‌سازد [۸].

۱-۱. هدف پژوهش

هدف این مطالعه، ارائه چارچوبی یکپارچه برای تحلیل رفتار موتورسواران با استفاده از مدل‌های رفتاری TPB و MRBQ و اعمال آن در شبیه‌سازی ترافیکی است تا امکان پیش‌بینی رفتارهای پرخطر و طراحی مداخلات ایمنی فراهم شود.

۲. روش مرور ادبیات

این مطالعه با استفاده از مرور ترکیبی ادبیات سیستماتیک و رویکرد روایتی^۳، طراحی شده است تا پژوهش‌های مرتبط با رفتار موتورسیکلت‌سواران، مدل‌های رفتاری TPB و MRBQ و کاربرد آن‌ها در شبیه‌سازی ترافیکی به صورت جامع بررسی شوند.

1. Theory of Planned Behavior

2. Motorcycle Rider Behavior Questionnaire

3. Narrative Review

۲-۱. پایگاه‌ها و منابع اطلاعاتی

مطالعات منتخب از پایگاه‌های علمی معتبر بین‌المللی شامل Scopus، Web of Science، IEEE Xplore و Google Scholar جمع‌آوری شده‌اند.

۲-۲. معیارهای انتخاب مطالعات

- برای انتخاب مطالعات، معیارهای زیر لحاظ شد:
- تمرکز پژوهش بر رفتار موتورسیکلت سواران
- کاربرد نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده (TPB) و پرسشنامه رفتار راننده موتورسیکلت (MRBQ)
- انتشار بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۵
- دسترسی به متن کامل مقاله
- ارائه نتایج کمی یا کیفی مرتبط با رفتار موتورسیکلت سواران

۲-۳. دسته‌بندی مطالعات

- مطالعات مورد بررسی بر اساس موارد زیر دسته‌بندی شدند:
- چارچوب روش‌شناسی: کیفی، کمی یا ترکیبی
- نوع شبیه‌سازی: میکروسکوپی، ماکروسکوپی و مبتنی بر عامل^۱
- استراتژی مدل‌سازی رفتاری: TPB، MRBQ و تلفیقی

۲-۴. روش تحلیل داده‌ها

- مطالعات جمع‌آوری شده به‌دقت بررسی و خلاصه‌سازی شدند تا:
- نحوه کاربرد TPB و MRBQ در شبیه‌سازی رفتار موتورسیکلت سواران مشخص شود.
- شکاف‌ها و محدودیت‌های پژوهشی شناسایی شود.
- ارتباط بین داده‌های روانشناختی و نتایج شبیه‌سازی روشن شود.

۲-۵. اعتبار و قابلیت اعتماد

تمامی مقالات از نشریات داوری‌شده معتبر انتخاب شدند. همچنین، تلاش شد تا مطالعات مروری و تجربی در کنار هم بررسی شوند تا دید جامع و انتقادی نسبت به موضوع ارائه شود. لذا، برای افزایش اعتبار و قابل اعتماد بودن، مطالعات مورد بررسی شامل مقالات تجربی و مروری بودند و پایایی داده‌های TPB و MRBQ مورد بررسی قرار گرفت تا تحلیل‌ها مبتنی بر اطلاعات معتبر باشد.

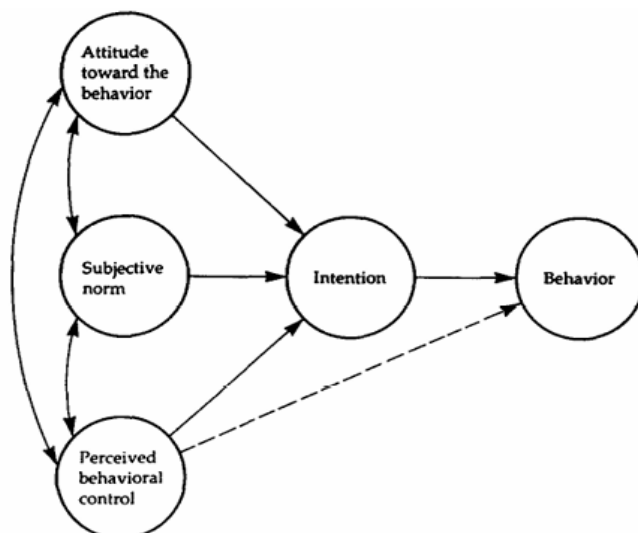
۳. مرور ادبیات و پیشینه پژوهش‌ها

در این بخش، تمامی پژوهش‌های مرتبط با رفتار موتورسیکلت سواران و کاربرد مدل‌های TPB و MRBQ به صورت یکپارچه و منسجم بررسی می‌شوند تا دیدگاه جامعی از وضعیت تحقیقاتی موجود ارائه شود. تمام مطالعات پیشین مرتبط با رفتار موتورسیکلت سواران در این بخش به صورت یکپارچه ارائه شده‌اند تا از پراکندگی و تکرار غیر ضروری جلوگیری شود.

۳-۱. نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده (TPB)

نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده که توسط ایجنزن (۱۹۹۱) مطرح شده است، یکی از چارچوب‌های پرکاربرد در تحلیل رفتارهای انسانی است. این نظریه بیان می‌کند که رفتار فرد تحت تأثیر سه عامل اصلی است [۴ و ۱۸].

- نگرش نسبت به رفتار: ارزیابی‌های فرد از نتایج انجام یک رفتار و ارزش آن.
 - هنجارهای ذهنی: فشارهای اجتماعی و انتظاراتی که فرد از سوی دیگران احساس می‌کند.
 - کنترل رفتاری ادراک‌شده: باور فرد درباره توانایی خود در انجام یا کنترل رفتار.
 این سه عامل بر نیت رفتاری^۱ تأثیر می‌گذارند که مستقیم رفتار را پیش‌بینی می‌کند [۴]. شکل ۲ چهارچوب مفهومی نظریه رفتار برنامه‌ریزی شده که در سال ۱۹۹۱ توسط Ajzen نوشته شده است را نشان می‌دهد.



شکل ۲. چهارچوب مفهومی نظریه TPB [۴]

۳-۱-۱. کاربرد TPB در رفتار موتورسیکلت‌سواران

مطالعات متعدد نشان داده‌اند نگرش مثبت به رانندگی ایمن، هنجارهای اجتماعی حمایت‌کننده و کنترل رفتاری بالا می‌توانند رفتارهای پرخطر را کاهش دهند. افزودن متغیرهای محیطی و کنترل رفتاری واقعی به مدل TPB باعث افزایش دقت پیش‌بینی رفتار می‌شود [۹ - ۱۳].

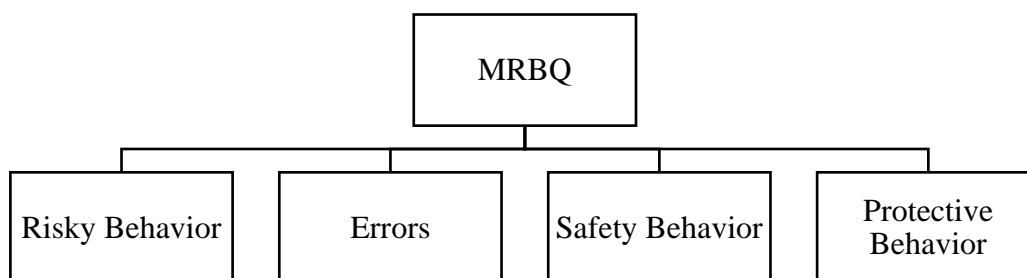
۳-۲. پرسشنامه رفتار راننده موتورسیکلت (MRBQ)

پرسشنامه رفتار راننده موتورسیکلت ابزاری استاندارد و معتبر برای اندازه‌گیری رفتارهای خاص موتورسیکلت‌سواران است که شامل چند زیرمقیاس می‌شود [۲۲].

- رفتارهای پرخطر و خطاها مانند سرعت غیرمجاز، سبقت غیرمجاز، عبور از چراغ قرمز و رانندگی در حالت مستی.
- رفتارهای ایمن مانند استفاده از کلاه ایمنی و رعایت قوانین راهنمایی و رانندگی.
- رفتارهای محافظتی و واکنشی نسبت به شرایط راه و محیط.

این پرسشنامه مبتنی بر خوداظهاری است و امکان تحلیل دقیق و کمی رفتارهای مختلف رانندگان موتورسیکلت را فراهم می‌کند. مطالعات قبلی نشان داده‌اند MRBQ می‌تواند رفتارهای پرخطر را به‌خوبی شناسایی و با وقوع تصادفات مرتبط سازد [۲۳].

شکل ۳ یک نمونه از طرح کلی ساختار پرسش‌نامه رفتار راننده موتورسیکلت (MRBQ) را در رفتار موتورسیکلت‌سواران نشان می‌دهد.



شکل ۳. ساختار پرسش‌نامه MRBQ در رفتارشناسی موتورسیکلت سواران [۵]

۳-۳. تلفیق مدل‌های TPB و MRBQ

ترکیب دو مدل TPB و MRBQ می‌تواند به تحلیل جامع‌تر از رفتار موتورسیکلت سواران منجر شود. در این رویکرد: TPB به بررسی انگیزه‌ها و عوامل روانشناختی می‌پردازد.

MRBQ رفتارهای مشاهده‌شده را به صورت کمی و قابل تحلیل آماری ارائه می‌کند.

این تلفیق در پژوهش‌های مختلف به توسعه مدل‌های رفتاری دقیق‌تر و کاربردی‌تر کمک کرده است [۲۶]. برای مثال، Vu و همکاران (۲۰۲۳) به بررسی چالش‌های مدل‌سازی رفتار موتورسیکلت سواران در محیط‌های شبیه‌سازی پرداختند و پیشنهاد کردند که تلفیق مدل‌های رفتاری می‌تواند واقع‌گرایی این مدل‌ها را افزایش دهد [۱۲]. Wahab و همکاران (۲۰۱۹) نیز با استفاده از الگوریتم‌های یادگیری ماشین، پیش‌بینی‌های دقیقی از رفتارهای متنوع موتورسیکلت سواران ارائه کرده‌اند [۳۳]. جدول ۱ مقایسه‌ای کلی از ویژگی‌ها، مزایا و محدودیت‌های مدل‌های رفتاری TPB و MRBQ در تحلیل رفتار موتورسیکلت سواران را گزارش می‌کند [۴، ۵، ۱۵ و ۲۴].

جدول ۱. مقایسه ویژگی‌ها، مزایا و محدودیت‌های مدل‌های رفتاری TPB و MRBQ در تحلیل رفتار موتورسیکلت سواران

ویژگی	MRBQ	TPB
نوع مدل	ابزار پرسشنامه‌ای	روانشناختی - مفهومی
متغیرهای اصلی	خطاها، تخلفات، رفتارهای ایمن	نگرش، هنجار ذهنی، کنترل رفتاری ادراک‌شده
نوع داده	خوداظهاری - رفتاری	خوداظهاری - ادراکی
سطح تحلیل	رفتار مشاهده‌شده	تمایل رفتاری
قدرت پیش‌بینی	بالا برای شناسایی رفتار پرخطر	بالا برای پیش‌بینی تمایل
کاربرد اصلی	ارزیابی کمی رفتار رانندگی	تحلیل انگیزه‌ها و تصمیم‌گیری
محدودیت‌ها	سوگیری پاسخ‌دهی	عدم ثبت رفتار واقعی

۳-۴. کاربرد مدل‌های رفتاری در مطالعات ایمنی ترافیک

مدل‌های رفتاری TPB و MRBQ در مطالعات متعددی برای پیش‌بینی رفتارهای پرخطر و طراحی مداخلات آموزشی و سیاست‌های ترافیکی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. این مدل‌ها با کمک داده‌های میدانی و شبیه‌سازی، امکان تحلیل رفتار تحت شرایط مختلف ترافیکی را فراهم می‌کنند [۲۷]. مطالعاتی مانند Alghamdi و همکاران (۲۰۲۱) و Laphrom و همکاران (۲۰۲۴) تأکید کرده‌اند که تلفیق مدل‌های TPB و MRBQ با شبیه‌سازی می‌تواند به نتایجی منجر شود که علاوه بر رفتار مشاهده‌شده، انگیزه‌ها و نگرش‌های پشت آن را نیز در نظر می‌گیرند. این رویکرد موجب افزایش دقت پیش‌بینی و امکان طراحی سیاست‌های هدفمندتر شده است [۷ و ۲۸].

شبیه‌سازی رفتار موتورسیکلت سواران به عنوان یکی از روش‌های مؤثر در تحلیل دقیق و پیش‌بینی رفتارهای پیچیده این گروه از کاربران راه، در سال‌های اخیر توجه زیادی را به خود جلب کرده است. تفاوت‌های بنیادین رفتار موتورسیکلت سواران نسبت به رانندگان خودروها و حساسیت بالای آنان به شرایط محیطی، اهمیت استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی واقع‌گرایانه را دوچندان کرده است [۸]. شکل ۴ روش‌های مختلفی از شبیه‌سازی رفتار موتورسیکلت سواران در مطالعات قبلی را نشان می‌دهد.



شکل ۴. حالت‌های مختلف شبیه‌سازی رفتار موتورسیکلت‌سواران [۹ و ۱۰]

مطالعات متعددی به‌کارگیری مدل‌های مبتنی بر قواعد رفتاری^۱ را برای شبیه‌سازی رفتار موتورسیکلت‌سواران نشان داده‌اند در آن‌ها واکنش‌ها و تصمیمات راننده بر اساس قوانین از پیش تعریف شده مدل‌سازی می‌شود [۸]. همچنین، استفاده از روش‌های یادگیری ماشین و هوش مصنوعی برای پیش‌بینی رفتارهای پیچیده و غیرخطی موتورسیکلت‌سواران در حال افزایش است [۱۴].

۳-۵. جمع‌بندی مرور ادبیات

مرور مطالعات پیشین نشان می‌دهد:

- مدل‌ها رفتاری TPB و MRBQ، ابزارهای مؤثری برای تحلیل رفتار موتورسیکلت‌سواران هستند.
- تلفیق این مدل‌ها با شبیه‌سازی، دقت پیش‌بینی رفتار و تحلیل سناریوهای ترافیکی را افزایش می‌دهد.
- استفاده از داده‌های میدانی و تکنیک‌های پیشرفته مانند هوش مصنوعی، باعث بهبود واقع‌گرایی و کاربرد مدل‌ها در سیاستگذاری می‌شود.

مطالعات Yang و همکاران (۲۰۲۵) و Wahab و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد تلفیق داده‌های روانشناختی با شبیه‌سازی، واقع‌گرایی و دقت پیش‌بینی را افزایش می‌دهد [۸ و ۱۷]، در حالی که برخی مطالعات دیگر هنوز محدودیت‌های داده‌ای را گزارش کرده‌اند [۱۰ و ۲۴].

۴. روش پژوهش و تلفیق مدل‌های رفتاری TPB و MRBQ در شبیه‌سازی رفتار موتورسیکلت‌سواران

۴-۱. ضرورت تلفیق مدل‌های رفتاری با شبیه‌سازی

تحلیل رفتار موتورسیکلت‌سواران تنها با استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی سنتی، به دلیل پیچیدگی رفتار انسانی و تأثیر عوامل روانشناختی، اغلب نتایج محدودی ارائه می‌دهد. تلفیق TPB و MRBQ با شبیه‌سازی، امکان بررسی دقیق‌تر رفتارهای فردی و گروهی موتورسیکلت‌سواران را فراهم می‌کند و دقت پیش‌بینی در سناریوهای مختلف ترافیکی افزایش می‌یابد [۲۷ - ۲۹]. مزایای اصلی این تلفیق عبارت‌اند از:

- واقع‌گرایی بیشتر مدل‌ها: در نظر گرفتن انگیزه‌ها و رفتارهای واقعی رانندگان
- شناسایی رفتارهای پرخطر: بررسی تأثیر رفتارهای پرخطر در سناریوهای مختلف ترافیکی
- ارزیابی مداخلات: امکان تحلیل اثر سیاست‌ها و آموزش‌ها بر کاهش رفتارهای پرخطر

۴-۲. روش‌های تلفیق مدل‌های رفتاری با شبیه‌سازی

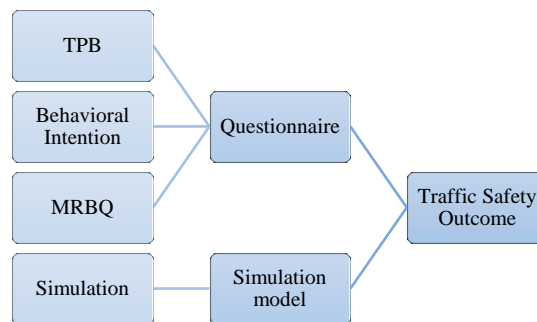
برای تبدیل داده‌های کیفی مدل‌های رفتاری TPB و MRBQ به پارامترهای کمی قابل استفاده در شبیه‌سازی، از مراحل زیر استفاده شد:

- **نمره‌دهی مؤلفه‌ها:** پاسخ‌های پرسشنامه MRBQ و مقیاس TPB در قالب نمرات عددی استاندارد (لیکرت ۱ تا ۵) تبدیل شوند. به عنوان مثال، اگر یک شرکت‌کننده در مقیاس لیکرت از ۱ تا ۵، امتیاز ۴ برای نگرش مثبت به رانندگی ایمن بدهد این نمره با وزن اختصاص یافته به مؤلفه‌ها ترکیب شده و به پارامتر ورودی شبیه‌سازی تبدیل می‌شود.

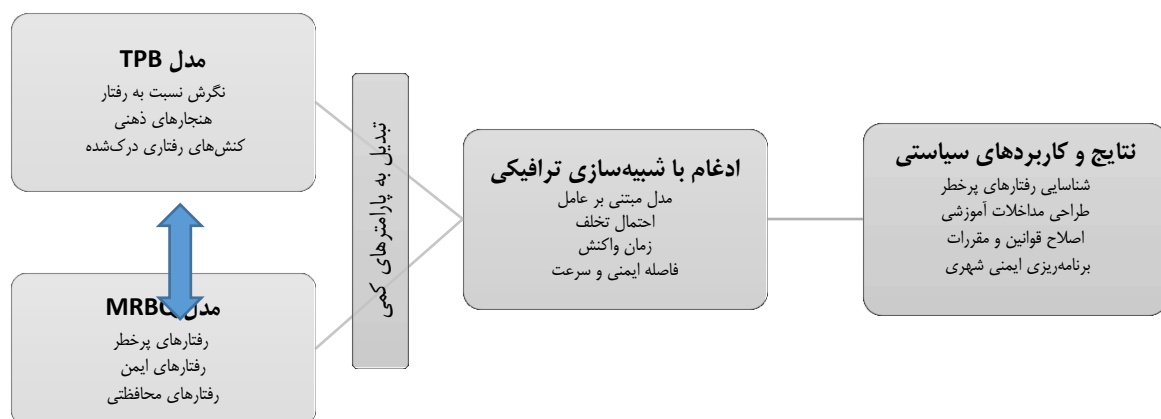
- وزن‌دهی مؤلفه‌ها: با استفاده از روش‌هایی مانند: تحلیل چندمعیاره (AHP) و مدل رگرسیون، اهمیت هر مؤلفه در رفتار واقعی رانندگی موتورسواران بررسی شود.
- یکپارچه‌سازی با شبیه‌سازی: پارامترهای وزن‌دهی شده به نرم‌افزارهای شبیه‌سازی ترافیک (VISSIM/AnyLogic) منتقل خواهند شد تا رفتار موتورسواران در سناریوهای مختلف شهری شبیه‌سازی شود.
- شبیه‌سازی عامل‌محور: هر موتورسیکلت‌سوار به عنوان یک عامل مستقل در محیط شبیه‌سازی، تعریف شده و رفتار آن با ترکیب داده‌های TPB و MRBQ تعیین می‌شود.
- اعتبارسنجی: نتایج شبیه‌سازی با داده‌های واقعی تصادفات و رفتار موتورسواران در مطالعات پیشین مقایسه خواهد شد تا اعتبار مدل بررسی شود.

۳-۴. الگوریتم پیشنهادی برای تلفیق

روش‌های مختلفی برای ادغام این مدل‌ها وجود دارد، از جمله مدل‌های مبتنی بر قواعد رفتاری^۱، مدل‌های یادگیری ماشین و شبیه‌سازی مبتنی بر عامل^۲ که در آن هر موتورسیکلت‌سوار به عنوان یک عامل مستقل با رفتارهای تعیین شده توسط مدل‌های رفتاری شبیه‌سازی می‌شود [۲۷ و ۳۲]. شکل ۵ الف- یک نمونه مفهومی کلی از تلفیق مدل‌های رفتاری با شبیه‌سازی در زمینه رفتارشناسی موتورسیکلت‌سواران را نشان می‌دهد. همچنین، شکل ۵ ب- یک نمونه از ورود/ادغام این مدل‌ها در/به شبیه‌سازی رفتار موتورسیکلت‌سواران و نتایج آن را نشان می‌دهد.



(الف)



(ب)

شکل ۵. الف) تلفیق مدل‌های رفتاری و شبیه‌سازی [۲۶ و ۲۷]؛ ب) شیوه ادغام مدل‌های رفتاری با شبیه‌سازی رفتار موتورسواران و نتایج آن [۱۱، ۱۷ و ۳۱]

1. Rule-based models
2. Agent-based simulation

۴-۴. نمونه‌های پژوهشی

مطالعه Yang و همکاران (۲۰۲۵) نشان داد تلفیق TPB با شبیه‌سازی، پیش‌بینی دقیق‌تری از رفتار موتورسیکلت‌سواران در شرایط مختلف ترافیکی ارائه می‌دهد [۲۶]. همچنین، Wahab و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از یادگیری ماشین توانسته‌اند رفتار پیچیده موتورسیکلت‌سواران را به‌خوبی مدل‌سازی کنند [۳۳].

۵. نتایج و تحلیل‌ها

تحلیل مطالعات پیشین و داده‌های شبیه‌سازی نشان می‌دهد ترکیب مدل‌های روانشناختی TPB و MRBQ با شبیه‌سازی، امکان پیش‌بینی دقیق رفتارهای پرخطر موتورسیکلت‌سواران را فراهم می‌کند. برخی نتایج کلیدی حاصل از مرور مطالعات پیشین به شرح زیر است:

- تأثیر مؤلفه‌های TPB

نگرش مثبت به رانندگی ایمن و کنترل رفتاری ادراک‌شده بیشترین تأثیر را در کاهش رفتارهای پرخطر مانند سرعت غیرمجاز و سبقت غیرمجاز دارند. هنجارهای ذهنی نیز نقش مهمی در رفتارهای گروهی و تعامل با سایر رانندگان دارند.

- کاربرد داده‌های MRBQ

MRBQ امکان تبدیل رفتارهای مشاهده‌شده به داده‌های کمی را فراهم کرده و با شبیه‌سازی عامل‌محور، رفتارهای واقعی رانندگان موتورسیکلت در سناریوهای مختلف قابل تحلیل است. تلفیق نمرات MRBQ با پارامترهای شبیه‌سازی باعث افزایش واقع‌گرایی مدل و توان پیش‌بینی رفتارهای غیرخطی می‌شود.

- تحلیل نتایج شبیه‌سازی

شبیه‌سازی نشان می‌دهد اعمال مداخلات آموزشی و سیاست‌های ترافیکی مبتنی بر رفتارشناسی، می‌تواند به کاهش قابل توجه رفتارهای پرخطر منجر شود.

سناریوهای مختلف ترافیکی (ترافیک سنگین، تقاطع‌های پرخطر، شرایط محیطی متفاوت) به‌وضوح نشان می‌دهند مدل‌های ترکیبی TPB+MRBQ رفتارهای متنوع موتورسیکلت‌سواران را بهتر شبیه‌سازی می‌کنند. اگرچه مدل TPB+MRBQ رفتارهای متنوع را با دقت بالایی شبیه‌سازی می‌کند، رفتارهای غیرخطی و پیچیده‌ای وجود دارد که به دلیل محدودیت داده‌های واقعی و تنوع فرهنگی، هنوز پیش‌بینی آن‌ها با دقت کامل امکان‌پذیر نیست [۱۷ و ۲۳].

- همخوانی با مطالعات پیشین

نتایج حاصل با پژوهش‌های گذشته مانند Vu و همکاران (۲۰۲۳) و Wahab و همکاران (۲۰۱۹) همسو است و اهمیت ترکیب داده‌های روانشناختی با شبیه‌سازی را تأیید می‌کند.

۶. بحث و نتیجه‌گیری

ترکیب مدل‌های رفتاری TPB و MRBQ با شبیه‌سازی، یک رویکرد چندبعدی برای درک و پیش‌بینی رفتار موتورسیکلت‌سواران ارائه می‌دهد.

۶-۱. مزایا و بینش‌ها

شبیه‌سازی‌های عامل‌محور با داده‌های TPB و MRBQ امکان تحلیل رفتار فردی و گروهی رانندگان موتورسیکلت را در شرایط مختلف فراهم می‌کنند. تلفیق این دو رویکرد موجب افزایش دقت پیش‌بینی رفتارهای پرخطر و طراحی سیاست‌های هدفمند ایمنی شهری می‌شود.

این نتایج می‌تواند به طراحی آموزش‌ها و سیاست‌های ایمنی شهری هدفمند، از جمله تعیین مناطق پرخطر و مداخلات رفتاری مبتنی بر داده کمک کند.

۶-۲. چالش‌ها و محدودیت‌ها

- پیچیدگی مدل‌ها: تلفیق مدل‌های رفتاری با شبیه‌سازی نیازمند پارامترهای متعدد و داده‌های گسترده است که مدل‌سازی را پیچیده و زمان‌بر می‌کند [۳۴ و ۳۵].
- کمبود داده‌های معتبر: بسیاری از مطالعات با محدودیت دسترسی به داده‌های دقیق و واقعی رفتار موتورسیکلت سواران مواجه هستند که این موضوع بر صحت نتایج تأثیرگذار است [۳۶].
- نیاز به توان محاسباتی بالا: شبیه‌سازی‌های پیشرفته با مدل‌های رفتاری ترکیبی نیازمند توان محاسباتی بالا و زمان اجرای طولانی است که در کاربردهای عملی چالش برانگیز است [۳۷].
- محدودیت در تعمیم‌پذیری: مدل‌های رفتاری ممکن است تحت تأثیر فرهنگ و شرایط محلی باشند و نتایج آن‌ها برای همه مناطق قابل تعمیم نباشد [۳۸].
- همچنین، باید توجه داشت که برخی مؤلفه‌های رفتاری در مدل‌های TPB و MRBQ ممکن است تحت تأثیر تفاوت‌های فرهنگی و محیطی متفاوت باشند و تعمیم نتایج به تمامی مناطق، بدون داده محیط معتبر، محدودیت دارد.

۶-۳. توصیه‌ها و چشم‌انداز آینده

- توسعه مدل‌های انعطاف‌پذیر: ایجاد مدل‌هایی با قابلیت تنظیم پارامترها بر اساس داده‌های محیطی و فرهنگی مختلف برای افزایش تعمیم‌پذیری [۳۹]. اولویت پژوهش‌های آینده می‌تواند به ترتیب جمع‌آوری داده‌های میدانی واقعی، توسعه مدل‌های دینامیکی و تعاملی و بهره‌گیری از هوش مصنوعی برای کاهش نیاز به داده‌های گسترده باشد.
 - استفاده از فناوری‌های نوین: بهره‌گیری از هوش مصنوعی و یادگیری ماشین برای بهبود پیش‌بینی رفتار و کاهش نیاز به داده‌های گسترده [۳۳].
 - جمع‌آوری داده‌های میدانی گسترده‌تر: استفاده از سنسورها، دوربین‌ها و دستگاه‌های هوشمند برای دسترسی به داده‌های واقعی رفتار موتورسیکلت سواران [۴۰].
 - مدل‌سازی دینامیکی و تعاملی: شبیه‌سازی تعاملات پیچیده بین موتورسیکلت سواران و سایر کاربران راه برای بهبود مدیریت ترافیک و ایمنی [۱۲].
 - همکاری‌های بین‌رشته‌ای: ادغام دانش روانشناسی، مهندسی ترافیک، علوم داده و سیاستگذاری برای توسعه راهکارهای جامع و کارآمد [۴۱].
- در نتیجه، تلفیق داده‌های روانشناختی و شبیه‌سازی، می‌تواند ابزار قدرتمندی برای طراحی مداخلات آموزشی و سیاست‌های پیشگیرانه باشد و نقش مهمی در کاهش تصادفات موتورسیکلت سواران ایفا کند. در نهایت، موفقیت در این حوزه نیازمند همکاری میان‌رشته‌ای گسترده است که بتواند از طریق ترکیب دانش روانشناسی، مهندسی، علوم داده و سیاستگذاری، راهکارهای کارآمدی برای ارتقای ایمنی موتورسیکلت سواران و کاهش تصادفات ارائه دهد.

منابع

1. *Compliance of Proper Safety Helmet Usage in Motorcyclists*. Kulanthayan, S, 55(1), 40-44.
2. WHO, V. *GLOBAL STATUS REPORT ON ROAD SAFETY*. 2018.
3. *Identify Factors that Contribute to the Severity of Motorcycle Crash: A Scientometric Analysis*. Hashim, Istabrak Naseer and Obaid, Ihsan Ali. 2024, Journal of University of Babylon for Engineering Sciences, Vol. (4)32, pp. 159-171.
4. *The Theory of Planned Behavior*. AJZEN , ICEK. 2, 1991 ,Organizational behavior and human decision processes, Vol. 50, pp. 179-211
5. *Errors and violations in relation to motorcyclists' crash risk*. Elliott, Mark A., Baughan, Christopher J. and Sexton, Barry F. 2007, Accident Analysis and Prevention, Vol. 39, pp. 491-499.
6. *Driving-Pattern Identification and Event Detection Based on an Unsupervised Learning Framework: Case of a Motorcycle-Riding Simulator*. BOUAOUNI, MOHAMED YACINE, YAHIA, RAYANE AIT ALI و BOUBEZOUL, ABDERRAHMANE. 2021 ,IEEE Access, Vol. 9, pp., 158456-158469.
7. *A Comparative Study on Traffic Modeling Techniques for Predicting and Simulating Traffic Behavior*. Alghamdi, Taghreed, et al. 10, 2021, Future Internet, Vol. 14.
8. *Modeling Riding and Stopping Behaviors at Motorcycle Box Intersections: A Case Study in Chiang Mai City, Thailand*. Wichitphongsa, Wachira, et al. 4, 2025, Infrastructures, Vol. 10.
9. *Investigating the effect of blood alcohol concentration on motorcyclist's riding performance using an advanced motorcycle simulator*. Vu, Anh Tuan, et al. 2020, Transportation Research Part F, Vol. 73, pp. 1-14.
10. *Effects of within-day intervals on adaptation to visually induced motion sickness in a virtual-reality motorcycling simulator*. Kasegawa, Chihiro, et al. 1, 2024, Scientific reports, Vol. 14.
11. *Identifying the role of route choice behavior of motorcycle riders in microscopic simulation modeling under mixed traffic conditions*. Fadilah, Siti Raudhatul, Nishiuchi, Hiroaki و Ngoc, An Minh. 2024 ,Transportation Research Interdisciplinary Perspectives, , Vol. 28.
12. *Microscopic Simulation Model for Motorcycle Dominated Networks: A Case Study of a VISSIM Simulation Model for a Mixed Traffic Corridor*. Vu, Tam and Preston, John. 1, 2023, In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Vol. 1289 .
13. *A Comprehensive Review on the Behaviour of Motorcyclists: Motivations, Issues, Challenges, Substantial Analysis and Recommendations*. Abdulwahid, Sarah Najm, et al. 6, 2022, International journal of environmental research and public health, Vol. 19.
14. *Modeling Motorcyclists' Aggressive Driving Behavior Using Computational and Statistical Analysis of Real-Time Driving Data to Improve Road Safety and Reduce Accidents*. Abdulwahid, Sarah Najm, .13 ,2022 ,International journal of environmental research and public health, Vol. 19
15. *Motorcycle accidents, rider behaviour, and psychological models*. Özkan, Türker, 2012 Accident Analysis and Prevention, Vol. 49, pp., 124-132.
16. *Motorcycle Riding Simulator Controllability and Simulator Sickness: A Proof-of-Concept System*. Michel, Pauline, Espie, Stéphane and Bouaziz, Samir. 2021, In 11th International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications (SIMULTECH 2021), pp. 406-413.
17. *An operational simulation framework for modelling the multi-interaction of two-wheelers on mixed-traffic road segments*. Ni, Ying, 2023 Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, , Vol. 611, pp. 128441.
18. *Knowledge and the Prediction of Behavior: The Role of Information Accuracy in the Theory of Planned Behavior*. Ajzen, Icek, et al. 2, 2011, Basic and applied social psychology, Vol. 33, pp. 101-117.
19. *Using the theory of planned behaviour to predict observed driving behaviour*. Elliott, Mark A., Armitage, Christopher J. and Baughan, Christopher J. 1, 2007, British journal of social psychology, Vol. 46, pp. 69-90.

20. *THEORY OF PLANNED BEHAVIOR APPLICATION ON MOTORCYCLE RIDER SAFETY BEHAVIOR*. Jalaludin, Jalaludin, Widyaningsih, Nunung and Dwiatmoko, Hermanto. 1, 2021, Astonjadro, CEAESJ, Vol. 11, pp. 198-206.
21. *Exploring the Factors Accelerating the Electric Motorcycle Adoptions: Insights from Theory of Planned Behavior and Travel Behavior*. Aditya, Muhammad Hafiz, Yuniaristanto و Sutopo, Wahyudi. 1, 2024, Automotive Experiences, Vol. 70, pp. 171-188.
22. *The Motorcycle Rider Behavior Questionnaire: Psychometric properties and application amongst novice riders in Australia*. Sakashita, Chika, et al. 2014, Transportation Research Part F, Vol. 22, pp. 126-139.
23. *Investigating the relationship between self-reported (near) crashes, fined traffic offences, and risky riding behaviours among Flemish motorcyclists using the Motorcycle Rider Behaviour Questionnaire*. Schreurs, K. Vandael, Ross, V. and Brijs, K. 2023, Transportation research part F: traffic psychology and behaviour, Vol. 98, pp. 337-353.
24. *RELATIONSHIPS BETWEEN THE MOTORCYCLISTS' BEHAVIOURAL PERCEPTION AND THEIR ACTUAL BEHAVIOUR*. Topolšek, Darja and Dragan, Dejan. 1, 2018, Transport, Vol. 33, pp. 151-164.
25. *Investigating on-road crash risk and traffic offences in Vietnam using the motorcycle rider behaviour questionnaire (MRBQ)*. Bui, Hiep Trung, Saadi, Ismail و Cools, Mario. 2020 Safety Science.
26. *The Determinants of Two-Wheeled Vehicle Riders' Riding Behavior and Their Consequences: A Literature Review, Conceptual E-TPB Model, and Research Agenda*. YANG, HAIBING, et al. 2025, <https://ieeexplore.ieee.org/xpl/RecentIssue.jsp?punumber=6287639>, Vol. 13, pp. 126183-126201.
27. *A Comprehensive Review of Motorcyclists' Riding Behaviour and Safety*. Chakraborty, Abhishek, Mitra, Sudeshna and Maitra, Bhargab. 2022, In Proceedings of the Fifth International Conference of Transportation Research Group of India: 5th CTRG, Vol. 3, pp. 285-301.
28. *Assessing Risky Riding Behaviors Among Food Delivery Motorcyclists in Thailand: Insights from the Motorcycle Rider Behavior Questionnaire and Health Belief Model*. Laphrom, Wimon, et al. 4, 2024, Logistics, Vol. 8.
29. *Exploring the speeding behavior among young motorcyclists in Lahore using extended theory of planned behavior: insights for road safety improvements*. Ali, Nazam, et al. 2, 2025, Vol. 32, pp. 277-289.
30. *A Study of Social Norms and Motorcycle Helmet Use Intentions among Student Riders in University: A comparison of the Theory of Reasoned Action and the Theory of Planned Behavior*. KUMPHONG, Jetsada, SATIENNAM, Thaned and SATIENNAM, Wichuda. 2017, In Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 11, pp. 1-14.
31. *Examining Risky Riding Behaviors: Insights from a Questionnaire Survey with Middle-Aged and Older Motorcyclists in Thailand*. Sunmud, Sayam, et al. 2, 2024, Safety, Vol. 10.
32. *An application of the theory of planned behaviour to understand compliance with daytime running headlights law among motorcycle riders*. Payani, Sadegh and Law, Teik Hua. 2, 2020, International Journal of Injury Control and Safety, Vol. 27, pp. 188-196.
33. *A comparative study on machine learning based algorithms for prediction of motorcycle crash severity*. Wahab, Lukuman and Jiang, Haobin. 4, 2019, PLoS one, Vol. 14.
34. *Personality traits and risky behavior among motorcyclists: An exploratory study*. Romero, Daniel Luiz, et al. 12, 2019, PLoS one, Vol. 14.
35. *The Development of Motorcycle Accident Models Based on Riders' Characters*. Bolla, Margareth Evelyn, et al. 2023, Civil Engineering Journal, Vol. 9, pp. 236-249.
36. *ersonal Factors that Explain Motorcyclists' Risky Driving Behavior in Bogotá*. Vargas, Héctor H. 2024.
37. *Towards an All-Wheel Drive Motorcycle: Dynamic Modeling and Simulation*. BONCI, ANDREA, LONGHI, SAURO and SCALA, GIUSEPPE ANTONIO. 2020, IEEE Access, Vol. 8, pp. 112867-112882.

38. *The social context of motorcycle riding and the key determinants influencing rider behaviour : a qualitative investigation.* Tunncliff, Deborah, et al. 4, 2011, Traffic Injury Prevention, Vol. 12, pp. 363-376.
39. *Data-Driven Methodology for the Investigation of Riding Dynamics: A Motorcycle Case Study.* Bartolozzi, Mirco, et al. 9, 2023, IEEE TRANSACTIONS ON INTELLIGENT TRANSPORTATION SYSTEMS, Vol. 24, pp. 10224-10237.
40. *Data collection and processing tools for naturalistic study of powered two-wheelers users' behaviours.* Espié, Stéphane, et al. 2013, Accident Analysis and Prevention, Vol. 58, pp. 330-339.
41. *Enhancing Motorcycle safety: Challenges, Strategies, and Research Priorities (Insights from Road Safety Summit Workshop with Motorcycle Groups).* LATONERO, Glenn Simon D., et al. 2024, National Center for Transportation Studies, University of the Philippines.