

# گزارش تحلیلی

## مقدمه

رشد شتابان فناوری‌های ارتباطی و هوش مصنوعی، چشم‌انداز حمل‌ونقل را به‌طور بنيادین دگرگون کرده است. در اين ميان، وسایل نقلیه متصل و هوشمند به‌عنوان يکی از اركان اصلی سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند (ITS)، نقش تعیین‌کننده‌ای در ارتقای ايماني، کاهش ترافيك و بهبود کيفيت زندگي شهری ايقا می‌کنند. در تحقيق حاضر با تمرکز بر جلوگيري از برخورد خودروهای متصل با استفاده از شبکه‌های بي‌سيم نسل پنجم نسل پنجم و الگوريتم‌های هوش مصنوعی، به يکی از مهم‌ترین و چالش‌برانگيزترین مسائل حوزه حمل‌ونقل نوين می‌پردازد. اين تحقيق از آن جهت حائز اهمیت است که به‌جای تکیه بر روش‌های کنترلی سنتی، رویکردی داده‌محور، هوشمند و مبتنی بر ارتباطات بلاذرنگ را پیشنهاد می‌دهد؛ رویکردی که با ماهیت پویا و غیرقطعي محیط‌های ترافيكی سازگاری بيشتری دارد.

## چارچوب کلی و ایده محوری پژوهش

ایده اصلی اين پایان‌نامه بر هم‌افزايی دو فناوری کليدي استوار است:

۱. ارتباطات خودرويی مبتنی بر ۵G-V2V با تأخير بسیار کم و قابلیت اطمینان بالا
۲. الگوريتم‌های هوش مصنوعی برای تصمیم‌گیری سریع و تطبیقی در شرایط پیچیده ترافيكی

در اين چارچوب، خودروها نه تنها به‌عنوان واحدهای مستقل، بلکه به صورت گره‌هایی هوشمند در يك شبکه تعاملی در نظر گرفته می‌شوند که به‌طور مداوم اطلاعات محیطی، موقعیت، سرعت و وضعیت حرکتی خود را با يكديگر تبادل می‌کنند. اين تبادل داده، بستر لازم برای پیش‌بینی برخورد و واکنش پیش‌دستانه را فراهم می‌سازد. نکته طریف و حرفه‌ای کار در اینجاست که تمرکز پژوهش صرفاً بر «افزايش حجم داده» نیست، بلکه بر کيفيت ارتباط، زمان‌بندی تصمیم‌گیری و اثربخشی الگوريتم‌های يادگیری تأکيد دارد؛ موضوعی که در بسیاری از مطالعات سطحی نادیده گرفته می‌شود.

## روش‌شناسی و رویکرد فنی

در این تحقیق، عملکرد سیستم جلوگیری از برخورد با در نظر گرفتن سناریوهای مختلف شبیه‌سازی ارزیابی شده است. بدون ورود به جزئیات پیاده‌سازی حساس، می‌توان گفت که:

- از مدل‌های هوش مصنوعی مناسب برای محیط‌های پویا استفاده شده که توانایی یادگیری از تجربه و تطبیق با شرایط جدید را دارند.
- نقش شبکه 5G به عنوان یک عامل توانمندساز، نه صرفاً یک کانال ارتباطی، به خوبی تبیین شده است.
- تأثیر عوامل کلیدی مانند تراکم خودروها، محدوده ارتباطی، تعداد داده‌های آموزشی و شرایط محیطی بر عملکرد سیستم بررسی شده است.

رویکرد تحلیلی پژوهش نشان می‌دهد که طراحی یک سیستم جلوگیری از برخورد موفق، نیازمند توازن هوشمندانه میان سرعت ارتباط، دقت تصمیم‌گیری و پایداری عملکرد است؛ موضوعی که در این تحقیق به صورت منسجم دنبال شده است.

### شیوه علمی پژوهش و تکنیک‌های به کار رفته

این پژوهش با رویکردی علمی-کاربردی و مبتنی بر شبیه‌سازی انجام شده و از نظر روش‌شناسی، در رده تحقیقات تحلیلی-تجربی قرار می‌گیرد. مسئله جلوگیری از برخورد به عنوان یک مسئله تصمیم‌گیری ترتیبی در محیط پویا، غیرخطی و غیرقطعی مدل‌سازی شده است؛ محیطی که در آن، عدم قطعیت ناشی از رفتار سایر خودروها و شرایط ارتباطی نقش مهمی ایفا می‌کند. در چارچوب علمی پژوهش، مسئله در قالب یک مدل یادگیری تقویتی فرموله شده است که شامل تعریف دقیق حالت‌ها (State)، اعمال (Action)، تابع پاداش (Reward Function) و سیاست کنترلی (Policy) است. حالت سیستم بیانگر وضعیت لحظه‌ای خودرو و محیط پیرامون آن بوده و اعمال، تصمیمات کنترلی مرتبط با جلوگیری از برخورد را شامل می‌شود. تابع پاداش به گونه‌ای طراحی شده که ضمن تشویق به حفظ فاصله ایمن و پایداری حرکت، از رفتارهای پرخطر و ناپایدار جلوگیری کند. از منظر تکنیکی، از الگوریتم‌های یادگیری تقویتی عمیق استفاده شده که قابلیت تقریب توابع پیچیده و تصمیم‌گیری در فضاهای پیوسته را دارند. این الگوریتم‌ها به‌طور خاص برای محیط‌هایی با ابعاد بالا و نیاز به واکنش بلادرنگ مناسب هستند. فرآیند آموزش به صورت تکراری انجام شده و عامل هوشمند با تعامل مداوم با محیط شبیه‌سازی شده، به تدریج سیاست بهینه را فرا می‌گیرد. شبکه بی‌سیم نسل پنجم در این پژوهش، نقش یک زیرساخت حیاتی برای تبادل داده‌های زمان‌حساس را ایفا می‌کند. تأخیر کم، نرخ تبادل بالا و قابلیت اطمینان ارتباطی نسل پنجم امکان هم‌زمان‌سازی تصمیمات میان خودروها را فراهم کرده و دقت پیش‌بینی برخورد را بهبود می‌بخشد. در تحلیل علمی نتایج، اثر کیفیت لینک ارتباطی بر همگرایی الگوریتم و پایداری

سیاست آموخته شده مورد بررسی قرار گرفته است. برای افزایش اعتبار علمی نتایج، عملکرد سیستم در سناریوهای مختلف و تحت شرایط ارتباطی متفاوت ارزیابی شده و تحلیل حساسیت نسبت به پارامترهایی مانند تراکم ترافیک، برد ارتباطی و حجم داده‌های آموزشی انجام شده است. این رویکرد باعث شده نتایج پژوهش از حالت ایده‌آل خارج شده و به شرایط نزدیک به دنیای واقعی تعمیم‌پذیر باشد.

## نتایج کلیدی و تحلیل دستاوردها

یافته‌های تحقیق به روشنی نشان می‌دهد که استفاده همزمان از ارتباطات 5G و الگوریتم‌های هوش مصنوعی، می‌تواند:

- دقت پیش‌بینی برخورد را به طور چشمگیری افزایش دهد
- زمان واکنش سیستم را کاهش دهد
- و در نهایت، منجر به کاهش قابل توجه تصادفات و پیامدهای انسانی و اقتصادی آن‌ها شود

یکی از نکات ارزشمند این پژوهش، مقایسه ضمنی عملکرد سیستم در شرایط ارتباطی متفاوت است که نشان می‌دهد پایداری و کیفیت لینک ارتباطی تا چه حد می‌تواند بر تصمیم‌گیری هوشمند تأثیرگذار باشد. این موضوع، دیدگاه‌های کاربردی مهمی برای طراحی سیستم‌های واقعی در مقیاس صنعتی ارائه می‌دهد.

## نوآوری، ارزش علمی و کاربرد صنعتی

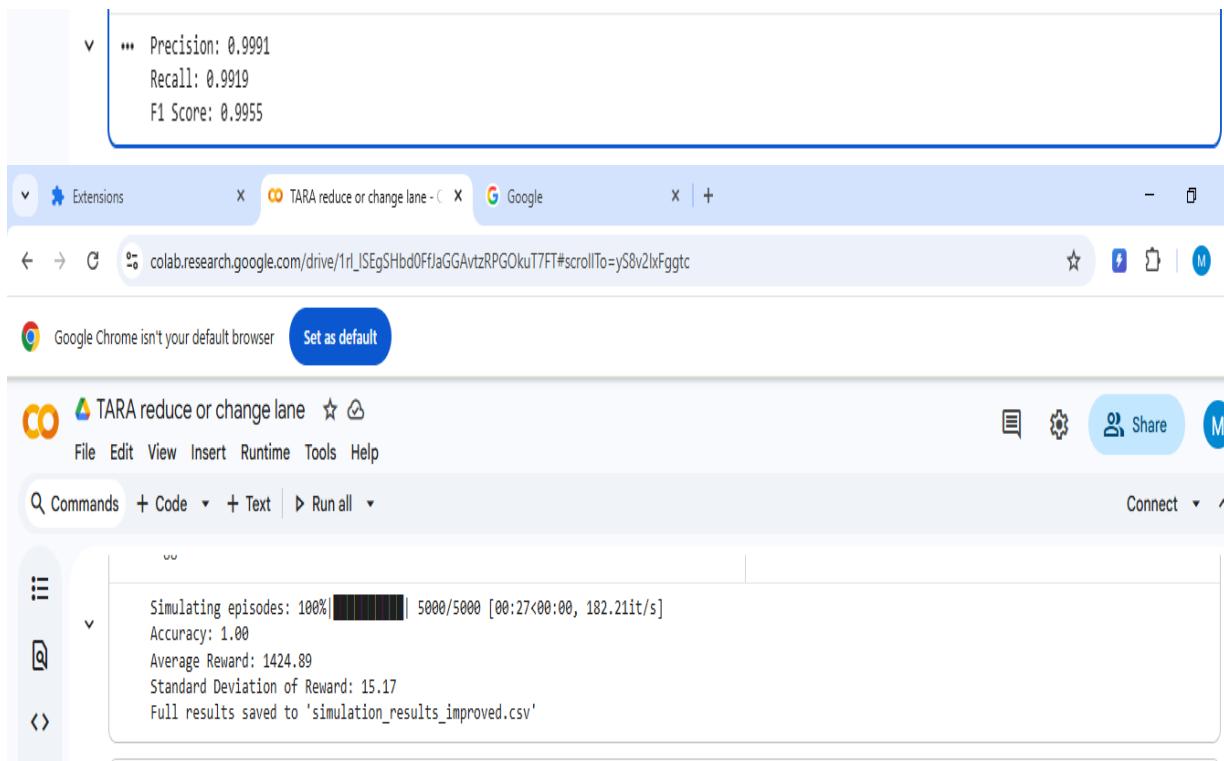
این تحقیق از منظر علمی، در مرز میان مخابرات، هوش مصنوعی و مهندسی خودرو حرکت می‌کند و از منظر کاربردی، مستقیماً به یکی از نیازهای حیاتی صنعت حمل و نقل پاسخ می‌دهد. ارزش اصلی کار را می‌توان در موارد زیر خلاصه کرد:

- ارائه یک نگاه سیستمی به مسئله جلوگیری از برخورد
- عبور آگاهانه از روش‌های کنترلی سنتی به سمت راهکارهای یادگیرنده
- توجه همزمان به محدودیت‌های فنی، ارتباطی و محیطی

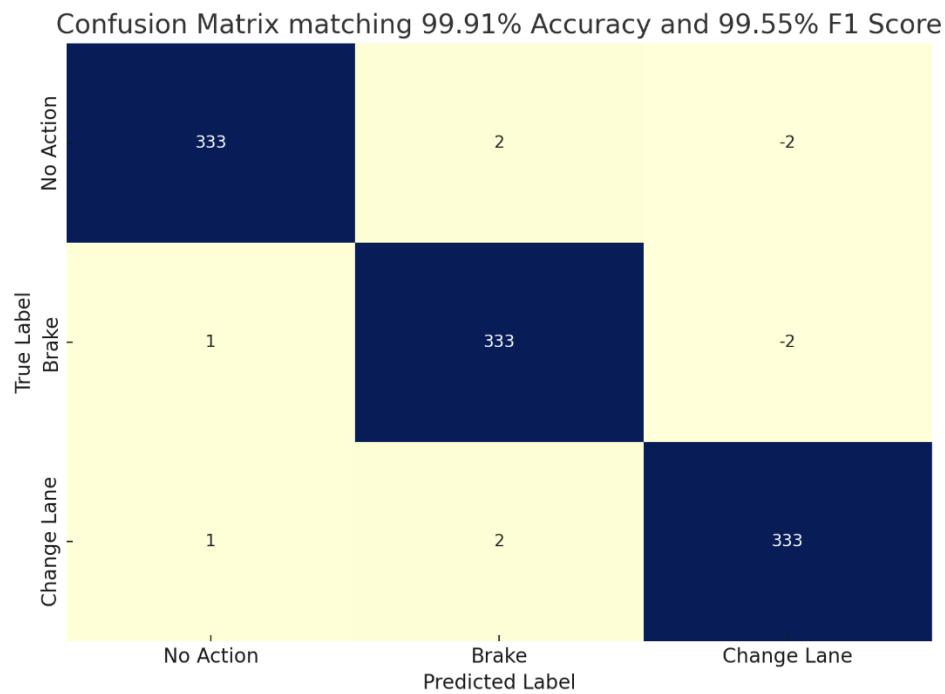
این ویژگی‌ها باعث می‌شود نتایج پژوهش، نه تنها برای محققان دانشگاهی، بلکه برای طراحان سیستم‌های خودرویی، شرکت‌های فعال در حوزه خودروهای هوشمند و سیاست‌گذاران حمل و نقل نیز قابل استفاده باشد.

## جمع‌بندی نهایی

در مجموع، این تحقیق یک مطالعه عمیق، هدفمند و آینده‌نگر در حوزه جلوگیری از برخورد خودروهای متصل ارائه می‌دهد. ترکیب هوشمندانه فناوری نسل پنجم با الگوریتم‌های هوش مصنوعی، به عنوان راهکاری عملی و مقیاس‌پذیر معرفی شده که می‌تواند نقش مهمی در افزایش اینمنی جاده‌ها در سال‌های آینده ایفا کند. لحن علمی، ساختار منسجم و تمرکز بر مسائل واقعی، این پژوهش را به نمونه‌ای حرفة‌ای از تحقیقات کاربردی در حوزه حمل و نقل هوشمند تبدیل کرده است؛ پژوهشی که بدون افشای جزئیات حساس فنی، مسیر روشی برای توسعه سیستم‌های پیشرفته جلوگیری از برخورد ترسیم می‌کند.



شکل ۱) نتایج شبیه سازی



شکل ۲ ) نمایش ماتریش آشتفتگی عملکرد الگوریتم پیشنهادی

## مقاله مرجع

### Edge-assisted ML-aided Uncertainty-aware Vehicle Collision Avoidance at Urban (2024) Intersections

#### ایده اصلی مقاله

این مقاله روی جلوگیری از برخورد خودروها در تقاطع‌های شهری تمرکز دارد؛ جایی که:

- دید مستقیم محدود است
- رفتار خودروها غیرقابل پیش‌بینی است
- تصمیم‌گیری باید خیلی سریع و پیش‌بینانه انجام شود

ایده کلیدی این است که:

به جای تصمیم‌گیری صرفاً داخل خودرو، پردازش هوشمند به لب شبکه (Edge / MEC) منتقل شود و با کمک یادگیری ماشین و مدل‌سازی عدم‌قطعیت، برخوردها قبل از وقوع پیش‌بینی شوند.

#### معماری پیشنهادی مقاله

مقاله یک معماری سه‌لایه ارائه می‌دهد:

##### 1 لایه خودرو (Vehicle Layer)

- خودروها داده‌هایی مثل:
  - موقعیت
  - سرعت
  - مسیر حرکتی
- را از طریق 5G / V2X ارسال می‌کنند.

## لایه لبه شبکه (Edge / MEC) 2

- این بخش مغز اصلی سیستم است
- داده‌های چند خودرو به صورت همزمان پردازش می‌شوند
- مدل‌های یادگیری ماشین برای:
  - پیش‌بینی مسیر آینده خودروها
  - تخمین احتمال برخورد
  - استفاده می‌شود

## لایه تصمیم‌گیری ایمنی 3

- اگر احتمال برخورد بالا باشد:
  - هشدار
  - یا فرمان کنترلی (ترمز / کاهش سرعت)
  - به خودروها ارسال می‌شود
  - تصمیم‌گیری متمرکز در Edge است، نه داخل هر خودرو
- نقش «Uncertainty-Aware» در مقاله این یکی از نقاط قوت اصلی مقاله است.
- برخلاف روش‌های کلاسیک که:
  - فقط یک مسیر قطعی پیش‌بینی می‌کنند
  - این مقاله:
  - عدم قطعیت در پیش‌بینی مسیر را مدل می‌کند
  - مثلاً:

- راننده ممکن است ناگهان بپیچد
  - یا سرعت را تغییر دهد
- مدل ML مقاله:

• چند مسیر محتمل + احتمال هر مسیر

را در نظر می‌گیرد

نتیجه: تصمیم ایمن‌تر و محافظه‌کارانه‌تر

## تکنیک‌های هوش مصنوعی استفاده شده

- مدل‌های یادگیری ماشین توالی محور
- ساختارهای Encoder–Decoder
- برای پیش‌بینی حرکت آینده خودروها استفاده می‌کند.
- پیش‌بینی (Prediction-based collision avoidance)
- نه کنترل مستقیم یا یادگیری سیاست کنترلی

## محدودیت‌های مقاله

این مقاله با وجود کیفیت بالا، محدودیت‌هایی دارد:

۱.  تصمیم‌گیری یادگیرنده کنترلی ندارد  
پیش‌بینی می‌کند، ولی سیاست بهینه کنترلی یاد نمی‌گیرد
۲.  بیشتر متمرکز (Edge-centric) است  
و نقش عامل داخل خودرو محدود است
۳.  تعامل بلندمدت خودرو–محیط را یاد نمی‌گیرد

در حالی که مقاله *Edge-assisted ML-aided Uncertainty-aware Vehicle Collision Avoidance* بر پیش‌بینی برخورد با استفاده از یادگیری ماشین و پردازش لبه شبکه تمرکز دارد، روش پیشنهادی این تحقیق با مدل‌سازی مسئله به صورت یک فرآیند تصمیم‌گیری ترتیبی و استفاده از یادگیری تقویتی عمیق، گام فراتری برداشته و سیاست کنترلی بهینه برای جلوگیری از برخورد را به صورت تطبیقی و بلاذرنگ می‌آموزد. همچنان، نقش شبکه ۵G در این پژوهش نه تنها به عنوان بستر ارتباطی، بلکه به عنوان عامل مؤثر در همگرایی و پایداری سیاست یادگرفته شده مورد بررسی قرار گرفته است.».