فصلنامه مهندسی حمل و نقل، دوره ۱۵، شماره ۲، زمستان ۱۴۰۲، ص. ۳۵۰۷-۳۴۸۳

مقاله علمی-پژوهشی

شبیه‌سازی ماشین‌های خودران با استفاده از روش‌های یادگیری ماشین

علیرضا هویدافرد، دانشجوی دکتری حمل و نقل، گروه مهندسی عمران، واحد علوم و تحقیقات ، دانشگاه آزاد اسلامی، تبریز، ایران

سینا فردمرادی‌نیا (مسئول مکاتبات)، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز، ایران

E-mail: fardmoradinia@iaut.ac.ir

بابک گلچین، استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

علی غفاری، دانشیار، گروه مهندسی کامپیوتر، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تبریز، ایران

دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۰۴ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۱/۲۹

چکیده

افزایش جمعیت و گسترش شهرنشینی باعث افزایش ترافیک در شهرها، زمان و هزینه سفر، مصرف سوخت، آلودگی هوا و ... شده است. در چنین شرایطی، روش هایی لازم است که کارایی سیستم های حمل و نقل افزایش یابد. در این راستا، یکی از روش‌ها می‌تواند استفاده از ماشین‌های خودران باشد. این ماشین‌ها توجه محققین و صنایع را به خود جلب کرده‌اند به نحوی که بسیاری از کارشناسان حمل و نقل در حال حاضر بر روی توسعه‌ی این مفهوم کار می‌کنند. این سیستم می‌تواند پایه‌ای برای رشد اقتصادی و توسعه کشورها باشد. در این مقاله، نقش ماشین‌های خودران در سیستم حمل و نقل مورد بحث قرار گرفته است. شاکله اصلی این تحقیق، استفاده از شبکه عصبی به عنوان یکی از روش‌های یادگیری ماشین است. وظیفه‌ی این قسمت، یادگیری سیستم و تصمیم‌گیری بر اساس حالت کنونی است. بدین منظور از ترکیب شبکه‌های عصبی Dense و Convolutional و شبیه‌ساز Udacity استفاده شده است. این تحقیق نشان داد که این شبیه‌ساز می تواند موجب تسریع در فرآیند طراحی ماشین‌های خودران و پیاده‌سازی آن‌ها شود. نتیجه به دست آمده نشانگر درصد مشابهت بالا بین ماشین کنترل شده توسط انسان و ماشین خودران حاصل از طرح پیاده‌سازی توسط شبیه‌ساز بود.

واژه‌های کلیدی: سیستم حمل و نقل، شبکه عصبی، ماشین‌های خودران، یادگیری ماشین، شبیه ساز Udacity

۱. مقدمه

سیستم‌های حمل و نقل در سال‌های اخیر به پایه‌های اساسی برای رشد اقتصادی کشورها تبدیل شده‌اند. بسیاری از شهرها با مشکل رشد کنترل نشده ترافیک که باعث مشکلات جدی مانند تاخیرات، انباشتگی ترافیک، افزایش قیمت سوخت، افزایش مقدار گاز کربن دی اکسید ناشی از وسایل نقلیه، افزایش تصادفات و در کل پایین آمدن کیفیت زندگی می‌شود مواجه هستند. این مشکلات در آینده به خاطر رشد جمعیت و افزایش مهاجرت به مناطق شهری در بسیاری از کشورها بیشتر خواهد شد. بنابراین نیاز به افزایش ایمنی و کارایی سیستم حمل و نقل است. پیشرفت فناوری اطلاعات و ارتباطات در زمینه سخت‌افزار و نرم‌افزار منجر به ایجاد فرصت‌های جدیدی برای توسعه سیستم حمل و نقل هوشمند و در نتیجه سفرهای بهتر و ایمن‌تر شده است [Dandl et al, 2019]. سیستم حمل و نقل هوشمند بر چهار اصل اساسی: توسعه پایدار، یکپارچگی، ایمنی و پاسخ استوار است. این اصول نقش مهمی در جهت دستیابی به اهداف اصلی سیستم حمل و نقل هوشمند که شامل دسترسی و پویایی و توسعه اقتصادی است، ایفا کرده است. موفقیت سیستم حمل و نقل هوشمند تا حد زیادی به برنامه الزامی جهت دسترسی، جمع‌آوری و پردازش داده‌های محیطی بستگی دارد [Ibanez, .Zeadally and Contreras, 2015]. فناوری ماشین‌های خودران[1] با بهره‌گیری از ابزار پیشرفته مانند هوش مصنوعی، حسگرهای تصویری، روباتیک، سیستم‌های امنیت داده، سیستم‌های ارتباطی و تجهیزات دیگر توانسته‌اند خیلی زود جایگاه قابل توجهی در حمل و نقل پیدا کنند. تجهیز وسایل نقلیه با استفاده از این فناوری باعث کاهش تصادفات، مصرف انرژی و آلودگی می‌شود و هزینه‌ها را کاهش می‌دهد. مسلماً ورود ماشین‌های نیمه خودران و خودران بر صنایع، مشاغل و قوانین مختلف تأثیرگذار خواهد بود. درصورتی‌که این صنایع و مشاغل نتوانند خود را با این تغییرات سازگار کنند رو به انحطاط خواهند رفت. بر اساس تحقیقی از سوی دانشگاه آکسفورد، بررسی شده است که در دو دهه آینده، بیش از ۷٤ درصد از مشاغل به شکل کامپیوتری درخواهند آمد، ربات جای انسان را می‌گیرد، زیرا هم ارزانتر است و هم انرژی خاصی مصرف نمی‌کند [Frey and Osborne, 2017]. شناخت کامل سیستم ماشین‌های نیمه خودران و خودران و تأثیرات آن در ابعاد مختلف از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. بنابراین در این مقاله، در گام نخست سطوح مختلف ماشین‌های خودران، فناوری‌های به کاررفته در این ماشین‌ها، تأثیرات این ماشین‌ها بر زیرساخت‌های شهری، مصرف انرژی و انتشار کربن، ایمنی جاده، صنعت بیمه، اقتصاد و همچنین مزایا و معایب آن ها پرداخته شده است. مردم سراسر جهان، روزانه بخش بزرگی از زمان خود را صرف جابه‌جایی از یک مکان به مکان دیگر می‌کنند. به منظور جابجایی راحت‌تر و ایمن، در ده سال گذشته، محققان، دانشمندان و شرکت‌های فناوری تلاش‌های فراوانی را برای توسعه تکنولوژی ماشین‌های کاملا خودران[2] (ماشین‌های خودران الکتریکی) انجام داده‌اند [Abe, 2019]. سرویس‌هایی مانند اوبر[3] و لیفت[4]، که در حال حاضر به رانندگان در قبال رانندگی دستمزد پرداخت می‌کنند، به زودی کل ناوگان خود را با ماشین‌های خودران الکتریکی تجهیز خواهند کرد اما همجنان شبهاتی در خصوص ایمنی این نوع از ماشین‌ها وجود دارد. شاید دلیل این مساله این باشد که اکثریت مردم نمی‌دانند که این ماشین‌ها چگونه کار می‌کنند. ماشین‌های خودران الکتریکی معمولا با دستگاه سیستم تعیین موقعیت جهانی GPS[5]، یک سیستم ناوبری اینرسی و طیف وسیعی از حسگرها تجهیز شده‌اند. این ماشین‌ها اطلاعات مربوط به موقعیت جغرافیایی را از GPS دریافت می‌کنند و برای جانمایی خود از سیستم ناوبری و از اطلاعات دریافتی از حسگرها برای ساختن نقشه‌های داخلی از محیط اطراف، استفاده می‌کنند. به محض دریافت اطلاعات مربوط به موقعیت بر روی نقشه داخلی، این ماشین‌ها می‌توانند از این نقشه، برای یافتن مسیر بهینه برای رسیدن به مقصدشان استفاده نمایند. ماشین‌های نیمه خودران و

خودران از جدیدترین محصولات سیستم حمل و نقل هوشمند هستند. این خودروها بر اساس قابلیت‌هایی که در جهت کاهش دخالت انسان در رانندگی دارند در شش سطح مختلف طبقه‌بندی شده‌اند. سطح صفر فاقد قابلیت‌های خودکار و سطح پنج آن می‌تواند در تمام محیط‌ها، بدون راننده حرکت کند. این ماشین‌ها مجهز به فناوری‌هایی هستند که آن‌ها را از سایر ماشین‌های رایج متمایز می‌کند. از مهمترین فناوری‌های به کاررفته در این ماشین-ها می‌توان به سیستم ونت[۶]، لیدار[۷]، رادار[۸]، سیستم موقعیت یاب جهانی، دوربین، کامپیوتر مرکزی و حسگرهای مافوق صوت اشاره کرد. ورود این خودروها به زندگی روزمره بر ایمنی جاده، صنایع مختلف، محیط زیست، اقتصاد، ساختار شهری و جنبه‌های دیگر زندگی انسان تأثیرگذار خواهد بود. این ماشین‌ها علاوه بر مزایای زیاد، معایبی نیز دارند که شرکت‌های تولید کننده درصدد بهبود عملکرد آن ها و رفع این نواقص می باشند. ماشین‌های خودران الکتریکی را می‌توان به عنوان یک سیستم چند منظوره در نظرگرفت. در این ماشین‌ها، از سال ۲۰۱۵ تا سال ۲۰۱۷ از کمک راننده استفاده شده است. با شروع سال ۲۰۲۰، در مورد رانندگی بسیار مستقل[۹] تحقیقات گسترده‌ای انجام شده است و نوید ظهور رانندگی کاملا مستقل[۱۰] را به همراه آورده است. ایمنی جاده‌ای با این فناوری بهتر خواهد شد و تا ۱۹۰ میلیارد دلار در سال در هزینه‌های مراقبت‌های بهداشتی مرتبط با تصادفات صرفه‌جویی خواهد شد [Bertoncello and Wee, 2015]. زمانی که وسایل نقلیه معمولی و خودران در جاده‌ها با هم وجود دارند، ممکن است ایمنی در حال افزایش باشد [Sivak and Schoettle, 2015] استفاده گسترده از ماشین‌های خودران به طور قابل توجهی می‌تواند به کاهش مصرف انرژی کمک کند. به عنوان مثال، در بزرگراه‌ها، ماشین‌های خودران می‌توانند با یکدیگر ارتباط برقرار کنند و به صورت یک گروه رانندگی کنند. این می‌تواند کل مصرف انرژی حمل و نقل جاده را کاهش دهد، زیرا وقتی وسایل نقلیه با فواصل کم نسبت به هم حرکت می‌کنند با کمترین مقاومت هوا مواجه می‌شوند [Köhler, Connette and Verl, 2013].

۲. ادبیات پژوهش

خودران کردن ماشین‌ها، بر خلاف تصور عموم مردم، سابقه‌ای دیرینه دارد. به طوری که لئوناردو داوینچی برای اولین بار سعی در ساخت یک ماشین خودران داشت [Bagloee et al, 2016]. این تلاش تاکنون ادامه دارد و سرعت پیشرفت آن بسیار زیاد است. پیشرفت حوزه سخت‌افزار، به وجود آمدن فضاهای محاسبات ابری و پردازشات موازی، تاثیر زیادی بر پیشرفت هوش مصنوعی که ابزاری برای توسعه وسایل خودران است، داشته است. لازم به ذکر است در سال ۱۹۸۰ میلادی تیمی به حل مساله ماشین‌های خودران پرداخته است [Litman, 2020]. راه حل این گروه، استفاده از بینایی ماشین سنتی برای تشخیص راه درست به وسیله رنگ عکس‌های ثبت شده به وسیله‌ی دوربین بوده است. راه حل این تیم تحقیقاتی فقط برای جاده‌های هموار با شرایط آب و هوایی مطلوب مناسب بوده ولی این روش در شرایط جاده‌های نامناسب با آب و هوای غیر-مطلوب منجر به شکست شده و نتیجه‌ای حاصل نگردیده است. راه حل بعدی ۱۰ سال بعد شروع شده است. در این فعالیت اولین اقدام به طراحی شبکه عصبی مرتبط با موضوع بوده است [Yudin et al, 2019]. پس از انجام این پروژه به صورت موفقیت‌آمیز شرکت‌های زیادی روانه‌ی بازار ماشین‌های خودران شده‌اند. شرکت‌های Tesla و Google و ... نیز پا در این زمینه نهاده‌اند. در مقاله‌ای که در سال ۲۰۱۹ در کالیفرنیا انجام شده است، با هدف بررسی وضعیت حمل و نقل، ویژگی‌های ماشین‌های خودران مورد ارزیابی قرار گرفته است و این نتیجه به دست آمد که استفاده از اینگونه وسایل نقلیه منجر به کاهش زمان سفر و همچنین بهبود وضعیت حمل و نقل گردیده است [Malokin, Circella and Mokhtarian, 2019]. در پژوهشی دیگر که در سال ۲۰۱۹ انجام گردیده، با هدف تاثیر معرفی اتوبوس‌ها و تاکسی‌های خودران بر روی سیستم حمل و

نقل ژاپن و هزینه‌های آن‌ها به ارائه فرضیاتی در خصوص رانندگی خودکار مانند تاثیر بر کاهش هزینه استفاده از وسایل نقلیه، افزایش ایمنی و امنیت اتوبوس‌ها و تاکسی‌ها، کاهش استرس رانندگان خودروهای شخصی، بررسی هزینه‌های سفر هم با ماشین‌های خودران، هم بدون آن پرداخته شده است و این نتیجه به دست آمده که هزینه حمل و نقل عمومی با اتوماتیک کردن وسایل نقلیه کاهش یافته است، طوری که، هزینه‌های اتوبوس به دلیل اتوماسیون خودرو ۲۱ تا ۵۳ درصد کاهش یافت [Abe, 2019]. در مقاله‌ای که در انگلستان در سال ۲۰۱۹، با هدف بررسی تکنولوژی‌های لازم برای توسعه و پیشرفت ماشین‌های خودران انجام شده است، آزمایشی بر روی ۸۱ راننده بزرگسال صورت گرفته تا بهترین راه برای گردش به راست پیشنهاد گردد، این درحالیست که لاین دوچرخه در سمت چپ قرار داشته است. در نتیجه ماشین‌های خودران باید به گونه‌ای طراحی گردند که بتوانند پاسخ این‌گونه موارد را بدهند [Latham and Nattrass, 2019]. در پژوهشی دیگری که در سال ۲۰۱۹ در کره انجام شده است، با بررسی وضعیت حمل و نقل، تاثیر ماشین‌های خودران بر روی زمان حرکت بین ماشین-های شخصی مورد سنجش قرار گرفته است و نتایج نشان داده که با توجه به اینکه در ساعت‌های مشخص حرکت تاکسی‌ها صورت نمی‌گیرد، به سیستم حمل و نقلی یا سیستم برآورد هزینه پویا نیاز است [Kim et al, 2019]. عثمان اظهار داشت که ماشین‌های خودران می‌توانند صرفه‌جویی‌های اقتصادی و زیست‌محیطی را به دلیل حذف عوامل انسانی بهبود بخشند [Othman, 2021]. در سال ۲۰۱۹ در مراکش، تحقیقی با هدف تمرکز بر روی سیستم حمل و نقل هوشمند و بهبود سیستم حمل و نقلی قدیم انجام شده است که در آن به بررسی پروتکل-های مورد استفاده در اپلیکیشن‌های تلفن همراه و مقایسه آن‌ها پرداخته شده و کاربرد زیاد این نوع اپلیکیشن‌ها در سیستم‌های حمل و نقل هوشمند مورد ارزیابی قرار گرفته که نتیجه آن صرفه جویی در زمان و کاهش انرژی است [Zemrane, Baddi and Hasbi, 2019] در تحقیقی دیگر که در سال ۲۰۱۹ در لهستان صورت گرفته است، با تعریف انواع ماشین‌های خودران و مقایسه آن‌ها، با ارائه نرم‌افزاری جهت محاسبه حجم ترافیک و همچنین ضرورت استفاده از وسایل جهت حمل و نقل آسان افراد ناتوان، این نتیجه به دست آمده است که استفاده هر چه بیشتر نرم‌افزارهای کاربردی برای افراد ناتوان منجر به بهبود کارایی این دسته افراد در استفاده از حمل و نقل عمومی گردیده است [Włodzimierz and Iwona, 2019]. در پژوهشی دیگر که در سال ۲۰۱۹ انجام گرفته است به شبیه‌سازی ماشین خودران با استفاده از ربات‌ها پرداخته شده است و در نهایت افزایش امنیت افراد با استفاده از ماشین‌های خودران حاصل این کار بوده است [Sadigh, Sastry and Seshia, 2019]. در مطالعه‌ای دیگر که در سال ۲۰۱۹ انجام شده است، به ارائه راهکارهایی جهت استفاده از ماشین‌های خودران پرداخته شده است و تاثیر مثبت استفاده از این نوع وسایل بر محیط زیست و بهبود کارایی ناوگان عمومی حمل و نقل مورد ارزیابی قرار گرفته است [Hegedűs, Németh and Gáspár, 2019]. در پژوهشی که در سال ۲۰۱۸ انجام شده است، با هدف کاهش مصرف انرژی، استفاده از ماشین‌های خودران جهت کاهش مصرف انرژی و تاثیر مثبت در فضای شهری توصیه شده است [Gyergyay et al, 2019]. در سال ۲۰۱۹ در امریکا، نقش ماشین‌های خودران در بهبود حمل و نقل عمومی مورد بررسی قرار گرفته است و این نتیجه به دست آمده که استفاده از ماشین-های خودران باعث امنیت بیشترجاده‌ها برای تمامی وسایل نقلیه از جمله موتورسیکلت‌ها و دوچرخه سواران شده است [Botello et al, 2019]. در انگلستان با هدف بهبود امنیت وسایل نقلیه عمومی در سال ۲۰۱۹ پژوهشی انجام گرفته است و این نتیجه به دست آمده که استفاده از ماشین‌های خودران باعث بهبود امنیت وسایل نقلیه و آسایش رانندگان دیگر و همچنین کاهش تصادفات گردیده است [Wei et al, 2019]. در سال ۲۰۱۸ بهبود وضعیت رانندگی در اثر خودران شدن

ماشین‌ها مورد بررسی قرار گرفته است و این نتیجه به دست آمده که خودران شدن ماشین‌ها، می‌تواند به بهبود ترافیک جاده-ای کمک کند [Taha and AbuAli, 2018]. در پژوهشی دیگر که در ژانویه ۲۰۱۹ انجام گرفته است، رفتار ماشین‌های خودران با مدل‌های پیش‌بینی و شبکه‌ای مورد ارزیابی قرار گرفته است و این نتیجه به دست آمده که مدل‌های پیشنهادی بسیار کارا بوده و می‌تواند به اجرایی شدن طرح کمک کند [Huang et al, 2019]. در پژوهشی دیگر در سال ۲۰۲۰ با عنوان ترکیب استراتژی‌ها، برنامه‌ریزی مسیر برای ماشین‌های خودران، تست-های مختلفی جهت مفید بودن آن‌ها صورت گرفته و در نتیجه به آثار مثبت اینگونه وسایل نقلیه در صنعت حمل و نقل منجر شده است [Goli and Eskandarian, 2020]. در سال ۲۰۱۹ نقش شبکه‌های عصبی در سیستم حمل و نقل به خصوص در تقاطع‌ها مورد بررسی قرار گرفته و تاثیر مثبت این مدل‌ها در سیستم حمل و نقلی بررسی شده است [Yudin et al, 2019]. در پژوهشی که در سال ۲۰۱۹ انجام شده است، با هدف شناسایی مشکلاتی از قبیل: بررسی سیستم حمل و نقلی و و تعریف انواع ماشین‌های خودران، مسائل ایمنی آن‌ها، فایده این نوع ماشین‌ها در شهرها به ویژه برای افراد ناتوان و دارای معلولیت، شناسایی انواع تکنولوژی‌ها و محاسبات مهندسی برای به کارگیری این نوع ماشین‌ها در شهرها، به بررسی ماشین‌های خودران در پیدا کردن کوتاهترین مسیر با استفاده از الگوریتم دایکسترا[11] پرداخته شده است [Włodzimierza and Iwonaa, 2019]. در سال ۲۰۱۹، سناریوهای مختلف راجع به استفاده از ماشین‌های خودران مورد بررسی قرار گرفته است و این نتیجه به دست آمده که استفاده از این نوع ماشین‌ها می‌تواند منجر به کاهش زمان سفر شود [Malokin, Circella and Mokhtarian, 2019]. در سال ۲۰۱۹، به معرفی تاکسی‌ها و اتوبوس‌های با تکنولوژی خودران پرداخته شده است و این نتیجه به دست آمده که استفاده از این گونه مدهای حمل و نقلی به کاهش زمان سفر و کاهش هزینه سفر منجر گردیده است [Abe, 2019]. در سال ۲۰۱۹ به دلیل افزایش آلودگی هوا، تاکید بر استفاده از دوچرخه به عنوان یک وسیله حمل و نقلی مناسب و همچنین استفاده از ماشین‌های خودران شده است [Latham and Nattrass, 2019].

۳. تئوری انجام کار با ماشین خودران

۳-۱ معرفی ماشین خودران

برای بیش از نیم قرن، ماشین‌های خودران مورد توجه ویژه‌ای در جهان بوده‌اند. این ماشین‌ها می‌توانند صنعت حمل و نقل و زندگی روزمره افراد را به زندگی سالم‌تر و طولانی‌تر تغییر دهند. [Rajasekhar and Jaswal, 2015]. ماشین‌های خودران الکتریکی چهار هدف اصلی مانند ادراک، برنامه‌ریزی حرکت، ناوبری و رفتار دارند. آن‌ها از "ادراک" به عنوان توانایی وسایل نقلیه در درک محیط اطراف خود و بررسی هرگونه مانع در مسیر وسایل نقلیه یاد کرده‌اند. به گفته آن‌ها، "برنامه‌ریزی حرکت" به عنوان هدف دوم ماشین‌های خودران شامل متغیرهای مسیر است که باید برای جلوگیری از هر گونه بلایا کنترل شوند و دیگری ناوبری است که برخی از حسگرها مانند سیستم‌های موقعیت یابی جهانی (GPS) می‌توانند برای موقعیت‌یابی استفاده شوند. در واقع، موقعیت در جهان را می‌توان با GPS تعیین کرد که قادر به دریافت سیگنال از ماهواره‌ها است [Anderson et al, 2014]. این سیستم‌ها مانند هر سیستمی، دارای محدودیت-هایی هستند [Anderson et al, 2014]. سیستم دیگر، گستره تشخیص رادیو و آشکار شدن رادار است که جاده را از جهات مختلف اسکن کرده و با استفاده از امواج رادیویی برای تخمین فاصله بین وسیله نقلیه و موانع، ترمزها را برای جلوگیری از هرگونه برخوردی فعال می‌کند [Guerrero-Ibáñez, Zeadally and Contreras-Castillo, 2018]. یکی دیگر از وسایل الکترونیکی قابل استفاده در ماشین خودران دوربین-هایی هستند که ماشین‌ها را در شرایط مختلف کنترل می‌کنند دوربین‌ها موانع موجود در دامنه دید خود را کشف می‌کنند، در صورت برخورد با عابران پیاده هشدار و تصاویری با وضوح بالا

از محیط اطراف ارائه می‌دهند که به سیستم درک وسایل نقلیه در تشخیص ترافیک مانند چراغ‌ها، خط‌کشی‌های راه، علائم و موانع جاده ای کمک می‌کنند [Velasco-Hernandez et al, 2021]. برای ماشین‌های خودران ضروری است که محیط اطراف را شناسایی کرده و با خیال راحت حرکت کنند [Jahromi, Tulabandhula and Cetin, 2019]. از آنجا که مهمترین هدف ماشین‌های خودران الکتریکی کاهش تعداد تصادفات است، آن‌ها باید به اندازه کافی هوشمند باشند تا همه شرایط جاده را در نظر بگیرند. برای این منظور، خروجی تعیین موقعیت و درک محیطی به برنامه‌ریز مسیر ماشین‌خودران ارسال می‌شود تا تصمیم بگیرد چه اقداماتی انجام دهد و به کنترل حرکت ماشین خودران منجر شود که به نوبه خود ورودی‌های کنترل بهینه را برای شتاب دهنده‌ها، ترمزها و فرمان ارسال می‌کند [Jahromi, Tulabandhula and Cetin, 2019]. شایان ذکر است که هر یک از این سنسورها محدودیت‌های خاص خود را دارند و ممکن است تحت تأثیر برخی تغییرات محیطی قرار گیرند. بنابراین، ترکیب مناسب دستگاه‌های الکترونیکی مانند دوربین، لیدار و رادار توسط محققان ماشین‌های خودران برای جبران محدودیت‌های آن‌ها پیشنهاد شده است. نوع و موقعیت سنسورها در ماشین‌های خودران الکتریکی[12] شامل پوشش لیدار، رادار و دوربین است [Jahromi, Tulabandhula and Cetin, 2019].

به طور خلاصه، همانطور که از مطالعات گذشته استخراج شده است، سنسورهای مختلفی در ماشین‌های خودران استفاده می‌شود که باجپایه و ماتور در سال ۲۰۱۵ مزایا و معایب این سنسورها را با هم ارائه کرده است، جدول ۱ آن را نشان می‌دهد.

جدول ۱. مزایا و معایب سنسورها (Bajpayee and Mathur, 2015)

سنسورها	مزایا	معایب
رادار	مناسب برای بازتاب در محیط زیست، تشخیص دقیق سرعت، امواج ارسال شده توسط موانع به عنوان ضربه‌گیر تحت تأثیر قرار نمی‌گیرد، تشخیص فاصله خوب، برای تشخیص برد کوتاه و بلند امکانپذیر است.	انسداد نور، تشخیص بد خطوط عابرین پیاده، سایز بزرگ، تشخیص بد عابران پیاده
لیدار/ لیزر	موانع کوچک قابل تشخیص، تشخیص خوب موانع، تشخیص خوب مسافت/سرعت	تشخیص بد خط، سایز بزرگ، تشخیص بد عابران پیاده، برد کوچکتر از رادار
دوربین مادون قرمز	قابل استفاده در شرایط شب، تشخیص خوب خط	علائم راهنمایی و رانندگی تضاد بسیار ضعیفی را نشان می‌دهند
وسعت دید	نمایش واقعی تصاویر، تشخیص خوب خط، اندازه های کوچک، وسیله نقلیه خوب، تشخیص عابر پیاده	سیستم الکترونیکی دشوار مورد نیاز برای پردازش داده‌ها، تشخیص بد مانع، تشخیص سرعت/فاصله بد

۳-۲ سطوح مختلف ماشین خودران

حل مسئله ماشین‌های خودران سطوح مختلفی دارد که هر کدام از سطوح، کاربرد مربوط به خود را دارند و بسته به شرایط، برای حل مسئله استفاده خواهند شد. که در ادامه به این سطوح خواهیم پرداخت. شاید تعریف یک ماشین خودران ساده به نظر برسد ولی اینگونه نیست. با توجه به شرایط و مشخصات محیط، یک

ماشین خودران تعریف شده است. پس سطوح تعریف یک ماشین خودران متفاوت خواهد بود [Lu, 2015., SAE, 2014].

- سطح صفر: در این سطح خودرو هیچ گونه قابلیت خودکاری ندارد.
- سطح ۱: ماشین‌هایی که به راننده با تنظیم کردن زاویه فرمان، تنظیم سرعت و ... به وسیله هشدار (مثل بوق و لرزه‌ی صندلی) کمک می‌کنند. این سطح از اتوماسیون مانند یک سیستم کروز کنترل است که موتور و ترمز را کنترل می‌کند، راننده فقط باید هدایت کند.
- سطح ۲: در این سطح، راننده باید همیشه سیستم را تحت نظر داشته باشد. این ماشین‌ها تمامی ویژگی‌های سطح ۱ و قابلیت تغییر زاویه فرمان و تنظیم سرعت ماشین به وسیله ترمز را دارا هستند. در این نوع ماشین‌ها، راننده نیز توانایی کنترل ماشین را خواهد داشت.
- سطح ۳: راننده در این سطح می تواند کارهایی مانند تماشای فیلم و هدایت ماشین را انجام دهد. ماشین‌هایی که تحت شرایط خاص، تمامی کارهای مربوط به کنترل ماشین را می‌توانند انجام دهند (مثل پارک دوبل ماشین). در این سطح راننده باید آماده گرفتن کنترل دوباره ماشین باشد.
- سطح ٤: در این سطح دخالت راننده به حداقل می‌رسد و سیستم فرمان خودرو، خودرو را هدایت می‌کند. تفاوت ماشین‌های سطح ٤ و سطح ۳ اینگونه است که ماشین‌های سطح ٤ به قدری قابل‌اعتماد هستند که نیازی برای کنترل ماشین توسط راننده در شرایط خاص وجود نداشته باشد.
- سطح ۵: در این سطح نیازی به نظارت راننده نیست و همه چیز بر عهده خودروی بدون راننده خواهد بود و تمام کارهای مربوط به رانندگی را در تمام شرایط کنترل می‌کند.

در این پروژه قصد پیاده‌سازی کامل هیچ‌کدام از سطوح را نداریم. بلکه فقط قسمت تغییر زاویه فرمان ماشین، در شرایط مختلف با توجه به مسیر و جاده مورد بررسی قرار گرفته است. می‌توان گفت که این سیستم می‌تواند قسمتی از یک ماشین خودران سطح ۵ باشد. سطوح مختلفی از استقلال برای ماشین‌های خودران الکتریکی وجود دارد که امکان رانندگی بدون دخالت انسان را فراهم کرده است [Włodzimierza and Iwonaa, 2019]. مفهوم خودمختاری می‌تواند هم در حمل و نقل جاده‌ای و هم برای وسایل نقلیه مسیر اعمال شود [Taha and AbuAli, 2018., Zeadally et al, 2012]

برای توضیح بهتر این سطوح، تورن، کیمل و چاکا به SAE [۱۳] اشاره کرده‌اند. SAE یک انجمن ایالات متحده است که استانداردهای خودرو را توسعه می‌دهد. [Thorn, Kimmel and Chaka, 2018] این انجمن دارای یک سیستم شش سطحی برای تعریف سطوح مختلف خودروهای مستقل است. بنابراین، ماشین‌های خودران کاملاً قادر به درک محیط خود و تعیین مسیر مناسب به مقصد و رانندگی با دقت با استفاده از انواع حسگرها، پردازنده‌های رایانه‌ای و پایگاه داده مانند نقشه‌ها هستند تا برخی یا تمام عملکردهای رانندگی از انسان را به عهده بگیرند [Rajasekhar and Jaswal, 2015]. علاوه بر این، وی، رومانو، حاجی سید جوادی، مرات و بوئر ادعا کرده‌اند که باید وسایل نقلیه را قادر به عملکرد رانندگی شبیه به انسان کرد، زیرا ماشین‌های خودران به واقعیت نزدیک می‌شوند [Wei et al, 2019]. در حقیقت، رانندگی از پرواز با هواپیما پیچیده‌تر است زیرا شامل تعاملات متفاوتی با کاربران جاده مانند وسایل نقلیه، عابران پیاده ، دوچرخه سواران و غیره است. بر این اساس، مقنم، لوریا، نونا و پنتلی در سال ۲۰۲۱ اظهار داشته‌اند که طراحی یک کنترل کننده سریع و پایدار گام اساسی در پیاده-سازی ماشین‌های خودران هست [Maghenem et al, 2021]. در این راستا، انواع رویکردهای کنترلی مختلف برای مدیریت این خودروها معرفی شده‌اند. موضوع مهم دیگر هم مربوط به نرم افزار و هم سخت افزار است که طراحی مناسب واحدهای کنترل الکترونیکی، ارتباطات داخلی، پردازشگرهای داده، اتوبوس خودرو، محرک‌های مکانیکی و محرک‌های

الکترومکانیکی باید مورد توجه قرار گیرد [Barzegar, Doukhi and Lee, 2021].

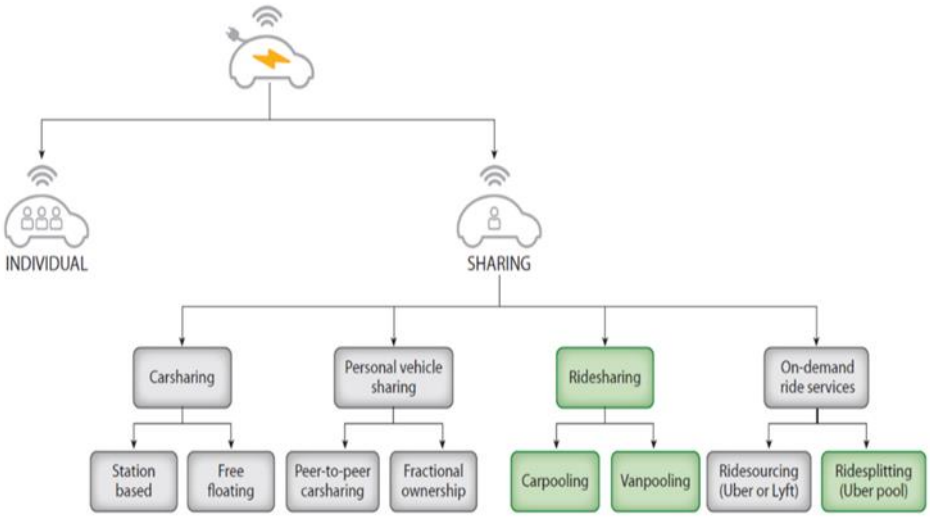
در حال حاضر، قلمرو ماشین‌های خودران به سرعت در حال پیشرفت است و بسیاری از خودروسازان در تلاش برای توسعه وسایل نقلیه بدون راننده هستند. اولین تلاش برای وسایل نقلیه بدون راننده به سال‌ها پیش برمی‌گردد، از دهه۱۹۲۰، زمانی که اولین وسایل نقلیه رادیویی طراحی شده‌اند، ما شاهد یک تحول شدید در فناوری ماشین‌های خودران هستیم. در دهه‌های بعدی، ما شاهد ماشین‌های الکتریکی نسبتاً خودران هستیم که از مدارهای تعبیه‌شده در جاده‌ها نیرو می‌گیرند. در دهه ۱۹۶۰، ماشیین‌های خودران که دارای سیستم‌های راهنمای الکترونیکی مشابه بوده‌اند، ظاهر شده‌اند. در دهه ۱۹۸۰ ماشین‌های خودران با راهنمای دید هدایت شده‌اند که نقطه عطفی در فناوری بوده و تا به امروز از اشکال مشابه یا تغییر یافته بینایی و فناوری‌های هدایت رادیویی استفاده کرده‌اند. ویژگی‌های نیمه خودران مختلفی که در خودروهای مدرن معرفی شده‌اند، مانند حفظ خودرو بین خطوط، ترمز خودکار و کروز کنترل تطبیقی مبتنی بر چنین سیستم‌هایی هستند. عملکرد این وسایل نقلیه بر اساس طرحی با سه فاز به نام (احساس، برنامه، عمل) است که پیش‌فرض اساسی بسیاری از سیستم‌های رباتیک است. خودروهای مجهز به این فناوری مزایای خاص خود را خواهند داشت [Bagloee et al, 2016].

۳-۳ جنبه‌های مختلف ماشین‌های خودران

مزایای ماشین‌های خودران و تأثیرات آن‌ها در قسمت‌های زیر مورد بحث قرار گرفته است.

۳-۳-۱ سلامتی و وسایل نقلیه خودران

متأسفانه خطای انسانی عامل بیشتر تصادفات و تلفات جانی است. بنابراین، انتظار می‌رود خودران کردن ماشین‌های بدون راننده جان افراد را نجات دهد و رفاه اجتماعی را بهبود ببخشد.. ماشین‌های خودران قادر به کاهش انرژی، انتشار گازهای گلخانه‌ای هستند. [Wadud, MacKenzie, and P. Leiby, 2016]. به گفته روجاس-روئدا و همکاران در سال ۲۰۲۰، اشتراک‌گذاری وسایل نقلیه شخصی، بر اساس تقاضا، برخی از مدل‌های حمل و نقل مشترک هستند که در شکل ۱ نشان داده شده است [Rojas-Rueda et al, 2020].



شکل ۱. انواع استفاده و مالکیت (روجاس، رودا و همکاران، ۲۰۲۰)

همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است، با اشتراک گذاری خودرو، چندین نفر از یک خودرو در زمان‌های مختلف بدون مالکیت استفاده می‌کنند که این مدل می‌تواند مبتنی بر ایستگاه و شناور باشد. سیستم دیگر اشتراک‌گذاری وسایل نقلیه شخصی است که صاحبان وسایل نقلیه ماشین شخصی خود را به یک سیستم اشتراکی تبدیل می‌کنند و آن را به دیگران اجاره می‌دهند.

سیستم اشتراکی خودرو به جمع کردن چندین مسافر با مقصد مشابه در یک وسیله نقلیه، اشاره دارد. در نهایت، سرویس بر اساس تقاضا، نوعی سرویس خانه به خانه است که به سیستم شخصی سواری یا سیستم اشتراکی سواری طبقه‌بندی می‌شود. در سال ۲۰۲۰، لیتمن مزایا و معایب این مدل‌ها را ارائه کرد که جدول ۲ تفاوت بین آن‌ها را نشان می‌دهد [Litman, 2020].

جدول ۲. مقایسه مدل‌های عملیاتی خودروهای خودران (Litman, 2020)

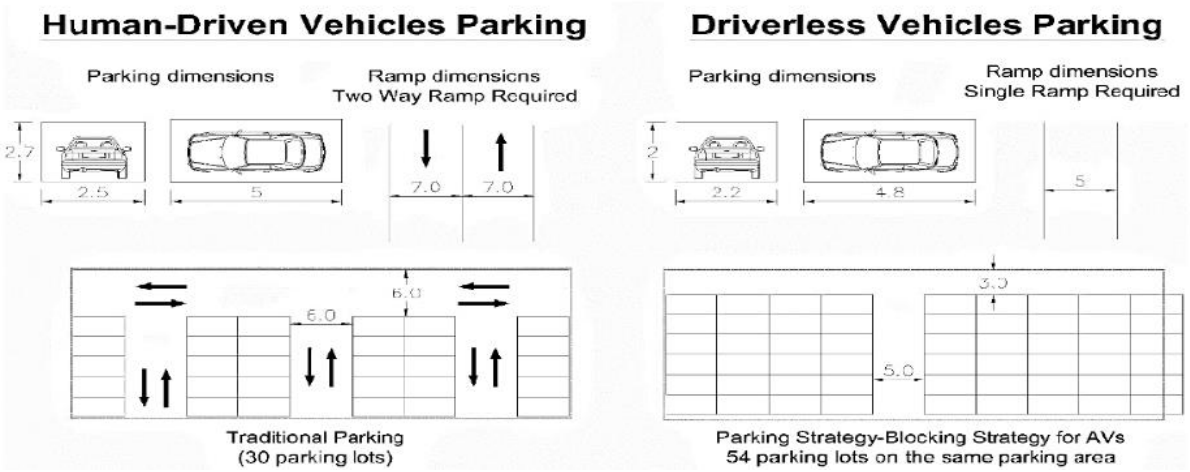
کاربران مناسب	معایب	مزایا	
افراد مرفه که زیاد سفر می‌کنند و وسیله شخصی می‌خواهند	هزینه های بالا. به کاربران اجازه نمی‌دهد وسایل نقلیه مختلفی را برای مصارف مختلف انتخاب کنند، مانند ماشین برای رفت و آمد یا کامیون برای انجام وظایف.	راحتی بالا. همیشه در دسترس. کاربران می توانند ابزار و وسایل شخصی را در وسایل نقلیه بگذارند. باعث مباهات مالک می-شود.	ماشین‌های خودران شخصی – جهت استفاده خود مالک یا اجاره دادن خودروهای خودران.
مسافت پیموده شده کمتر	کاربران باید منتظر وسایل نقلیه باشند. خدمات محدود (هیچ راننده ای که به مسافران کمک کند چمدان‌ها را با خیال راحت به درب خود حمل کنند وجود ندارد). ممکن است وسایل نقلیه کثیف باشند.	کاربران می توانند وسایل نقلیه ای را انتخاب کنند که به بهترین وجه نیازهای آنها را برآورده کند. خدمات خانه به خانه.	ماشین‌های خودران اشتراکی- تاکسی‌های خودران جهت انتقال افراد و گروه‌ها به مقصد.
ساکنان شهری با درآمد کمتر	کمترین راحتی، راحتی و سرعت، به ویژه در مناطق پراکنده.	کمترین هزینه.کاهش تراکم ترافیک و خطر تصادف. همچنین به حداقل رساندن انتشار آلودگی.	ماشین‌های سواری اشتراکی ون-های خودران (میکرو ترانزیت) جهت انتقال مسافران به مقصد.

علاوه بر این، آلودگی هوا یکی دیگر از معضلات شهرها است که با ماشین‌های خودران قابل حل است. در سال ۲۰۱۹، لاتام و نترس اظهار داشته‌اند که صرفه‌جویی در هزینه نیروی کار، کاهش انتشار دی اکسید کربن [۱۴] و دی اکسید نیتروژن [۱۵] دو مزیت ماشین خودران در این زمینه است [Latham and Nattrass,2019]. ماشین خودران الکتریکی دارای مزایایی نسبت به خودروهای سنتی است: موتورهای راحت‌تر، موتورهای کوچکتر، نگهداری ارزان‌تر، ارتعاش و سر و صدای کمتر موتور، هزینه انرژی کمتر در هر کیلومتر و سفر راحت تر از جمله مزایای آنهاست [Sanguesa et al, 2021]. علاوه بر این، استوما، کابان و دادزیاک در سال ۲۰۲۱ بیان کرده‌اند که بسیاری از کاربران جاده‌ای ماشین خودران الکتریکی را به عنوان وسایل نقلیه غالب در آینده در نظر می‌گیرند و ماشین‌های خودران به برقی تبدیل خواهند شد. آن‌ها استدلال کرده‌اند که ماشین‌های خودران الکتریکی زندگی روزمره را تغییر خواهند داد [Stoma et al, 2021]. در سال ۲۰۱۹ پژوهشی انجام شده که طی نتایج آزمایش به دست آمده از آن نشان داده است که افراد هنگام رانندگی ماشین‌های دستی استرس بیشتری نسبت به رانندگی با ماشین‌های خودران دارند و میانگین ضربان قلب در رانندگی با ماشین دستی بیشتر است. بنابراین، مدل سالم ماشین خودران قادر به افزایش ایمنی و کاهش استرس در بین کاربران جاده است [Abe, 2019]. علاوه بر این، همانطور که سیواک و شوتل بیان کردند، افراد زیادی وجود دارند که به دلیل برخی محدودیت‌ها یا ناتوانی‌های حرکتی، به طور جزئی یا کامل از

مشارکت در زندگی عمومی طرد شده‌اند [Sivak and Schoettle, 2015]. در سال ۲۰۱٦، فردریش گفته است که ماشین‌های خودران می‌توانند فرصت‌های حرکتی جدیدی را برای این گروه از افراد فراهم کنند. به طور خلاصه، بسیاری از محققان در این زمینه معتقدند که تأثیرات مثبت ماشین خودران بر ایمنی و سلامت رانندگان، دوچرخه سواران و عابران پیاده در جاده‌ها مشترک است [Friedrich, 2016., Chris, 2016] .

۳-۳-۲ ترافیک و ماشین‌های خودران

عبدالگواد و عثمان در سال ۲۰۲۰ استراتژی پارکینگ را برای ماشین‌های خودران و هم برای وسایل نقلیه غیر خودران مقایسه کرده‌اند [AbdelGawad and Othman, 2020]. به گفته آن‌ها، ٥٤ پارکینگ برای ماشین‌های خودران و ۳۰ پارکینگ برای ماشین‌های دستی در همان منطقه پارکینگ وجود داشته که در شکل ۲ نشان داده شده است. بنابراین، ماشین‌های خودران می‌توانند ارزش استفاده از زمین را در سیستم حمل و نقل افزایش دهند.



شکل ۲. استراتژی پارک برای ماشین‌های خودران و وسایل نقلیه انسانی

در سال ۲۰۱۹، بوتلو، بوئلر، هانکی، موندشاین و جیانگ ادعا کرده‌اند که این نوع وسایل نقلیه جاده‌ها را برای همه وسایل نقلیه از جمله موتورسیکلت‌ها و دوچرخه سواران ایمن‌تر می‌کند [Botello et al, 2019]. همچنین، کوهلر، کانت و ورل تراکم ترافیک را یک مشکل اجتماعی تلقی کرده‌اند که روز به روز در حال افزایش است [Köhler, Connette and Verl, 2013] در همین راستا، تارگ و استون در سال ۲۰۱٦ به مشکلات ترافیکی مانند تعداد زیادی خودرو در جاده‌ها، تصادفات و تلفات بیشتر، تأثیرات منفی زیست محیطی و اقتصادی اشاره کرده‌اند که همه آن‌ها را می‌توان با سیستم‌های حمل و نقل هوشمند حل کرد که این مشکلات را حداقل کند [Targe and Satone, 2016]. سیستم حمل و نقل هوشمند شامل فناوری‌های مختلفی مانند فناوری‌های بیسیم پیشرفته، الکترونیکی و خودکار است تا تسهیل استفاده از حمل و نقل و مدیریت این سیستم را بهبود بخشد. همچنین سیستم حمل و نقل هوشمند[16] بر چهار اصل اساسی استوار است: توسعه پایدار، یکپارچگی، ایمنی و پاسخگویی برای دستیابی به اهداف اصلی مانند دسترسی و تحرک، پایداری محیط زیست و توسعه اقتصادی [Guerrero-Ibanez, Zeadally, and Contreras-Castillo, 2015]. علائم راهنمایی و رانندگی بسیار سودآور هستند که می‌توانند سرعت ترافیک، ادغام وسایل نقلیه و گذرگاه‌ها و همچنین تعامل بین وسایل نقلیه و حالت‌های کم سرعت یا مدهای حمل و نقلی بدون موتور مانند دوچرخه، عابران پیاده و ویلچر در تقاطع‌ها را مدیریت کنند [Shaheen and Finson, 2013].

۳-۳-۳ زمان و ماشین‌های خودران

پیاده‌سازی ماشین‌های خودران چند دهه طول می‌کشد. بنابراین ممکن است هم رانندگی با ماشین‌های معمولی و هم این وسایل نقلیه جدید به طور همزمان در جاده‌ها وجود داشته باشد. در حقیقت، انقلابی در بازار خودرو هدف ماشین خودران است که به مسافران اجازه می‌دهد به جای رانندگی فعالیت‌های دیگری انجام دهند. بنابراین زمان سفر ضرر اقتصادی نخواهد داشت. مالوکین، سیرسلا و مختاریان در سال ۲۰۱۹ ویژگی‌های این وسایل نقلیه را بررسی کرده‌اند و اشاره داشته‌اند که مدت زمان سفر برای بهبود سیستم حمل و نقل کاهش می‌یابد [Malokin, Circella and Mokhtarian, 2019].

۳-۳-٤ هزینه‌ها و ماشین‌های خودران

ماشین‌های خودران پتانسیل بهبود سفر و شکل دادن به زندگی شهری را دارند، اما نرخ بازار آن‌ها بستگی زیادی به هزینه‌ها دارد. به گفته کیم، جین، پارک و کانگا در سال ۲۰۱۹، قبل از استفاده از ماشین‌های خودران به عنوان سیستم حمل و نقل، سیستم رزرواسیون سفر و همچنین سیستم قیمت گذاری پویا باید در نظر گرفته شود [Kim et al, 2019]. اونگل و همکاران هزینه‌های عملیاتی مانند هزینه‌های انرژی، مالیات راه، هزینه‌های نظافت، هزینه‌های نگهداری وسایل نقلیه و هزینه پرسنل را ارزیابی کرده‌اند. آن‌ها مشاهده کرده‌اند که ماشین‌های خودران در تغییر اجزای هزینه مانند هزینه‌های انرژی و هزینه‌های تعمیر و نگهداری انعطاف بیشتری دارند [Ongel et al, 2019]. همانطور که بارابس، تودورو کوردو و مولیا در سال ۲۰۱۷ ادعا کرده‌اند، این ماشین‌های بدون راننده شتاب و ترمز را کاهش می‌دهند، بنابراین مصرف سوخت و هزینه‌های مربوط به آن نیز کاهش می‌یابد [Barabás et al, 2017]. همچنین، دندل، گروبرگ، فریسب و بگنبرگ در سال ۲۰۱۹ ادعا کرده‌اند که استفاده از سیستم حمل و نقل عمومی به زمان و هزینه زیادی نیاز دارد که ماشین‌های خودران می‌توانند به دولت کمک کنند تا این هزینه‌های سفر را کاهش دهد [Dandl et al, 2019]. علاوه بر این، مدینا تاپیا و روبست در سال ۲۰۱۹ ادعا کرده‌اند که یکی از تأثیرات مستقیم ماشین‌های خودران کاهش هزینه‌های عمومی سفر است که رانندگی کارآمد موجب صرفه‌جویی در هزینه‌های سوخت و بهبود سرعت سفر می‌شود [Medina-Tapia and Robuste, 2019]. بوش، بکر و آگزاسن در سال ۲۰۱۸ هزینه‌ها و قیمت وسایل نقلیه و خدمات حمل و نقل را بر اساس پارامترهای مختلف مانند هزینه هر کیلومتر مسافر، هزینه هر کیلومتر خودرو، هزینه هر کیلومتر صندلی و قیمت هر کیلومتر مسافر محاسبه کرده‌اند. به گفته بوش و همکاران در سال ۲۰۱۸، با ورود این فناوری جدید نیازی به بیمه مسئولیت راننده نیست، بنابراین هزینه بیمه کاهش می‌یابد. در واقع، آن‌ها به احتمال زیاد هزینه بیمه خودروها را کاهش می‌دهند [Bösch et al, 2018].

۳-۳-۵ الزامات ماشین‌های خودران در آینده

به طور کلی، برخی از مزایای ماشین‌های خودران عبارتند از جابجایی راحت برای رانندگان مرفه، کاهش ترافیک و ازدحام در پارکینگ، جابجایی راحت برای افراد کم درآمد، افزایش ایمنی، صرفه جویی در مصرف انرژی و کاهش آلودگی که در صورت متداول شدن وسایل نقلیه خودران قابل توجه و مقرون به صرفه خواهد بود. در این راستا، بسیاری از تصمیم‌گیرندگان و پزشکان نگران تأثیرات ماشین‌خودران بر فعالیت‌های سفر آینده هستند. از سوی دیگر، ایمنی و امنیت سایبری مسائل مهمی در ماشین‌های خودران هستند. همانطور که پیزارو و مستر در سال ۲۰۲۱ اشاره کرده‌اند که نقص اصلی ماشین‌های خودران امنیت سایبری است زیرا هکرها می‌توانند به نرم افزار خودروها نفوذ کرده و آن‌ها را مختل کنند [Pisarov and Mester, 2021].. در برخی موارد، هکرها می‌توانند کنترل این خودروها را در دست بگیرند و باعث تصادف عمدی شوند [Kyriakidis, Happee and De Winter, 2015]. دغدغه اصلی شرکت‌های ماشین خودران این است که خودروهایی را با فناوری "ضد هک" تولید کنند. [Jinyuan, Chi and Yuguang, 2007]

لیتمن در سال ۲۰۲۰ هزینه‌ها و مزایای ماشین‌های خودران را که می‌تواند داخلی یا خارجی باشد خلاصه کرد [Litman, 2020]. جدول ۳ مشکلات مربوط به ماشین‌های خودران و پیامدهای آن‌ها را نشان داده است. بسیاری از شرکت‌هایی که ماشین خودران تولید می‌کنند باید بتوانند مشکلات داخل خودروها را تشخیص داده و سعی کنند راه‌هایی برای مدیریت آن‌ها ایجاد کنند [Albini, Tokody and Rajnai, 2019].

جدول ۳. هزینه و مزایای وسایل نقلیه خودمختار (Litman, 2020).

	هزینه‌ها/ مشکلات	فواید
داخلی (تأثیر بر کاربر)	افزایش هزینه خودرو. به تجهیزات، خدمات و هزینه‌های اضافی خودرو نیاز دارد. خطرات اضافی کاربر. تصادفات اضافی ناشی از خرابی سیستم، اعزام نیروها ، سرعت بیشتر ترافیک ، ریسک پذیری اضافی و افزایش کل سفر با وسایل نقلیه. امنیت و حریم خصوصی کاهش یافته است. ممکن است در برابر سوء استفاده از اطلاعات (هک) آسیب پذیر باشد و ویژگی‌هایی مانند ردیابی مکان و به اشتراک‌گذاری داده‌ها ممکن است حریم خصوصی را کاهش دهد.	کاهش استرس رانندگان و افزایش بهره‌وری. رانندگان می‌توانند هنگام سفر استراحت، بازی و کار کنند. تحرک بیشتر برای غیر رانندگان، تحرک مستقل برای غیر رانندگان می‌تواند مسئولیت راننده و نیازهای مالی حمل و نقل را کاهش دهد. کاهش هزینه راننده، هزینه رانندگان تاکسی و حمل و نقل تجاری را کاهش می‌دهد.
خارجی (تاثیر بر دیگران)	خطرات اضافی. ممکن است خطرات را برای سایر کاربران جاده افزایش دهد و ممکن است برای فعالیت‌های مجرمانه مورد استفاده قرار گیرد. افزایش مشکلات ترافیکی، افزایش سفر با وسایل نقلیه ممکن است تراکم ، آلودگی و هزینه‌های مربوط را افزایش دهد. نگرانی‌های حقوق اجتماعی ممکن است گزینه‌های تحرک مقرون به صرفه شامل خدمات پیاده‌روی، دوچرخه سواری و حمل و نقل را کاهش دهد. کاهش اشتغال. مشاغل رانندگان ممکن است کاهش یابد. افزایش هزینه‌های زیرساختی. ممکن است استانداردهای بالاتر طراحی و نگهداری راه‌های نیاز داشته باشد. کاهش پشتیبانی از راه‌حل‌های دیگر. پیش‌بینی‌های خوش بینانه رانندگی مستقل ممکن است سایر پیشرفت‌های حمل و نقل و استراتژی‌های مدیریت را دلسرد کند.	افزایش ایمنی. ممکن است خطرات تصادف و هزینه‌های بیمه را کاهش دهد. ممکن است رانندگی پرخطر را کاهش دهد. افزایش ظرفیت جاده‌ها و کاهش هزینه‌ها. تردد وسایل نقلیه کارآمدتر ممکن است تراکم و هزینه‌های راه را کاهش دهد. کاهش هزینه‌های پارکینگ. تقاضای پارکینگ در مقاصد را کاهش می‌دهد. کاهش مصرف انرژی و آلودگی، ممکن است راندمان سوخت را افزایش داده و آلایندگی را کاهش دهد. از اشتراک‌گذاری خودرو پشتیبانی می‌کند. می‌تواند اشتراک خودرو و سواری را تسهیل کند، هزینه کل مالکیت خودرو و سفر و هزینه‌های مربوطه را کاهش دهد.

علاوه بر مشکلات ارائه شده، تهدیدهای دیگر حاصل از این وسایل نقلیه مشخص نیست. ماشین‌های خودران علی‌رغم مشکلات احتمالی، به توسعه‌ی خود ادامه می‌دهند. بسیاری از محققان آزمایشاتی را در این زمینه انجام می‌دهند تا نشان دهند که مردم در وسیله نقلیه بدون راننده، احساس امنیت دارند. به طور کلی، ماشین‌های خودران در آینده نزدیک بر بسیاری از

مشاغل و صنایع از جمله صنعت حمل و نقل و مشاغل مرتبط با آن تأثیر خواهند گذاشت [Johnson, 2017].

۳-۳-٦ فناوری‌های به کاررفته در ماشین‌های خودران

ماشین‌های بدون راننده و سیستم‌های دستیار راننده به ترکیبی متعادل از فناوری‌ها مانند رادار، لیدار، دوربین‌های مختلف، کامپیوتر مرکزی، سیستم رمزگذار و گیرنده، سیستم موقعیت‌یاب جهانی و ... اتکا می‌کنند. معمولا قابلیت‌های این فناوری‌ها با یکدیگر همپوشانی دارند اما هرکدام از آن‌ها نقاط ضعف و قوت خود را دارند [Anderson et al, 2014].

- **ونت**

فناوری مورد استفاده برای جابه‌جایی اتومبیل‌ها به صورت مشترک برای ایجاد یک شبکه حمل و نقل، ونت نام دارد [Targe and Satone, 2016]. این فناوری می‌تواند انقلاب بعدی در اطلاعات باشد که این اجازه را می‌دهد تا ماشین‌ها، بدون راننده باشند. این ماشین‌ها از طریق ونت، یک اتصال بی‌سیم می‌شوند تا یک شبکه وسیع ایجاد کنند [Zeadally et al, 2012]. در این حالت سایر وسایل نقلیه نیز به یکدیگر متصل می‌شوند تا یک شبکه متحرک ساخته شود. [Offor, 2012].

- **لیدار**

از آخرین فناوری‌های مسیردهی در صنعت خودرویی، لیدار است که توجه‌ها را به خود جلب کرده است. در این سیستم مسافت‌یابی و ردیابی به وسیله سیگنال‌های نوری انجام می‌شود. لیدارها به جای استفاده از امواج صوتی و رادیویی برای اسکن محیط اطراف، از پالس‌های نور لیزر استفاده می‌کنند. به این ترتیب سیستم لیدار می‌تواند با سرعت نور محیط اطراف را تصویر کند. این فناوری ابتدا توسط ناسا و ارتش امریکا برای دنبال کردن ماه و فاصله ماهواره‌ها ایجاد شد [Bajpayee and Mathur, 2015].

- **رادار**

رادار پشت بدنه فلزی ماشین قرار می‌گیرد.. رادار که در شرایط آب و هوایی بد هم قابل اتکاست، تا چند صد متر را به خوبی می‌بیند و سرعت تمام اجسام متحرک را تشخیص می‌دهد. به کارگیری این ابزار در سطوح مختلف سیستم خودران باعث افزایش دقت می‌شود. دو دستگاه رادار روی سپر جلو و دو دستگاه هم روی سپر عقب ماشین این اجازه را به ماشین می‌دهند تا با فرستادن سیگنال به پردازشگر داخل ماشین با اقدام مناسب از برخورد جلوگیری کنند [Bajpayee and Mathur, 2015].

- **سیستم موقعیت یاب جاده‌ای**

یکی از فاکتورهای مهم در ایمنی ماشین‌های بدون راننده داده‌های سیستم موقعیت‌یاب با دقت بالا است [Isaac et al, 2008]. البته این سیستم، حسگر اصلی در ماشین‌های خودران نیست بلکه یک پشتیبان است. مزیت این سیستم ارزان و دقیق بودن آن است. در حال حاضر مناطق مختلف جهان از سیگنال‌های متفاوت استفاده می‌کنند که مشکل اصلی این سیستم است [Barzegar, Doukhi and Lee, 2021].

- **دوربین**

یکی دیگر از فناوری‌هایی که در ماشین‌های خودران استفاده می‌شود، دوربین است. دوربین‌های نصب شده روی شیشه جلوی اتومبیل با مقایسه سطح خیابان و خطوط مرزی، خط‌کشی های خیابان را تشخیص می‌دهد. اگر ماشین سهواً خط خود را ترک کند فرمان به راننده هشدار می‌دهد. یک دوربین روی شیشه جلوی خودرو قرار دارد که تابش اشعه فروسرخ را تشخیص می‌دهد و یک تصویر روشن روی نمایشگری که روی داشبورد است ایجاد می‌کند که باعث مشخص شدن موانع و خطرات در راه می‌شود. دوربین‌های دیگر چراغ‌های راهنمایی را شناسایی می‌کنند. علائم جاده را می‌خوانند و پشت وسایل نقلیه دیگر حرکت می‌کنند و به طور همزمان مراقب عابران پیاده و سایر موانع نیز هستند [Jiang et al, 2015].

- **حسگرهای مافوق صوت و موقعیت یاب**

یکی از مهمترین مسائل مطرح در ماشین‌های خودران ایجاد درک نسبت به محیط خارجی برای جلوگیری از برخورد نامطلوب به اشیاء موجود در محیط حرکت است [Barabás et al, 2017]. از سوی دیگر ممکن است نیاز داشته باشیم که خودرو بتواند درکی از فاصله‌ها بدون تماس فیزیکی داشته باشد. برای این منظور از حسگرهای مافوق صوت استفاده می‌شود. این حسگرها معمولا درون سیستم رمزگذاز تعبیه می‌شوند و می‌توانند موقعیت جدول‌ها و سایر وسایل نقلیه را هنگام حرکت و پارک کردن تشخیص دهند [Wadud, MacKenzie and Leiby, 2016].

٤. مواد و روش‌ها

هوش مصنوعی سعی بر آن دارد تا خطای انسانی را در عین افزایش بهره‌وری از منابع، کاهش دهد [Bajpayee and Mathur, 2015]. خطاهای رخ‌داده در مسئله حمل و نقل اغلب جبران‌ناپذیراند. به طوری که خسارات ناشی از اشتباهات رانندگی بر هیچ‌کس پوشیده نیست. لذا در صورت کاهش دخالت انسان و افزایش دقت عمل، به وسیله هوش مصنوعی، بسیاری از خسارات مالی و غیرمالی کاهش خواهند یافت. روش کار در این پژوهش شبیه‌سازی سیستم حمل ونقل درون شهری توسط ماشین‌های خودران است. بدین منظور از الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای یافتن بهترین مسیر استفاده شده است.

در علم یادگیری ماشین تلاش شده است تا با بهره‌گیری از الگوریتم‌ها، یک ماشین به شکلی طراحی شود که بدون آن‌که صراحتا برنامه‌ریزی و تک تک اقدامات به آن دیکته شود بتواند بیاموزد و عمل کند. در علم یادگیری ماشین، به جای برنامه‌نویسی همه چیز، داده‌ها به یک الگوریتم عمومی داده می‌شوند و این الگوریتم است که براساس داده‌هایی که به آن داده شده منطق خود را می‌سازد. یادگیری ماشین روش‌های گوناگونی دارد که از آن جمله می‌توان به یادگیری نظارت شده، نظارت نشده و یادگیری تقویتی اشاره کرد [AbdelGawad and Othman, 2020]. حال به کمک یادگیری تقویتی عمیق، نحوه پیاده‌سازی ماشین‌های خودران شرح داده می‌شود.

دقت نسبتا بالای مسائل حل شده توسط یادگیری عمیق نیز یکی دیگر از دلایل انتخاب این روش برای حل مسئله است. یادگیری تقویتی عمیق به عنوان زیرمجموعه‌ای از علم یادگیری ماشین به عنوان ابزاری جهت شبیه‌سازی ماشین‌های خودران مورد استفاده قرار گرفته است. همچنین در این پژوهش از زبان برنامه‌نویسی پایتون به عنوان ابزاری جهت پیاده‌سازی طرح استفاده شده است که بخشی از آن در قسمت پیاده‌سازی آورده شده است.

٥. پیاده‌سازی و اجرا

پیاده‌سازی این پروژه شامل سه بخش کلی زیر می‌شود:

١. پیاده‌سازی شبیه‌ساز فضای رانندگی

٢. پیاده‌سازی مدل یادگیری ماشین

٣. پیاده‌سازی رابط بین شبیه‌ساز و مدل طراحی‌شده

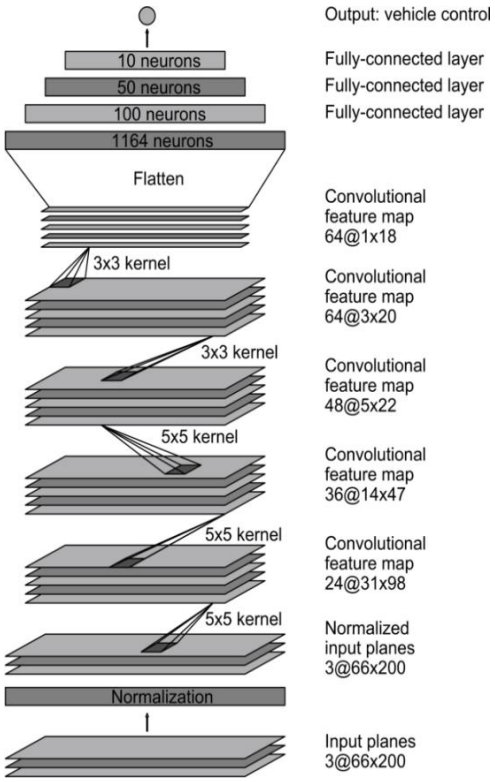
٥-١ شبیه‌ساز

به دلیل عدم امکان توسعه، اشکال‌یابی و ارزیابی چنین سیستمی در فضای حقیقی، بهتر است از یک شبیه‌ساز استفاده شود تا در صورت نتایج مطلوب، بتوان آن را در سیستم‌های واقعی امتحان و ارزیابی کرد. در این بخش به علت صرفه‌جویی در زمان و کارایی بهتر تصمیم به استفاده از شبیه‌ساز طراحی‌شده توسط شرکت Udacity شده است. این شبیه‌ساز با هدف کمک به تسریع در فرآیند طراحی ماشین‌های خودران طراحی‌شده و از امکانات مناسبی برخوردار است. شاکله اصلی این پروژه شبکه عصبی آن است. وظیفه‌ی این قسمت، یادگیری سیستم و تصمیم‌گیری بر اساس حالت کنونی است. در این مسئله از ترکیب شبکه‌های عصبی Dense و Convolutional استفاده شده است. شکل ٣ فضای شبیه‌ساز Udacity را نشان می‌دهد. همچنین شکل ٤ نشان‌دهنده‌ی معماری شبکه عصبی مورد استفاده در برنامه است.

بخشی از کد مربوط به شبکه عصبی که با استفاده از Keras (کتابخانه یادگیری عمیق در پایتون) پیاده سازی شده است به شرح زیر است:

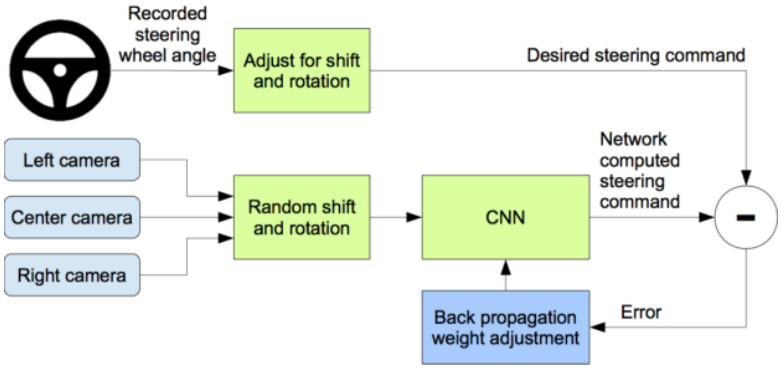
```
model = Sequential()
model.add(Lambda(lambda x: x/127.5-0.1, input_shape=INPUT_SHAPE))
model.add(Conv2D(24, 5, 5, activation='elu', subsample=(2, 2)))
model.add(Conv2D(36, 5, 5, activation='elu', subsample=(2, 2)))

model.add(Conv2D(48, 5, 5, activation='elu', subsample=(2, 2)))
model.add(Conv2D(64, 3, 3, activation='elu'))
model.add(Conv2D(64, 3, 3, activation='elu'))
model.add(Dropout(args.keep_prob))
model.add(Flatten())
model.add(Dense(100, activation='elu'))
model.add(Dense(50, activation='elu'))
model.add(Dense(10, activation='elu'))
model.add(Dense(1))
```

شکل ۳. فضای شبیه ساز Udacity



شکل ٤. مدل شبکه عصبی

چرخه یادگیری و نحوه استفاده از شبکه عصبی در شکل ۵ نشان داده شده است. در این چرخه ابتدا یکی از عکس‌های از زاویه راست، چپ و وسط انتخاب شده، و سپس یکی از تکنیک‌های ساخت اطلاعات روی آن اعمال می‌شود. سپس آن عکس به عنوان ورودی به شبکه عصبی داده می‌شود. خروجی شبکه عصبی با خروجی مورد انتظار مقایسه شده و مقدار خطا برای به‌هنگام‌سازی شبکه عصبی با الگوریتم Back Propagation استفاده خواهد شد.

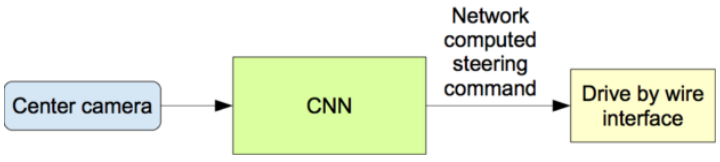


شکل ۵. چرخه یادگیری

۵-۲ رابطه بین شبیه‌ساز و مدل

یکی از چالش‌های پروژه طراحی رابطی برای ارسال دستورات و اطلاعات بین شبیه‌ساز و مدل بوده است. عملکرد این رابط به این صورت است که اطلاعات مورد نیاز برای هدایت ماشین را از طریق Socket (ابزار مورد استفاده در پایتون) از شبیه‌ساز برای شبکه عصبی ارسال کرده و شبکه پس از انجام محاسبات دستور پیش بینی شده برای این اطلاعات را به شبیه‌ساز ارسال می‌کند. این فرآیند در شکل ٦ نشان داده شده است. برای طراحی این رابط از کتابخانه Flask (ابزار مورد استفاده در پایتون) استفاده شده است. قسمتی از کد این رابط به صورت زیر است:

```
socket = socketio.Server()
app = Flask(__name__)

class Sender:

    def __init__(self):

        self.image_save = False

    def send(self, angle, throttle):

        socket.emit("steer",
data={'steering_angle': str(angle), 'throttle':
str(throttle)}, skip_sid=True)
```



شکل ٦. نحوه عملکرد سیستم

۵-۳ ایجاد اطلاعات جدید با استفاده از اطلاعات استخراج شده

با استفاده از چند تکنیک، اطلاعات جدید و مفیدی را می‌توان برای یادگیری سیستم ساخت. یکی از روش‌ها Flip کردن تصاویر است. همانطور که توضیح داده شده است، ورودی سیستم عکس محیط روبه‌روی ماشین و خروجی سیستم زاویه فرمان خواهد بود. پس برای یادگیری باید چندین عکس از محیط و زاویه فرمان مورد انتظار داشته باشیم. حال بر فرض درست بودن اطلاعات ورودی، در صورت Flip کردن تصویر می‌توان گفت که زاویه فرمان قابل محاسبه خواهد بود. در شبیه‌ساز

استفاده شده برای این پروژه، زوایای مثبت به معنای چرخانده شدن فرمان به سمت راست، شکل ۷ و زاویه‌های منفی به معنای چرخانده‌شدن فرمان به سمت چپ، شکل ۸ است. حال با در اختیار داشتن یک عکس و زاویه فرمان مورد انتظار، با Flip کردن عکس و قرینه کردن زاویه فرمان، می‌توانیم اطلاعات جدیدی را ایجاد کنیم. به عنوان مثال اگر زاویه فرمان مناسب برای عکس زیر مقدار ۹,۵ باشد، در آن صورت زاویه فرمان مناسب برای عکس بعد مقدار ۹,۵- خواهد بود.

شکل ۷. تصویر اصلی با زاویه فرمان مناسب ۹,۵ درجه

شکل ۸. تصویر تغییریافته با زاویه فرمان مناسب ۹,۵- درجه

یکی دیگر از روش های ساخت اطلاعات جدید در این پروژه، Shift تصاویر است. با توجه به اینکه تصاویر و اطلاعات تهیه شده توسط شبیه‌ساز از سه زاویه‌ی روبه‌رو، آینه‌ی سمت راست و آینه‌ی سمت چپ است. برای مثال اگر بخواهیم از عکس زاویه آینه‌ی سمت راست برای یادگیری استفاده کنیم باید کمی عکس را به سمت چپ شیفت داده و مقدار زاویه فرمان را کمی کمتر از زاویه فرمان مورد انتظار کنیم. با این کار در واقع اطلاعات جدیدی برای یادگیری تولید خواهد شد.

٥-٤ اجرای چندباره عملیات یادگیری با استفاده از ترکیب اطلاعات موجود و اطلاعات ساخته شده

در یادگیری سیستم تنها با یک DataSet، در صورت مشاهده‌ی فضاهای جدید، عملکرد مناسب ایجاد نخواهد شد. لذا بهتر است از ترکیب اطلاعات موجود و اطلاعات ساخته شده برای یادگیری استفاده کنیم. در این صورت سیستم در صورت مشاهده حالت-های جدید از فضا عملکرد بهتری خواهد داشت. همچنین اگر عملیات یادگیری چندبار و با ترکیبات مختلف از اطلاعات موجود و اطلاعات ساخته شده انجام شود، یادگیری کامل‌تر و دقت سیستم بهتر خواهد بود.

٥-٤-١ پیاده‌سازی رابط بین شبیه‌ساز و کد

برای فرمان دادن به ماشین که در شبیه‌ساز در حال رانندگی است، باید یک رابط طراحی شود تا بتواند از شبیه‌ساز اطلاعات فضا و حالت کنونی را دریافت کرده و با توجه به پیاده‌سازی و راهبرد یادگرفته شده، فرامین لازم را به ماشین برای کنترل آن بفرستد. پیاده سازی این رابط با استفاده از SocketIO پیاده‌سازی شده است. معماری این رابط به نوعی رخدادگرا است. در رخدادهای مختلف اعم از اتصال، ارسال اطلاعات از شبیه‌ساز و ... تابع‌های متناسب با آن اتفاق پیاده‌سازی شده است. برای مثال هنگام رخداد ارسال اطلاعات از سمت شبیه‌ساز، تابع زیر فراخوانی می‌شود:

```
@socket.on('telemetry')
def telemetry(sid, data):
    if data:
        speed = float(data["speed"])
        image = Image.open(BytesIO(base64.b64decode(data["image"])))
        if sender.image_save:
            timestamp = datetime.utcnow().strftime('%Y_%m_%d_%H_%M_%S_%f')[:-3]
```

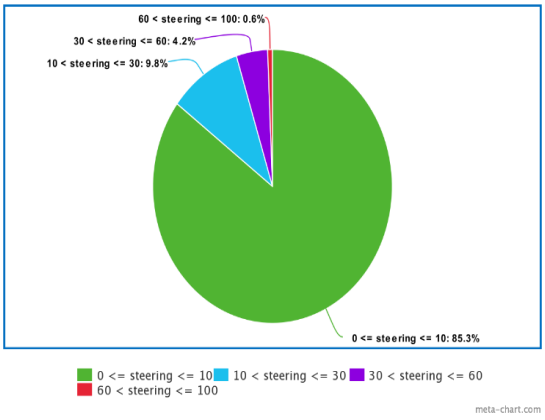
```
image_filename = os.path.join(args.image_folder, timestamp)
image.save('{}.jpg'.format(image_filename))
try:
    image = numpy.asarray(image)
    image = utils.preprocess(image)
    image = numpy.array([image])
    steering_angle = float(model.predict(image, batch_size=1))
    global speed_limit
    if speed > speed_limit:
        speed_limit = MIN_SPEED
    else:
        speed_limit = MAX_SPEED
    throttle = 1.0 - steering_angle ** 2 - (speed / speed_limit) ** 2
    sender.send(steering_angle, throttle)
except Exception as e:
print(e)
else:
    socket.emit('manual', data={}, skip Sid=True)
```

۵-٤-۲ آزمایش‌ها

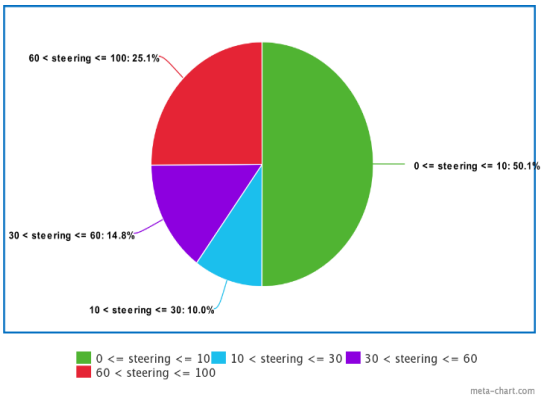
پس از یادگیری‌های متعدد و آزمون و خطاهای پی‌درپی و یافتن پارامتر های مناسب برای یادگیری شبکه عصبی، اعم از تعداد Epochها، تعداد نمونه‌های هر Epoch، مقدار تعیین‌کننده Dropout، اندازه Batch Size و ... به نتیجه زیر برای یادگیری بهتر رسیدیم.

- Learning Rate=1e−4
- Test Size=0.2
- Epoch Number=10
- Batch Size=40
- Samples Per Epoch=30000
- Dropout=0.8

این مقادیر برای پارامترهای شبکه عصبی، لزوما بهترین نتیجه ممکن را به ارمغان نخواهند آورد و ممکن است یک لیست پارامتر بهتر از این لیست وجود داشته باشد. پس از یادگیری سیستم، حال زمان اجرا و ارزشیابی است. شبیه‌ساز دارای دو جاده است که یکی از آن‌ها برای رانندگی آسان (شکل ۹) و دیگری برای رانندگی سخت (شکل ۱۰) است. ابتدا نتایج اطلاعات ورودی در هر جاده، محاسبه شده است. نمودار زیر نشان دهنده درصد فراوانی بازه‌های زاویه فرمان در طول کل رانندگی است.

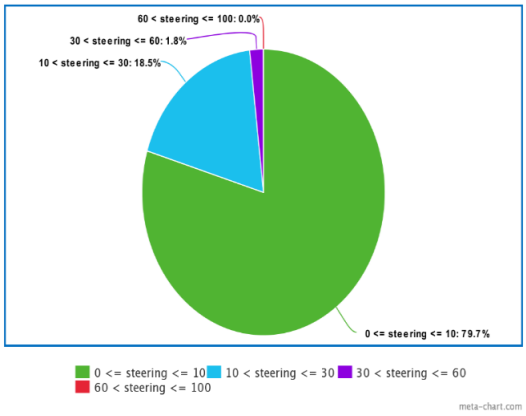


شکل ۹. اطلاعات مربوط به جاده آسان برای داده‌ی ورودی

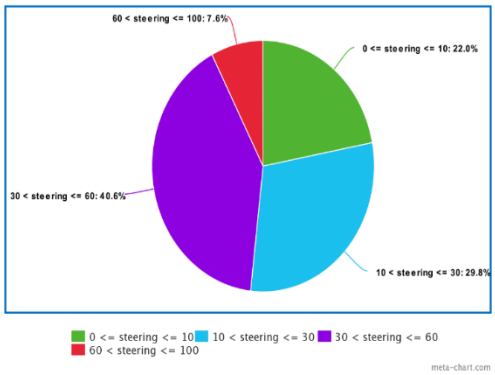


شکل ۱۰. اطلاعات مربوط به جاده سخت برای داده‌ی ورودی

پس از اجرای مدل یادگیری شده در دو جاده به نتایج زیر رسیدیم:



شکل ۱۱. اطلاعات مربوط به مدل یادگیری شده در جاده آسان



شکل ۱۲. اطلاعات مربوط به مدل یادگیری شده در جاده سخت

همانطور که قابل مشاهده است، در جاده آسان درصد مشابهت ۹۱,۹ ٪ کسب شده است، شکل ۱۱ که در نوع خود شگفت‌انگیز است. در این جاده سیستم توانسته به خوبی از رانندگی فرد استخراج کننده اطلاعات تقلید کند. در این حالت کنترل ماشین در هیچ حالتی با شکست روبه‌رو نمی‌شود. ولی در جاده سخت، درصد تشابه عملکرد انسان و هوش مصنوعی پیاده‌سازی شده ۵٤,٤ ٪ است، شکل ۱۲ گرچه این درصد بسیار پایین به نظر می‌رسد، ولی با توجه به مشاهدات، سیستم در این حالت نیز با شکست روبه‌رو نمی‌شود و ماشین با موفقیت مسیر خود را ادامه می‌دهد. از دیگر نتایج مشهود و قابل ملاحظه، با توجه به نمودارهای بالا، کاهش چرخش‌های با زاویه بالا در سیستم یادگیری نشان‌دهنده امکان افزایش امنیت ماشین‌های خودران باشد.

٦. نتیجه‌گیری کلی

این روزها، یکی از مهمترین موضوع‌ها در سیستم حمل و نقل، ماشین‌های خودران است که مردم را بدون هیچ گونه کنترل مستقیم توسط انسان، به سوی مقصد سوق می‌دهند. ماشین‌های خودران برای عملکرد مناسب به تجهیزات خاصی مانند نرم افزار پیشرفته، محرک‌ها، الگوریتم‌ها، کنترل‌کننده‌ها، رایانه های داخلی و حسگرهای مختلف نیاز دارند. در این ماشین‌ها، محدودیت-هایی مانند خستگی راننده، سرعت بیش از حد و نادیده گرفتن قوانین راهنمایی و رانندگی وجود ندارد، زیرا این ماشین‌ها قادر به تشخیص موانع هستند. این وسایل نقلیه جدید باید یاد بگیرند که در شرایط پیش بینی شده و غیرمنتظره مانند آب و هوای نامناسب که شرایط جاده را تحت تأثیر قرار می‌دهد، به درستی رانندگی کنند. در این پژوهش ابتدا به پیاده‌سازی شبیه‌ساز فضای رانندگی پرداخته شده است و سپس پیاده‌سازی با استفاده از مدل یادگیری ماشین شرح داده شده و رابط بین شبیه‌ساز و مدل طراحی‌شده اجرا گردیده است. در انتها تشابه عملکرد انسان و هوش مصنوعی قبل و بعد از اجرای طرح سنجیده شده است. آنچه به عنوان طرح مورد هدف پیاده‌سازی شده است نشانگر درصد بالای مشابهت کنترل زاویه فرمان توسط انسان و هوش مصنوعی در جاده‌ها به خصوص جاده‌های آسان بوده است. به عنوان آخرین کلمه، معرفی و اجرای مقیاس وسیع ماشین‌های خودران زمان‌بر است، زیرا زیرساخت های جدید و ایمن باید در همه جوامع آماده شود. با توجه به مشاهدات، می‌توان گفت که روش‌های یادگیری عمیق برای سیستم‌های خودران مناسب است. از یادگیری عمیق می‌توان در بخش‌هایی که از حساسیت کمی برخوردار هستند، در یک ماشین خودران کامل استفاده نمود.

۷. پیشنهادات برای آینده

۷-۱ کنترل سرعت توسط شبکه عصبی

در حال حاضر، تنها پارامتر رانندگی که از سمت برنامه کنترل می‌شود، میزان زاویه فرمان است. در برنامه حاضر سرعت ماشین با یک فرمول ثابت که میزان نیروی وارده بر موتور را تعیین می‌کند مشخص می‌شود. اگر میزان زاویه فرمان Steering Angle باشد، میزان نیروی وارده بر موتور (Throttle) با فرمول زیر محاسبه می‌شود.

$$Throttle = 1 - SteeringAngle^2 - (Speed / SpeedLimit)^2$$

که در این فرمول Speed سرعت کنونی ماشین و Speed Limit بیشترین سرعت ممکن برای ماشین است. یکی از کارهای آینده می‌تواند تعیین میزان نیروی وارده بر موتور توسط شبکه عصبی باشد.

۷-۲ پیاده‌سازی در محیط‌ها و شبیه‌سازهای واقع‌گرایانه‌تر

پیاده‌سازی الگوریتم کنونی بر روی شبیه‌ساز Udacity انجام شده‌است. یکی از شبیه‌سازهای دیگر در این زمینه، شبیه‌ساز AirSim است. این شبیه ساز، محصول شرکت مایکروسافت است. محیط این شبیه‌ساز بسیار واقع‌گرایانه‌تر از شبیه‌ساز کنونی بوده و شرایط متنوع‌تری را شبیه‌سازی می‌کند. لذا نتایج به دست آمده می‌توانند به خوبی آزمایش شوند. بنابراین پیشنهاد می‌شود در کارهای تحقیقاتی آینده، شبیه سازهای دیگر نیز مورد استفاده قرار گیرند.

۸. پی‌نوشت‌ها

1. Autonomous Vehicles
2. Autonomous Electrical Vehicle (AEV)
3. Uber Technologies Inc
4. Lyft Inc
5. Global Positioning System
6. Vanet
7. Lidar
8. Radar
9. Highly Autonomous Driving
10. Fully Autonomous Driving
11. Dijkstra
12. Autonomous Electrical Vehicles
13. Society of Automotive Engineers
14. (CO2)
15. (NO2)
16. Intelligent transportation System

۹. مراجع

- Abe, R. (2019) “Introducing autonomous buses and taxis: Quantifying the potential benefits in Japanese transportation systems”, Transportation Research Part A: Policy and Practice, 126: 94-113. https://doi.org/10.1016/j.tra.2019.06.003.

- AbdelGawad, H.; Othman, K. (2020) “Multifaceted Synthesis of Autonomous Vehicles’ Emerging Landscape. In Connected and Autonomous Vehicles in Smart Cities”, CRC Press: Boca Raton, FL, USA: 67–113. https://doi.org/10.1201/9780429329401-3.

- Albini, A., Tokody, D., Rajnai, Z. (2019) “Theoretical study of Cloud Technologies, Interdisciplinary Description of Complex Systems”, . https://doi.org/10.7906/ indecs.17.3.11, Vol. 17, No. 3-A. 511-519.

- Anderson, J. M., Nidhi, K., Stanley, K. D., Sorensen, P., Samaras, C., and Oluwatola, O. A. (2014) “Autonomous vehicle technology: A guide for policymakers”, Rand Corporation. https://www.rand.org/pubs/research_reports/RR443-2.html. https://doi.org/10.7249/RR443-2.

- Bagloee, S.A.; Tavana, M.; Asadi, M.; Oliver, T. (2016) “Autonomous vehicles: Challenges, opportunities, and future implications for transportation policies”, Journal of Modern Transportation. 24, 284–303. https://doi.org/10.1007/s40534-016-0117-3.

- Bajpayee, D. and J. Mathur. A. (2015) “comparative study about autonomous vehicle. in Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS) ”,

- Friedrich, B. (2016) "The Effect of Autonomous Vehicles on Traffic", In Autonomous Driving, edited by Barbara Lenz, Markus Mauer, and J Christian Gerdes, 317–34. Berlin: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-662-48847-8_16.

- Goli, M. and Eskandarian, A. (2020) "Merging Strategies, Trajectory Planning and Controls for Platoon of Connected, and Autonomous Vehicles", International Journal of Intelligent Transportation Systems Research, 18(1): p. 153-173.

- Guerrero-Ibanez, J.A., S. Zeadally, and Contreras-Castillo, J. (2015) "Integration challenges of intelligent transportation systems with connected vehicle, cloud computing, and internet of things technologies", IEEE Wireless Communications22(6): 122-128. http://doi.org/10.1109/MWC.2015.7368833.

- Guerrero-Ibáñez, J.; Zeadally, S.; and Contreras-Castillo, J. (2018) "Sensor technologies for intelligent transportation systems". http://doi.org/ 10.3390/s18041212.

- Gyergyay, B., Chaniotakis, M., Louen, C., Klar, W., Antoniou, C. (2019) "Wider Impacts and Scenarios Evaluation of Autonomous and Connected Transport: the WISE-ACT COSTAction",Transportation Research Procedia, p. 447 449 .https://doi:10.1016/j.trpro.2019.09.075

- Hegedűs, T.,Németh, B and Gáspár, P. (2019) "Graph-based multi-vehicle overtaking strategy for autonomous vehicles", IFAC-PapersOnLine, 52(5): p. 372-377.

- Huang, Y., Wang, H., Khajepour, A., Ding, H., Yuan, K., Qin, Y. (2019). "A Novel Local Motion Planning Framework for Autonomous Vehicles based on resistance network and International Conference on. IEEE. https://doi.org/10.1109/ICIIECS.2015.7193002

- Barabás, I.; Todoru¸t, A.; Cordo¸s, N.; Molea, A. (2017) "Current challenges in autonomous driving", IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng,252, 012096. [CrossRef].

- Barzegar, A.; Doukhi, O.; Lee, D.-J. (2021) "Design and Implementation of an Autonomous Electric Vehicle for Self-Driving Control under GNSS-Denied Environments", Appl. Sci. 2021, 11, 3688. https://doi.org/ 10.3390/app11083688.

- Bertoncello, M. and Wee, D (2015) "Ten ways autonomous driving could redefine the automotive world", McKinsey & Company.

- Bösch, P. M., Becker, F., Becker, H., & Axhausen, K. W. (2018) "Cost-based analysis of autonomous mobility services", Transportation Policy, 64, 76–91. https://doi.org/10.1016/j.tranpol.2017.09.005.

- Botello, B., Buehler, R., Hankey, S., Mondschein A, Jiang Z (2019). "Planning for walking and cycling in an autonomous-vehicle future. Transportation research interdisciplinary perspectives", 1:100012. https://doi.org/10.1016/j.trip.2019.100012

- Dandi, F., Grueber, B., Friese, H., Bogenberger, K. (2019) "Design and Simulation of a Public-Transportation-Complimentary Autonomous Commuter Shuttle", Transportation Research Procedia. 41: p. 240-250. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.09.043

- Frey, C.B and Osborne, M.A. (2017) "The future of employment: how susceptible are jobs to computerisation? Technological forecasting and social change", 114: p. 254-280.

- Kyriakidis, M.; Happee, R.; De Winter, J.C.F. (2015) “Public opinion on automated driving: Results of an international questionnaire among 5000 respondents”, Transp. Res. Part F, 32, 127–140. https://doi.org/10.1016/j.trf.2015.04.014.

- Latham, A, Nattrass, M. (2019) “Autonomous vehicles, car-dominated environments, and cycling: Using an ethnography of infrastructure to reflect on the prospects of a new transportation technology”. Journal of Transport Geography. 81:102539. https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2019.102539

- Litman, T. (2020) “Autonomous vehicle implementation predictions”, Victoria Transport Policy Institute Victoria, Canada.

- Lu, X.L.R. (2015) “VEHICULAR AD HOC NETWORK SECURITY AND PRIVACY”, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jer.

- Maghenem, M., Loria, A., Nuno, E., Panteley, E. (2021). “Distributed full-consensus control of nonholonomic vehicles under non-differentiable measurement delays”, IEEE Control Systems Letters, IEEE, 5 (1),.97-102. https://doi.org/10.1109/lcsys.2020.3000676.

- Malokin, A., Circella, G., Mokhtarian, P.L. (2019). “How do activities conducted while commuting influence mode choice? Using revealed preference models to inform public transportation advantage and autonomous vehicle scenarios”, Transportation Research Part A: Policy and Practice. 124:82-114. https://doi.org/10.1016/j.tra.2018.12.015.

- Medina-Tapia, M., Robusté, F. (2019) “Implementation of Connected and Autonomous Vehicles in Cities Could Have Neutral Effects on the Total Travel Time Costs: Modeling and Analysis for a Circular City”, model predictive control”, IEEE Transactions on Vehicular Technology. PP(99):1-1 https://doi:10.1109/TVT.2019.2945934.

- Isaac, J.T., Camara, J.S., Zeadally, S., Marquez, J.T. (2008) “A secure vehicle-to-roadside communication payment protocol in vehicular ad hoc networks”. Computer Communications, 2008. 31(10): p. 2478-2484. https://doi.org/10.1016/j.comcom.2008.03.012.

- Jahromi, B.S., Tulabandhula, T., Cetin, S. (2019) “Real-Time Hybrid Multi-Sensor Fusion Framework for Perception in Autonomous Vehicles”, MDPI Sensors 19:4357.

- Jiang, T., Petrovic, S., Ayyer, U., Anand, T., Husain, S. (2015) “Self-driving cars: Disruptive or incremental. Applied Innovation Review”, 1: p. 3- 22.

- Jinyuan, S., Chi, Z and Yuguang, F. (2007). “An ID-based framework achieving privacy and non-repudiation”, In Proceedings of IEEE vehicular ad hoc networks, military communications conference (MILCOM) (pp. 1–7).

- Johnson, C. (2017) “Readiness of the Road Network for Connected and Autonomous Vehicle”, RAC Foundation: London, UK.

- Kim, C., Jin, Y,G., Park, J., Kang, D. (2019) “The influence of an autonomous driving car operation on commuters’ departure times”, Procedia Computer Science, 2019. 151: p. 85-91.

- Köhler, P., Connette, C. and Verl, A. (2013) “Vehicle tracking using ultrasonic sensors & joined particle weighting. in Robotics and Automation (ICRA) ”, IEEE International Conference on. 2013. IEEE. https://doi.org/10.1109/ICRA.2013.6630979.

Sustainability. 11(2):482. https://doi.org/10.3390/su11020482.

- Ongel, A., Loewer, E., Roemer, F., Sethuraman, G., Chang, F., Lienkamp, M. (2019). "Economic assessment of autonomous electric microtransit vehicles", Sustainability 11 (3), 648. https://doi.org/10.3390/su11030648.

- Offor, P. (2012). "Vehicle ad hoc network (vanet): Safety benefits and security challenges", Offor, Patrick, Vehicle Ad Hoc Network (VANET): Safety Benefits and Security Challenges. http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.2206077.

- Othman, K. (2021) "Impact of Autonomous Vehicles on the Physical Infrastructure: Changes and Challenges", Designs, 5, 40. https://doi.org/10.3390/designs5030040.

- Pisarov, J., Mester, G. (2021) "The Future of Autonomous Vehicles" , FME Tansactions, Vol. 49, No. 1, 29-35, http://doi.org/. 10.5937/fme2101029P.

- Rajasekhar, M.V., Jaswal, A.K. (2015). "Autonomous vehicles: the future of automobiles" , in Transportation Electrification Conference (ITEC), IEEE International. IEEE. https://doi.org/10.1109/ITEC-India.2015.7386874.

- Rojas-Rueda, D.R, Nieuwenhuijsen M.J, Khreis H, Frumkin H (2020). "Autonomous Vehicles and Public Health" , The Annual Review of Public Health is online at publhealth.annualreviews.org. https://doi.org/10.1146/annurev-publhealth040119-094035.

- Sadigh, D., Sastry, S., Seshia, S. (2019). "Verifying Robustness of Human-Aware Autonomous Cars" , IFAC-PapersOnLine. Volume 51, Issue 34, 2019, Pages 131-138. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.01.055.

- SAE. (2014) "Levels of Driving Automation Are Defined In New SAE International Standard J3016" , Societyof Automotive Engineers (www.sae.org); at www.sae.org/misc/pdfs/automated_driving.pdf

- Sanguesa, J.A., Torres-Sanz, V., Garrido, P., Martinez, F.J., Marquez-Barja, J.M. (2021) "A Review on Electric Vehicles: Technologies and Challenges" , Smart Cities, 4, 372–404. https://doi.org/10.3390/smartcities4010022.

- Sivak, M., Schoettle, B. (2015) "Road safety with self-driving vehicles: General limitations and road sharing with conventional vehicles" , https://hdl.handle.net/2027.42/111735.

- Shaheen, S.A., Finson, R. (2013) "Intelligent transportation systems. Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences" , Elsevier, Intelligent Transportation Systems. https://doi.org/ 10.1016/B978-0-12-409548-9.01108-8, 11-Sep-13(7).

- Stoma, M., Dudziak, A., Caban, J., Drozdziel, P. (2021). "The Future of Autonomous Vehicles in the Opinion of Automotive Market Users" ,Energies, 14, 4777. https://doi.org/10.3390/en14164777.

- Taha, A.E., AbuAli, N. (2018) "Route planning considerations for autonomous vehicles", IEEE Communications Magazine. 56(10): 78-84. https://doi.org/ 10.1109/MCOM.2018.1800135.

- Targe, P.A., Satone, M. P. (2016) "Real-Time Intelligent Transportation System based on VANET", planning. 2: p. 3. e-ISSN: 2395 - 0056.

- This is what the evolution of self-driving cars looks like. (2016), Available from: https://www.businessinsider.de/what-are-the-differentlevels-of-driverless-cars-2016-10/?r=US&IR=T#/#-1.

- Thorn, E., Kimmel, S.C., Chaka, M. (2018) "A framework for automated driving system testable cases and scenarios", (Report No. DOT HS 812 623). Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.

- Velasco-Hernandez, G., Yeong, D.J., Barry, J., Walsh, J. (2020) "Autonomous Driving Architectures, Perception and Data Fusion: A Review", https://doi.org/10.1109/ICCP51029.2020.9266268.

- Wadud, Z, MacKenzie, D., Leiby, P. (2016). "Help or hindrance? The travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles", Transportation Research Part A: Policy and Practice. 86:1-18. https://doi.org/10.1016/j.tra.2015.12.001.

- Wiodzimierz, C., Iwona, G. (2019). "Autonomous vehicles in urban agglomerations", Transportation Research Procedia 40., 655–662, 13th International Scientific Conference on Sustainable, Modern and Safe Transport (TRANSCOM), High Tatras, Novy Smokovec – Grand Hotel Bellevue, Slovak Republic, May 29-31. https://doi.org/10.1016/j.trpro.2019.07.093.

- Wei, C., Romano, R., Hajiseyedjavadi F, Merat N (2019). "Driver-centred Autonomous Vehicle Motion Control within A Blended Corridor. IFAC-PapersOnLine", 52(5):212-217. https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.09.034.

- Yudin, D.A., Skrynnik, A., Krishtopic A., Belkin, I., Panov, A.I. (2019) "Object Detection with Deep Neural Networks for Reinforcement Learning in the Task of Autonomous Vehicles Path Planning at the Intersection. Optical Memory and Neural Networks", 28(4): 283-295. https://doi.org/10.3103/S1060992X19040118.

- Zeadally, S., Hunt, R., Chen, Y.S., Irwin, A. (2012) "Vehicular ad hoc networks (VANETS): status, results, and challenges", Telecommunication Systems, 2012. 50(4): p. 217-241.

- Zemrane, H., Baddi, Y., Hasbi, A. (2019) "Mobile AdHoc networks for Intelligent Transportation System: Comparative Analysis of the Routing protocols. Procedia Computer Science", 160: p. 758-765. https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.11.014.

- Zontone, P., Affanni, A., Bernardini, R., Del Linz, L., Piras, A., and Rinaldo, R. (2020) "Stress evaluation in simulated autonomous and manual driving through the analysis of skin potential response and electrocardiogram signals", Sensors 20:2494. doi: 10.3390/s20092494.

علیرضا هویدافرد، دانشجوی دکتری عمران، حمل و نقل در دانشگاه آزاد اسلامی تبریز، واحد علوم و تحقیقات می‌باشد. ایشان مدرک کارشناسی ارشد خود را از دانشگاه فردوسی مشهد کسب کرده است. زمینه پژوهشی مورد علاقه ایشان حمل و نقل هوشمند، هوش مصنوعی، روش‌های یادگیری ماشین، برنامه‌ریزی حمل و نقل می‌باشد.

سینا فرد مرادی نیا، دکتری عمران از دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات می‌باشد. هم‌اکنون استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز می‌باشد، زمینه پژوهشی مورد علاقه ایشان برنامه‌ریزی و کنترل پروژه، کاربرد هوش مصنوعی در مهندسی عمران، روش‌های عددی، تحلیل سیستم‌ها می‌باشد.

بابک گلچین، دارای دکتری عمران، گرایش راه و ترابری از دانشگاه USM مالزی می‌باشد. ایشان موفق به کسب مدرک کارشناسی ارشد از دانشگاه علم و صنعت ایران شده‌اند. هم اکنون استادیار دانشگاه محقق اردبیلی واحد اردبیل است. زمینه پژوهشی مورد علاقه ایشان حمل و نقل هوشمند، مطالعات حمل و نقل، روسازی، مدیریت روسازی، ترافیک می‌باشد.

علی غفاری، دارای دکتری کامپیوتر از دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات می‌باشد، ایشان مدرک کارشناسی ارشد خودش را از دانشگاه تهران اخذ کرده است. در حال حاضر دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز است. زمینه پژوهشی مورد علاقه ایشان شبکه‌های کامپیوتری، زبان‌های برنامه-نویسی مختلف، شبکه‌های نرم‌افزار محور می‌باشد.