

سامانه‌های پیشرفته همیار راننده

ملوین مختاری

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

melvin.mokhtari@ec.iut.ac.ir

امیررضا حسینی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

amirreza.hosseini@ec.iut.ac.ir

سپهر خدادادی حسین‌آبادی

دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

sepehrkhodadadi@ec.iut.ac.ir

چکیده

با پیشرفتهای صورت‌گرفته در دوران اخیر، صنعت خودرو با تغییر و تحولات بی‌سابقه‌ای رو به رو بوده است. در حالی که تا پیش از این قدرت فیزیکی و طراحی خودروها مهم‌ترین معیارهای انتخاب بودند، به تازگی نوآوری‌های الکترونیکی و نرم‌افزاری معیارهای تعیین‌کننده بازار آینده هستند. سامانه‌های پیشرفته همیار راننده^۱ محرک اصلی نوآوری در حوزه خودرو هستند و به ساختارهای الکترونیکی پیچیده و عموماری‌های نرم‌افزاری جدید نیاز دارند. در ابتدای این مقاله به وضعیت حوادث جاده‌ای در سال‌های گذشته پرداخته می‌شود. سپس با آگاهی از ضرورت وجود سامانه‌های پیشرفته همیار راننده، مروری کوتاه بر تاریخچه و انواع طبقه‌بندی‌های ارائه شده این سامانه‌ها ارائه می‌گردد. در ادامه پس از آشنایی با شش سطح هوشمندسازی خودرو، سیر تکاملی سامانه‌های پیشرفته همیار راننده در چندین دهه مورد بازبینی قرار می‌گیرد و برای اساس، دورنمایی ایده‌آل از آینده این سامانه‌ها برای مخاطب فراهم می‌شود. پس از این مهم، مزایا و معایب این سامانه‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند و در گام بعدی، چالش‌های اصلی رانندگی با چنین فناوری روشن می‌گردد. در پایان، این پژوهش در دو بخش مجزا، به چشم‌انداز توسعه و پیش‌بینی بازار سامانه‌های پیشرفته همیار راننده می‌پردازد و پس از آن نتیجه‌گیری در همین راستا انجام می‌گیرد.

کلمات کلیدی: سامانه‌های پیشرفته همیار راننده، رانندگی خودکار، خودروی خودران، سیستم هوشمند، اتوماسیون، حسگر

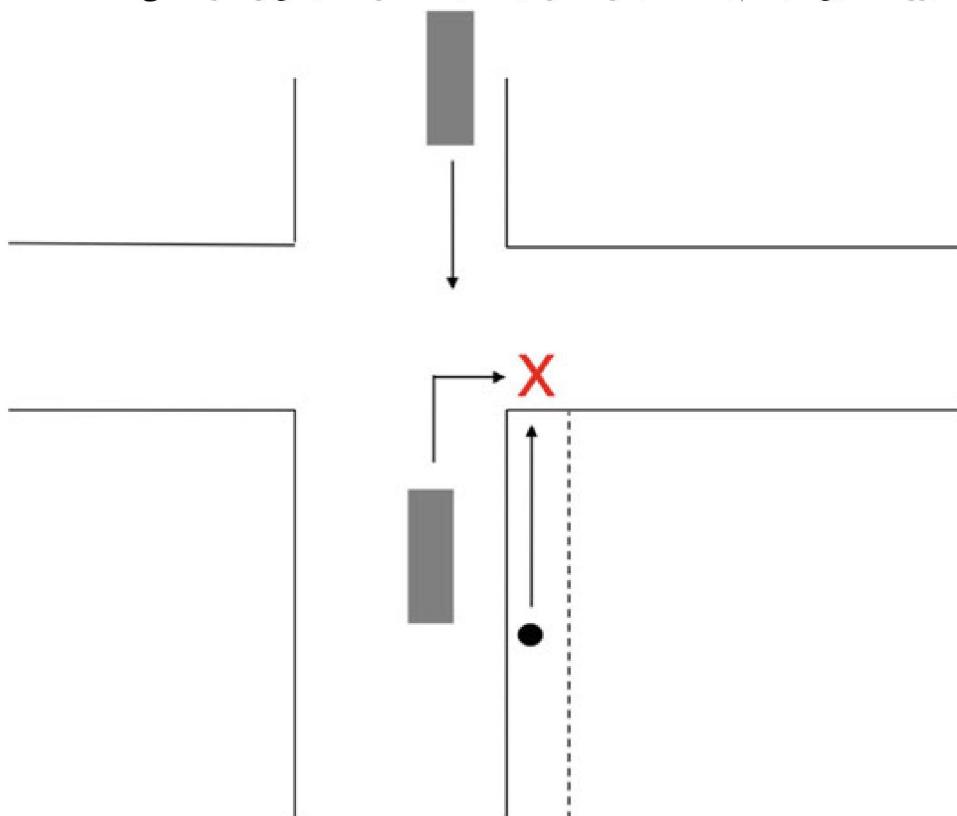
¹ Advanced Driver Assistance Systems (ADAS)

۱. مقدمه

تصادفات رانندگی یک عامل بزرگ مرگومیر و زیان مالی در جاده‌ها هستند. بر اساس آمار سازمان بهداشت جهانی^۱ درباره تصادفات جاده‌ای در سال ۲۰۱۸، آمار سالانه تلفات رانندگی در جاده‌ها ۱/۳۵ میلیون نفر بوده بهطوری که هر ۲۴ ثانیه یک نفر در جاده‌های جهان بر اثر تصادفات رانندگی کشته شده است. تلفات ناشی از تصادفات جاده‌ای بهعنوان یکی از عوامل شایع مرگومیر در بسیاری از مناطق، بهویژه کشورهای درحال توسعه، در رده‌های سنی ۵ تا ۲۴ سال بیشترین آمار را دارد. نکته دیگر این است که کشورهای کم‌درآمد و متوسط، کمتر از نیمی از وسائل نقلیه جهان را در اختیار دارند. با این وجود، نرخ مرگومیر آن‌ها بیش از ۹۰ درصد از کل مرگومیرهای رانندگی را در بر می‌گیرد.

مطالعات نشان می‌دهند که اگر قبل از تصادف، هشداری به راننده ارسال شود، از بسیاری از حوادث رانندگی جلوگیری می‌شود. برای این منظور، می‌توان از سامانه‌های ایمنی‌زای هوشمند بهره برد. سامانه‌های پیشرفته همیار راننده می‌توانند در این زمینه پشتیبانی ارائه دهند و با ارائه اطلاعات ضروری به راننده به نجات جان افراد در جاده کمک کنند.

اقدامات ایمنی غیرفعال، شامل تمام اعمالی هستند که به منظور کاهش شدت تصادفات انجام می‌شوند. این اقدامات شامل تشخیص نقاط حساس در بدنه اتومبیل حین تصادف، تست استحکام کابین و تعییه کیسه‌های هوای طرف دیگر، اقدامات ایمنی فعال شامل ابزارهای مبتنی بر فناوری برای پیشگیری و در صورت امکان، جلوگیری از تصادف وجود دارند. این اقدامات شامل سامانه‌های ابتدایی همیار راننده مانند ترمض ضد قفل، کنترل الکترونیکی خودرو و سامانه‌های پیشرفته همیار راننده مانند تشخیص نقطه کور، هشدار خروج از خطوط جاده، کمک به حفظ فاصله از خطوط و ترمز اضطراری خودکار هستند. کارکردهای مختلف سامانه‌های پیشرفته همیار راننده را می‌توان به صورت جداگانه یا ترکیبی برای تشکیل سیستم‌های پیچیده‌تر مورداستفاده قرارداد. برای مثال شکل ۱ کارکردی از سامانه کمک‌چرخش را نشان می‌دهد که می‌تواند از رایج‌ترین و مرگبارترین نوع تصادفات در شهرها جلوگیری کند، به گونه‌ای که اگر جسمی مانند عابر پیاده یا دوچرخه‌سوار از مسیر اتومبیل در حال چرخش عبور کند، این سیستم بلافاصله به راننده وسیله نقلیه هشدار داده یا آن را متوقف می‌کند.



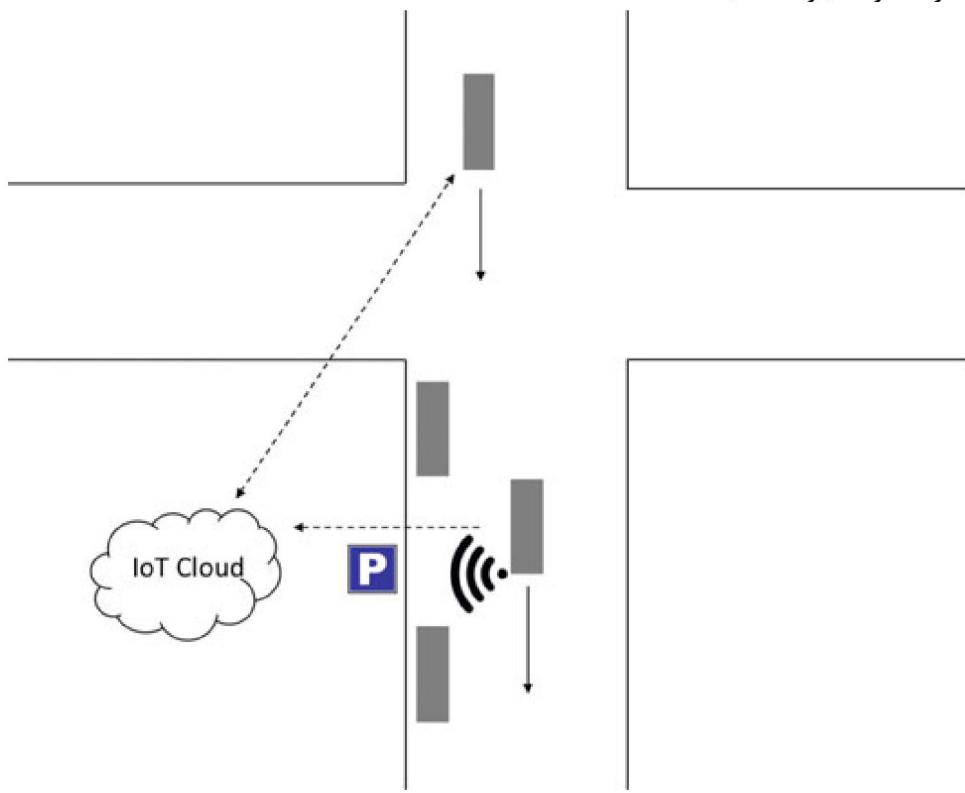
شکل ۱: سامانه کمک‌چرخش و تشخیص عابر پیاده

^۱ World Health Organization (WHO)

ارتقای کارکردهای سامانه‌های پیشرفته همیار راننده دشوار است و نیازمند فرایندهای دقیق است. توسعه‌دهندگان باید با حوزه وسیعی از مفاهیم مهندسی خودرو، علوم کامپیوتر، الکترونیک، مکاترونیک و مهندسی ارتباطات آشنا باشند. علاوه بر این، سامانه‌های پیشرفته همیار راننده نیازمندی‌های غیرکارکردی مختلفی در رابطه با انعطاف‌پذیری، مدل‌سازی، اعتبار و ایمنی دارند که باید در فرایند توسعه در نظر گرفته شوند.

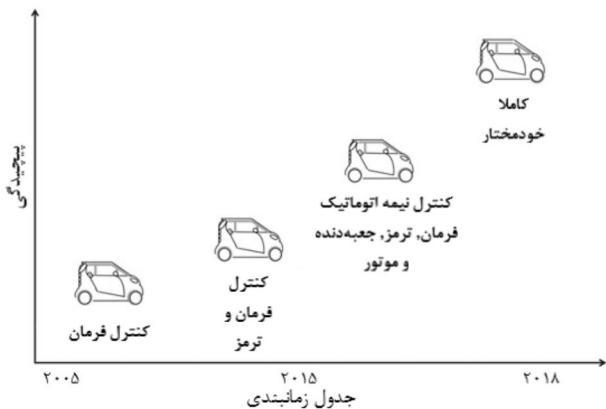
می‌توان سامانه‌های پیشرفته همیار راننده را به روش‌های مختلف طبقه‌بندی کرد. رایج‌ترین و ساده‌ترین روش، رویکرد مبتنی بر عملکرد به معنای توانایی حفظ اتومبیل بین خطوط یا امکان ترمز اضطراری است. نوع دیگر دسته‌بندی این است که بر روی انواع مختلف حسگرهای مستقر شده تمرکز شود. علاوه بر این دو، رویکردنهایی مبتنی بر سطوح هوشمندی با توجه به کنترل موقعیت خودرو است. به جز موارد فنی، از دیدگاه مشتری، هزینه و درسترس‌بودن در بازار نیز مهم است. به عنوان مثال، ترمز ضد قفل به یکی از تجهیزات استاندارد تبدیل شده است، در حالی که سامانه‌های تشخیص نقاط کور، با وجود اینکه بسیار مفید هستند، اما هنوز وارد جریان اصلی تولید در بازار نشده‌اند.

از دیگر کاربردهای سامانه‌های پیشرفته همیار راننده می‌توان به فناوری پارک خودکار اشاره کرد. ترافیک حاصل از پارک خودرو می‌تواند تا ۳۰ درصد از ترافیک در شهرها را تشکیل دهد زیرا رانندهان خودرو مجبورند بارها با راننده‌اند تا فضای پارک اشغال نشده را شناسایی کنند. حوزه فناوری پارک، هدف توسعه‌های جدیدی بوده است که از اطلاعات ترافیکی زنده و حسگرهای برای یافتن فضاهای خالی استفاده می‌کند. شکل ۲ کاربردی از حسگرهای دخیل در فناوری پارک خودرو را نمایش می‌دهد. هنگام راننده‌گی در خیابان، حسگرهای موجود در خودرو فضای آزاد را تشخیص داده و انداده محل را ارزیابی می‌کند. سپس این اطلاعات را می‌توان به طور خودکار در این سرویس توزیع کرد، به‌گونه‌ای که تمامی مشتریان مکان‌های آزاد برای پارک را به صورت زنده در اختیار داشته باشند.



شکل ۲: تشخیص فضای آزاد در فناوری پارک خودکار

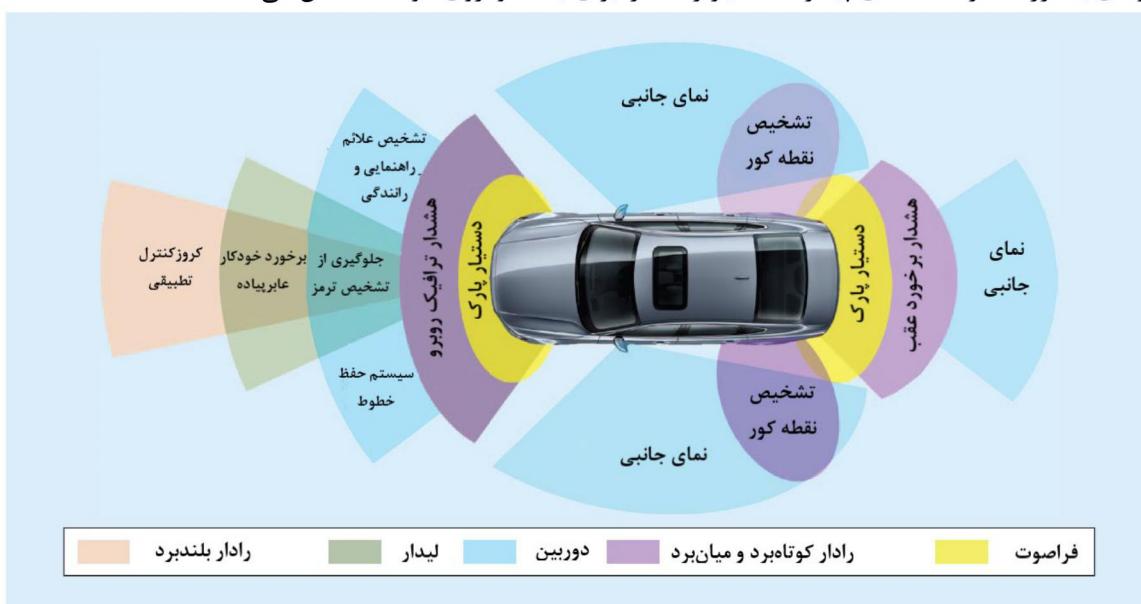
اگر مقدار فضا کافی باشد، یک سیستم کمک‌پارک می‌تواند با راننده همکاری کند تا با کنترل فرمان و حرکات طولی و عرضی اتومبیل، خودرو را به بهترین شکل ممکن پارک کند. شکل ۳ سطوح مختلف فناوری کمک‌پارک را نشان می‌دهد. انتظار می‌رود که به‌زودی سیستم‌های پارک کاملاً خودکار، به طور گستره در دسترس همگان قرار بگیرند و به خودروها اجازه دهنند تا بدون دخالت راننده در یک فضای آزاد و قانونی پارک کنند.



شکل ۳: سطوح مختلف فناوری کمک پارک

حسگرها، جزء لاینفک سامانه‌های پیشرفته همیار راننده هستند. این دستگاه‌ها عضو کلیدی در شناسایی محیط و اندازه‌گیری فاصله، موقعیت و حرکات خودرو نسبت به محیط پیرامون آن‌ها هستند. طیف گسترده‌ای از حسگرها مانند فراصوت^۱، رادار (کوتاه‌برد و بلندبرد)، مادون قرمز، دوربین‌ها، لیدار^۲ در حال استفاده هستند. حسگرها از نظر وضوح، میدان دید، دقیق، نویز و حساسیت به آب‌وهوا و هزینه متفاوت هستند. در نتیجه حسگرهای گوناگون برای اهداف متنوع استفاده می‌شوند. برای مثال تشخیص نقطه کور را می‌توان با حسگر دوربین یا تشخیص موانع پارک را با حسگر فراصوت انجام داد. همچنین کروز کنترل تطبیقی^۳ معمولاً ترکیبی از رادارها و حسگرهای بصری را به کار می‌گیرد.

باتوجه به پیشرفته که در حوزه حسگرها شکل گرفته، این تجهیزات در مقیاس انبوی تولید می‌شوند که این به کاهش هزینه تولید منجر شده و از سمت دیگر گستره کاربرد این ابزار به تمامی جوانب سامانه‌های هوشمند رسیده است. برای مثال خودروهای پیشرفته اغلب دارای شش حسگر دوربین هستند و بسیاری از خودروهای جدید دارای سیستم دوربین پانوراما خواهند بود. سطوح بالاتر اتوماسیون معمولاً نیاز به ترکیب سیگنال‌های حسگرهای درگیر در سامانه را دارند. همچنین این حسگرها می‌توانند اطلاعات خود را به فضای ابری ارسال کرده و در اختیار سایر خودروها قرار دهند. شکل ۴ انواع سنسورهای به کار رفته در سامانه‌های پیشرفته همیار راننده را برای یک خودروی هوشمند نشان می‌دهند.



شکل ۴: انواع سنسورهای به کار رفته در سامانه‌های پیشرفته همیار راننده

¹ Ultrasonic

² Lidar

³ Adaptive Cruise Control (ACC)

۲. سامانه‌های پیشرفته همیار راننده

آنچه که اکنون با نام سامانه‌های پیشرفته همیار راننده شناخته می‌شود، باید به عنوان مجموعه‌ای از سیستم‌ها و زیرسیستم‌ها در راه رسیدن به یک مجموعه هوشمند بزرگراهی کاملاً خودکار در نظر گرفته شود. این مفاهیم شامل آشکارسازهای نقاط کور، کروز کنترل تطبیقی، کروز کنترل هوشمند وغیره است. برخی از این فناوری‌ها در بازار موجود یا آماده عرضه به بازارند، اما در طرف دیگر برخی با اینکه توسعه یافته‌اند اما هنوز به نمونه اولیه آزمایشی دست پیدا نکرده‌اند. اکنون بهتر است با جزئیات و سطح‌بندی مورداستفاده برای این سامانه‌ها نیز آشنا شویم. به این منظور انجمن مهندسین خودرو^۱ شش سطح از اتوماسیون را برای این سامانه‌ها از صفر به معنی کاملاً دستی تا پنج به مفهوم کاملاً خودمختار، تعریف نمودند. لازم به ذکر است که این سطوح بعداً توسط وزارت حمل و نقل ایالات متحده نیز تصویب شد.

۱-۲. تاریخچه

سامانه‌های پیشرفته همیار راننده پیشینه قابل توجهی دارند. در حدود سال ۱۹۸۶ در قاره اروپا، چندین خودروساز و مؤسسه تحقیقاتی بر روی پروژه‌هایی مرتبط با نظارت بر رویدادها و هشدارهای لازم به منظور واکنش مناسب به این وقایع، کار کردند. این مجموعه از پروژه‌ها با هدف ایجاد راه حل‌های عملی برای مشکلات ترافیک شهری بودند. اتحادیه اروپا مدت کوتاهی پس از آن برنامه‌هایی مشابه را آغاز کرد که در آن تعداد قابل توجهی از پروژه‌ها به مشکلات عملی و همچنین مسائل اساسی در این حوزه می‌برداختند. به عنوان نمونه پژوهشی به منظور پشتیبانی از رانندگی هوشمند عمومی انجام پذیرفت که هدف کلی این پروژه بلندپروازانه تعیین الزامات و استانداردهای طراحی برای یک سیستم شخصی‌سازی شده به منظور پشتیبانی رانندگی هوشمند بود. از یک سو، این دسته از سیستم‌ها به تشخیص و ارزیابی خطرات جاده‌ای و ترافیکی توسط راننده کمک و از سوی دیگر، راهنمایی‌هایی در مورد توانایی راننده برای مقابله با خطرات خاص ارائه می‌کردند.

۲-۲. سطح صفر

اکثر وسایل نقلیه امروزی در جاده‌ها در سطح صفر هستند یعنی به صورت دستی کنترل می‌شوند. در این سطح اگرچه ممکن است سیستم‌هایی برای کمک به راننده وجود داشته باشد، اما انسان به طور کاملاً هوشیارانه، وظیفه رانندگی را شخصاً بر عهده می‌گیرد.

از حسگرهای به کار گرفته شده در این سطح می‌توان به سیستم ترمز اضطراری، حسگرهای کمک‌پارک، دید در شب، هشدار به جلو و غیره اشاره کرد که در ادامه به هر کدام مختصراً پرداخته می‌شود.

حسگرهای کمک‌پارک، برای اولین بار بر روی خودروهای دهه ۸۰ میلادی نصب شدند و مجموعه‌ای از هشدارهای صوتی را بسته به فاصله از موانع اطراف در حین پارک خودرو، به منظور جلوگیری از برخورد، فعل می‌کنند. این عملکرد معمولاً توسط ۸ تا ۱۲ حسگر فرآصنوت که روی سپرهای جلو و عقب خودرو قرار دارند، فعل می‌شود.

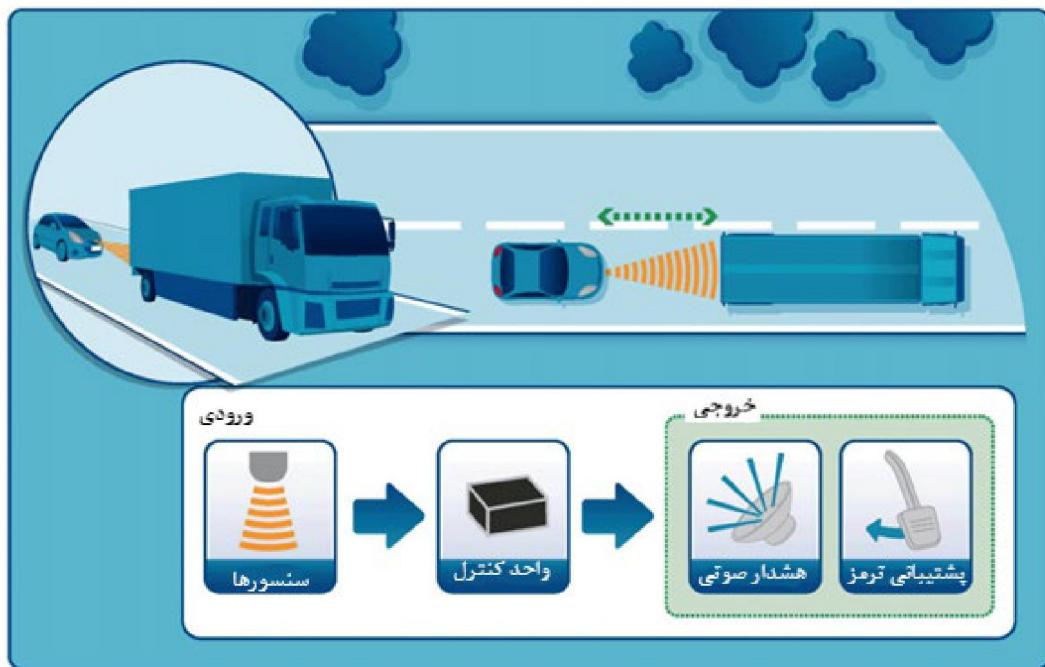
حسگرهای دید در شب، درک راننده از جاده پیش رو را افزایش می‌دهند و در زمان تاریکی، این سیستم بر اساس یک روش نکننده مادون قرمز^۲ عمل می‌کند. همچنین دوربینی به منظور سنجش عمق به کمک این حسگر می‌آید و امکان تشخیص اشیا در شرایط نوری بحرانی را فراهم می‌کند.

هشدار برخورد از جلو^۳ به راننده در مورد یک برخورد قریب‌الوقوع با مانعی که ممکن است در حال حرکت یا ساکن باشد، اطلاع می‌دهد و به او پیشنهاد می‌کند که ترمز کند. در مواردی که راننده واکنشی نشان ندهد، این سیستم می‌تواند یک حرکت ترمز کوتاه را برای جلب نظر راننده فعل نماید. چنین عملکردی معمولاً توسط یک رادار میان‌برد با همکاری یک دوربین اضافی در جلوی خودرو، فعالیت می‌کند. سپس با سیگنال‌هایی که از رادارها دریافت می‌کند، به رادار کمک می‌کند تا موانع را شناسایی، موقعیت آنها را طبقه‌بندی کرده و فاصله نسبی را تخمین زند.

¹ Society of Automotive Engineers (SAE)

² Infrared radiation (IR)

³ Forward Collision Warning (FCW)



شکل ۵: حسگر هشدار برخورد از جلو

۳-۲. سطح یک

در این سطح، خودرو دارای یک سیستم تکمنظوره خودکار برای کمک به راننده در اعمالی مانند فرماندهی یا شتاب گیری است. کروز کنترل تطبیقی که در آن می‌توان وسیله نقلیه را در فاصله ایمن پشت خودروی بعدی نگه داشت، به عنوان یک نمونه حسگر در سطح یک شمرده می‌شود.

از نمونه سامانه‌های هوشمند به کاررفته شده در این دسته، می‌توان به سامانه ترمز ضد قفل^۱ اشاره کرد. سامانه‌ای که به راننده هنگام ترمز کردن کمک می‌کند و باعث می‌شود چرخ‌های خودرو قفل نشوند و منجر به سهولت در کنترل خودرو می‌شود. کروز کنترل^۲ نیز خودرو را در سرعتی که توسط راننده انتخاب شده باشد، حفظ می‌کند که نسخه پیشرفته‌تر آن کروز کنترل تطبیقی است.

۴-۲. سطح دو

در این سطح خودرو می‌تواند هم فرمان‌پذیری و هم شتاب گیری و کاهش سرعت را خودکار کنترل کند. در این سطح، اتوماسیون به معنای خودران بودن نیست، زیرا انسان روی صندلی راننده می‌نشیند و می‌تواند هر زمان که بخواهد کنترل اتومبیل را در دست بگیرد. از نمونه‌های تجاری ساخته شده در این سطح می‌توان به سامانه رانندگی خودکار Tesla^۳ و کروز کنترل پیشرفته کادیلاک^۴ اشاره کرد.

سامانه پارک خودکار خودرو نیز در پارک اتومبیل به راننده کمک می‌کند. این سامانه در حالی که سیستم فرمان را کنترل می‌کند، به سادگی بر رفتار خودرو نیز نظارت دارد که این کار با افزودن^۴ حسگر پارک فراصوت اضافی به ۸ حسگر فراصوت معمولی امکان‌پذیر می‌شود.

¹ Anti-lock Braking System (ABS)

² Cruise Control (CC)

³ Tesla Autopilot

⁴ Cadillac Super Cruise

۵-۲. سطح سه

از منظر فناوری‌های به‌کاررفته شده، جهش از سطح دو به سطح سه چشمگیر بوده است، اما شاید این از دیدگاه انسانی خیلی قابل‌لمس نباشد.

وسایل نقلیه سطح سه دارای قابلیت‌های تشخیص محیطی هستند و می‌توانند تصمیمات آگاهانه‌ای برای خود بگیرند. به عنوان مثال شتاب گیری به هنگام عبور از کنار وسیله نقلیه‌ای که کندتر حرکت می‌کند، جنبه‌ای از سامانه‌های این سطح است، اما این همیشگی نیست و در صورتی که سیستم قادر به اجرای آن نباشد، راننده باید هوشیار مانده و آماده کنترل باشد. در سال ۲۰۱۹، شرکت خودروسازی آئودی^۱ اعلام کرد که نسل بعدی سدان پرچمدار آن شرکت، اولین خودروی تولیدی سطح سه جهان خواهد بود.

۶-۲. سطح چهار

تفاوت اصلی بین اتوماسیون سطح سه و سطح چهار این است که وسایل نقلیه سطح چهار می‌توانند به صورت خودکار در صورت بروز مشکل یا نقص در سیستم، مداخله کنند. از این نظر، این خودروها در اکثر شرایط نیازی به تعامل با انسان ندارند، اما با این حال، انسان هنوز این گزینه را دارد که به صورت شخصی کنترل خودرو را در دست بگیرد که به همین دلیل، یک هوش متتمرکز با سنجش همه‌جانبه موردنیاز است. پس وسایل نقلیه سطح چهار می‌توانند به صورت خودران کار کنند، اما تا زمانی که قوانین و زیرساخت‌ها تکامل پیدا کنند، استفاده از آنها با محدودیت‌هایی روپرورست. علاوه بر این، سیستم‌های سطح چهار نه تنها باید در برابر خرابی ایمن باشند، بلکه باید در صورت وقوع چنین شرایطی، کارکرد خود را از دست ندهند. برای نمونه، اخیراً ولوو^۲ و بی‌وای‌دی^۳ یک همکاری استراتژیک برای توسعه مشترک وسایل نقلیه الکتریکی سطح چهار را اعلام کردند که با توجه به ماهیت پروژه روباتاکسی^۴ در چین، خدمت بزرگی به این بازار خواهند کرد.



شکل ۶: سامانه تشخیص اشیا از جمله خطوط، وسایل نقلیه و علامت‌های راهنمایی

۷-۲. سطح پنج

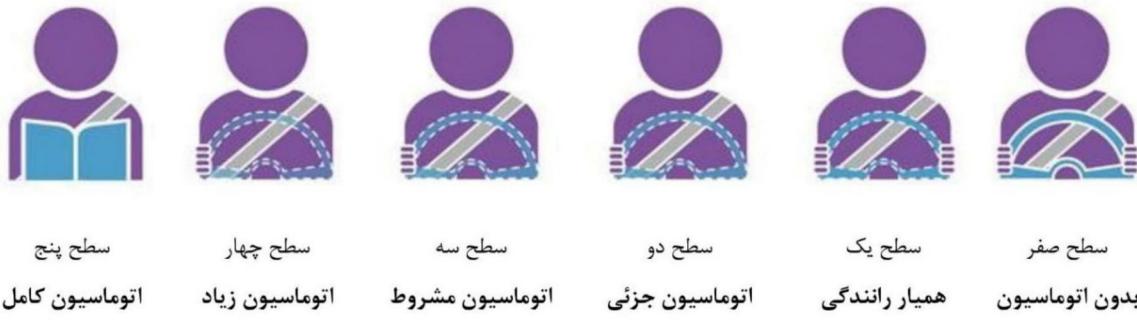
وسایل نقلیه سطح پنج نیازی به توجه انسان ندارند و انسان برای کار با آن‌ها صرفاً یک مقصد را تعیین می‌کند و خودرو به صورت خودکار سرنشینان را به آن محل می‌رساند. خودروهای سطح پنج حتی فرمان یا پدال‌های گاز یا ترمز هم ندارند. آنها می‌توانند به هرجایی بروند و هر کاری را که یک راننده با تجربه از عهده آن برمی‌آید، انجام دهند. در حال حاضر خودروهای کاملاً خودمختار در چندین نقطه از جهان در حال طی کردن مراحل آزمایشی به صورت محدود هستند، اما هیچ‌کدام هنوز در دسترس عموم قرار نگرفته‌اند. علاوه بر این، چنین سیستم‌هایی باید با محافظه‌کاری زیادی طراحی شوند تا جان دیگران را به خطر نیندازند.

¹ Audi

² Volvo

³ BYD

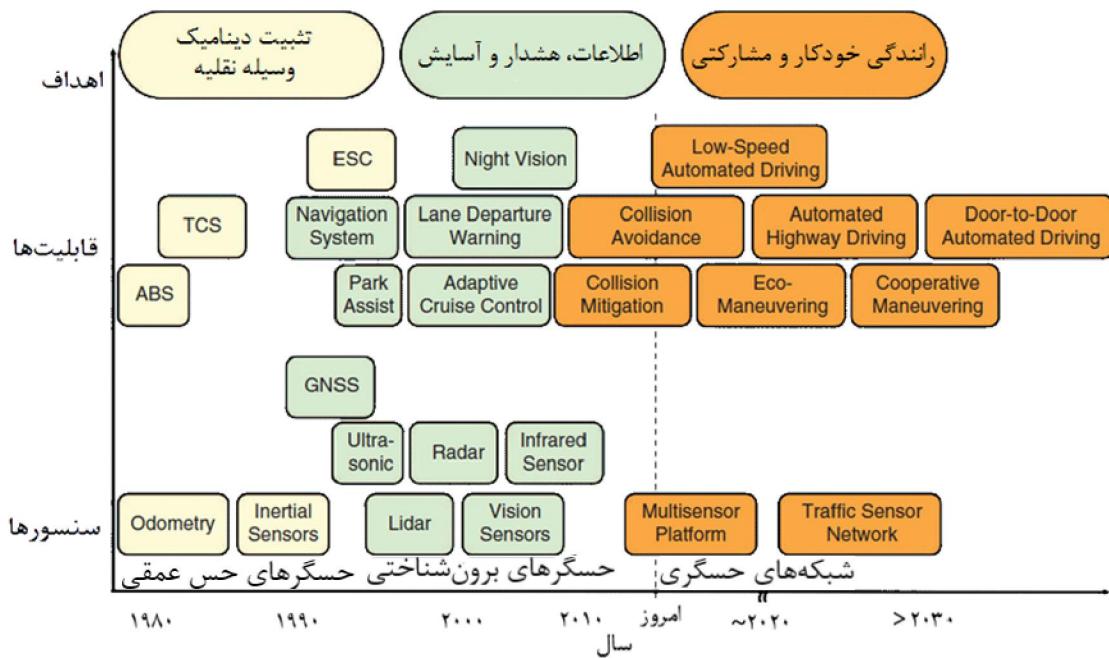
⁴ Robotaxi



شکل ۷: سطوح شش گانه سامانه‌های پیشرفته همیار راننده

۲-۸. تکامل و آینده سامانه‌های همیار راننده

سیر تکاملی سامانه‌های پیشرفته همیار راننده در طول سالیان، در شکل ۸ از نقطه‌نظر فناوری ترسیم شده است.



شکل ۸: سیر تکامل گذشته و آینده بالقوه سامانه‌های پیشرفته همیار راننده

سامانه همیار راننده اولیه مبتنی بر حسگرهای حس عمقی^۱ ایجاد شده بودند؛ یعنی حسگرهایی که وضعیت داخلی خودرو و دینامیک و حرکت خودرو را اندازه‌گیری و کنترل می‌کردند. این حسگرها کنترل دینامیک وسیله نقلیه را با هدف دنبال کردن مسیر درخواستی راننده به بهترین شکل امکان‌پذیر می‌کنند. یکی از اولین سیستم‌های کمکی فعال مبتنی بر حسگرهای حس عمقی، سیستم ترمز ضد قفل بود که از سال ۱۹۷۸ ساخته شد و سیستم کنترل کشش^۲ بعداً این سیستم را تقویت کرد. سال‌ها بعد در سال ۱۹۹۵، حسگرهای کمک رانندگی پویایی مانند کنترل پایداری الکترونیکی^۳، نقطه عطف دیگری را در توسعه این سیستم‌ها، رقم زد و این‌گونه بود که با کمک این حسگر، ژیروسکوپ الکترونیکی راه خود را به داخل خودروها پیدا کرد. بعداً تست موس^۴، اثبات کرد که این حسگرها در پله دوم بعد از کمربند ایمنی، بیشترین ایمنی را برای سرنشینان خودرو ایجاد می‌کنند. با اعلام نتایج این تست، نظر عموم به شناختن پتانسیل‌های ایمنی این سیستم‌های کنترل رانندگی، شدت

¹ Proprioceptive

² Traction Control System (TCS)

³ Electronic Stability Control (ESC)

⁴ Moose test

گرفت و تعداد دفعات اجرای چنین سیستم‌هایی به طور قابل توجهی افزایش یافت و در نتیجه، جان چندین هزار نفر با کمک این حسگرها نجات داده شد.

حسگرهای برونشناختی^۱، اطلاعات را از خارج وسیله نقلیه دریافت می‌کنند. از جمله این حسگرها می‌توان به حسگرهای فراصوت، رادار، لیدار یا ویدئو و تا حدی گیرنده‌های سیستم ناوبری ماهواره‌ای جهانی^۲ اشاره کرد. این حسگرها اطلاعاتی در مورد جاده پیش رو و همچنین وضعیت رانندگی سایر حاضران در جاده، وضعیت ترافیک اطراف و یا موقعیت وسیله نقلیه در جهان را ارائه می‌دهند.

نسل دوم سامانه‌های همیار راننده برای اولین بار در حدود سال ۱۹۹۰ بر اساس حسگرهای برونشناختی، معرفی شدند و بر ارائه اطلاعات و هشدارها به راننده و افزایش راحتی رانندگی تمرکز دارند. به دلیل کاهش هزینه فناوری ناوبری دستگاه‌های تلفن همراه، استفاده از سیستم ناوبری ماهواره‌ای جهانی در وسایل نقلیه اموزی به طور قابل توجهی رایج شد. همچنین طبق مشاهدات، بیان شده است که افراد غیر محلی بیشتر از افراد محلی در گیر حوادث رانندگی در یک منطقه می‌شوند، بنابراین سیستم‌های ناوبری پیامدهای ایمنی بیشتری برای خودروسواران ایجاد می‌کنند و با کمک به راننده در جهت‌یابی، بار کاری راننده را کاهش داده و باعث می‌شوند که به مقدار بیشتری تمرکز ذهنی به راننده اختصاص داده شود، در نتیجه خطر تصادفات ناشی از بی‌توجهی کاهش می‌یابد. علاوه بر این، چندین مطالعه نشان داد که با رانندگی پیش‌بینی شده و سفر از طریق مسیر بهینه، در مصرف سوخت تا حد زیادی صرفه‌جویی می‌شود.



شکل ۹: تجسم مسیرهای بالقوه و محدودیت سرعت وسیله نقلیه خودکار بر نمایشگر خودرو

¹ Exteroceptive

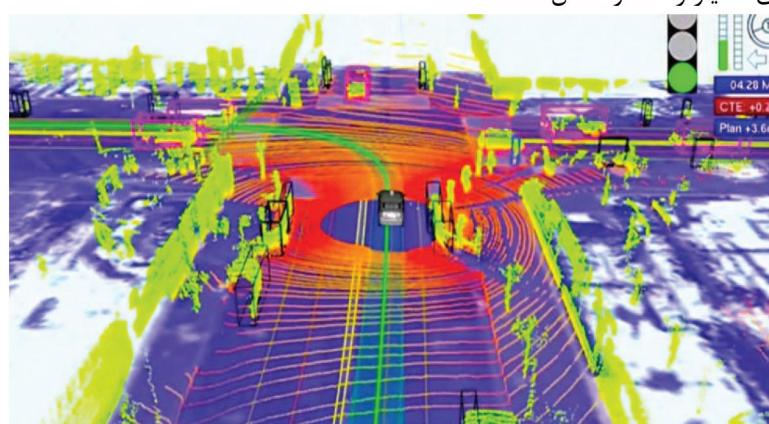
² Global Navigation Satellite System (GNSS)

سیستم‌های کمک‌پارک، در اواسط دهه ۱۹۹۰ وارد بازار شدند. همچنین حسگرهای فراصوت برای تشخیص موانع موجود در محیط اطراف ایجاد شدند. در ابتدا، این سیستم‌ها صرفاً یک عملکرد هشداردهنده برای کمک به جلوگیری از برخورد در حین حرکت به سمت عقب خودروها به هنگام خروج از پارکینگ داشتند اما بعداً آنها با دوربین‌های دید عقب تکمیل شدند تا با اطلاعات دقیق‌تر به راننده در این امر کمک کنند. پس از اینکه فرمان‌پذیری الکترونیکی خودکار^۱ در دسترس قرار گرفت، دستیارهای پارک می‌توانستند راننده را از کنترل جانی خودرو در حین پارک کردن به طور کامل خلاص و حتی او را از گاز دادن یا ترمز کردن هم بی‌نیاز کنند. با گذشت سال‌ها، داده‌های ویدئویی محیط اطراف خودرو از نمای عقب ساده به نمای ۳۶° درجه ارتقا یافت. با اینکه بازار خودرو، به سیستم‌های کمک‌پارک به اندازه سیستم‌های ناوبری کنترل پایداری الکترونیکی و ناوبری به سرعت روی خوش نشان نداد، اما با این حال، با توجه به اینکه سیستم‌های کمک‌پارک عموماً یک ویژگی اختیاری در نظر گرفته می‌شوند و با هزینه‌های اضافی همراه هستند، با این وجود چنین سیستم‌هایی در نوع خود موفق بوده‌اند. تا کنون، پیشرفت‌های این سیستم‌ها به هدایت خودکار به فضای پارکی که توسط راننده تعیین شده و توسط وسیله نقلیه تشخیص داده می‌شود، محدود شده است، اما با توجه به تحقیقات انجام‌گرفته و پیشرفت‌های حاصل شده در این زمینه، یک نوع سیستم پارک کامل خودکار که در آن راننده به طور کامل از رویه یافتن جای پارک حذف می‌شود، ممکن است به‌زودی از منظر فناوری امکان‌پذیر شود.

توسعه کروز کنترل تطبیقی نقطه عطفی دیگر در تاریخچه سیستم‌های همیار راننده ایجاد کرد. از طریق اجرای کنترل الکترونیکی ترمز و همچنین استفاده از فناوری‌های راداری که قبلاً بسیار گران قیمت بودند، رانندگی نیمه خودکار امکان‌پذیر شد. هنگامی که این سامانه در سال ۱۹۹۹ معرفی شد، این ویژگی در ابتدا فقط در سرعت‌های بیشتر از ۳۰ کیلومتر در ساعت قابل استفاده بود. با این حال، سیستم‌های فعلی با جعبه دنده اتوماتیک، این قابلیت را دارند که از این ویژگی‌ها در سرعت‌های پایین‌تر استفاده کنند و به عنوان مثال، به طور خودکار سایر وسایل نقلیه را در ترافیک دنبال کنند.

در حال حاضر، سامانه‌های پیشگیری از برخورد روبه‌جلو با استفاده از نسخه‌های ارزان قیمت و با وضوح پایین حسگرهای لیدار، برای برنامه‌های کاربردی با سرعت پایین استفاده می‌شوند. مثلاً برای کاربردهای پیشرفته در سرعت‌های بالاتر، محدوده تشخیص کوچک سیستم‌های لیدار ارزان قیمت، یک عامل بهشت محدود کننده است. در این سیستم‌ها، با افزایش سطح هشدار، راننده از یک برخورد فریب‌الوقوع آگاه می‌شود و اگر راننده واکنشی نشان ندهد، هنگامی که دیگر برخورد قابل اجتناب نباشد، وسیله نقلیه به طور خودکار و پویا، خود ترمز می‌کند تا شدت تصادف را کاهش دهد.

همین وظیفه در سیستم‌های هشدار خروج از خط^۲ نیز تعییه شده است. اینها و سیستم‌های کمکی نگهداشت خودرو در مسیر^۳ که از سامانه قبلي به دست می‌آیند، باعث ورود بینایی ماشین به بازار در حوزه حمل و نقل شد و در نتیجه نقطه عطف دیگری در تاریخ سامانه‌های همیار راننده را شکل دادند.



شکل ۱۰: خودروی خودران گوگل با استفاده از لیدار شکلی سه بعدی از محیط اطراف خود ایجاد می‌کند.

¹ Electric Power Steering (EPS)

² Lane Departure Warning System (LDWS)

³ Lane Keeping Assist System (LKAS)

آخرین دسته‌بندی از حسگرهای در گیر در سامانه همیار راننده، مسیرهای فراتر از درخواست فعلی راننده را انتخاب و کنترل می‌کند، این گروه از حسگرهای شبکه‌های حسگری معروف هستند. سطح اطمینان بالای موردنیاز برای چنین تصمیماتی تنها با مجموعه‌ای از حسگرهای بهم پیوسته قابل دستیابی است. در حال حاضر سامانه‌های همیار راننده بر پایه فناوری‌های رادار و دوربین پایه‌گذاری شده‌اند. محققان به این نتیجه رسیدند که وقتی می‌توان با کنار هم قراردادن چند حسگر به عملکرد بهتری رسید و نقاط قوت هر دو فناوری را ترکیب کرد، پس باید این کار انجام شود. هدف کوتاه‌مدت این دسته‌بندی، خودکار کردن رانندگی در موقعیت‌های انتخاب شده است. به عنوان مثال، اخیراً سیستم‌های کمکی راه‌بندان^۱ بر پایه رادار و دوربین‌های استریو معرفی شدند که این سیستم‌ها برای رانندگی با سرعت کم و در حدود ۳۰ کیلومتر در ساعت و به صورت خودکار در بزرگراه‌های شلوغ، وسیله نقلیه را هدایت می‌کنند. با اینکه این حداکثر سرعت، محدودیت بزرگی برای گسترش استفاده از این سیستم‌ها است، اما با پیشرفت تحقیقات در این زمینه این عملکرد ممکن است در نهایت به سمت رانندگی خودکار در بزرگراه ظاهر شود.

باتوجه به عملکرد فوق العاده این سیستم‌ها، برنامه‌های مختلفی به منظور توسعه سامانه‌های همیار راننده در حال پیگیری است و این رویکرد نوید گسترش مرزهای دانش این حوزه را می‌دهد و انتظار می‌رود در سال‌های آینده شاهد پیشرفت چشم‌گیری در این حوزه باشیم.

۹-۲. مزایا و عملکرد

متوجه شدیم که هدف در این سامانه‌ها این است که خطای راننده کاهش یا حتی حذف شود تا کارایی افزایش یابد. مزایای پیاده‌سازی سامانه‌های پیشرفت‌های همیار راننده به دلیل کاهش قابل توجه زحمات راننده، هزینه‌های اقتصادی و آلودگی هوا، بسیار زیاد است، زیرا:

- ۱) اینمی رانندگی به میزان قابل توجهی افزایش پیدا خواهد کرد و تاحدامکان از حوادث جلوگیری می‌شود.
 - ۲) مدیریت جریان ترافیک برای افزایش ظرفیت جاده، یعنی تعداد وسایل نقلیه در جاده به طور هوشمند مشخص می‌شود و می‌توان با مدیریت، وسایل نقلیه بیشتری را در مسیرهای مختلف جا داد و یا پیشنهاد تعویض مسیر داد. همچنین با بررسی طولانی‌مدت این ارقام، می‌توان به لزوم ایجاد یا نگهداری مسیرهای جدید فکر کرد.
 - ۳) افزایش ظرفیت جاده‌ها با کاهش فاصله بین خودروها با استفاده از کروز کنترل تطبیقی ممکن می‌شود.
 - ۴) مکان قرارگیری وسیله نقلیه را می‌توان با استفاده از سیستم موقعیت‌یابی جهانی^۲ تعیین کرد.
 - ۵) می‌توان یک رانندگی ایمن و با عملکرد بالا، بدون توجه به شعاع دید، آبوهوا و شرایط محیطی انجام داد.
 - ۶) استفاده کنندگان این سامانه، می‌توانند بدون توجه به شرایط شخصی خود، رانندگانی ایمن و کارآمد باشند (مثلاً رانندگان مسن یا بی‌تجربه).
 - ۷) رهایی از رانندگی سرنشینان وسیله نقلیه و اجازه دادن به آنها برای تمرکز بر کارهای دیگر یا استراحت در طول سفر با رهایی از استرس راننده، امکان پذیر می‌شود.
- قابلیت اصلی سامانه‌های پیشرفت‌های همیار راننده، تسهیل عملکرد رانندگان با ارائه مشاوره، دستورالعمل و هشدارهای بلاذرنگ است. این سیستم‌ها ممکن است به حالت‌های مشاوره‌ای، نیمه‌خودکار و یا خودکار عمل کنند که همگی ممکن است پیامدهای متفاوتی برای راننده و در نتیجه تأثیر آن بر اینمی حمل و نقل داشته باشند. اگرچه هدف از سیستم پشتیبانی راننده، تأثیر مثبت بر اینمی ترافیک است، اما اثرات نامطلوبی نیز بر رفتار راننده نشان‌داده شده است که منجر به تأثیرات منفی بر اینمی حمل و نقل است. اولاً، ارائه اطلاعات به طور بالقوه منجر به وضعیتی می‌شود که توجه راننده از ترافیک منحرف شود. ثانیاً، بر عهده گرفتن بخشی از وظیفه رانندگی توسط یک سیستم همیار راننده ممکن است به خوبی باعث انطباق رفتاری شود. در نتیجه، راننده ممکن است از یک خطر ناگهانی آگاه نشود و یا زمانی آگاه شود که خیلی دیر است و فرصت برای واکنش درخور، فراهم نباشد. به همین علت قبل از معرفی هر سیستم پشتیبانی راننده، باید عواقب عملکرد سیستم از این منظر شناسایی گردد.

¹ Traffic Control System (TCS)

² Global Positioning System (GPS)

۱۰-۲. چالش‌ها

حمل و نقل جاده‌ای یک نیاز عمومی است که کاربران حال حاضر آن که عموماً خودروهای غیرهوشمند هستند، با توجه به شرایط نامناسبی که قبلاً در آن قرار می‌گرفتند، اکنون توقع رفع این ایرادات را دارند. در گذشته مطالعات زیادی در این زمینه در مورد شرایط رانندگی رانندگان انجام شده است که به عنوان مثال در یک نظرسنجی در میان مطالعاتی که در آن زمان شناخته شده بود، گزارش شد که بیش از نیمی از رانندگان به خوابیدن پشت فرمان و احتمال وقوع تصادفات، اعتراف کردند.

جالب آنکه این عدد برای رانندگان کامیون و اتوبوس خیلی بالاتر از این مقدار بود. اکنون از طریق این سامانه‌ها، همکاری‌های هوشمندانه‌ای به راننده ارائه می‌گردد که تصور می‌شود نیاز راننده خودرو به پشتیبانی برای جلوگیری از تصادفات، کمتر از گذشته شود، اما علی‌رغم پیشرفت‌های قابل توجه در این زمینه، چندین چالش مهم باقی‌مانده است که باید بر آنها غلبه کرد تا سرعت رشد و پیشرفت این سامانه‌ها دوچندان شود.

یکی از چالش‌های عمدۀ سامانه‌های پیشرفت‌ههی همیار راننده کنونی این است که عملکرد سیستم به طور قابل توجهی تحت تأثیر شرایط محیطی و آب‌وهایی تغییر می‌کند. به عنوان مثال، سامانه‌های پیشرفت‌ههی همیار راننده مبتنی بر بینایی، با حسن کردن و کنترل خودرو در شرایط بارانی و زمان‌هایی که نور شدید وجود دارد یا هوا خیلی تاریک است، مشکل دارند. یکی از راه حل‌های ممکن برای رفع این مشکل، ادغام حسگرهاست. این بدان معناست که با انتکا بر داده‌های دیگر سامانه‌ها، بهترین تصمیمی با همکاری چندین حسگر گرفته شود که این می‌تواند به بروزرساندن این مشکل کمک کند.

وسایل نقلیه مدرن به طور شدید، به بسیاری از سیستم‌های مبتنی بر شبکه مانند وای‌فای^۱ متصل می‌شوند. این اتصال، وسیله نقلیه را قادر می‌سازد تا اطلاعات مختلفی را حس کرده و دریافت کند، اما همچنین آن را در برابر حملات آسیب‌پذیرتر می‌کند. نمونه‌هایی از هک در خودروهای هوشمند پیش‌از‌این گزارش شده است که به عنوان مثال در یک مورد به قفل شدن ترمزها و در نتیجه مرگ موتور منجر شد. به همین علت جلوگیری از دسترسی هکرها به وسایل نقلیه متصل، اهمیت فزاینده‌ای پیدا کرده است و محققین را به این‌سازی شبکه‌های داخل خودرو و ارتباطات خارجی آن واداشته است.

انتظار می‌رود که هوش مصنوعی خودرو برای انواع وسایل نقلیه، متفاوت عمل کند. به عنوان مثال هوش مصنوعی کار شده برای خودرو نسبت به موتورسیکلت و یا اتوبوس باید متفاوت باشد و این تفاوت‌ها برای راننده‌های مختلف، نیز باید اعمال شود. این معادل مفهوم شخصی‌سازی است که عدم وجودش، باعث باز ماندن برخی جوامع از ظهور این فناوری می‌شود.

۱۱-۲. چشم‌انداز توسعه

همیشه افرادی وجود خواهند داشت که از تجربه رانندگی به صورت شخصی بیشتر راضی هستند، اما بسیاری از ما فقط به اتومبیل‌های خودران تکیه می‌کنیم و از آزادی و انعطاف‌پذیری ناشی از آن لذت می‌بریم و به همین دلیل است که آینده وسایل نقلیه خودران امیدوارکننده و هیجان‌انگیز است، اما همچنان حربیان اصلی تولید خودرو در لیالات متعدد آمریکا و سایر کشورهای توسعه‌یافته پیشرو در صنعت خودرو، چندین سال با چیزی بالاتر از سطح دوم فاصله دارد که این موضوع فقط به دلیل مسائل ایمنی و بحث‌های بازخورد این خودروها در جوامع و جاده‌هایست و گرنه که مسائل مرتبط با فناوری و تحقیقات لازم در این زمینه، در مراحل پیشرفت‌های در حال پیگیری است.

البته با اینکه معرفی یک سیستم بزرگ‌راهی کاملاً خودکار در حال حاضر از نظر فنی امکان‌پذیر است، اما استقبال عمومی و در مقیاس وسیع برای این فناوری، حداقل از یک منظر، منتظر پذیرش گسترده افراد جامعه است که به‌وضوح برای پیشبرد این هدف، تبلیغات درست و متنوع، این امر را قابل دستیابی می‌کند.

از طرف دیگر، لردم وجود یک سری قانون‌ها برای رانندگی با چنین خودروهایی، احساس می‌شود. همچنین به منظور کاهش خطاهای سیستم هم لازم است که این خودروها در تمامی سطوح رانندگی ارزیابی شوند که این مستلزم هزینه و زمان زیادی است و این بار مالی با توجه آگاهی اندک مردم و نبود سرمایه‌گذار جدی، در حال حاضر قابل توجیه نیست.

¹ Wi-Fi

برای همین لازم است که با ایجاد ترس از عقب ماندن از بازار، شرکت‌های بزرگ را به ورود در این عرصه ترغیب کرده و آنها را به حمایت مالی بیشتر و بها دادن به تحقیقات در این حوزه تشویق کرد. نقش مشوق‌های اقتصادی و سیاست‌های درستی که دولت‌ها اتخاذ می‌کنند نیز می‌تواند در این مسیر مؤثر واقع شود.

۱۲-۲. چشم‌انداز بازار

پیش‌بینی می‌شود که اندازه بازار جهانی سامانه‌های پیشرفته همیار راننده از ۲۷/۲ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۱ به ۷۴/۹ میلیارد دلار تا سال ۲۰۳۰ افزایش یابد. همچنین پیش‌بینی می‌شود تا آن تاریخ، ویژگی‌های ایمنی، یک پیش‌نیاز مهم برای مشتریان خودرو شمرده شوند و دولت‌ها در سراسر جهان استفاده از حسگرهایی مانند هشدار خروج از خط و ترمز اضطراری خودکار^۱ را اجباری کرده باشند؛ بنابراین، انواع مختلفی از ویژگی‌های ایمنی برای کمک به رانندگان و کاهش تعداد تصادفات ایجاد خواهد شد و در نتیجه نفوذ روزافزون ویژگی‌های سامانه‌های پیشرفته همیار راننده، تقاضا برای قطعاتی مانند دوربین‌ها، رادارها، حسگرهای فراصوت و لیدار را تا پایان سال ۲۰۳۰ افزایش می‌یابد.

رشد تقاضا برای سیستم‌های ایمنی و کمک رانندگی، باعث رشد بازار این سامانه در طول این دوره، پیش‌بینی می‌شود. از آنجایی که سامانه‌های پیشرفته همیار راننده به زیرساخت‌های اساسی مانند جاده‌های سازمان یافته صحیح علامت‌گذاری شده و درسترس‌بودن سیستم موقعیت‌یابی جهانی برای عملکرد مؤثرش نیاز دارند، پیش‌بینی می‌شود، زیرساخت‌های ضعیف خارج از مناطق شهری کم کم از بین بروند و جای خود را به مسیرهای جدیدتر دهند. اما از طرف دیگر، ملاحظات هزینه‌ای، و آموزش ضعیف رانندگی یا ضعف در فرهنگ رانندگی، رشد بازار سامانه‌های پیشرفته همیار راننده را در کشورهای در حال توسعه مهار می‌کند.

همچنین پیش‌بینی می‌شود آمریکای شمالی در طول این دوره نقش مهمی در بازار سیستم‌های پیشرفته همیار راننده ایفا کند. ایالات متحده یکی از پرسودترین بازارها برای این سامانه‌ها در نظر گرفته می‌شود، زیرا همیشه یک مرکز نوآوری برای خودروسازان جهانی بوده است و تعدد تولیدکنندگان اصلی تجهیزات^۲ در این کشور نیز یک دلیل موثر بر این گفته است. لازم به ذکر است که حتی اکنون نیز خودروسازان بزرگ در ایالات متحده سطوح کنونی سیستم‌های پیشرفته همیار راننده را به عنوان استاندارد در اکثر خودروهای خود ارائه می‌کنند، بنابراین نقش این کشور به عنوان کشور پیشرو در این حوزه نباید نادیده گرفته شود.

از طرف دیگر، چین، کره جنوبی و ژاپن بیشترین سهم از بازار این فناوری را در منطقه آسیا و اقیانوسیه به خود اختصاص داده‌اند. رشد بازار در آسیا و اقیانوسیه را می‌توان به تولید بالای خودرو و افزایش استفاده از وسائل الکترونیکی پیشرفته در ژاپن، کره جنوبی و چین نسبت داد. دولت‌های این کشورها پتانسیل رشد صنعت خودروسازی را به خوبی درک کرده‌اند و در نتیجه ابتکارات مختلفی را برای تشویق شرکت‌های تولیدکننده بزرگ برای ورود به بازارهای داخلی خود انجام داده‌اند. همچنین چندین خودروساز اروپایی و آمریکایی مانند فولکس‌واگن^۳ (آلمان)، مرسدس‌بنز^۴ (آلمان) و جنرال موتورز^۵ (الیالات متحده) کارخانه‌های تولید خود را به کشورهای در حال توسعه منتقل کرده‌اند که این نیز خود نوید افزایش سهم تأثیر منطقه آسیا در معادلات جهانی در این حوزه دارد.

۳. نتیجه‌گیری

این مقاله در مورد بررسی سامانه‌های پیشرفته همیار راننده و انواع طبقه‌بندی‌ها و حسگرهای به کاررفته شده در خودروهای شامل این فناوری بود. ما مقالات مرتبطی را با مضمون سامانه‌های پیشرفته همیار راننده مطالعه کردیم و شش مورد را به دقت بررسی و درباره امکانات و چالش‌های این سامانه تحقیق نمودیم.

¹ Autonomous Emergency Braking (AEB)

² Original Equipment Manufacturer (OEM)

³ Volkswagen

⁴ Mercedes-Benz

⁵ General Motors

تشریح شد که پتانسیل سامانه‌های پیشرفته همیار راننده بسیار زیاد است، مشروط بر اینکه این سامانه‌ها در آینده نزدیک به طور کامل پذیرفته و به طور گسترده معرفی شوند. برای این کار، سیستم‌ها و زیر سیستم‌های پیشرفته همیار راننده همگی باید تاحدامکان در برابر خرابی ایمن ساخته شوند. هر زمان که سیستم از کار بیفت، باید بر اساس مقررات اتخاذ شده قبلی و برای جلوگیری از حوادث جدی، قدم‌های ایمنی تعیین شود. همچنین مطرح شد که مقبولیت سامانه‌های پیشرفته همیار راننده به شدت به نمایش کامل این ویژگی‌ها و تبلیغات درست درباره آنها بستگی دارد و برای کاربر نهایی، مزايا باید مشخص و ترجیحاً به راحتی قابل مشاهده باشد. در اینکه اکثر رانندگان خود را حدقه رانندگان بهتری نسبت به راننده خود کار می‌دانند، شکی نیست پس بنابراین لزوم تحقیقات بیشتر و حمایت‌های همه‌جانبه صنایع مرتبط در این زمینه، باید به خوبی بررسی شود.

همچنین استفاده از پردازنده‌های قدرتمند و حسگرهای پیشرفته به این سیستم‌های بدیع اجازه می‌دهد تا مزایای قدرتمندی را برای رانندگان خودرو ارائه دهند. در نهایت، ما چند چالش مهم حل نشده با سامانه‌های پیشرفته همیار راننده را ارائه کردیم که باید در آینده مورد توجه قرار گیرند.

پس منطقی است که بگوییم انسان در آینده به سمت وسایل نقلیه رانندگی مستقل و شبکه‌های بزرگراهی از وسایل نقلیه هوشمند بدون راننده، حرکت می‌کند و روزگاری خیلی نزدیک فرامی‌رسد که همه با خیال راحت و با کمترین مهارت و استرس، به سمت مقصد خود سفر می‌کنند.

مراجع

- [1] Peden, Margie, Richard Scurfield, David Sleet, C. Mathers, Eva Jarawan, A. A. Hyder, D. Mohan, A. A. Hyder, and E. Jarawan. "World report on road traffic injury prevention." World Health Organization, 2004.
- [2] Kukkala, Vipin Kumar, Jordan Tunnell, Sudeep Pasricha, and Thomas Bradley. "Advanced driver-assistance systems: A path toward autonomous vehicles." IEEE Consumer Electronics Magazine 7, no. 5 (2018): 18-25.
- [3] Galvani, Marco. "History and future of driver assistance." IEEE Instrumentation & Measurement Magazine 22, no. 1 (2019): 11-16.
- [4] Bengler, Klaus, Klaus Dietmayer, Berthold Farber, Markus Maurer, Christoph Stiller, and Hermann Winner. "Three decades of driver assistance systems: Review and future perspectives." IEEE Intelligent transportation systems magazine 6, no. 4 (2014): 6-22.
- [5] Brookhuis, Karel A., Dick De Waard, and Wiel H. Janssen. "Behavioural impacts of advanced driver assistance systems—an overview." European Journal of Transport and Infrastructure Research 1, no. 3 (2001).
- [6] Haas, Roland Erik, Shambo Bhattacharjee, and Dietmar PF Möller. "Advanced driver assistance systems." In Smart Technologies, pp. 345-371. Springer, Singapore, 2020.
- [7] Synopsys. 2019. "The 6 Levels of Vehicle Autonomy Explained, Synopsys Automotive." www.synopsys.com. April 2019. <https://www.synopsys.com/automotive/autonomous-driving-levels.html>.
- [8] MarketsandMarkets. 2021. "ADAS Market Size, Share, Growth, Analysis, Trends by 2030." www.marketsandmarkets.com. December 2021. <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/driver-assistance-systems-market-1201.html>.