

دانشکده مهندسی مکانیک

گزارش سمینار مهندسی خودرو در گرایش طراحی سیستم‌های دینامیکی

**پارک اتوماتیک خودروهای مفصلی مبتنی بر یادگیری پایان‌به‌پایان**

نگارش:

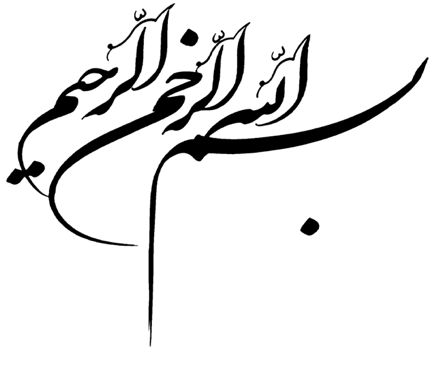
**امیرحسین محمدی**

اساتید راهنما:

**دکتر شهرام آزادی**

**دکتر رضا کاظمی**

تابستان 1404



**چکیده**

**فهرست مطالب**

**فهرست شکل‌ها**

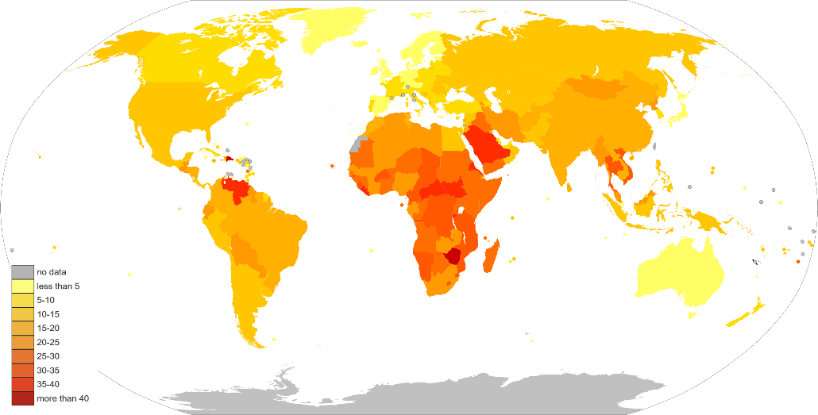
**فهرست جداول**

**فهرست نمادها و اختصارات**

# **1- مقدمه**

امروزه بهره‌گیری از روش‌های مبتنی بر هوش مصنوعی[[1]](#footnote-1) و یادگیری ماشین[[2]](#footnote-2) در صنایع گوناگون، ‌به ویژه در حوزه‌های مهندسی، با سرعت چشمگیری در حال گسترش است. یکی از مهم‌ترین و پرکاربردترین زمینه‌ها، مهندسی خودرو و توسعه سامانه‌های خودران[[3]](#footnote-3) است که در آن، الگوریتم‌های هوشمند نقش کلیدی در بهینه‌سازی عملکرد، افزایش ایمنی و ارتقای تجربه کاربری ایفا می‌کنند.

## **1-1- پیش‌زمینه و انگیزه**

مطابق با گزارش سازمان جهانی بهداشت[[4]](#footnote-4)، جراحات ناشی از تصادفات جاده‌ای در سال ۲۰۱۶ باعث مرگ حدود 35/1 میلیون نفر در سراسر جهان شده است [1]. یعنی به طور متوسط ​​هر ۲۶ ثانیه یک نفر در جهان به دلایلی مانند سرعت بیش‌ازحد، حواس‌پرتی، مسمومیت و... کشته شده است [2]. شکل 1-1 نرخ تلفات جاده‌ای[[5]](#footnote-5) را در سال 2019 بر اساس کشور، به ازای هر ۱۰۰۰۰۰ نفر جمعیت نشان می‌دهد.

شکل 1-1- نرخ تلفات جاده‌ای در سال 2019 بر اساس کشور، به ازای هر ۱۰۰۰۰۰ نفر جمعیت [2]

خودروهای خودران[[6]](#footnote-6)، به عنوان یکی از پیشرفته‌ترین فناوری‌های دوران معاصر و جریان پیشرو در صنعت خودرو، نویدبخش دگرگونی بزرگی در سیستم حمل‌ونقل هستند. این فناوری‌ها دارای مزایای چشمگیر و در عین حال چالش‌های عمیقی می‌باشند.

از مهمترین مزیت‌های سامانه‌های خودران می‌توان به کاهش قابل توجه تصادفات جاده‌ای اشاره کرد؛ زیرا عامل انسانی به عنوان اصلی‌ترین دلیل بروز حوادث رانندگی حذف می‌شود. همچنین این فناوری می‌تواند تحرک و استقلال قابل توجهی را برای سالمندان و افراد دارای محدودیت‌های حرکتی ایجاد نماید. بسیاری از افراد دارای معلولیت قادر به اشتغال به فعالیت‌های شغلی هستند که دسترسی به حمل‌ونقل مستقل می‌تواند نقش مهمی در بهبود کیفیت زندگی آنان ایفا کند [3].

از سوی دیگر، این فناوری‌ها می‌توانند به کاهش آلودگی هوا و حفظ محیط زیست کمک شایانی کنند. خودروهای خودران معمولاً به صورت بهینه و با مصرف انرژی کارآمد طراحی می‌شوند. همچنین زمینه‌ساز ایجاد شیوه‌های نوین حمل‌ونقل عمومی شده و می‌توانند منجر به کاهش چشمگیر تعداد خودروهای شخصی شوند. بررسی‌ها نشان می‌دهند یک خودروی شخصی به طور متوسط بیش از نود و پنج درصد از زمان خود را در حالت پارک شده سپری می‌کند [3].

با این حال، توسعه فناوری‌های مربوطه، با چالش‌های متعددی نیز روبرو است که انجام آن را دشوار می‌سازند. ایجاد سامانه‌ای که بتواند با دقتی فراتر از انسان عمل کند نیازمند پیشرفت‌های بسیاری است. شرایط جوی نامساعد مانند برف و باران شدید، جاده‌های بدون علامت‌گذاری مناسب، رفتارهای غیرقابل پیش‌بینی عابران پیاده، رخ دادن رویدادهای نادر از جمله موانع پیش‌روی این فناوری‌ها هستند. به بیان دیگر از یک فناوری خودران انتظار می‌رود در برابر عدم قطعیت‌ها و نامعینی‌‌ها[[7]](#footnote-7)، عملکرد[[8]](#footnote-8) (کارایی) مطلوبی را از خود نشان دهد و در برابر ورودی‌های ناخواسته، مقاوم[[9]](#footnote-9) باشد [3]. در غیر این‌صورت ممکن است عواقب جبران‌ناپذیری را به همراه داشته باشد.

مسائل پیچیده اخلاقی و حقوقی نیز حائز اهمیت بوده و بایستی مورد توجه قرار گیرند، از جمله اینکه در موقعیت‌های اجتناب‌ناپذیر تصمیم‌گیری حقوقی به چه صورت است و مسئولیت حوادث احتمالی بر عهده چه کسی خواهد بود [3].

پارک‌کردن به عنوان یکی از دشوارترین وظایف رانندگی شناخته می‌شود، زیرا راننده ضمن نیاز به یافتن و تعیین محل پارک، لازم است مانورهای معکوس و حرکت به سمت عقب را برای قراردادن خودرو در محل مورد نظر انجام دهد که با احتمال تصادف نیز همراه است [4].

پارک خودروهای سنگین مفصلی[[10]](#footnote-10) (تجاری) ، به دلیل ابعاد بزرگ، مانورپذیری محدود، وجود نقاط کور گسترده و درجات آزادی بیشتر، یکی از پیچیده‌ترین و پرخطاترین عملیات برای رانندگان محسوب می‌شود و به مراتب از خودروهای سواری دشوارتر است. یکی از نمونه‌های کاربردی فناوری‌های خودران، توسعه سیستم‌های پارک اتوماتیک[[11]](#footnote-11) (خودکار) می‌باشد که می‌توانند در خودروهای مفصلی به منظور رفع چالش مذکور، به کار روند.

توسعه سیستم‌های پارک خودکار آسان نیست. ابتدا خودرو باید محیط و موانع را به منظور یافتن فضای پارک شناسایی کند. سپس به طور خودکار توانایی برنامه‌ریزی برای حرکت و طراحی مسیر را خواهد داشت و در نهایت قادر به ردیابی مسیر و دنبال کردن حرکات برنامه‌ریزی شده متوالی و اطمینان از قرار گرفتن خودرو در موقعیت نهایی خواهد بود [4].

با توجه به مزایای گسترده فناوری‌های خودران و چالش‌های خاص پارک خودروهای مفصلی، این پایان‌نامه با هدف طراحی و توسعه یک سامانه هوشمند برای پارک خودکار این خودروها ارائه می‌شود تا گامی در جهت کاهش خطای انسانی، افزایش ایمنی و بهینه‌سازی عملیات حمل و نقل بردارد.

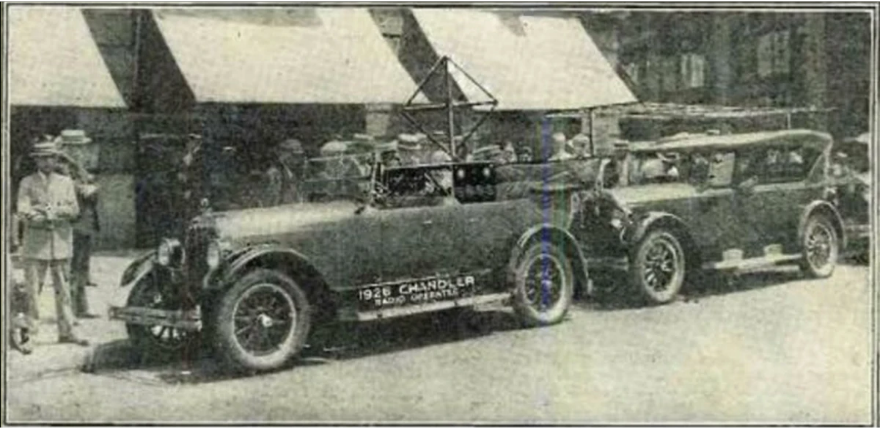
این فصل در ادامه نگاهی مختصر به تاریخچه خودروهای خودران دارد و ضمن بررسی اولیه روش‌ها و ایده‌های کاربردی به همراه مزایا و محدودیت‌های آن‌ها، اهداف و نوآوری‌های مسأله را بیان می‌کند.

## **2-1- تاریخچه خودروهای خودران و سامانه‌های کمک‌راننده پیشرفته**

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، پارک اتوماتیک یک خودروی مفصلی، نمونه‌ای از کاربردهای مورد استفاده در سامانه‌های خودران می‌باشد و نه‌تنها مستقل از آن‌ها نیست بلکه هم‌پوشانی بسیار دارد. لذا پیش از تشریح مسأله و واکاوی جزئیات آن، ارائه پیش‌زمینه‌ای از مبانی خودروهای خودران و فعالیت‌های پیشین در این عرصه ضروری به نظر می‌رسد.

ایده ساخت خودروهای خودران که قادر به درک محیط و انجام عملیات رانندگی بدون مداخله انسانی باشند، از دیرباز یکی از آرمان‌های کلیدی و بلندمدت در حوزه‌های مهندسی مکانیک، خودرو، مکاترونیک، رباتیک و سایر حوزه‌های مرتبط بوده است.

اولین خودروی بدون راننده در سال 1925 میلادی توسط شرکت محصولات کنترل رادیویی هودینا[[12]](#footnote-12) در نیویورک به صورت عمومی به نمایش درآمد. این پروژه که در شکل 1-2 قابل مشاهده است، اعجوبه آمریکایی[[13]](#footnote-13) نام داشت و یک خودروی کنترل از راه دور بود که خودروی دارای راننده دیگری را با استفاده از امواج رادیویی دنبال می‌کرد [5 و 6]. در سال‌های بعد ایده‌ها و مفاهیمی توسط جنرال موتورز[[14]](#footnote-14) در نمایشگاهی[[15]](#footnote-15) در سال 1939 مطرح شدند که منجر به ساخت برخی از نمونه‌های اولیه مبتنی بر زیرساخت‌های اختصاصی تا دهه 1970 گشتند [5].



شکل 1-2- اعجوبه آمریکایی در سال 1925 [6]

در سال 1986 تحولی اساسی در توسعه خودروهای خودران مستقل رخ داد که متکی به زیرساخت‌های اختصاصی نبودند. تیم ناولب[[16]](#footnote-16) در دانشگاه کارنگی ملون در آمریکا و همزمان تیم ارنست دیکمنز[[17]](#footnote-17) در اروپا و آلمان اقدام به توسعه فناوری‌های نوآورانه مبتنی بر رویکرد‌های ماژولار[[18]](#footnote-18) و یادگیری پایان‌به‌پایان[[19]](#footnote-19) کردند که حوزه‌هایی مانند هوش مصنوعی، بینایی کامپیوتر[[20]](#footnote-20)، شبکه‌های عصبی مصنوعی[[21]](#footnote-21) و یادگیری تقلیدی[[22]](#footnote-22) را شامل می‌شدند. لازم به ذکر است پیاده‌سازی این پروژه‌ها عمدتا روی خودروهای نیمه‌سنگینی مانند کامیون و مینی‌بوس انجام گرفت [5]. شکل 1-3 اولین پروژه تیم ناولب را نشان می‌دهد.



شکل 1-3- ناولب 1 [5]

در دهه 2000، سازمان پروژه‌های پیشرفته دفاعی[[23]](#footnote-23) (دارپا) مسابقاتی را برگزار کرد که به بروز پیشرفت‌هایی در این حوزه و رواج فناوری‌های مهمی مانند لیدار چندپرتویی[[24]](#footnote-24) منجر گشت. در ادامه، در سال 2009 گوگل[[25]](#footnote-25) با استخدام افرادی خبره از مسابقات دارپا پروژه‌های خودران خود را آغاز کرد و در دهه بعدی پیشرفت‌های قابل توجهی در زمینه بینایی ماشین و یادگیری عمیق[[26]](#footnote-26) فراهم آمد [5]. این پیشرفت‌ها زمینه‌ساز توسعه پروژه‌هایی با پتانسیل تجاری‌سازی مانند خودرو ویمو[[27]](#footnote-27) توسط گوگل و سایر پروژه‌ها توسط شرکت‌های دیگر مانند تسلا[[28]](#footnote-28)، اوبر[[29]](#footnote-29) و مرسدس[[30]](#footnote-30) در سال‌های بعد شد.

تاریخچه کامل خودروهای خودران مفصل و گسترده است و بیان تمامی جزئیات آن از اهداف پایان‌نامه خارج است. فناوری‌های امروزی حاصل سال‌ها تحقیق، توسعه و کسب تجربه می‌باشند. با این وجود تا به امروز حوادث جبران‌ناپذیری نیز رخ داده‌اند و برخی از پروژه‌ها با شکست مواجه شده‌اند. لذا تجاری شدن فناوری‌های خودران بسیار چالش‌برانگیز است.

سیستم کمک‌راننده پیشرفته[[31]](#footnote-31)، به مجموعه‌ای از سیستم‌ها و زیرسیستم‌ها در مسیر رسیدن به یک خودرو کاملا خودران (در صورت تحقق) یا به بیان دیگر به هر سامانه‌ای که به راننده در رانندگی و پارک‌کردن کمک کند اطلاق می‌شود [7].

از سال 2014 سیستم‌های کمک‌راننده و سیستم‌های رانندگی خودکار[[32]](#footnote-32) توسط انجمن بین‌المللی مهندسان خودرو[[33]](#footnote-33) در 6 سطح[[34]](#footnote-34)، از سطح صفر (بدون فناوری خودران[[35]](#footnote-35)) تا سطح 5 (کاملا خودران[[36]](#footnote-36)) طبقه‌بندی شده‌اند [5 و 8]. تعاریف، کاربردها و جزئیات مربوط به این سطوح در استاندارد ارائه شده توسط انجمن قابل دسترسی هستند [8]. خلاصه‌ای از اطلاعات مربوطه در جدول 1-1 آمده است. همچنین در یک دسته‌بندی کلی‌تر، سطوح صفر تا 2 را رانندگی تحت نظارت[[37]](#footnote-37) و سطوح بعدی را رانندگی بدون نیاز به نظارت[[38]](#footnote-38) معرفی می‌کنند [5].

جدول 1-1- سطوح و مراتب سامانه‌های رانندگی خودکار [3، 5 و 8]

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| معیار | سطح صفر | سطح 1 | سطح 2 | سطح 3 | سطح 4 | سطح 5 |
| عنوان | بدون رانندگی خودکار[[39]](#footnote-39) | همیار راننده[[40]](#footnote-40) | رانندگی خودکار جزئی[[41]](#footnote-41) | رانندگی خودکار مشروط[[42]](#footnote-42) | رانندگی خودکار سطح بالا[[43]](#footnote-43) | رانندگی خودکار کامل[[44]](#footnote-44) |
| نقش راننده | هدایت و کنترل کامل خودرو | نظارت مداوم بر سامانه، کنترل مداوم طولی یا عرضی خودرو | نظارت مداوم بر سامانه، عملکرد بدون نیاز به لمس دائم فرمان | نظارت و کنترل محافظه‌کارانه | بی‌نیاز از دخالت راننده در شرایط مشخص | - |
| نقش سامانه | - | کنترل طولی یا عرضی خودرو | کنترل طولی و عرضی خودرو در شرایط مشخص | کنترل طولی و عرضی خودرو در شرایط مشخص، شناسایی محدودیت‌های عملکردی و هشدار به راننده | هدایت و کنترل کامل خودرو در شرایط مشخص | هدایت و کنترل کامل خودرو |
| نمونه | خودروی معمولی بدون سامانه رانندگی خودکار | کروز کنترل تطبیقی[[45]](#footnote-45) | سامانه‌های کمکی در بزرگراه[[46]](#footnote-46) | سامانه رانندگی خودکار در ترافیک[[47]](#footnote-47) | سامانه پارک خودکار[[48]](#footnote-48) | خودروی کاملا خودران |

مطابق با تعاریف و اطلاعات ارائه شده، سامانه پارک خودکار یک خودروی مفصلی که موضوع اصلی مورد بررسی در این پایان‌نامه است، یک فناوری سطح 4 محسوب می‌شود و با وجود پیچیدگی بسیار، از جنبه‌های تجاری و فنی، اجرای آن چالش‌برانگیز است.

## **3-1- رویکردهای رانندگی خودکار[[49]](#footnote-49)**

منظور از رویکردهای رانندگی خودکار روش‌هایی است که جهت توسعه سامانه‌های خودکار به کار می‌روند. دیاگرام جعبه‌ای موجود در شکل 1-4 نحوه عملکرد کلی یک سامانه خودکار را نشان می‌دهد. سنسورها محیط اطراف را شناسایی نموده و ورودی‌های لازم را دریافت می‌کنند. این ورودی‌ها لازم است توسط رویکردی مناسب به فرامین کنترلی[[50]](#footnote-50) تبدیل شوند تا خروجی مطلوب[[51]](#footnote-51) حاصل گردد. به بیان دیگر رویکرد مورد استفاده، یک استراتژی کنترلی است که می‌تواند مجموعه‌ای از کنترل‌کننده‌ها را شامل شود.

رویکردهای موجود در توسعه سامانه‌های خودکار را می‌توان به طور کلی در یکی از 3 دسته روش‌های ماژولار، یادگیری پایان‌به‌پایان و درک مستقیم[[52]](#footnote-52) قرار داد [3 و 5]. هر کدام از این رویکردها مزایا و معایبی دارند که در ادامه توضیحاتی در این باره ارائه شده است.

### **1-3-1- روش‌های ماژولار**

روش ماژولار یک رویکرد کلاسیک، استاندارد و مرسوم‌ترین روش توسعه سیستم‌های رانندگی خودکار در صنعت است که هدف آن، تقسیم پروژه به اجزا یا ماژول‌های کوچکتر می‌باشد [5]. بدین ترتیب هر کدام از ماژول‌ها به صورت مستقل و جداگانه توسعه داده می‌شوند و در نهایت با یکدیگر ادغام می‌گردند. شکل 1-5 ساختار کلی این رویکرد را نشان می‌دهد.

# **فهرست منابع**

[1] “Road traffic mortality”, World Health Organization, 2021, <https://www.who.int/data/gho/data/themes/topics/topic-details/GHO/road-traffic-mortality>, Accessed September 2025.

[2] “List of countries by traffic-related death rate”, Wikipedia, Retrieved 2025, <https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_traffic-related_death_rate>, Accessed September 2025.

[3] Geiger, Andreas., “Self-Driving Cars”, Lecture Slides, University of Tübingen, 2023, <https://uni-tuebingen.de/fakultaeten/mathematisch-naturwissenschaftliche-fakultaet/fachbereiche/informatik/lehrstuehle/autonomous-vision/lectures/self-driving-cars/>, Accessed September 2025.

[4] Azadi, SH., Nedamani, H.R., and Kazemi, R. “Automatic Parking of an Articulated Vehicle Using ANFIS”, *Global Journal of Science, Engineering and Technology*, pp. 93-104, 2013.

[5] Janai, Joel., Güney, Fatma., Behl, Aseem., and Geiger, Andreas. “Computer Vision for Autonomous Vehicles: Problems, Datasets and State of the Art”, Now Publishers, 2020.

[6] Engelking, Carl., “The Driverless Car Era Began More Than 90 Years Ago”, Discover Magazine, 2017, <https://www.discovermagazine.com/the-driverless-car-era-began-more-than-90-years-ago-1327>, Accessed September 2025.

[7] Brookhuis, Karel A., de Waard, Dick., Janssen, Wiel H. “Behavioural impacts of Advanced Driver Assistance Systems–an overview”, *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 1, no. 3, pp. 245-253, 2001.

[8] “Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles”, SAE Standard J3016\_202104, Issued 2014, Revised 2021.

1. Artificial Intelligence (AI) [↑](#footnote-ref-1)
2. Machine Learning (ML) [↑](#footnote-ref-2)
3. Autonomous (Self-Driving) Systems [↑](#footnote-ref-3)
4. World Health Organization (WHO) [↑](#footnote-ref-4)
5. Road Fatalities [↑](#footnote-ref-5)
6. Autonomous (Self-Driving) Vehicles [↑](#footnote-ref-6)
7. Uncertainties [↑](#footnote-ref-7)
8. Performance [↑](#footnote-ref-8)
9. Robust [↑](#footnote-ref-9)
10. Articulated (Commercial) Vehicles [↑](#footnote-ref-10)
11. Autonomous (Automatic) Parking Systems [↑](#footnote-ref-11)
12. Houdina Radio Control [↑](#footnote-ref-12)
13. American Wonder [↑](#footnote-ref-13)
14. General Motors [↑](#footnote-ref-14)
15. Futurama [↑](#footnote-ref-15)
16. Navlab [↑](#footnote-ref-16)
17. Ernst Dickmanns [↑](#footnote-ref-17)
18. Modular Pipelines [↑](#footnote-ref-18)
19. End-to-End Learning [↑](#footnote-ref-19)
20. Computer Vision [↑](#footnote-ref-20)
21. Artificial Neural Networks (ANNs) [↑](#footnote-ref-21)
22. Imitation Learning (IL) [↑](#footnote-ref-22)
23. Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) [↑](#footnote-ref-23)
24. Multi-Beam Lidar [↑](#footnote-ref-24)
25. Google [↑](#footnote-ref-25)
26. Deep Learning (DL) [↑](#footnote-ref-26)
27. Waymo [↑](#footnote-ref-27)
28. Tesla [↑](#footnote-ref-28)
29. Uber [↑](#footnote-ref-29)
30. Mercedes [↑](#footnote-ref-30)
31. Advanced Driver-Assistance System (ADAS) [↑](#footnote-ref-31)
32. Automated Driving Systems (ADS) [↑](#footnote-ref-32)
33. Society of Automotive Engineers (SAE International) [↑](#footnote-ref-33)
34. SAE Levels of Autonomy [↑](#footnote-ref-34)
35. No Autonomy [↑](#footnote-ref-35)
36. Full Autonomy [↑](#footnote-ref-36)
37. Monitored Driving [↑](#footnote-ref-37)
38. Non-Monitored Driving [↑](#footnote-ref-38)
39. No Driving Automation [↑](#footnote-ref-39)
40. Driver Assistance [↑](#footnote-ref-40)
41. Partial Driving Automation [↑](#footnote-ref-41)
42. Conditional Driving Automation [↑](#footnote-ref-42)
43. High Driving Automation [↑](#footnote-ref-43)
44. Full Driving Automation [↑](#footnote-ref-44)
45. Adaptive Cruise Control (ACC) [↑](#footnote-ref-45)
46. Highway Assist Systems [↑](#footnote-ref-46)
47. Traffic Jam Chauffeur [↑](#footnote-ref-47)
48. Automated Valet Parking [↑](#footnote-ref-48)
49. Approaches to Self-Driving [↑](#footnote-ref-49)
50. Control Commands [↑](#footnote-ref-50)
51. Desired Output [↑](#footnote-ref-51)
52. Direct Perception [↑](#footnote-ref-52)