پژوهشگاه
فضای مجازی

دفتر خاکستری ۳۸

پاسخ سریع
دی‌ماه ۱۴۰۴

# پاسخ به سوالات سند خودروی متصل

پاسخ به سوال مطرح شده از سوی معاونت امور اقتصادی و تنظیم مقررات


بسم الله الرحمن

# پاسخ به سوالات سند خودروی متصل

پاسخ به سوالات مطرح شده از کمیسیون تنظیم مقررات

**دفتر خاکستری** (Quick Answer) **شمارهٔ سی و هشتم**

گردآورنده: صدرا فانی

تمام حقوق مادی و معنوی این اثر متعلق به پژوهشگاه فضای مجازی است و استفاده از آن تنها با ذکر منبع مجاز است.
همچنین محتوای منتشرشده در این گزارش بیانگر دیدگاه رسمی مرکز ملی فضای مجازی نیست.

نشانی: تهران، سعادت آباد، خیابان علامه شمالی، کوچه هجدهم غربی، پلاک ۱۷
تلفن: ۲۲۰۷۳۰۳۱-۰۲۱
کد پستی: ۱۹۹۷۹۸۷۶۲۹

# فهرست

**بخش اول: گزارش جامع پیاده‌سازی فناوری خودروی متصل (V2X) در ایالات متحده**


فصل اول: مقدمه و چارچوب راهبردی ۲۱

فصل دوم: تحول تنظیم‌گری و مدیریت طیف فرکانسی ۲۵

فصل سوم: نقشه راه ملی و استراتژی استقرار ۳۱

فصل چهارم: معماری فنی و اکوسیستم V2X ۳۵

فصل پنجم: امنیت، حریم خصوصی و حاکمیت داده ۳۹

فصل ششم: پروژه‌های آزمایشی و درس‌آموخته‌ها ۴۳

فصل هفتم: ابعاد اقتصادی و بازارهای نوظهور ۴۷

فصل هشتم: چالش‌های پیش‌رو و چشم‌انداز آینده ۵۳

فصل نهم: نتیجه‌گیری و توصیه‌ها ۵۷

فصل دهم: مراجع ۶۱

پیوست‌ها ۶۳

**بخش دوم: گزارش جامع پیاده‌سازی فناوری خودروی متصل (V2X) در جمهوری خلق چین**


فصل اول: مقدمه و چارچوب راهبردی ۷۹

فصل دوم: حاکمیت ملی و چشم‌انداز تنظیم‌گری ۸۳

فصل سوم: تخصیص طیف و چارچوب فنی ۸۷

فصل چهارم: معماری استانداردسازی ۹۳

فصل پنجم: نقشه راه ملی و مراحل استقرار ۹۹

فصل ششم: امنیت سایبری و حاکمیت داده ۱۰۹

فصل هفتم: بازیگران کلیدی و اکوسیستم صنعتی ۱۱۹

فصل هشتم: دینامیک بازار و ابعاد اقتصادی ۱۲۷

فصل نهم: چالش‌ها و موانع پیش رو ۱۳۵

فصل دهم: چشم‌انداز آینده و نتیجه‌گیری ۱۴۵

**بخش سوم: گزارش جامع پیاده‌سازی فناوری خودروهای متصل و خودران (V2X/CAM) در بریتانیا: تحلیل راهبردی چارچوب حکمرانی و اجرا**


فصل اول:مبانی نظری و مفاهیم کلیدی ۱۵۵

فصل دوم: چارچوب حکمرانی و نهادی ۱۵۹

فصل سوم: چارچوب قانونی و تنظیم‌گری ۱۶۳

فصل چهارم: زیرساخت‌ها و الزامات فنی ۱۶۷

فصل پنجم: نقشه راه استراتژیک و مراحل پیاده‌سازی ۱۹۱

فصل ششم: تحلیل اقتصادی جامع ۲۰۱

فصل هفتم: چالش‌های کلیدی و راهکارهای راهبردی ۲۱۱

نتیجه‌گیری کلی ۲۲۲

پیوست‌ها ۲۲۴

**بخش چهارم: گزارش جامع پیاده‌سازی فناوری خودروی متصل (V2X) در اتحادیه اروپا: راهبردها، استانداردها، چالش‌ها و چشم‌انداز آینده**


فصل اول: مبانی فناوری و فرآیندهای استانداردسازی ۲۴۵

فصل دوم: چارچوب قانونی و نظارتی اتحادیه اروپا ۲۵۱

فصل سوم: تخصیص و مدیریت طیف فرکانسی ۲۵۷

فصل چهارم: مدل‌های استقرار و برنامه‌های پایلوت ۲۶۱

فصل پنجم: پیام‌ها و کاربردهای اصلی C-ITS ۲۶۵

فصل ششم: امنیت سایبری و حاکمیت داده ۲۶۹

فصل هفتم: چالش‌ها و موانع استقرار ۲۷۳

فصل هشتم: دسترسی به داده‌های خودرو و رقابت ۲۷۵

فصل نهم: چشم‌انداز آینده و توصیه‌ها ۲۷۷

فصل دهم: جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۲۷۹

پیوست‌ها ۲۸۱

**بخش پنجم: گزارش جامع پیاده‌سازی فناوری خودروی متصل در استرالیا راهبردها، استانداردها، چالش‌ها و چشم‌انداز آینده**


فصل اول: چارچوب استراتژیک و سیاسی ۲۹۱

فصل دوم: حاکمیت و نهادهای مسئول ۲۹۳

فصل سوم: تخصیص طیف فرکانسی و مقررات فنی ۲۹۷

فصل چهارم: استانداردهای فنی و توسعه ۲۹۹

فصل پنجم:مدل‌های استقرار و پایلوت‌ها ۳۰۱

فصل ششم: امنیت، حریم خصوصی و مدیریت داده ۳۰۳

فصل هفتم: دسترسی به داده‌های خودرو و رقابت ۳۰۷

فصل هشتم: چالش‌ها و موانع استقرار ۳۰۹

فصل نهم: چشم‌انداز آینده و توصیه‌های سیاستی ۳۱۳

فصل دهم: جمع‌بندی و نتیجه‌گیری ۳۱۹

پیوست‌ها ۳۲۳

**بخش پنجم: گزارش جامع پیاده‌سازی فناوری خودروی متصل (V2X) درکره جنوبی، ژاپن، سنگاپورو ترکیه**


| | |
|---|---|
| مقدمه | ۳۳۱ |
| فصل اول: چارچوب نظری و مفاهیم بنیادین | ۳۳۳ |
| فصل دوم: تحلیل وضعیت ژاپن | ۳۳۹ |
| فصل سوم: تحلیل وضعیت کره جنوبی | ۳۴۹ |
| فصل چهارم: تحلیل وضعیت سنگاپور | ۳۶۱ |
| فصل پنجم:تحلیل وضعیت ترکیه | ۳۷۳ |
| فصل ششم:تحلیل تطبیقی | ۳۸۹ |
| فصل هفتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات | ۴۰۱ |
| فصل هشتم: منابع و مراجع | ۴۰۳ |
| نتیجه‌گیری نهایی | ۴۰۵ |

**بخش هفتم: گزارش تطبیقی جامع: پیاده‌سازی فناوری خودروی متصل (V2X) در کشورهای مختلف**


مقدمه ۴۰۹

زمینه و ضرورت تحول در حمل‌ونقل هوشمند ۴۰۹

چالش پیچیدگی: از فناوری تا حکمرانی ۴۱۰

رویکردهای متنوع جهانی: از تمرکز دولتی تا بازارمحوری ۴۱۱

هدف و محدوده این گزارش ۴۱۲

روش‌شناسی و منابع ۴۱۳

ساختار گزارش ۴۱۴

مخاطبان هدف ۴۱۵

نتیجه‌گیری مقدمه: از تنوع به همگرایی؟ ۴۱۵

جدول ۱: ابعاد تنظیم‌گری و قانون‌گذاری ۴۱۷

جدول ۲: استانداردها و جزئیات فنی ۴۱۸

جدول ۳: نقشه راه پیاده‌سازی ۴۱۹

جدول ۴: تحلیل اقتصادی - ارزش بازار و پتانسیل ۴۲۰

جدول ۵: تحلیل هزینه-فایده و صرفه‌جویی‌ها ۴۲۰

جدول ۶: درس‌آموخته‌ها و بهترین شیوه‌ها ۴۲۱
جدول ۷: نهادها، ذینفعان و تقسیم کار ۴۲۲
جدول ۸: مشوق‌های کاربران و کسب‌وکارها ۴۲۲
جدول ۹: سطح آمادگی، پذیرش و اشتیاق ملی ۴۲۳
جدول ۱۰: بازارهای متصور و کاربردها ۴۲۳
جدول ۱۱: چالش‌های حکمرانی داده و حریم خصوصی ۴۲۴
جدول ۱۲: مکانیزم‌های امنیتی و مدیریت تهدید ۴۲۵
جدول ۱۳: معماری امنیتی و فنی ۴۲۶
جدول ۱۴: تحلیل SWOT کشورها/مناطق ۴۲۷
جدول ۱۵: شاخص‌های کلیدی عملکرد (KPIs) ۴۳۰
جدول ۱۶: ریسک‌ها و راهبردهای کاهش ریسک ۴۳۱
جدول ۱۷: مقایسه مدل‌های تأمین مالی ۴۳۲
جدول ۱۸: تحلیل فاصله (Gap Analysis) با بهترین شیوه‌ها ۴۳۳
جدول ۱۹: چشم‌انداز فناوری‌های نوظهور مرتبط ۴۳۴
جدول ۲۰: توصیه‌های استراتژیک برای کشورهای مختلف ۴۳۴
۴۳۵

**بخش هشتم : تحلیل جامع حکمرانی و پیاده‌سازی فناوری خودروهای متصل و خودران: یک چشم‌انداز جهانی**


| | |
|---|---|
| مقدمه: تعریف چشم‌انداز | ۴۴۱ |
| چارچوب‌های حکمرانی در قاره آمریکا | ۴۴۳ |
| چشم‌انداز آسیا | ۴۴۹ |
| رویکردهای منتخب اروپا | ۴۵۵ |
| سایر مناطق کلیدی | ۴۵۹ |
| جدول مقایسه‌ای جامع | ۴۶۳ |
| نتیجه‌گیری | ۴۶۵ |
| منابع | ۴۶۷ |

بخش اول

# گزارش جامع پیاده‌سازی فناوری خودروی متصل (V2X) در ایالات متحده

از چارچوب تنظیم‌گری تا نقشه راه ملی

## نگاه سریع به آنچه در این گزارش مطرح خواهد شد

**فصل اول: مقدمه و چارچوب راهبردی**

- ۱٫۱. پیش‌زمینه و اهمیت استراتژیک
- ۱٫۲. اهداف گزارش و روش‌شناسی تحقیق
- ۱٫۳. ساختار گزارش

**فصل دوم: تحول تنظیم‌گری و مدیریت طیف فرکانسی**

- ۲٫۱. نقش کمیسیون فدرال ارتباطات (FCC)
- ۲٫۲. تاریخچه تخصیص باند ۵٫۹ گیگاهرتز
- ۲٫۳. گذار از DSRC به C-V2X
- ۲٫۴. چارچوب قانونی نهایی و الزامات فنی

**فصل سوم: نقشه راه ملی و استراتژی استقرار**

- ۳٫۱. برنامه وزارت حمل‌ونقل آمریکا
- ۳٫۲. اهداف کمی و جدول زمانی
- ۳٫۳. استراتژی زیرساختی

**فصل چهارم: معماری فنی و اکوسیستم V2X**

- ۴٫۱. معماری عملیاتی سیستم
- ۴٫۲. استانداردهای فنی و قابلیت همکاری
- ۴٫۳. ذی‌نفعان کلیدی و تقسیم مسئولیت‌ها

**فصل پنجم: امنیت، حریم خصوصی و حاکمیت داده**

- ۵٫۱. معماری امنیتی SCMS
- ۵٫۲. استراتژی‌های حفاظت از حریم خصوصی
- ۵٫۳. مدیریت و حاکمیت داده

**فصل ششم: پروژه‌های آزمایشی و درس‌آموخته‌ها**

- ۶٫۱. برنامه پایلوت خودروی متصل
- ۶٫۲. نتایج و دستاوردهای کلیدی
- ۶٫۳. چالش‌های فنی و عملیاتی

**فصل هفتم: ابعاد اقتصادی و بازارهای نوظهور**

- ۷٫۱. تحلیل هزینه-فایده
- ۷٫۲. کاربردهای تجاری و فرصت‌های بازار
- ۷٫۳. مدل‌های پایداری اقتصادی

**فصل هشتم: چشم‌انداز آینده و نتیجه‌گیری**

- ۸٫۱. همگرایی با 5G و رانندگی خودران

- ۸٫۲. جمع‌بندی و پیامدهای راهبردی

## منابع

# فصل اول: مقدمه و چارچوب راهبردی

**۱٫۱. پیش‌زمینه و اهمیت استراتژیک**

فناوری ارتباط خودرو با همه چیز (Vehicle-to-Everything یا V2X) به عنوان یکی از ارکان اساسی تحول دیجیتال در سیستم حمل‌ونقل ایالات متحده شناخته می‌شود. این فناوری با فراهم کردن امکان ارتباط بی‌درنگ میان وسایل نقلیه، زیرساخت‌های جاده‌ای، عابران پیاده و سایر کاربران راه، پتانسیل ایجاد تحولی بنیادین در ایمنی، کارایی و پایداری سیستم حمل‌ونقل را دارد. وزارت حمل‌ونقل ایالات متحده (U.S. Department of Transportation) در برنامه راهبردی خود برای سال‌های ۲۰۲۲ تا ۲۰۲۶، سه هدف کلان را تعریف کرده است: ارتقای ایمنی، تقویت توان اقتصادی و پیشبرد تحول فناورانه [۱۰]. فناوری V2X به عنوان یک توانمندساز کلیدی برای تحقق همزمان این سه هدف عمل می‌کند و در راستای اولویت‌های ملی قرار دارد.

پیاده‌سازی موفق V2X می‌تواند منافع قابل توجهی را در ابعاد مختلف به همراه داشته باشد:

- **ایمنی:** کاهش چشمگیر تصادفات از طریق هشدار به‌موقع و هماهنگی خودروها
- **کارایی:** بهبود جریان ترافیک و کاهش تأخیرها در تقاطع‌ها و بزرگراه‌ها
- **پایداری:** کاهش مصرف سوخت و انتشار آلاینده‌ها
- **اقتصاد:** ایجاد بازارهای جدید و فرصت‌های تجاری

### ۱٫۲. اهداف گزارش و روش‌شناسی تحقیق

این گزارش با هدف ارائه تحلیلی جامع و ساختاریافته از رویکرد ایالات متحده در پیاده‌سازی فناوری V2X تدوین شده است. اهداف اصلی عبارتند از:

۱. **تحلیل چارچوب قانونی و تنظیم‌گری:** واکاوی تصمیمات کمیسیون فدرال ارتباطات (FCC) و نقش آن در گذار از فناوری DSRC به C-V2X

۲. **بررسی نقشه راه فنی:** تشریح استانداردهای فنی و اکوسیستم لازم برای تضمین قابلیت همکاری (Interoperability) در سطح ملی

۳. **ارزیابی پروژه‌های آزمایشی**: مطالعه موردی برنامه‌های پایلوت و استخراج درس‌آموخته‌ها

۴. **شناسایی ذی‌نفعان کلیدی:** ترسیم نقش و مسئولیت‌های نهادهای دولتی، صنعت و کنسرسیوم‌های فنی

۵. **واکاوی چالش‌های امنیت و حریم خصوصی:** بررسی معماری امنیتی و مدل‌های حفاظت از داده

۶. **تحلیل ابعاد اقتصادی:** ارزیابی هزینه‌ها، منافع و بازارهای بالقوه

**روش‌شناسی تحقیق:** این گزارش منحصراً بر پایه تحلیل اسناد رسمی منتشر شده توسط نهادهای دولتی ایالات متحده (FCC و U.S. DOT)، گزارش‌های فنی انجمن خودروسازی 5G (5GAA)، و اسناد استانداردسازی صنعتی استوار است [۱-۱۲]. این رویکرد مبتنی بر منابع اولیه، تضمین می‌کند که تحلیل ارائه شده بازتاب دقیقی از سیاست‌ها، استانداردها و تجارب مستند در این حوزه باشد.

### ۱/۳. ساختار گزارش

این گزارش در هشت فصل سازمان‌دهی شده است که هر فصل به یکی از ابعاد کلیدی

پیاده‌سازی V2X می‌پردازد. فصول دوم و سوم به ترتیب چارچوب تنظیم‌گری و نقشه راه ملی را بررسی می‌کنند. فصل چهارم معماری فنی و اکوسیستم را تشریح می‌کند. فصل پنجم به مسائل امنیت و حریم خصوصی اختصاص دارد. فصل ششم پروژه‌های آزمایشی را تحلیل می‌کند و فصل هفتم ابعاد اقتصادی را واکاوی می‌کند. در نهایت، فصل هشتم چشم‌انداز آینده و نتیجه‌گیری را ارائه می‌دهد.

# فصل دوم: تحول تنظیم‌گری و مدیریت طیف فرکانسی

### ۲٫۱. نقش کمیسیون فدرال ارتباطات (FCC)

کمیسیون فدرال ارتباطات (FCC) نه تنها به عنوان مدیر طیف فرکانسی، بلکه به عنوان معمار اصلی چشم‌انداز فناوری بی‌سیم در سطح ملی عمل می‌کند. تصمیمات این نهاد در مدیریت باند ۵٫۹ گیگاهرتز، نمونه بارزی از این واقعیت است که چگونه مداخله تنظیم‌گری می‌تواند مسیر یک صنعت کامل را تغییر داده و استراتژی ملی را از یک فناوری مستقر به پلتفرم پویاتر و آینده‌محور هدایت کند.

FCC با اختیارات قانونی خود در زمینه تخصیص طیف، تعیین استانداردهای فنی، صدور مجوزها و اعمال محدودیت‌های تداخل، نقش تعیین‌کننده‌ای در شکل‌دهی به اکوسیستم V2X ایفا می‌کند.

### ۲٫۲. تاریخچه تخصیص باند ۵٫۹ گیگاهرتز

در سال ۱۹۹۹، FCC باند فرکانسی ۵٫۸۵۰ تا ۵٫۹۲۵ گیگاهرتز (۷۵ مگاهرتز) را به صورت انحصاری برای سرویس‌های ارتباطی سیستم حمل‌ونقل هوشمند (Intelligent Transportation Systems - ITS) اختصاص داد. این تخصیص بر اساس فناوری ارتباط اختصاصی کوتاه‌برد (Dedicated Short-Range Communications - DSRC) که بر پایه استاندارد IEEE ۸۰۲٫۱۱p طراحی شده بود، صورت گرفت.

در دهه‌های بعد، صنعت خودروسازی و نهادهای دولتی سرمایه‌گذاری‌های قابل توجهی در تحقیق و توسعه DSRC انجام دادند. با این حال، پس از بیش از دو دهه، استقرار تجاری DSRC بسیار محدود باقی ماند و این فناوری نتوانست به پذیرش گسترده دست یابد.

## ۲٫۳. گذار از DSRC به C-V2X

### ۲٫۳٫۱. انگیزه‌های تغییر

در سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۲۰، چند عامل کلیدی زمینه را برای بازنگری اساسی در سیاست طیف ۵٫۹ گیگاهرتز فراهم کرد:

**الف) ظهور فناوری C-V2X:** فناوری سلولار-V2X (Cellular-V2X) بر پایه استانداردهای 3GPP توسعه یافت و قابلیت‌های فنی پیشرفته‌تری نسبت به DSRC ارائه کرد، از جمله برد بیشتر، قابلیت اطمینان بالاتر و مسیر تکامل روشن به سمت 5G [۴، ۵].

**ب) تقاضای فزاینده برای طیف Wi-Fi:** رشد سریع استفاده از شبکه‌های بی‌سیم و نیاز به پهنای باند بیشتر برای Wi-Fi، فشار قابل توجهی برای بازآرایی طیف ۵٫۹ گیگاهرتز ایجاد کرد.

**ج) استقرار ناکافی DSRC:** پس از بیش از ۲۰ سال، DSRC نتوانست به استقرار تجاری معناداری دست یابد و عملاً این باند فرکانسی بدون استفاده باقی مانده بود [۲].

### ۲٫۳٫۲. تصمیم تاریخی نوامبر ۲۰۲۰

در نوامبر ۲۰۲۰، FCC با صدور سند FCC 20-164 (First Report and Order)، تصمیم تاریخی خود را اعلام کرد [۲]:

**بازآرایی طیف:** از ۷۵ مگاهرتز باند ۵٫۹ گیگاهرتز، ۴۵ مگاهرتز پایینی (۵٫۸۵۰-۵٫۸۹۵ GHz) برای استفاده Wi-Fi بدون مجوز (U-NII-4) آزاد شد و ۳۰ مگاهرتز بالایی (۵٫۸۹۵-۵٫۹۲۵ GHz) برای سرویس‌های ITS حفظ گردید.

**انتخاب C-V2X:** FCC رسماً فناوری C-V2X را به عنوان تنها فناوری مجاز برای ارتباطات V2X در باند ۳۰ مگاهرتزی باقیمانده تعیین کرد و استفاده از DSRC را منع نمود.

**دوره انتقال:** یک دوره دو ساله برای خروج کامل دستگاه‌های DSRC موجود و انتقال به C-V2X تعیین شد.

این تصمیم بر اساس تحلیل جامع FCC از مزایای فنی C-V2X، منافع اقتصادی آزادسازی طیف برای Wi-Fi (با برآورد ۱۷٫۲ میلیارد دلار طی سه سال)، و هزینه‌های محدود انتقال برای دارندگان مجوز DSRC اتخاذ شد [۲، ۳].

### ۲٫۴. چارچوب قانونی نهایی و الزامات فنی

#### ۲٫۴٫۱. گزارش نهایی نوامبر ۲۰۲۴

در نوامبر ۲۰۲۴، FCC با انتشار سند FCC ۲۴-۱۲۳ (Second Report and Order)، قوانین فنی جامع و نهایی برای استقرار C-V2X را تصویب کرد [۳]. این سند شامل مشخصات دقیق فنی، الزامات عملیاتی و چارچوب مجوزدهی است که در قوانین فدرال (۴۷ CFR §۹۰٫۳۷۹ و §۹۵٫۳۲۰۰) کدگذاری شده‌اند.

#### ۲٫۴٫۲. الزامات فنی کلیدی

**الف) استانداردهای فنی الزامی:**

تمام دستگاه‌های C-V2X (اعم از واحدهای کنار جاده‌ای RSU و واحدهای داخل خودرو OBU) باید مطابق با استانداردهای 3GPP Release ۱۴ Transposed Standards باشند [۳]. این الزام تضمین می‌کند که تمام دستگاه‌ها از یک پروتکل مشترک پیروی کرده و قابلیت همکاری ملی تحقق یابد.

**ب) مشخصات توان انتشار:**

- حداکثر توان خروجی برای RSU: ۳۳ dBm EIRP
- حداکثر توان خروجی برای OBU: ۲۳ dBm EIRP

این محدودیت‌ها برای تعادل میان برد کافی برای کاربردهای ایمنی و جلوگیری از تداخل مضر با سایر سرویس‌ها طراحی شده‌اند [۳].

**ج) محدودیت‌های انتشار خارج از باند (OOBE):**

یکی از جنبه‌های حساس مقررات، کنترل دقیق OOBE است. FCC محدودیت‌های سخت‌گیرانه‌ای (مانند -۲۹ dBm/۱۰۰ kHz در حاشیه باند) را تصویب کرد تا از تداخل مضر با عملیات Wi-Fi در باندهای مجاور U-NII-۴ و U-NII-۵ جلوگیری شود. این تصمیم با وجود درخواست 5GAA برای محدودیت‌های آرام‌تر (-۱۶ dBm/۱۰۰ kHz) اتخاذ شد [۳].

**د) سلسله مراتب اولویت پیام:**

FCC یک سلسله مراتب اولویت‌بندی سه‌سطحی برای پیام‌های V2X در باند ۳۰ مگاهرتزی تعریف کرد [۳]:

**Safety-of-Life:** پیام‌های حیاتی ایمنی (بالاترین اولویت)

**Safety Public:** پیام‌های ایمنی عمومی

**Priority-Non:** پیام‌های غیراولویتی و تجاری

این سلسله مراتب تضمین می‌کند که در شرایط ازدحام طیف، پیام‌های ایمنی حیاتی همواره اولویت دسترسی به کانال را داشته باشند.

**۲،۴،۳. چارچوب مجوزدهی**

FCC دو رژیم مجوزدهی متمایز را برای انواع مختلف دستگاه‌ها تعریف کرده است [۳]:

**الف) واحدهای کنار جاده‌ای (RSU):**

مجوز تحت بخش ۹۰ قوانین FCC (۹۰ CFR Part ۴۷)

مجوزهای غیرانحصاری مبتنی بر منطقه جغرافیایی

مدت اعتبار: حداکثر ۱۰ سال

متقاضیان: دولت‌های محلی/ایالتی، سازندگان تجهیزات و خودروسازان

**ب) واحدهای داخل خودرو (OBU):**

مجوز تحت بخش ۹۵ قوانین FCC (۹۵ CFR Part ۴۷)

مجوزدهی ساده‌تر برای استفاده انبوه

### ۲,۴,۴. استفاده تجاری و انعطاف‌پذیری

FCC تصمیم گرفت که استفاده تجاری را در باند ۵,۸۹۵-۵,۹۲۵ گیگاهرتز منع نکند، با وجود درخواست برخی گروه‌ها برای محدود کردن این باند فقط به کاربردهای Safety-of-Life [۳]. این تصمیم با هدف حفظ انعطاف‌پذیری برای توسعه‌دهندگان و تشویق نوآوری در کاربردهای تجاری V۲X اتخاذ شد که می‌تواند به پایداری اقتصادی اکوسیستم کمک کند.

### ۲,۴,۵. مدیریت تداخل با Wi-Fi

یکی از چالش‌های کلیدی در بازآرایی طیف، مدیریت تداخل بالقوه میان C-V۲X در باند ۵,۸۹۵-۵,۹۲۵ گیگاهرتز و Wi-Fi در باند U-NII-۴ (۵,۸۵۰-۵,۸۹۵ GHz) است. برای کاهش این خطر، FCC استفاده از طیف Wi-Fi در U-NII-۴ را به عملیات داخلی (Indoor Use Only) محدود کرد و از فاکتور تضعیف ساختمان (Building Attenuation) برای محافظت از سیگنال‌های V۲X بهره گرفت [۲، ۳].

۲,۴,۶. برنامه معافیت‌ها (Waiver Program)

پیش از تصویب قوانین نهایی در نوامبر ۲۰۲۴، FCC از طریق اعطای معافیت‌ها (Waivers) به ذی‌نفعان کلیدی، امکان آغاز عملیات آزمایشی C-V۲X را فراهم کرد. تا آوریل ۲۰۲۴، حدود ۵۰ درخواست معافیت به سازمان‌های مختلف شامل وزارتخانه‌های حمل‌ونقل ایالتی، سازندگان تجهیزات و خودروسازان اعطا شده بود [۱، ۳]. این برنامه به شتاب‌بخشیدن به پذیرش C-V۲X و جمع‌آوری داده‌های واقعی از پیاده‌سازی‌های عملیاتی کمک کرد.

# فصل سوم: نقشه راه ملی و استراتژی استقرار

### ۳٫۱. برنامه وزارت حمل‌ونقل آمریکا

پس از قطعیت تنظیم‌گری در سطح FCC، وزارت حمل‌ونقل ایالات متحده (U.S. DOT) با انتشار سندی تحت عنوان **"نجات جان‌ها با اتصال: طرحی برای تسریع استقرار V۲X"** (Saving Lives with Connectivity: A Plan to Accelerate V۲X Deployment)، چارچوب راهبردی جامع خود را برای تحقق استقرار ملی V۲X مشخص کرد [۸].

#### ۳٫۱٫۱. اصول راهبردی

برنامه DOT بر چهار اصل بنیادین استوار است:

**الف) هماهنگی ملی:** تأکید بر لزوم تلاش‌های هماهنگ میان دولت فدرال، دولت‌های ایالتی و محلی، صنعت خودروسازی، بخش فناوری و نهادهای استانداردسازی برای دستیابی به یک استقرار ملی یکپارچه [۸].

**ب) رهبری U.S. DOT:** وزارتخانه نقش محوری در هدایت این تلاش‌ها از طریق فعالیت‌هایی چون تأمین مالی پروژه‌های پایلوت، ارائه کمک‌های فنی، حمایت از توسعه استانداردها و انجام تحقیقات پیشرفته ایفا می‌کند [۸].

**ج) تمرکز بر قابلیت همکاری:** تضمین اینکه تمام دستگاه‌ها و سیستم‌های V۲X در سراسر کشور بتوانند به طور یکپارچه با یکدیگر ارتباط برقرار کنند، یک اولویت محوری است. این امر نیازمند پیروی دقیق از استانداردهای فنی مشترک و هماهنگی در سطح ملی است [۸].

**د) رویکرد تدریجی و مبتنی بر داده:** استقرار به صورت مرحله‌ای و بر اساس درس‌آموخته‌های پروژه‌های آزمایشی پیش می‌رود تا از بهینه‌سازی مستمر و مدیریت ریسک اطمینان حاصل

شـود [۸].

۳،۲. اهداف کمی و جدول زمانی

DOT جـدول زمانی اسـتقرار را بـه سـه بـازه زمانی بـا اهـداف کمی مشـخص تقسـیم کـرده اسـت [۸، ۹]:

**۳،۲،۱. کوتاه‌مدت (۲۰۲۴-۲۰۲۸): رهبران استقرار عملیاتی**

هدف این مرحله، ایجاد نمونه‌های موفق و عملیاتی از استقرار V2X در سطح ملی است:

**اهداف زیرساختی:**

- اسـتقرار فناوری V2X در **۲۰٪ از سیسـتم بزرگراهی ملی** (National Highway System - NHS) بـرای کاربردهـای مبتنـی بر بزرگراه
- فعال‌سـازی **۲۵٪ از تقاطع‌هـای چـراغ‌دار** در ۷۵ منطقـه شـهری بزرگ (Top ۷۵ Metropolitan Statistical Areas) بـا V2X
- تحقـق **۱۲ اسـتقرار کریـدوری/منطقـه‌ای** کـه اتصال‌پذیری امـن و قابـل تعامـل V2X را بـه نمایـش بگذارنـد

**اهداف فنی و دستگاهی:**

- عملیاتی شدن **۵ کاربرد V2X** در باند ۵،۸۹۵-۵،۹۲۵ گیگاهرتز در تمام ۵۰ ایالت
- دسترسی به **۲۰ دستگاه تأییدشده** (certified devices) مبتنی بر فناوری C-V2X

**۳،۲،۲. میان‌مدت (۲۰۲۹-۲۰۳۱): رشد جامعه استقراردهنده**

در این مرحله، تمرکز بر گسترش و عمیق‌تر کردن استقرار است:

- افزایش پوشش به **۵۰٪ از سیستم بزرگراهی ملی**
- فعال‌سازی **۵۰٪ از تقاطع‌های چراغ‌دار** در ۷۵ منطقه شهری بزرگ

- گسترش تعداد کریدورهای متصل و ایجاد شبکه‌های منطقه‌ای

**۳،۲،۳. بلندمدت (۲۰۳۲-۲۰۳۶): استقرار ملی کامل**
هدف نهایی این است که:

- اتصال‌پذیری امن و قابل تعامل V2X به طور گسترده در سطح ملی مستقر شود
- V2X به عنوان یک عنصر بنیادی در عملیات سیستم حمل‌ونقل با حضور تمام ذی‌نفعان (Mature Ecosystem) در نظر گرفته شود

**۳،۳. استراتژی زیرساختی**

**۳،۳،۱. اولویت تقاطع‌های چراغ‌دار**
نقشه راه DOT و طرح‌های پیاده‌سازی به تقاطع‌های چراغ‌دار (Signalized Intersections) به عنوان یک اولویت راهبردی توجه ویژه‌ای دارند. این انتخاب بر پایه چند منطق استوار است:
**الف) پتانسیل ایمنی بالا:** بیش از ۴۰٪ از تصادفات جاده‌ای در ایالات متحده در تقاطع‌ها رخ می‌دهند [۸]. فناوری V2X در تقاطع‌ها می‌تواند با ارائه هشدارهای به‌موقع درباره نقض چراغ قرمز، تصادمات چپ‌گردی و تعارض با عابران پیاده، نقش مؤثری در کاهش این آمار ایفا کند.
**ب) استفاده از زیرساخت موجود:** تقاطع‌های چراغ‌دار از پیش دارای زیرساخت برق، ارتباطات و کنترل هستند که می‌تواند برای استقرار واحدهای RSU مورد استفاده قرار گیرد و هزینه‌های استقرار را کاهش دهد [۸].
**ج) تعامل با کاربران آسیب‌پذیر راه (VRU):** تقاطع‌ها نقاط کلیدی برای تعامل خودروها با عابران پیاده و دوچرخه‌سواران هستند که از گروه‌های آسیب‌پذیر محسوب می‌شوند [۸].

**۳،۳،۲. کریدورهای بزرگراهی**
علاوه بر تقاطع‌ها، استقرار V2X در کریدورهای بزرگراهی نیز اولویت دارد، به‌ویژه در محورهایی که:

- ترافیک سنگین دارند

- نرخ تصادف بالایی گزارش شده است
- برای حمل‌ونقل کالا حیاتی هستند
- بخشی از شبکه بزرگراهی ملی (NHS) را تشکیل می‌دهند

کاربردهای کلیدی در بزرگراه‌ها شامل هشدار هم‌ترازسازی، هشدار نقص سخت‌افزار، پیام‌های متغیر ترافیک و مدیریت سرعت هماهنگ است [۸].

**۳،۳،۳. برآورد هزینه و منابع مالی**

DOT برآورد کرده است که هزینه استقرار متوسط V2X برای یک ناحیه شهری با ۱۷۰۰ تقاطع چراغ‌دار، بین **۲۵ تا ۴۵ میلیون دلار** است [۸]. این هزینه شامل تجهیزات RSU، نصب، پیکربندی، اتصال شبکه و نگهداری اولیه می‌شود.

برای تأمین مالی این استقرار گسترده، DOT بر برنامه‌های کمک مالی اختیاری فدرال (Federal Discretionary Grant Programs) تکیه می‌کند، از جمله:

(SS۴A)Safe Streets and Roads for All

SMART Grant Program

(ATTAIN) Advanced Transportation Technology and Innovation

سایر برنامه‌های مرتبط با ایمنی و نوآوری حمل‌ونقل

دولت‌های ایالتی و محلی می‌توانند از این منابع برای پوشش بخش قابل توجهی از هزینه‌های استقرار استفاده کنند [۸].

# فصل چهارم: معماری فنی و اکوسیستم V2X

### ۴٫۱. معماری عملیاتی سیستم

معماری فنی V2X در ایالات متحده یک سیستم چندلایه و پیچیده است که ترکیبی از پروتکل‌های ارتباطی، استانداردهای امنیتی و کاربردهای سطح بالا را در بر می‌گیرد.

#### ۴٫۱٫۱. لایه‌های معماری

**الف) لایه فیزیکی و دسترسی:**

بر پایه استاندارد 3GPP Release ۱۴ PC5 Interface که همان رابط مستقیم C-V2X است. این لایه مسئول انتقال فیزیکی داده در باند ۵٫۸۹۵-۵٫۹۲۵ گیگاهرتز است [۳].

**ب) لایه شبکه و انتقال:**

از پروتکل‌های شبکه‌ای استاندارد مانند IPv۶ و UDP برای انتقال پیام‌های V2X استفاده می‌شود.

**ج) لایه پیام و کاربرد:**

شامل تعریف انواع پیام‌های استاندارد مانند:

**BSM** (Basic Safety Message): پیام ایمنی پایه که اطلاعات موقعیت، سرعت و مسیر خودرو را منتقل می‌کند

**SPaT** (Signal Phase and Timing): اطلاعات فاز و زمان‌بندی چراغ راهنمایی

**MAP**: اطلاعات هندسی تقاطع و هندسه جاده

**PSM** (Personal Safety Message): پیام‌های مربوط به عابران پیاده و کاربران آسیب پذیر

**د) لایه امنیتی:**

رمزنگاری پیام‌ها، مدیریت گواهی‌نامه‌ها و احراز هویت از طریق زیرساخت SCMS (Security Credential Management System) که در فصل پنجم به تفصیل بررسی می‌شود [۴، ۵].

### ۴،۱،۲. انواع ارتباطات V2X

فناوری V2X چهار نوع ارتباط اصلی را پشتیبانی می‌کند:

**V2V (Vehicle-to-Vehicle)**: ارتباط مستقیم میان خودروها برای اشتراک‌گذاری اطلاعات ایمنی و هماهنگی حرکت

**V2I (Vehicle-to-Infrastructure)**: ارتباط خودروها با زیرساخت‌های جاده‌ای مانند چراغ راهنمایی، تابلوهای متغیر و سنسورهای ترافیک

**V2P (Vehicle-to-Pedestrian)**: ارتباط با عابران پیاده و دوچرخه‌سواران مجهز به دستگاه‌های موبایل

**V2N (Vehicle-to-Network)**: ارتباط با شبکه‌های سلولار برای دسترسی به خدمات ابری و داده‌های گسترده

## ۴،۲. استانداردهای فنی و قابلیت همکاری

### ۴،۲،۱. استانداردهای 3GPP

FCC الزام کرده است که تمام دستگاه‌های C-V2X باید مطابق با **3GPP Release 14** **Transposed Standards** باشند [۳]. این استانداردها توسط Society of Automotive Engineers SAE International)) به استانداردهای آمریکایی تبدیل شده‌اند که شامل موارد زیر است:

**SAE J2945/x**: مجموعه استانداردهای لایه کاربرد برای پیام‌های مختلف V2X

**SAE J3161**: پروفایل امنیتی برای پیام‌های V2X

**SAE J2735**: دیکشنری داده پیام‌های V2X

### ۴،۲،۲. نقش 5GAA در استانداردسازی

انجمن خودروسازی 5G (5G Automotive Association) نقش کلیدی در توسعه و هماهنگی استانداردهای C-V2X ایفا می‌کند. این انجمن که بیش از ۱۳۰ عضو از صنایع خودروسازی، مخابرات و فناوری اطلاعات را شامل می‌شود، فعالیت‌های زیر را انجام می‌دهد [۴، ۵]:

توسعه پروفایل‌های فنی (Technical Profiles) برای تضمین قابلیت همکاری

انجام آزمون‌های تطبیقی (Interoperability Testing) بین دستگاه‌های مختلف

ارائه راهنماهای استقرار و بهترین شیوه‌ها

هماهنگی با نهادهای استانداردسازی جهانی

### ۴،۳. ذی‌نفعان کلیدی و تقسیم مسئولیت‌ها

اکوسیستم V2X شامل طیف گسترده‌ای از ذی‌نفعان است که هر یک مسئولیت‌های خاصی دارند:

### ۴،۳،۱. نهادهای دولتی فدرال

**U.S. DOT: رهبری استراتژیک، تأمین مالی، تحقیقات و حمایت فنی**

**FCC**: تنظیم‌گری طیف، تعیین استانداردهای فنی و صدور مجوزها

**NHTSA** (National Highway Traffic Safety Administration): مقررات ایمنی خودرو و استانداردهای عملکرد

**۴،۳،۲. دولت‌های ایالتی و محلی**

**وزارتخانه‌های حمل‌ونقل ایالتی:** استقرار و نگهداری زیرساخت RSU، مدیریت عملیات

**شهرداری‌ها:** استقرار V۲X در تقاطع‌های شهری و هماهنگی با سیستم‌های مدیریت ترافیک

**۴،۳،۳. صنعت خصوصی**

**خودروسازان (OEMs):** تولید خودروهای مجهز به OBU، اطمینان از انطباق با استانداردها

**سازندگان تجهیزات:** تولید RSU و OBU با گواهی‌های فنی لازم

**اپراتورهای مخابراتی:** ارائه اتصال‌پذیری شبکه و خدمات V۲N

**ارائه‌دهندگان خدمات امنیتی:** مدیریت زیرساخت SCMS و صدور گواهی‌نامه‌های دیجیتال

**۴،۳،۴. نهادهای استانداردسازی**

**5GAA: توسعه پروفایل‌های فنی و هماهنگی صنعتی**

**International SAE**: تدوین استانداردهای فنی آمریکایی

**IEEE**: استانداردهای شبکه و ارتباطات

# فصل پنجم: امنیت، حریم خصوصی و حاکمیت داده

## ۵٫۱. معماری امنیتی SCMS

### ۵٫۱٫۱. نیاز به امنیت در V2X

با توجه به ماهیت حساس کاربردهای ایمنی V2X، تضمین امنیت ارتباطات و محافظت در برابر حملات سایبری یک الزام حیاتی است. یک خودروی مهاجم که پیام‌های جعلی ارسال کند می‌تواند منجر به تصادفات و خطرات جدی برای جان انسان‌ها شود [۵، ۶].

### ۵٫۱٫۲. معماری SCMS

سیستم مدیریت اعتبارنامه امنیتی (Security Credential Management System - SCMS) یک زیرساخت کلید عمومی (PKI) تخصصی است که برای V2X طراحی شده است. این سیستم مسئولیت‌های زیر را بر عهده دارد [۵، ۶]:

**الف) صدور گواهی‌نامه‌های دیجیتال:**

هر دستگاه V2X (چه RSU و چه OBU) نیاز به گواهی‌نامه‌های دیجیتال دارد تا بتواند پیام‌های امضاشده ارسال کند که توسط سایر دستگاه‌ها قابل تأیید باشد.

**ب) مدیریت گواهی‌نامه‌های شبه‌نام (Pseudonym Certificates):**

برای حفظ حریم خصوصی، هر خودرو به جای استفاده از یک شناسه ثابت، از مجموعه‌ای از گواهی‌نامه‌های شبه‌نام استفاده می‌کند که به طور مرتب تغییر می‌کنند. این امر از ردیابی طولانی‌مدت خودروها جلوگیری می‌کند [۵، ۶].

**ج) ابطال گواهی‌نامه (Certificate Revocation):**
اگر یک دستگاه رفتار مخرب داشته باشد یا به خطر بیفتد، SCMS می‌تواند گواهی‌نامه‌های آن را از طریق لیست ابطال گواهی‌نامه (Certificate Revocation List - CRL) باطل کند [۶].

**د) گزارش‌دهی سوء رفتار (Misbehavior Reporting):**
دستگاه‌های V۲X می‌توانند دستگاه‌هایی را که پیام‌های نادرست یا مشکوک ارسال می‌کنند، گزارش دهند. **این گزارش‌ها برای شناسایی و ابطال دستگاه‌های مخرب استفاده می‌شوند [۶].**

**۵،۱،۳. مدل حاکمیتی SCMS**
SCMS بر اساس یک مدل حاکمیتی چندجانبه طراحی شده است که شامل نهادهای مختلف با مسئولیت‌های تفکیک‌شده است:

**RA** (Registration Authority): ثبت‌نام دستگاه‌ها

**MA** (Misbehavior Authority): مدیریت گزارش‌های سوء رفتار

**PCA** (Pseudonym Certificate Authority): صدور گواهی‌نامه‌های شبه‌نام

**EA** (Enrollment Authority): مجوز دسترسی دستگاه‌ها به سیستم

**GeneratorCRL**: تولید و توزیع لیست‌های ابطال

این تفکیک مسئولیت‌ها تضمین می‌کند که هیچ نهاد منفردی نمی‌تواند حریم خصوصی کاربران را نقض کند یا سیستم را به خطر بیندازد [۵، ۶].

**۵،۲. استراتژی‌های حفاظت از حریم خصوصی**

**۵،۲،۱. چالش‌های حریم خصوصی**
خودروهای متصل حجم عظیمی از داده‌های حساس تولید می‌کنند، از جمله:

- موقعیت جغرافیایی دقیق و مسیر حرکت

- الگوهای رانندگی و رفتار
- اطلاعات زمانی و مقصد

این داده‌ها اگر به طور نامناسب مدیریت شوند، می‌توانند منجر به نقض جدی حریم خصوصی شخصی شوند [۶].

**۵,۲,۲. رویکردهای حفاظت**

**الف) حداقل‌سازی داده:**
اصل "حداقل مجموعه داده قابل اجرا" (Minimal Viable Dataset) اعمال می‌شود. هر کاربرد V۲X فقط به حداقل داده مورد نیاز برای عملکرد خود دسترسی دارد [۶].

**ب) گواهی‌نامه‌های شبه‌نام:**
با استفاده از گواهی‌نامه‌های شبه‌نام متغیر، امکان ردیابی طولانی‌مدت خودروها از بین می‌رود [۵، ۶].

**ج) رضایت کاربر و کنترل:**
مطالعات نشان می‌دهد که ۶۲٪ از مصرف‌کنندگان، برندی را که امنیت و حریم خصوصی بهتری ارائه دهد، انتخاب می‌کنند [۶]. بنابراین، سیستم‌های رضایت‌مندی (Consent Systems) و گزینه‌های انصراف (Opt-out) برای حفظ اعتماد عمومی ضروری هستند.

**د) انطباق با قوانین حریم خصوصی:**
سیستم‌های V۲X باید با قوانین حفاظت از داده مانند CCPA (California Consumer Privacy Act) و سایر مقررات ایالتی سازگار باشند [۶].

**۵,۳. مدیریت و حاکمیت داده**

**۵,۳,۱. مسئولیت خودروسازان**
تولیدکنندگان اصلی تجهیزات (OEMs) مسئولیت نهایی آگاه‌سازی مصرف‌کنندگان درباره

جمع‌آوری داده و اخذ رضایت لازم را بر عهده دارند. این مسئولیت شامل موارد زیر است [۶]:

- ارائه اطلاعات شفاف درباره انواع داده‌های جمع‌آوری‌شده
- توضیح نحوه استفاده و اشتراک‌گذاری داده‌ها
- فراهم کردن کنترل‌های کاربری برای مدیریت حریم خصوصی
- پیاده‌سازی اقدامات امنیتی قوی برای محافظت از داده‌ها

**۵،۳،۲. نقش دولت**

نهادهای دولتی مسئول دریافت و مدیریت داده‌های زیرساختی (مانند داده‌های RSU) هستند. این داده‌ها می‌توانند برای بهبود عملیات ترافیک، تحلیل ایمنی و برنامه‌ریزی حمل‌ونقل استفاده شوند، اما باید با رعایت کامل حریم خصوصی شهروندان مدیریت شوند [۸].

# فصل ششم: پروژه‌های آزمایشی و درس‌آموخته‌ها

## ۶٫۱. برنامه پایلوت خودروی متصل

### ۶٫۱٫۱. پروژه‌های عمده

قبل از استقرار گسترده V۲X، U.S. DOT چندین پروژه آزمایشی بزرگ را برای ارزیابی فناوری، شناسایی چالش‌ها و جمع‌آوری داده‌های واقعی راه‌اندازی کرد. برخی از پروژه‌های مهم عبارتند از:

**الف) NYC Connected Vehicle Pilot:**

استقرار آزمایشی در شهر نیویورک با تمرکز بر کاربردهای شهری و تعامل با حمل‌ونقل عمومی

**ب) Tampa (THEA) CV Pilot:**

پروژه در تامپا، فلوریدا با تأکید بر کریدورهای بزرگراهی و مدیریت حوادث

**ج) Wyoming CV Pilot:**

تمرکز بر کاربردهای هواشناسی و شرایط جاده در مناطق روستایی و کوهستانی

### ۶٫۱٫۲. اهداف پروژه‌های پایلوت

این پروژه‌ها با اهداف زیر طراحی شدند:

- اثبات امکان‌پذیری فنی V۲X در محیط‌های واقعی
- ارزیابی اثربخشی کاربردهای ایمنی
- شناسایی چالش‌های استقرار و نگهداری

- تحلیل پذیرش کاربران و رفتار رانندگان
- جمع‌آوری داده برای تحلیل هزینه-فایده

### ۶,۲. نتایج و دستاوردهای کلیدی

#### ۶,۲,۱. اثبات امکان‌پذیری فنی

پروژه‌های آزمایشی نشان دادند که فناوری V۲X می‌تواند در شرایط واقعی و محیط‌های مختلف (شهری، بزرگراهی، روستایی) به طور قابل اعتماد عمل کند. قابلیت اطمینان انتقال پیام در شرایط مختلف جوی و ترافیکی مورد آزمایش قرار گرفت.

#### ۶,۲,۲. تأثیر بر ایمنی

تحلیل‌های اولیه نشان داد که V۲X پتانسیل کاهش قابل توجه انواع خاصی از تصادفات را دارد، به‌ویژه:

- تصادفات در تقاطع‌ها (از طریق هشدار نقض چراغ قرمز)
- تصادفات چپ‌گردی
- تصادفات با عابران پیاده در گذرگاه‌ها
- تصادفات زنجیره‌ای در بزرگراه‌ها

#### ۶,۲,۳. پذیرش کاربران

مطالعات رفتار کاربران نشان داد که رانندگان به هشدارهای V۲X واکنش مثبت نشان می‌دهند و این هشدارها می‌توانند رفتار ایمن‌تری را تشویق کنند. با این حال، طراحی رابط کاربری و جلوگیری از "خستگی هشدار" (Alert Fatigue) به عنوان عوامل مهم شناسایی شدند.

### ۶/۳. چالش های فنی و عملیاتی

### ۶،۳،۱. چالش‌های زیرساختی

- **هزینه بالای استقرار:** نصب و پیکربندی RSU در تقاطع‌های متعدد هزینه‌بر است
- **نگهداری مستمر:** زیرساخت V2X نیاز به نگهداری، به‌روزرسانی و پایش مداوم دارد
- **اتصال‌پذیری:** تأمین اتصال شبکه قابل اعتماد برای RSU در مکان‌های مختلف می‌تواند چالش‌برانگیز باشد

### ۶،۳،۲. چالش‌های قابلیت همکاری

تضمین اینکه دستگاه‌های مختلف سازندگان متنوع بتوانند به طور یکپارچه با یکدیگر ارتباط برقرار کنند، نیازمند آزمون‌های دقیق تطبیقی و پیروی دقیق از استانداردها است. برخی مسائل قابلیت همکاری در مراحل اولیه پایلوت‌ها شناسایی و برطرف شدند.

### ۶،۳،۳. مدیریت داده

حجم بالای داده‌های تولیدشده توسط سیستم‌های V2X نیازمند زیرساخت پردازش، ذخیره‌سازی و تحلیل قوی است. مدیریت این داده‌ها با رعایت حریم خصوصی یک چالش مداوم است.

# فصل هفتم: ابعاد اقتصادی و بازارهای نوظهور

## ۷٫۱. تحلیل هزینه-فایده

### ۷٫۱٫۱. هزینه‌های استقرار

**هزینه‌های زیرساختی:**

- استقرار RSU در هر تقاطع: تقریباً ۱۵,۰۰۰–۱۵,۰۰۰–۱۵,۰۰۰–۳۰,۰۰۰
- سیستم‌های ارتباطی و شبکه: ۵,۰۰۰–۵,۰۰۰–۵,۰۰۰–۱۰,۰۰۰ به ازای هر موقعیت
- هزینه‌های نصب و پیکربندی
- نگهداری سالانه: حدود ۱۰-۱۵٪ هزینه اولیه

**هزینه‌های خودرویی:**

- افزودن تجهیزات OBU به خودرو: برآورد اولیه ۳۰۰–۳۰۰–۳۰۰–۵۰۰ برای هر خودرو (با انتظار کاهش با افزایش حجم تولید)

### ۷٫۱٫۲. منافع اقتصادی

**الف) کاهش هزینه‌های تصادفات:**

- هزینه اقتصادی تصادفات جاده‌ای در ایالات متحده سالانه بیش از ۸۰۰ میلیارد$ است

- حتی کاهش ۱۰-۲۰٪ تصادفات می‌تواند صدها میلیارد دلار صرفه‌جویی ایجاد کند

**ب) بهبود کارایی ترافیک:**

کاهش تأخیرها و زمان سفر

کاهش مصرف سوخت و انتشار آلاینده‌ها

افزایش ظرفیت موثر جاده‌ها بدون نیاز به توسعه فیزیکی

**ج) منافع اقتصادی آزادسازی طیف Wi-Fi:**

FCC برآورد کرده است که بازآرایی ۴۵ مگاهرتز پایینی باند ۵٫۹ گیگاهرتز برای Wi-Fi می‌تواند منافع اقتصادی بین **۱۷٫۲ میلیارد تا ۳۴٫۸ میلیارد دلار** طی سال‌های ۲۰۲۳-۲۰۲۵ ایجاد کند [۲، ۳]. این منافع ناشی از افزایش ظرفیت Wi-Fi و امکان پاسخگویی به تقاضای روزافزون پهنای باند است.

## ۷/۲. کاربردهای تجاری و فرصت های بازار

علاوه بر کاربردهای ایمنی اولیه، V2X فرصت‌های تجاری متنوعی را فراهم می‌کند:

### ۷،۲،۱. پلاتونینگ (Truck Platooning)

پلاتونینگ کامیون‌ها یکی از کاربردهای تجاری امیدوارکننده V2X است. در این روش، چندین کامیون به صورت الکترونیکی به یکدیگر متصل شده و در فاصله نزدیک به هم حرکت می‌کنند [۵، ۷]. مزایای این سیستم عبارتند از:

**الف) صرفه‌جویی در سوخت:**

کاهش مقاومت هوا می‌تواند به صرفه‌جویی ۴-۱۰٪ در مصرف سوخت منجر شود که برای صنعت حمل‌ونقل کالا با هزینه‌های سوخت بالا بسیار قابل توجه است.

**ب) افزایش ایمنی:**

ارتباط مستقیم و سریع بین کامیون‌ها امکان هماهنگی دقیق ترمز و شتاب را فراهم می‌کند و

احتمال تصادفات زنجیره‌ای را کاهش می‌دهد.

**ج) بهره‌وری عملیاتی:**
کاهش خستگی رانندگان در کامیون‌های دنباله‌رو و افزایش بهره‌وری کلی عملیات لجستیک.
با این حال، FCC در تحلیل خود به این نکته اشاره کرده است که بازار پلاوتونینگ با تردیدهایی مواجه بوده است؛ برخی مطالعات اولیه صرفه اقتصادی و ایمنی این روش را زیر سؤال برده‌اند [۵، ۷]. با این وجود، این کاربرد همچنان به عنوان یک فرصت بالقوه در نظر گرفته می‌شود که می‌تواند از ظرفیت ارتباطی غیراولویت‌دار (Non-Priority Communications) در باند ITS استفاده کند [۷].

**۷،۲،۲. سیستم‌های عوارضی الکترونیکی (Electronic Toll Collection)**
C-V2X می‌تواند کانال ارتباطی مستقیم و امنی برای سیستم‌های اخذ عوارض الکترونیکی فراهم کند. این کاربرد تحت دسته‌بندی **وسایل نقلیه مختلط با استفاده محدود (Limited Use Mixed Vehicle - LUMV)** در نقشه راه Day One قرار می‌گیرد [۵، ۸].

**پیام‌های کلیدی اخذ عوارض:**

- **TAM** (Toll Advertisement Message): پیام تبلیغاتی عوارض که توسط زیرساخت (CI) برای اطلاع‌رسانی به خودرو (CV) درباره حضور نقاط عوارضی ارسال می‌شود
- **TUMack/TUM** (Toll Usage Message): پیام استفاده از عوارض که توسط خودرو برای آغاز تراکنش ارسال و توسط زیرساخت تأیید می‌شود

**استانداردسازی:** این پیام‌ها از طریق استانداردهای SAE J۳۲۱۷ و SAE J۳۱۶۱ و پروتکل PC۵-based LTE-V2X منتقل می‌شوند [۵، ۸].
**جنبه‌های حریم خصوصی**: چالش اصلی در این حوزه، حفاظت از داده‌های مکان‌یابی و تراکنش‌های مالی کاربران است. در بحث‌های قانون‌گذاری، به صراحت این سؤال مطرح شده

که "ابعاد حریم خصوصی فردی در استاندارد ملی اخذ عوارض الکترونیکی چگونه است" [۸]. این نشان‌دهنده نیاز به تدوین چارچوب‌های خاص برای حفاظت از حریم خصوصی در این کاربرد تجاری است.

**۷،۲،۳. خدمات مبتنی بر مکان (Location-Based Services)**

بازار خدمات مبتنی بر مکان که از داده‌های V۲X استفاده می‌کنند، شامل موارد زیر می‌شود:

**الف) خدمات اطلاع‌رسانی ترافیک پیشرفته:**

ارائه اطلاعات بلادرنگ درباره شرایط ترافیک، مسیریابی بهینه و پیش‌بینی زمان سفر

**ب) تبلیغات و بازاریابی محلی:**

ارسال اطلاعات تجاری به خودروها بر اساس موقعیت آن‌ها (با رعایت حریم خصوصی و رضایت کاربر)

**ج) خدمات اضطراری و کمک رانندگی:**

شناسایی خودکار حوادث و ارسال درخواست کمک، خدمات یدک‌کشی و تعمیرات در محل

**۷،۲،۴. بازار امنیت و حاکمیت (Day Two Applications)**

با گذار از کاربردهای Day One به Day Two، بازارهای جدیدی شکل می‌گیرند:

**الف) سیستم‌های گزارش سوء رفتار (Misbehavior Reporting Systems):**

این سیستم‌ها به خودروها اجازه می‌دهند رفتارهای مشکوک یا مخرب دستگاه‌های دیگر را به SCMS گزارش دهند. این یک بازار امنیتی B۲B است که ارائه‌دهندگان خدمات امنیتی می‌توانند راه‌حل‌های پیشرفته تحلیل رفتار و شناسایی تهدید ارائه دهند [۷].

**ب) سیستم‌های ایمنی کاربران آسیب‌پذیر (VRU Safety):**

پیام‌های PSM (Personal Safety Message) بازاری برای سیستم‌های ایمنی عابران پیاده، دوچرخه‌سواران و سایر کاربران آسیب‌پذیر راه ایجاد می‌کنند [۷]. این شامل اپلیکیشن‌های موبایل، دستگاه‌های قابل پوشش و سیستم‌های هوشمند شهری است.

**ج) اشتراک‌گذاری داده‌های سنسور (SDSM):**

پیام Sensor Data Sharing Message برای رانندگی مشارکتی و خودکار طراحی شده است [۷]. این بازار به OEMها اجازه می‌دهد از سنسورهای خودروهای متصل برای تقویت ایمنی فراتر از دید مستقیم (Beyond Line-of-Sight) استفاده کنند، که برای خودروهای خودران ضروری است.

**۷٫۲٫۵. بازارهای بیمه و تحلیل داده**

**الف) بیمه مبتنی بر عملکرد (Usage-Based Insurance):**

داده‌های V2X می‌توانند برای توسعه محصولات بیمه‌ای دقیق‌تر که بر اساس رفتار رانندگی واقعی قیمت‌گذاری می‌شوند، استفاده شوند (با رعایت حریم خصوصی).

**ب) تحلیل‌های ترافیک و برنامه‌ریزی شهری:**

داده‌های جمع‌آوری‌شده از سیستم‌های V2X می‌توانند برای تحلیل الگوهای ترافیک، بهینه‌سازی زمان‌بندی چراغ راهنمایی و برنامه‌ریزی توسعه زیرساخت استفاده شوند.

۷٫۳. انگیزه‌های اقتصادی کلان

**۷٫۳٫۱. ارزش اقتصادی تخصیص مجدد طیف**

یکی از بزرگترین انگیزه‌های اقتصادی برای بازآرایی طیف ۵٫۹ گیگاهرتز، ارزش عظیمی است که از آزادسازی ۴۵ مگاهرتز پایینی برای Wi-Fi حاصل می‌شود. FCC تحلیل دقیقی از منافع اقتصادی این تصمیم ارائه داده است [۲، ۳]:

**برآوردهای ارزش اقتصادی:**

- منافع اقتصادی کل: **۱۷٫۲ میلیارد تا ۳۴٫۸ میلیارد دلار** (۲۰۲۳-۲۰۲۵)
- این ارزش از افزایش ظرفیت Wi-Fi، کاهش تراکم شبکه و پاسخگویی به رشد تصاعدی تقاضای پهنای باند حاصل می‌شود
- برآورد شامل منافع مستقیم برای مصرف‌کنندگان، کسب‌وکارها و ارائه‌دهندگان خدمات است

### ۷،۳،۲. انگیزه‌های سرمایه‌گذاری بخش خصوصی

FCC به صراحت در تصمیمات خود به اهمیت حفظ انگیزه‌های سرمایه‌گذاری اشاره کرده است [۷]:

**انعطاف‌پذیری در استفاده از طیف:**

با اجازه دادن به ارتباطات غیراولویت‌دار (Non-Priority Communications) در باند ITS، FCC تضمین کرده که بازار برای کاربردهای تجاری V2X باز بماند و انگیزه سرمایه‌گذاری در این حوزه تضعیف نشود.

**اجتناب از محدودیت‌های بیش از حد:**

FCC با محدود کردن ۳۰ مگاهرتز تنها برای خدمات ایمنی حیات مخالفت کرد، زیرا چنین محدودیتی می‌توانست نوآوری در کاربردهای مفید اما غیربحرانی را کاهش دهد [۷].

### ۷،۳،۳. بازگشت سرمایه (ROI) برای استقرارکنندگان

**برای بخش عمومی:**

- کاهش هزینه‌های تصادفات و ازدحام ترافیک
- بهبود کارایی سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی
- جذب بودجه‌های فدرال (Grant Programs)

**برای بخش خصوصی:**

- درآمد از خدمات تجاری V2X
- کاهش هزینه‌های عملیاتی ناوگان (مانند صرفه‌جویی سوخت در پلاتونینگ)
- مزیت رقابتی در صنعت خودروسازی

# فصل هشتم: چالش‌های پیش‌رو و چشم‌انداز آینده

## ۸،۱. چالش‌های فنی باقی‌مانده

### ۸،۱،۱. همزیستی طیفی

یکی از چالش‌های مهم، تضمین همزیستی مسالمت‌آمیز C-V2X در ۳۰ مگاهرتز بالا با Wi-Fi بدون مجوز در ۴۵ مگاهرتز پایین است. FCC محدودیت‌های دقیق انتشار خارج از باند (Out-of-Band Emissions - OOBE) را برای دستگاه‌های Wi-Fi تعیین کرده است تا از تداخل با عملیات ITS و رادارهای فدرال جلوگیری کند [۳، ۵].

**راه‌حل‌های پیاده‌سازی‌شده:**

- محدودیت Wi-Fi به استفاده داخلی (Indoor-Only) در نزدیکی باند ITS
- الزامات OOBE دقیق برای تجهیزات Wi-Fi
- آزمایش‌های دقیق DOT برای ارزیابی عملکرد C-V2X تحت شرایط مختلف

### ۸،۱،۲. قابلیت اطمینان در شرایط NLOS

عملکرد V2X در شرایط عدم دید مستقیم (Non-Line-of-Sight - NLOS) مانند محیط‌های شهری متراکم با ساختمان‌های بلند، یک چالش فنی مهم است. DOT آزمایش‌های گسترده‌ای را برای ارزیابی قابلیت اطمینان LTE-V2X در این شرایط انجام داده است [۵].

### ۸،۱،۳. مقیاس‌پذیری شبکه

با افزایش تعداد خودروهای متصل، مدیریت حجم پیام‌ها و تضمین عملکرد سیستم در

شـرایط تراکـم بـالا یـک چالـش مهـم خواهـد بـود.

### ۸،۲. چالش‌های نهادی و سیاستی

#### ۸،۲،۱. هماهنگی میان نهادها

پیاده‌سـازی موفـق V2X نیازمنـد هماهنگـی نزدیـک میـان نهادهـای مختلـف فـدرال، ایالتـی و محلی اسـت. DOT نقش رهـبری فـدرال را بـر عهـده گرفتـه اما موفقیـت بـه همـکاری وزارتخانه‌هـای حمل‌ونقـل ایالتـی، شـهرداری‌ها و سـایر ذی‌نفعـان بسـتگی دارد [۸].

#### ۸،۲،۲. تأمین مالی پایدار

در حالی کـه برنامه‌هـای Grant فـدرال ماننـد SS4A، SMART و ATTAIN حمایت مالـی اولیـه را فراهـم می‌کننـد، تضمیـن تأمیـن مالـی پایـدار بـرای نگهـداری و توسـعه زیرسـاخت در بلندمـدت یـک چالـش اسـت [۸].

#### ۸،۲،۳. انگیزه خودروسازان

یکـی از چالش‌هـای کلیـدی، ترغیـب خودروسـازان بـه نصـب تجهیـزات OBU در خودروهـای جدیـد اسـت. مطابـق تحلیـل DOT، خودروسـازان بـه سـه گروه تقسـیم می‌شـوند [۵]:

**داوطلبان**: زیرمجموعه کوچکی که مشتاقانه V2X را پیاده‌سازی می‌کنند

**منتظـران**: آنهایـی کـه منتظـر سـیگنال‌هایی ماننـد رتبه‌بندی‌هـای ایمنـی (NCAP) هسـتنـد

**نیازمند اجبار:** آنهایی که بدون حکم قانونی (مانند FMVSS) اقدام نخواهند کرد

برای تسریع فراگیری، ممکن است مداخلات تنظیمی بیشتری مورد نیاز باشد.

### ۸،۳. چالش‌های اجتماعی و پذیرش عمومی

#### ۸،۳،۱. نگرانی‌های حریم خصوصی

نگرانی‌هـای مـردم دربـاره جمع‌آوری و اسـتفاده از داده‌هـای مکانـی و رفتـاری می‌توانـد مانعـی بـرای

پذیرش گسترده V۲X باشد. راه‌حل این چالش نیازمند:

- شفافیت کامل درباره جمع‌آوری و استفاده از داده‌ها
- پیاده‌سازی قوی اصول حریم خصوصی طراحی (Privacy by Design)
- ارائه کنترل‌های واقعی به کاربران برای مدیریت داده‌های خود

**۸،۳،۲. آگاهی و آموزش عمومی**

بسیاری از شهروندان و رانندگان هنوز با فناوری V۲X و مزایای آن آشنا نیستند. برنامه‌های آموزشی و آگاهی‌بخشی عمومی برای ایجاد حمایت اجتماعی ضروری است.

**۸،۴. چشم‌انداز آینده: از C-V۲X به ۵G و فراتر**

**۸،۴،۱. تکامل به سمت ۵G V۲X**

مسیر تکامل C-V۲X مستقیماً به سمت نسل پنجم شبکه‌های سلولار (۵G) و فراتر از آن است. فناوری ۵G با ویژگی‌های زیر، قابلیت‌های V۲X را به سطح جدیدی ارتقا می‌دهد:

**الف) پهنای باند بسیار بالاتر:**

امکان انتقال حجم عظیم‌تری از داده، از جمله داده‌های خام سنسورهای با وضوح بالا

**ب) تأخیر فوق‌العاده کم (Ultra-Low Latency):**

تأخیر کمتر از ۱ میلی‌ثانیه که برای کاربردهای حیاتی ایمنی و رانندگی خودران ضروری است

**ج) قابلیت اطمینان بالا:**

تضمین دریافت پیام‌های حیاتی حتی در شرایط چالش‌برانگیز

**۸،۴،۲. کاربردهای آینده**

**الف) رانندگی مشارکتی پیشرفته (Advanced Cooperative Driving):**

هماهنگی دقیق مانورها بین چندین وسیله نقلیه، تشکیل کاروان‌های هوشمند و مدیریت

خودکار ترافیک

**ب) اشتراک‌گذاری سنسور با وضوح بالا:**
خودروها می‌توانند داده‌های خام سنسورهای خود (لایدار، رادار، دوربین) را با یکدیگر به اشتراک بگذارند و یک تصویر ۳۶۰ درجه کامل از محیط ایجاد کنند که "نقاط کور" را از بین می‌برد

**ج) پشتیبانی از خودروهای کاملاً خودران:**
ارتباطات با تأخیر کم و قابلیت اطمینان بالای 5G برای هماهنگی ایمن خودروهای خودران در سناریوهای پیچیده ترافیکی ضروری است

**۸،۴،۳. یکپارچگی با شهرهای هوشمند**
V2X بخشی از اکوسیستم گسترده‌تر شهرهای هوشمند خواهد شد که شامل:

- مدیریت هوشمند انرژی و روشنایی شهری
- سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی یکپارچه
- مدیریت پارکینگ هوشمند
- سیستم‌های اضطراری و امداد یکپارچه

# فصل نهم: نتیجه‌گیری و توصیه‌ها

**۹٫۱. خلاصه دستاوردها**

سفر ایالات متحده در پیاده‌سازی فناوری V2X یک نمونه جامع از گذار فناورانه در مقیاس ملی است که شامل ابعاد مختلف تنظیم‌گری، فنی، اقتصادی و اجتماعی می‌شود.

**دستاوردهای کلیدی:**

**قطعیت تنظیم‌گری:** FCC با تصمیمات خود در نوامبر ۲۰۲۰ و نوامبر ۲۰۲۴، چارچوب قانونی روشن و مشخصی برای C-V2X فراهم کرد که شامل تخصیص ۳۰ مگاهرتز طیف، پارامترهای فنی دقیق و مکانیزم‌های مجوزدهی است [۲، ۳].

**نقشه راه ملی:** DOT با برنامه "Saving Lives with Connectivity" یک نقشه راه سه‌مرحله‌ای (کوتاه‌مدت، میان‌مدت، بلندمدت) برای استقرار گسترده V2X ارائه داده است [۸].

**استانداردسازی فنی:** تلاش‌های SAE، 5GAA و سایر نهادها منجر به توسعه استانداردهای فنی جامع و تضمین قابلیت همکاری شده است.

**اثبات امکان‌پذیری:** پروژه‌های آزمایشی در NYC، Tampa و Wyoming امکان‌پذیری فنی و اثربخشی ایمنی V2X را در شرایط واقعی اثبات کردند.

**ایجاد ارزش اقتصادی:** بازآرایی طیف نه تنها فضای لازم برای V2X را فراهم کرد، بلکه منافع اقتصادی قابل توجهی از آزادسازی طیف Wi-Fi (۱۷٫۲-۳۴٫۸ میلیارد

دلار) نیز حاصل شد [۲، ۳].

### ۹،۲. درس‌های کلیدی

#### ۹،۲،۱. اهمیت هماهنگی نهادی

موفقیت V۲X به هماهنگی نزدیک میان FCC (تنظیم‌گری طیف)، DOT (رهبری استقرار)، NHTSA (ایمنی)، دولت‌های ایالتی و محلی و بخش خصوصی بستگی دارد.

#### ۹،۲،۲. انعطاف‌پذیری تنظیم‌گری

FCC با اجازه دادن به استفاده تجاری و ارتباطات غیراولویت‌دار، تعادل مناسبی بین ایمنی و نوآوری تجاری ایجاد کرد که انگیزه سرمایه‌گذاری بخش خصوصی را حفظ می‌کند.

#### ۹،۲،۳. اهمیت امنیت و حریم خصوصی

معماری SCMS و توجه ویژه به حفاظت از حریم خصوصی، نشان می‌دهد که امنیت و اعتماد عمومی از ابتدا باید در طراحی سیستم لحاظ شوند.

### ۹،۳. توصیه‌های سیاستی

#### ۹،۳،۱. برای دولت فدرال

- **تداوم حمایت مالی**: حفظ و گسترش برنامه‌های Grant برای حمایت از استقرار زیرساخت
- **تقویت انگیزه خودروسازان:** بررسی مکانیزم‌های تنظیمی مانند رتبه‌بندی‌های ایمنی یا استانداردهای "اگر مجهز بود" برای تسریع نصب OBU
- **پایش مستمر:** ارزیابی مداوم عملکرد فنی و اثربخشی ایمنی سیستم‌های مستقر

**۹,۳,۲. برای دولت‌های ایالتی و محلی**

- **برنامه‌ریزی راهبردی:** توسعه برنامه‌های جامع استقرار V2X متناسب با اولویت‌های محلی
- **سرمایه‌گذاری در ظرفیت:** ایجاد تیم‌های فنی متخصص برای مدیریت و نگهداری زیرساخت
- **همکاری منطقه‌ای:** هماهنگی با مناطق مجاور برای تضمین یکپارچگی سیستم

**۹,۳,۳. برای صنعت خصوصی**

**سرمایه‌گذاری در نوآوری:** توسعه کاربردهای جدید V2X فراتر از Day One

**همکاری در استانداردسازی**: مشارکت فعال در 5GAA و سایر انجمن‌های صنعتی

**تعهد به حریم خصوصی:** پیاده‌سازی سیستم‌های شفاف و قابل اعتماد برای مدیریت داده

**۹,۴. چشم‌انداز نهایی**

تحقق کامل اکوسیستم V2X در ایالات متحده تنها یک بهبود تدریجی در حمل‌ونقل نخواهد بود؛ بلکه به عنوان **زیرساخت دیجیتال بنیادین** برای نسل بعدی حمل‌ونقل آمریکا عمل خواهد کرد. این زیرساخت پایه‌گذار همه چیز از لجستیک خودران گرفته تا یکپارچه‌سازی شهرهای هوشمند خواهد بود و دستاوردهای بی‌سابقه‌ای را در سه حوزه کلیدی به ارمغان خواهد آورد:

**۱. ایمنی ملی**: کاهش چشمگیر تلفات و مصدومیت‌های ناشی از تصادفات جاده‌ای

۲. **کارایی اقتصادی:** صرفه‌جویی میلیاردها دلار از محل کاهش هزینه تصادفات، بهبود بهره‌وری ترافیک و نوآوری در خدمات تجاری

۳. **رقابت‌پذیری جهانی:** قرارگرفتن ایالات متحده در صدر کشورهای پیشرو در فناوری‌های حمل‌ونقل هوشمند و خودران

موفقیت این برنامه منوط به غلبه بر سه چالش اصلی خواهد بود:

**الف) تأمین مالی پایدار:**
ایجاد مکانیزم‌های تأمین مالی بلندمدت برای نگهداری و توسعه مستمر زیرساخت که فراتر از Grantهای اولیه فدرال باشد.

**ب) قابلیت همکاری در مقیاس ملی:**
تضمین اینکه سیستم‌های مستقر در ایالت‌ها و شهرهای مختلف بتوانند به صورت یکپارچه با یکدیگر کار کنند و تجربه یکنواختی را برای کاربران در سراسر کشور فراهم کنند.

**ج) حفظ اعتماد عمومی:**
پیاده‌سازی حکمرانی مؤثر داده‌ها، شفافیت کامل در جمع‌آوری و استفاده از اطلاعات و احترام به حریم خصوصی شهروندان برای جلب و حفظ اعتماد عمومی.
در نهایت، ایالات متحده در یک **نقطه عطف نظارتی حیاتی** قرار دارد. تصمیمات اخیر FCC و نقشه راه DOT چارچوبی تنظیم‌شده ایجاد کرده‌اند که از نوآوری C-V2X حمایت می‌کند، در عین حال که مسیر روشنی برای ادغام با فناوری‌های پیشرفته 5G و رانندگی خودران را فراهم می‌آورد. دهه آینده، دهه تحقق این چشم‌انداز خواهد بود—جایی که جاده‌های آمریکا به شبکه‌ای زنده، هوشمند و پاسخگو تبدیل می‌شوند که نه تنها جان‌ها را نجات می‌دهد، بلکه بنیان اقتصاد دیجیتال قرن بیست‌ویکم را نیز شکل می‌دهد.

# فصل دهم: مراجع


[۱] U.S. Department of Transportation. (۲۰۲۲-۲۰۲۶). Strategic Plan.

[۲] Federal Communications Commission. (۲۰۲۰). First Report and Order: ۵٫۹ GHz Band Reallocation.

[۳] Federal Communications Commission. (۲۰۲۴). Second Report and Order: C-V۲X Technical Parameters.

[۴]۵G Automotive Association (۵GAA). (۲۰۲۴). Technical Guidelines for Day One Message Deployment.

[۵] National Highway Traffic Safety Administration. Connected Vehicle Research and Safety Programs.

[۶] Society of Automotive Engineers (SAE). J۲۷۳۵, J۳۱۶۱, J۳۲۱۷ Standards.

[۳ [۷rd Generation Partnership Project (۳GPP). Release ۱۴ and ۱۶ Specifications for LTE-V۲X and NR-V۲X.

[۸] U.S. Department of Transportation. (۲۰۲۴). Saving Lives with Connectivity: National V۲X Roadmap.

[۹] National Transportation Safety Board. Safety Recommendations for V۲X Deployment.

[۱۰] Various State DOTs. V۲X Pilot Program Reports and Waivers.

# پیوست‌ها

**پیوست الف: واژه‌نامه اصطلاحات فنی**

3GPP: 3rd Generation Partnership Project - کنسرسیوم استانداردسازی فناوری‌های سلولار

5GAA: 5G Automotive Association - انجمن خودروسازی 5G

ATTAIN: Advanced Transportation Technology and Innovation - برنامه فناوری و نوآوری حمل‌ونقل پیشرفته

BSM: Basic Safety Message - پیام ایمنی پایه

C-V2X: Cellular Vehicle-to-Everything - فناوری ارتباط سلولار خودرو با همه چیز

CI: Connected Infrastructure - زیرساخت متصل

CRL: Certificate Revocation List - فهرست ابطال گواهی‌نامه

CV: Connected Vehicle - خودروی متصل

DSRC: Dedicated Short-Range Communications - ارتباطات اختصاصی برد کوتاه

EIRP: Effective Isotropic Radiated Power - توان تابشی همسانگرد مؤثر

ETC: Electronic Toll Collection - اخذ عوارض الکترونیکی

FCC: Federal Communications Commission - کمیسیون فدرال ارتباطات

FMVSS: Federal Motor Vehicle Safety Standards - استانداردهای فدرال ایمنی خودرو

ITS: Intelligent Transportation System - سیستم حمل‌ونقل هوشمند

LUMV: Limited Use Mixed Vehicle - وسیله نقلیه مختلط با استفاده محدود

MAP: Map Data - داده‌های نقشه

NCAP: New Car Assessment Program - برنامه ارزیابی خودروهای جدید

NHTSA: National Highway Traffic Safety Administration - اداره ملی ایمنی راه‌ها و حمل‌ونقل

NLOS: Non-Line-of-Sight - عدم دید مستقیم

NTSB: National Transportation Safety Board - هیئت ملی ایمنی حمل‌ونقل

OBU: On-Board Unit - واحد درون‌خودرویی

OEM: Original Equipment Manufacturer - تولیدکننده اصلی تجهیزات

OOBE: Out-of-Band Emissions - انتشارات خارج از باند

PC۵: Protocol Interface - رابط پروتکل ارتباط مستقیم

PKI: Public Key Infrastructure - زیرساخت کلید عمومی

PSM: Personal Safety Message - پیام ایمنی شخصی

RSM: Road Safety Message - پیام ایمنی جاده

RSU: Roadside Unit - واحد کنار جاده‌ای

SAE: Society of Automotive Engineers - انجمن مهندسان خودرو

SCMS: Security Credential Management System - سیستم مدیریت اعتبار امنیتی

SDSM: Sensor Data Sharing Message - پیام به اشتراک‌گذاری داده‌های سنسور

SPaT: Signal Phase and Timing - فاز و زمان‌بندی چراغ راهنمایی

SS۴A: Safe Streets and Roads for All - خیابان‌ها و جاده‌های امن برای همه

TAM: Toll Advertisement Message - پیام تبلیغاتی عوارض

TIM: Traveler Information Message - پیام اطلاعات مسافر

TUM: Toll Usage Message - پیام استفاده از عوارض

V۲I: Vehicle-to-Infrastructure - خودرو به زیرساخت

V۲N: Vehicle-to-Network - خودرو به شبکه

V۲P: Vehicle-to-Pedestrian - خودرو به عابر پیاده

V۲V: Vehicle-to-Vehicle - خودرو به خودرو

V۲X: Vehicle-to-Everything - خودرو به همه چیز

VRU: Vulnerable Road User - کاربر آسیب‌پذیر راه

**پیوست ب: جدول زمانی تصمیمات کلیدی**

| اهمیت | رویداد | تاریخ |
|---|---|---|
| شروع عصر V۲X | تخصیص اولیه باند ۵٫۹ گیگاهرتز به ITS | ۱۹۹۹ |
| تثبیت فناوری اولیه | اختصاص طیف به DSRC | ۲۰۰۴ |
| تلاش برای الزام‌آوری V۲DSRC | پیشنهاد FMVSS ۱۵۰ توسط NHTSA | ۲۰۱۶ |
| گذار از DSRC به C-V۲X | تصمیم اول FCC - بازآرایی طیف | ۲۰۲۰ |
| تسریع استقرار آزمایشی | صدور Waiverهای متعدد | ۲۰۲۴-۲۰۲۳ |
| نهایی‌سازی پارامترهای فنی | تصمیم دوم FCC | نوامبر ۲۰۲۴ |
| فعال‌سازی رهبران استقرار | فاز کوتاه‌مدت نقشه راه | ۲۰۲۸-۲۰۲۴ |
| رشد جامعه استقرارکنندگان | فاز میان‌مدت | ۲۰۳۱-۲۰۲۹ |
| استقرار گسترده ملی | فاز بلندمدت | ۲۰۳۶-۲۰۳۲ |

## پیوست ج: نمونه پیام‌های Day One

### ۱. پیام ایمنی پایه (BSM)

```
                                ,"msgID": "BasicSafetyMessage"
  :"coreData"
,msgCount": 127"
 "id": "A1B2C3D4"
,secMark": 45000"
,lat": 40.712776"
,long": -74.005974"
,elev": 10.0"
  :"accuracy"
,semiMajor": 5.0"
semiMinor": 5.0"
 {
,speed": 15.5"
,heading": 180.0"
,angle": 0.0"
  :"accelSet"
,long": 0.5"
,lat": 0.0"
,vert": 0.0"
yaw": 0.0"
 {
  :"brakes"
 "wheelBrakes": "unavailable"
 "traction": "off"
 "abs": "off"
"scs": "off"
 {
  :"size"
,width": 200"
length": 450"
```

{

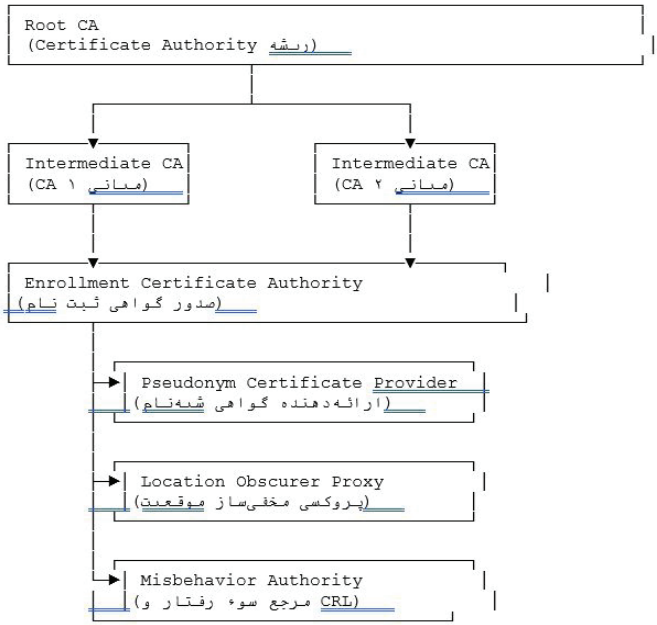
### ۲. پیام فاز و زمان‌بندی چراغ (SPaT)

content_copy
json

```
}
 “msgID”: “SPAT”
,timeStamp”: 1234567890“
 ] :“intersections”
 “name”: “5th Ave & Main St”
  :“id”
,region”: 0“
id”: 12345“
 {
 “status”: “0000000000000000”
 ] :“states”
 “movementName”: “North-South Through”
,signalGroup”: 1“
 ] :“state”
 “movementEventState”: “protected-Movement-Allowed”
  :“timing”
,minEndTime”: 15000“
maxEndTime”: 20000“

 {
 {
 {
```

## پیوست د: معماری SCMS




**توضیح جریان کاری:**

۱. **CA Root:** ریشه اعتماد سیستم، گواهی‌های CA میانی را صادر می‌کند

۲. **CAs Intermediate:** گواهی‌های Enrollment را صادر می‌کنند

۳. **CA Enrollment**: گواهی اولیه را برای دستگاه‌ها صادر می‌کند

۴. **Provider Pseudonym:** گواهی‌های شبه‌نام کوتاه‌مدت برای حفظ حریم خصوصی صادر می‌کند

۵. **Obscurer Location:** موقعیت دقیق درخواست‌کننده را مخفی می‌کند

۶. **Authority Misbehavior:** گزارش‌های سوء رفتار را پردازش و CRL را منتشر می‌کند

**پیوست ه: مطالعه موردی - پروژه NYC CV Pilot**

**پروژه: Connected Vehicle Pilot در شهر نیویورک**

**دوره اجرا: ۲۰۱۶-۲۰۲۴**

**محدوده استقرار:**

- ۸ کریدور اصلی در منهتن و بروکلین
- بیش از ۴۰۰ تقاطع مجهز
- حدود ۱۰۰۰ خودروی متصل

**فناوری به کار رفته:**

- ابتدا DSRC، سپس تست C-V2X
- RSU در تقاطع‌های چراغ‌دار
- OBU در خودروهای شهری، تاکسی‌ها و اتوبوس‌ها

**کاربردهای پیاده‌سازی شده:**

- هشدار سرعت (Speed Compliance Warning)
- هشدار تصادف جلو (Forward Collision Warning)
- هشدار نقض چراغ قرمز (Red Light Violation Warning)
- اولویت‌دهی اتوبوس (Transit Signal Priority)

**نتایج کمی:**

- کاهش ۴۰٪ در تخلفات سرعت
- کاهش ۲۵٪ در نقض چراغ قرمز
- بهبود ۱۵٪ در زمان سفر اتوبوس‌ها
- نرخ پذیرش بالای رانندگان (۸۵٪ رضایت)

**چالش‌های شناسایی شده:**

- هزینه بالای نصب و نگهداری RSU در محیط شهری متراکم
- مشکلات NLOS در محیط‌های ساختمانی بلند
- نیاز به هماهنگی با سیستم‌های ترافیک موجود

**درس‌های آموخته:**

- اهمیت آموزش رانندگان و پذیرش تکنولوژی
- نیاز به استانداردسازی برای قابلیت همکاری
- اهمیت برنامه‌ریزی نگهداری طولانی‌مدت

**پیوست و: برنامه‌های Grant فدرال**

**۱. برنامه SS۴A (Safe Streets and Roads for All)**

**هدف:** پیشگیری از مرگ و میر و آسیب‌های جدی در جاده‌ها

**بودجه سالانه:** ۱-۱.۵ میلیارد دلار

**پوشش V2X:**

- نصب RSU در تقاطع‌های پرخطر
- استقرار سیستم‌های هشدار عابر پیاده
- پیاده‌سازی کریدورهای هوشمند

**معیارهای واجد شرایط بودن:**

- داشتن برنامه جامع ایمنی
- تعهد به کاهش قابل اندازه‌گیری تصادفات
- همکاری با جوامع محلی

**۲. برنامه ATTAIN**

**هدف:** پیشبرد فناوری‌های نوآورانه حمل‌ونقل

**بودجه:** ۵۰۰ میلیون دلار (۵ ساله)

**پوشش V2X:**

- پروژه‌های آزمایشی فناوری‌های جدید
- یکپارچه‌سازی با سیستم‌های خودران
- توسعه استانداردها و پروتکل‌ها

**۳. برنامه SMART**

**هدف:** تقویت شهرها و جوامع برای تحول

**پوشش V۲X:**

- یکپارچه‌سازی V۲X با برنامه‌ریزی شهری
- ارتباط با سیستم‌های حمل‌ونقل عمومی
- مدیریت ترافیک هوشمند

**پیوست ز: چک‌لیست آمادگی استقرار برای State DOTs**

**مرحله ۱: ارزیابی و برنامه‌ریزی**

- ارزیابی نیازهای ایمنی و اولویت‌بندی مکان‌ها
- تحلیل هزینه-فایده اقتصادی
- شناسایی منابع تأمین مالی (Grants)
- تشکیل تیم پروژه میان‌سازمانی
- بررسی الزامات قانونی و تنظیم‌گری

**مرحله ۲: طراحی فنی**

- انتخاب استانداردهای فنی (۳GPP Release)
- طراحی معماری شبکه
- تعیین الزامات RSU و CI
- برنامه‌ریزی یکپارچگی با سیستم‌های موجود
- طراحی معماری امنیتی (SCMS)

**مرحله ۳: تدارکات**

- تهیه RFP (Request for Proposal)
- ارزیابی تأمین‌کنندگان
- بررسی انطباق با استانداردها
- مذاکره قراردادها و SLAها
- تأمین گواهی‌های امنیتی

**مرحله ۴: استقرار**

- نصب و راه‌اندازی RSU
- پیکربندی ارتباطات
- آزمایش قابلیت همکاری
- یکپارچه‌سازی با سیستم‌های کنترل ترافیک
- آموزش پرسنل عملیاتی

**مرحله ۵: بهره‌برداری و نگهداری**

- پایش عملکرد مستمر
- برنامه نگهداری پیشگیرانه
- بروزرسانی نرم‌افزار و firmware
- مدیریت گواهی‌ها و CRL

- ارزیابی و گزارش‌دهی منظم

**مرحله ۶: ارتباطات عمومی**

- برنامه آگاهی بخشی عمومی
- آموزش رانندگان
- انتشار داده‌های عملکرد
- جلب بازخورد جامعه
- رسیدگی به نگرانی‌های حریم خصوصی

**نتیجه‌گیری نهایی**

این گزارش جامع، تصویری کامل از وضعیت فعلی، چالش‌ها و فرصت‌های پیش روی پیاده‌سازی فناوری V2X در ایالات متحده ارائه داده است. از چارچوب تنظیم‌گری گرفته تا جزئیات فنی، از مطالعات موردی تا برآوردهای اقتصادی، همه جنبه‌های این تحول بزرگ فناورانه بررسی شده است.

**پیام اصلی:** ایالات متحده اکنون بنیان لازم برای استقرار گسترده V2X را دارد. موفقیت این برنامه به اجرای مؤثر، همکاری میان ذی‌نفعان و تعهد بلندمدت به این چشم‌انداز بستگی دارد. دهه آینده، دهه تحقق وعده‌های V2X در جاده‌های آمریکا خواهد بود.

بخش دوم

# گزارش جامع پیاده‌سازی فناوری خودروی متصل (V2X) در جمهوری خلق چین

مدل توسعه هدایت‌شده دولتی و یکپارچه‌سازی خودرو-جاده-ابر

# خلاصه اجرایی

این گزارش تحلیلی جامع از رویکرد جمهوری خلق چین در توسعه و پیاده‌سازی فناوری خودروهای متصل ارائه می‌دهد. چین با اتخاذ یک استراتژی سیاست‌محور و هدایت‌شده از بالا به پایین، توانسته است در کمتر از یک دهه، یکی از پیشرفته‌ترین اکوسیستم‌های جهانی برای فناوری C-V2X (Cellular V2X) را بنا کند. این رویکرد که تحت عنوان "مدل توسعه هدایت‌شده دولتی" شناخته می‌شود، بر یکپارچه‌سازی خودرو، جاده و ابر (Vehicle-Road-Cloud Integration System - VRCIS) متمرکز است و با تعهد قاطع به استانداردسازی ملی، سرمایه‌گذاری عظیم زیرساختی و هماهنگی میان نهادهای متعدد دولتی مشخص می‌شود.

**نکات کلیدی گزارش:**

- انتخاب قاطعانه C-V2X به عنوان استاندارد واحد ملی
- تخصیص باند فرکانسی اختصاصی ۵۹۰۵-۵۹۲۵ مگاهرتز
- هدف‌گذاری نفوذ بیش از ۵۰٪ خودروهای متصل تا سال ۲۰۲۵
- ایجاد یک سیستم استانداردسازی چندلایه و جامع
- توسعه بیش از ۷۰ استاندارد ملی مرتبط با ICV
- راه‌اندازی مناطق پایلوت در بیش از ۱۶ شهر عمده
- تدوین چارچوب سختگیرانه امنیت سایبری و حاکمیت داده

# فصل ۱: مقدمه و چارچوب راهبردی

**۱٫۱ اهمیت استراتژیک خودروی متصل در چشم‌انداز ملی چین**

در دهه گذشته، صنعت خودروسازی چین شاهد یک تحول پارادایمی بوده است که از تولید صرف محصولات مکانیکی به سمت ایجاد پایانه‌های هوشمند و متصل حرکت می‌کند. این دگرگونی، که در قلب استراتژی‌های کلان ملی چین قرار دارد، صرفاً یک ارتقاء فنی نیست، بلکه یک بازتعریف بنیادین از نقش خودرو در جامعه و اقتصاد دیجیتال آینده است.

دولت چین با اتخاذ سیاست‌های راهبردی سطح بالا، صنعت خودروی متصل را به عنوان یکی از محورهای اصلی توسعه اقتصادی و فناوری خود تعریف کرده است. سیاست‌هایی مانند **«ساخت چین ۲۰۲۵» (Made in China 2025)** و **«اینترنت پلاس» (Internet Plus)**، به وضوح بر اهمیت تبدیل خودروها به «پایانه‌های هوشمند متصل» تأکید دارند. این یک تغییر پارادایم است که خودرو را به عنوان یک گره در اکوسیستم دیجیتال گسترده‌تر بازتعریف می‌کند، نه یک محصول مکانیکی مستقل.

برنامه «ساخت چین ۲۰۲۵» که در سال ۲۰۱۵ معرفی شد، خودروهای انرژی نو (NEV) و خودروهای هوشمند متصل (ICV) را به عنوان حوزه‌هایی کلیدی برای دستیابی به رهبری جهانی در صنایع پیشرفته تعیین کرد. به طور همزمان، استراتژی «اینترنت پلاس» با هدف ادغام عمیق اینترنت با اقتصاد واقعی، زمینه‌ای برای توسعه کاربردهای نوآورانه در حمل‌ونقل هوشمند فراهم آورد.

این همسویی استراتژیک نشان می‌دهد که توسعه خودروهای متصل نه تنها یک هدف صنعتی، بلکه ابزاری برای تحقق اهداف بزرگ‌تر اجتماعی و اقتصادی مانند افزایش ایمنی جاده‌ها، بهبود کارایی حمل‌ونقل و ایجاد مدل‌های کسب‌وکار جدید در اقتصاد دیجیتال است.

## ۱,۲ تعاریف کلیدی و مفاهیم بنیادی

برای تحلیل دقیق اکوسیستم خودروی متصل در چین، درک صحیح اصطلاحات فنی و راهبردی ضروری است. در ادامه به تعریف مفاهیم اصلی این حوزه می‌پردازیم:

**خودروی انرژی نو (NEV - New Energy Vehicle)**

بر اساس «برنامه توسعه صنعت خودروهای انرژی نو (۲۰۱۲-۲۰۲۰)»، این دسته شامل خودروهای تمام الکتریکی، پلاگین هیبریدی و خودروهای پیل سوختی می‌شود. این تعریف، مبنای سیاست‌های حمایتی دولت چین مانند یارانه‌ها و معافیت‌های مالیاتی بوده است.

**خودروی هوشمند متصل (ICV - Intelligent Connected Vehicle)**

این خودروها، که آینده صنعت حمل‌ونقل را شکل می‌دهند، از طریق پنج جزء اصلی فناوری اطلاعات و ارتباطات (ICT) تعریف می‌شوند:

- **سرویس ابری** (برای جمع‌آوری و تحلیل داده‌ها)
- **رانندگی خودران** (با استفاده از هوش مصنوعی و یادگیری ماشین)
- **ارتباط خودرو با همه چیز (V۲X)**
- **زیرساخت متصل** (جاده‌های هوشمند مجهز به سنسور)
- **شبکه ۵G** (برای ارتباطات با تأخیر کم و قابلیت اطمینان بالا)
- **ارتباط خودرو با همه چیز (C-V۲X - Cellular Vehicle-to-Everything)**

این فناوری ارتباطی مبتنی بر شبکه سلولی، به عنوان استاندارد واحد و ملی در چین انتخاب شده است. C-V۲X شامل چندین نوع ارتباط می‌شود:

- **V۲V** (Vehicle-to-Vehicle): ارتباط خودرو با خودرو
- **V۲I** (Vehicle-to-Infrastructure): ارتباط خودرو با زیرساخت

- **V۲P** (Vehicle-to-Pedestrian): ارتباط خودرو با عابر پیاده
- **V۲N** (Vehicle-to-Network): ارتباط خودرو با شبکه

این استاندارد واحد، قابلیت همکاری و توسعه یکپارچه اکوسیستم را در سراسر کشور تضمین می‌کند.

**سیستم یکپارچه‌سازی خودرو-جاده-ابر (VRCIS)**

این مفهوم بنیادین در رویکرد چین، یک معماری سه‌لایه را شامل می‌شود که خودروهای متصل، زیرساخت‌های هوشمند جاده‌ای و پلتفرم‌های ابری/لبه را به صورت یکپارچه ترکیب می‌کند تا خدمات پیشرفته حمل‌ونقل، ایمنی و بهره‌وری را فراهم آورد.

**۱،۳ ساختار و اهداف گزارش**

این گزارش با هدف ارائه یک تحلیل جامع و چندوجهی از اکوسیستم خودروی متصل در چین تدوین شده است. اهداف اصلی این گزارش عبارتند از:

۱. **تحلیل جامع چارچوب‌های تنظیم‌گری** و نقش نهادهای حاکمیتی در هدایت صنعت

۲. **تشریح نقشه راه ملی**، اهداف استراتژیک و جدول زمانی صنعتی‌سازی فناوری C-V۲X

۳. **بررسی قوانین و مقررات** مرتبط با امنیت سایبری، حریم خصوصی و حاکمیت داده در صنعت خودرو

۴. **واکاوی اکوسیستم استانداردسازی**، معماری فنی و فناوری‌های کلیدی در حال ظهور

۵. **شناسایی بازیگران کلیدی**، اتحادهای صنعتی و مراکز تحقیقاتی پیشرو

۶. **ارزیابی دینامیک بازار**، روندهای اقتصادی و زنجیره ارزش صنعت

**۷. شناسایی چالش‌های فنی، قانونی و اجتماعی** پیش رو و ارائه چشم‌اندازی از آینده این صنعت

# فصل ۲: حاکمیت ملی و چشم‌انداز تنظیم‌گری

توسعه پرشتاب صنعت خودروهای انرژی نو (NEV) و هوشمند متصل (ICV) در چین، حاصل یک رویکرد بالا به پایین و هماهنگ از سوی دولت است. در این مدل، نهادهای حاکمیتی با تقسیم کار دقیق، سیاست‌های کلان را تدوین و از طریق ابزارهای متنوعی مانند یارانه‌ها، مشوق‌های مالیاتی و تدوین استانداردها، بازار را به سمت اهداف ملی هدایت می‌کنند.

### ۲٫۱ نهادهای حاکمیتی و تقسیم کار ملی

اکوسیستم NEV/ICV در چین توسط شبکه‌ای از وزارتخانه‌ها و نهادهای دولتی مدیریت می‌شود که هر یک مسئولیت‌های مشخصی بر عهده دارند. در این ساختار، **وزارت صنعت و فناوری اطلاعات (MIIT)** به عنوان نهاد پیشرو، نقش محوری در تدوین سیاست‌های صنعتی و استانداردها ایفا می‌کند.

**جدول ۱: نهادهای حاکمیتی کلیدی و مسئولیت‌های آن‌ها**

| نهاد | مسئولیت‌های اصلی در حوزه ICV/V2X | نام انگلیسی |
|---|---|---|
| وزارت صنعت و فناوری اطلاعات | تدوین سیاست های صنعتی، استانداردسازی، تنظیم‌گری طیف | MIIT (Ministry of Industry and Information (Technology |
| وزارت حمل ونقل | هدایت پروژه های پایلوت شهری و بین استانی، پیاده سازی برنامه های یکپارچه سازی خودرو–جاده–ابر (VRCIS) | MOT (Ministry of Transport) |
| وزارت امنیت عمومی | تدوین مقررات ایمنی ترافیک، صدور مجوز فعالیت جاده ای برای خودروهای هوشمند، مدیریت داده های حوادث | MPS (Ministry of Public Security) |

| نهاد | مسئولیت‌های اصلی در حوزه ICV/V2X | نام انگلیسی |
|---|---|---|
| کمیسیون توسعه و اصلاحات ملی | برنامه ریزی اقتصادی کلان، تخصیص بودجه و منابع برای پایلوت ها و زیرساخت های هوشمند ملی | NDRC (National Development and Reform Commission) |
| وزارت مسکن و توسعه شهری-روستایی | نظارت بر پیاده سازی زیرساخت های شهری متصل و سنسورهای جاده ای | MOHURD (Ministry of Housing and Urban-Rural Development) |
| نهاد استانداردسازی ارتباطات چین | تنظیم پروتکل‌های ارتباطی، لایه شبکه و پیام‌های C-V2X مطابق با R14 3GPP R16/ | CCSA (China Communications Standards Association) |
| کمیته ملی استانداردهای فنی خودرو | تعریف استانداردهای رانندگی خودران و الزامات فنی برای تجهیزات داخل خودرو | NTCAS (National Technical Committee of Automotive Standardization) |
| برنامه همکاری تحقیقات 5G | توسعه استانداردهای همزیستی بین LTE-V2X و 5G-V2X، ارزیابی طیفی و ارتباطات ابری | IMT-2020 (5G) PG |

### ۲،۲ سیاست‌های کلان و برنامه‌های پنج‌ساله

توسعه فناوری C-V2X در چین به‌صورت مستقیم با برنامه‌های پنج‌ساله ملی گره خورده است. در «چهاردهمین برنامه پنج‌ساله» (۲۰۲۱—۲۰۲۵)، دولت بر ایجاد شبکه حمل‌ونقل هوشمند، ایمن، سبز و مقرون‌به‌صرفه تأکید دارد. برخی از اسناد کلیدی شامل:

- طرح توسعه میان‌مدت و بلندمدت نوآوری در حمل‌ونقل (۲۰۲۱—۲۰۳۵) — منتشرشده توسط MOT و MOST، که اولویت نوآوری‌های ارتباطی را در V2X مشخص می‌کند.

- برنامه ملی ایمنی ترافیک جاده‌ای — تأکید بر کاهش ۲۰٪ تصادفات تا ۲۰۳۰ با فناوری‌های هوشمند ارتباطی.
- برنامه ساخت زیرساخت شهری — تمرکز بر کاربردهای همکاری خودرو-شهر و ساخت حسگرهای هوشمند و RSUها.

این اسناد، اهداف کلان ملی را به‌صورت کمی تعریف کرده‌اند؛ از جمله:

- تا سال ۲۰۲۵: پوشش بیش از ۳۰٪ جاده‌های شهری با تجهیزات C-V2X.
- تا سال ۲۰۳۰: یکپارچه‌سازی کامل خودرو—جاده—ابر (VRCIS) و پشتیبانی از رانندگی نیمه‌خودران سطح ۳ و ۴.

### ۲٫۳ چارچوب قانون‌گذاری فرابخشی

قانون‌گذاری در حوزه V2X در چین به‌صورت چندلایه و فرابخشی انجام می‌شود و حوزه‌های ارتباطات، ایمنی خودرو، زیرساخت شهری و امنیت ملی را در بر می‌گیرد. این هماهنگی نقش نهادهای مرکزی را در تضمین انسجام میان مقررات و استانداردها تقویت کرده است.

- **قوانین ایمنی و دسترسی به جاده:** اصلاح قانون ایمنی ترافیک جاده‌ای در دستورکار سال ۲۰۲۴ قرارگرفته تا برای خودروهای خودران و متصل چارچوب حقوقی ایجاد کند.
- **قوانین محلی نوآورانه:** شنژن و شانگهای با تصویب مقررات مدیریت وسایل نقلیه متصل، نظام مسئولیت در حوادث و فرایند ثبت قانونی برای خودروهای خودران را بازنگری کرده‌اند.
- **حاکمیت داده:** همه خودروهای متصل باید تبادل داده را از طریق گره‌های ابری داخلی انجام دهند، طبق الزامات MIIT و مقررات امنیت سایبری ملی.

**تبیین رویکرد تنظیم‌گری چین در یک نگاه**

رویکرد چین در توسعه فناوری V۲X بر سه اصل بنیادین استوار است:

۱. **سیاست‌محوری (Policy-Driven Development):** همه مراحل از تدوین استاندارد تا استقرار فیزیکی زیرساخت زیر نظر نهادهای مرکزی هدایت می‌شود.

۲. **استانداردسازی قاطع:** انتخاب C-V۲X به عنوان استاندارد واحد و الزام قانونی برای همه تجهیزات حمل‌ونقل هوشمند.

۳. **یکپارچگی داده و امنیت:** الزام به استفاده از سامانه‌های رمزنگاری ملی و حاکمیت داده در مرزهای داخلی کشور.

این مدل نشان می‌دهد که چین توانسته است بین **سیاست صنعتی، تنظیم‌گری فناوری، و امنیت ملی** یک پیوند ساختاریافته ایجاد کند ـ مشابه مدل «انتقال فناوری دستوری» ایالات متحده، اما با وابستگی کامل به حاکمیت مرکزی.

# فصل ۳: تخصیص طیف و چارچوب فنی

یکی از تصمیمات استراتژیک محوری چین در توسعه اکوسیستم V2X، تخصیص قاطع طیف فرکانسی اختصاصی و انتخاب فناوری C-V2X به عنوان استاندارد واحد ملی بوده است. این فصل به تحلیل سیاست‌گذاری طیفی، پارامترهای فنی و چارچوب تنظیم‌گری ارتباطات بی‌سیم می‌پردازد.

**۳٫۱ سیاست‌گذاری طیف فرکانسی**

**تخصیص باند ۵٫۹ گیگاهرتز**

در نوامبر ۲۰۱۸، **وزارت صنعت و فناوری اطلاعات (MIIT)** به‌طور رسمی **باند فرکانسی ۵۹۰۵-۵۹۲۵ مگاهرتز** (۲۰ مگاهرتز پهنای باند) را به‌عنوان طیف اختصاصی برای ارتباطات مستقیم LTE-V2X (رابط PC۵) اختصاص داد. این تصمیم، نقطه عطفی در مسیر توسعه C-V2X در چین محسوب می‌شود.

**ویژگی‌های کلیدی تخصیص طیف:**

- **پهنای باند:** ۲۰ مگاهرتز (۵۹۰۵-۵۹۲۵ MHz)
- **نوع استفاده:** ارتباط مستقیم (Direct Communication) - رابط PC۵ بدون نیاز به زیرساخت شبکه سلولی
- **اولویت کاربرد:** کاربردهای ایمنی (Safety-of-Life) در بالاترین سطح اولویت

**قابلیت مشارکت:** امکان استفاده همزمان برای کاربردهای غیرایمنی با اولویت

پایین‌تر

**تفاوت با رویکرد ایالات متحده:**

در مقایسه با آمریکا که ۴۵ مگاهرتز پایینی باند ۵٫۹ گیگاهرتز را به Wi-Fi اختصاص داد و تنها ۳۰ مگاهرتز را برای ITS حفظ کرد، چین رویکرد متفاوتی اتخاذ نمود:

- عدم تقسیم طیف: تمام ۲۰ مگاهرتز به‌صورت انحصاری برای C-V2X
- **عدم همزیستی اجباری با Wi-Fi:** هیچ نیازی به مدیریت تداخل با سرویس‌های بدون مجوز نیست
- **اولویت استراتژیک:** اولویت کامل به توسعه ITS نسبت به گسترش پهنای باند Wi-Fi

**برنامه توسعه طیفی آینده**

با وجود اینکه ۲۰ مگاهرتز برای کاربردهای Day One کافی ارزیابی شده است، صنعت و نهادهای تحقیقاتی در حال بررسی نیاز به **طیف اضافی** برای کاربردهای پیشرفته هستند:

- **NR-V2X(5G-V2X):** نیاز به پهنای باند بیشتر برای کاربردهای با نرخ داده بالا مانند:
  - اشتراک‌گذاری داده‌های سنسوری (Sensor Data Sharing)
  - نمایش درک مشترک از محیط (Cooperative Perception)
  - کنترل از راه دور خودروهای خودران (Remote Driving)
- **طیف میلی‌متری (mmWave):** بررسی امکان استفاده از باندهای فرکانسی بالاتر برای کاربردهای با تأخیر فوق‌العاده کم

### ۳،۲ انتخاب و تثبیت فناوری C-V۲X

چین با قاطعیت **C-V۲X(Cellular V۲X)** را به عنوان فناوری واحد و ملی انتخاب کرد و از همان ابتدا مسیر DSRC را رد نمود. این تصمیم بر اساس چندین عامل استراتژیک اتخاذ شد:

**دلایل انتخاب C-V۲X**

**۱. مزایای فنی:**

- **برد ارتباطی بهتر:** C-V۲X قادر به برقراری ارتباط در فواصل بیشتر (تا ۱ کیلومتر در شرایط ایده‌آل) است
- **قابلیت اطمینان بالاتر:** استفاده از الگوریتم‌های پیشرفته تخصیص منابع (Semi-Persistent Scheduling ۴ Mode)
- **سازگاری با ۵G:** مسیر تکاملی روشن به سمت NR-V۲X و یکپارچگی با شبکه‌های ۵G

**۲. منافع صنعتی:**

- **حمایت از غول‌های فناوری داخلی:** Huawei، Datang Telecom و ZTE به عنوان بازیگران کلیدی در توسعه چیپست‌های C-V۲X
- **یکپارچگی با اکوسیستم تلفن همراه:** استفاده از زیرساخت تولید و D&R موجود در صنعت مخابرات

**۳. استقلال استراتژیک:**

- **کاهش وابستگی به استانداردهای غربی:** DSRC عمدتاً توسط کنسرسیوم‌های آمریکایی و اروپایی توسعه یافته بود
- **کنترل بر زنجیره تأمین:** امکان تولید داخلی تمامی اجزای کلیدی سیستم

### ۳٫۳ پارامترهای فنی و محدودیت‌های عملیاتی

MIIT در اعلامیه تخصیص طیف (۲۰۱۸) و اسناد تکمیلی بعدی، پارامترهای فنی دقیقی را برای عملیات C-V2X تعریف کرده است:

**پارامترهای کلیدی لایه فیزیکی**

| پارامتر | مقدار/مشخصات |
|---|---|
| باند فرکانسی | ۵۹۰۵-۵۹۲۵ MHz |
| پهنای باند کانال | ۱۰ MHz یا ۲۰ MHz |
| فناوری دسترسی | LTE-V2X (۳GPP Release ۱۴) Mode ۴ PC۵ |
| حداکثر توان انتشار (EIRP) | ۳۳ dBm برای RSU / ۲۳ dBm برای OBU |
| مدولاسیون | QPSK, QAM-۱۶, QAM-۶۴ |
| محدودیت OOBE | مطابق با استاندارد ۳GPP TS ۳۶٫۱۰۱ |

**الزامات عملیاتی**

**برای واحدهای کناری جاده (RSU):**

- نصب با ارتفاع استاندارد ۵-۸ متر
- الزام به ثبت و اخذ مجوز از MIIT
- نیاز به تطابق با استانداردهای امنیتی ملی (گواهی‌نامه‌های رمزنگاری SM۲/ SM۳/SM۴)

**برای واحدهای روی خودرو (OBU):**

- الزام به نصب در خودروهای جدید تولیدی (بر اساس نقشه راه ۲۰۲۵)
- گواهی‌نامه CCC (China Compulsory Certificate) برای کلیه تجهیزات

- پشتیبانی از پیام‌های ایمنی Day One الزامی

**سلسله‌مراتب اولویت پیام**

مشابه FCC، چین نیز یک سیستم اولویت‌بندی پیام تعریف کرده است:

۱. **اولویت بحرانی (Critical Safety):** پیام‌های مربوط به جلوگیری از برخورد فوری

۲. **اولویت ایمنی (Safety):** اخطارهای شرایط خطرناک جاده

۳. **اولویت عمومی (Public Service):** اطلاعات ترافیکی و مدیریت جریان

۴. **اولویت تجاری (Commercial):** کاربردهای غیربحرانی و تفریحی

# فصل ۴: معماری استانداردسازی

چین یکی از جامع‌ترین و منسجم‌ترین سیستم‌های استانداردسازی را برای فناوری V۲X در سطح جهان ایجاد کرده است. این فصل به تحلیل ساختار چندلایه استانداردسازی، نهادهای کلیدی و جدول زمانی توسعه استانداردها می‌پردازد.

### ۴٫۱ نهادهای استانداردسازی و تقسیم کار

استانداردسازی در حوزه ICV/C-V۲X در چین توسط شبکه‌ای از نهادهای تخصصی انجام می‌شود که هر یک مسئولیت لایه‌های خاصی از معماری فناوری را بر عهده دارند:

**جدول ۲: نقشه نهادی استانداردسازی**

| نهاد | نمونه استانداردهای کلیدی | حوزه تخصصی |
|---|---|---|
| CCSA (انجمن استانداردهای ارتباطات چین) | YD/T۳۳۴۰-۳۷۰۹ (سری استانداردهای LTE-V۲X) | لایه شبکه، پروتکل های ارتباطی، امنیت کانال |
| NTCAS/TC۱۱۴ (کمیته فنی خودرو) | GB/T سری (الزامات فنی ICV) | سیستم های داخل خودرو، سنسورها، الزامات ایمنی |
| SAC/TC۱۲۴ (کمیته استانداردسازی ITS) | GB/T۳۱۰۲۴.x (معماری سیستم ITS) | کاربردهای لایه بالا، رابط های کاربری |
| IMT-۲۰۲۰ (۵G) Promotion Group | White Papers تکنیکال C-V۲X | تحقیقات پیش استاندارد، آزمایش های فرالایه ای |
| CATARC (مرکز تحقیقات فناوری خودرو) | روش های تست برای MAP، SPAT، BSM | تست و گواهی دهی، اعتبارسنجی استانداردها |

**نکته کلیدی:** برخلاف بسیاری از کشورها که استانداردسازی توسط نهادهای صنعتی یا کنسرسیوم‌های داوطلبانه انجام می‌شود، در چین **MIIT نقش هماهنگ‌کننده مرکزی** را ایفا می‌کند و تمامی استانداردها باید تأیید رسمی دولتی دریافت کنند.

### ۴,۲ ساختار چهارلایه استانداردهای ملی

سیستم استانداردسازی ICV چین بر اساس یک **معماری چهارلایه** طراحی شده است که تمامی جنبه‌های فنی، امنیتی و کاربردی را پوشش می‌دهد:

**لایه ۱: استانداردهای بنیادی (Foundational Standards)**

**هدف:** تعریف معماری کلی سیستم، اصطلاحات و چارچوب‌های مرجع

استانداردهای کلیدی:

- **GB/T ۳۳۶۶۸:** معماری سیستم‌های خودروهای هوشمند متصل
- **GB/T ۲۹۱۰۰:** طبقه‌بندی سطوح رانندگی خودران (مطابق SAE J۳۰۱۶)
- **YD/T ۳۷۰۷-۳۷۰۹:** معماری شبکه C-V۲X و الزامات عملکردی

**وضعیت:** بیشتر این استانداردها از سال ۲۰۱۹ به بعد تکمیل و منتشر شده‌اند.

**لایه ۲: استانداردهای عمومی (General Standards)**

**هدف:** تعریف الزامات فنی مشترک برای تجهیزات، رابط‌ها و پروتکل‌ها

**استانداردهای کلیدی:**

- **GB/T ۳۷۹۸۸:** الزامات فنی برای دستگاه‌های ارتباطی مستقیم LTE-V۲X
- **YD/T ۳۳۴۰:** مشخصات لایه فیزیکی و MAC برای PC۵
- **GB/T ۴۰۴۲۹:** الزامات قابلیت همکاری (Interoperability) برای OBU و RSU

**وضعیت تکمیل:** بیش از ۷۰ استاندارد در این لایه تا سپتامبر ۲۰۲۴ منتشر شده است.

**لایه ۳: استانداردهای محصول (Product Standards)**

**هدف:** مشخصات فنی جزئیات تجهیزات خاص

**دسته‌بندی:**

**الف. تجهیزات داخل خودرو (In-Vehicle Equipment):**

- استانداردهای OBU (On-Board Unit)
- سیستم‌های ADAS (Advanced Driver Assistance Systems)
- رابط‌های HMI (Human-Machine Interface)

**ب. زیرساخت کناری جاده (Roadside Infrastructure):**

- مشخصات Roadside Unit (RSU)
- سنسورهای هوشمند جاده‌ای (Smart Road Sensors)
- سیستم‌های Multi-access Edge Computing (MEC)

**ج. سیستم‌های پلتفرم ابری (Cloud Platform):**

- معماری مرکز داده VRCIS
- الزامات امنیتی برای سرویس‌های ابری V2X

**لایه ۴: استانداردهای کاربردی (Application Standards)**

**هدف:** تعریف کاربردهای نهایی Day One و Day Two

**کاربردهای ایمنی Day One (تکمیل‌شده):**

- **Forward Collision Warning (FCW):** هشدار برخورد از جلو

- **Emergency Electronic Brake Light (EEBL):** چراغ ترمز اضطراری الکترونیکی
- **Intersection Movement Assist (IMA):** کمک به حرکت در تقاطع
- **Blind Spot Warning (BSW):** هشدار نقطه کور
- **Lane Change Warning (LCW):** هشدار تغییر خط

**کاربردهای پیشرفته Day Two (در حال توسعه):**

**Cooperative Adaptive Cruise Control (CACC):** کروز تطبیقی همکارانه

**Truck Platooning:** حرکت دسته‌جمعی کامیون‌ها

**Cooperative Perception:** درک مشترک از محیط

**۴,۳ استانداردهای کلیدی و جدول زمانی توسعه**

**کمیته ملی استانداردسازی فنی خودرو (NTCAS/SC۳۴)** که توسط MIIT حمایت می‌شود، تا سپتامبر ۲۰۲۴:

- **۷۰ استاندارد** منتشر کرده است
- **۳۸ مطالعه تحقیقاتی** تکمیل کرده است
- بیش از **۴۰ تست تأیید استاندارد** انجام داده است

این حجم بالای کار نشان‌دهنده سرعت و جدیت در ایجاد پایه فنی لازم است.

**استانداردهای در دست توسعه (۲۰۲۴-۲۰۲۵)**

**الزامات فنی و مشخصات تست برای سیستم هشدار ایمنی مبتنی بر فناوری اتصال مستقیم:**
این استاندارد در حال تدوین، الزامات و روش‌های تست در سطح کاربرد C-V۲X را برای عملکردهای حیاتی مانند:

- هشدار برخورد در تقاطع

- یادآوری وسیله نقلیه غیرعادی
- هشدار نقض چراغ قرمز

# فصل ۵: نقشه راه ملی و مراحل استقرار

یکی از ویژگی‌های بارز رویکرد چین، وجود یک **نقشه راه ملی مشخص و زمان‌بندی‌شده** برای استقرار گسترده فناوری C-V2X است. این نقشه راه که در چندین سند سیاستی تدوین شده، اهداف کمی روشنی را تا سال ۲۰۳۰ تعریف کرده است.

### ۵٫۱ اهداف استراتژیک و نقاط عطف زمانی

#### چشم‌انداز ۲۰۲۵ (کوتاه‌مدت)

**اهداف اصلی:**

**۱. نفوذ بازار خودرو:**

- ۵۰٪ از خودروهای جدید مجهز به قابلیت‌های C-V2X باشند
- ۸۰٪ از خودروهای انرژی نو (NEV) دارای فناوری ICV باشند

**۲. پوشش زیرساختی:**

- **۳۰٪ از جاده‌های شهری** در شهرهای Tier ۱ و Tier ۲ مجهز به RSU و سنسورهای هوشمند
- **۱۶+ شهر پایلوت** با اجرای کامل VRCIS

**۳. استانداردسازی:**

- تکمیل **سیستم استاندارد ملی LTE-V2X**

- آغاز توسعه استانداردهای NR-V2X) 5G-V2X)

**۴. امنیت:**

- **اجرای گواهی امنیتی اجباری** برای تمامی تجهیزات ICV
- پیاده‌سازی کامل الگوریتم‌های رمزنگاری ملی (SM۴/SM۳/SM۲)

**چشم‌انداز ۲۰۳۰ (میان‌مدت)**

**اهداف اصلی:**

**۱. نفوذ بازار:**

- **۸۰٪ نفوذ ICV** در کل ناوگان تولیدی
- حضور **۱۰۰+ میلیون خودروی متصل** در جاده‌ها

**۲. زیرساخت:**

- یکپارچه‌سازی کامل **خودرو-جاده-ابر (VRCIS)** در تمام شهرهای بزرگ
- پوشش **۱۰۰٪ بزرگراه‌های بین‌استانی** با تجهیزات C-V2X

**۳. فناوری:**

- استقرار تجاری **NR-V2X (5G-V2X)** برای کاربردهای رانندگی خودران سطح ۴
- پشتیبانی از **Cooperative Perception** و **Vehicle-to-Grid (V2G)**

**۴. ایمنی:**

- کاهش **۲۰٪ تصادفات** منجر به کشته و زخمی از طریق فناوری‌های هوشمند

### ۵٫۲ مناطق پایلوت و شهرهای نمایشی

چین برای آزمایش و اثبات قابلیت‌های C-V2X، شبکه‌ای از مناطق نمایشی ایجاد کرده است که به عنوان آزمایشگاه‌های سیاستی و فنی عمل می‌کنند.

### پایلوت یکپارچه‌سازی خودرو-جاده-ابر (VRCIS)

در ژانویه ۲۰۲۴، **MIIT، MPS، MOT، MNR و MOHURD** به‌طور مشترک طرحی را برای اجرای پایلوت کاربردهای VRCIS در **۲۰ شهر** اعلام کردند، شامل:

**Cities ۱ Tier (شهرهای درجه یک):**

- پکن (Beijing)
- شانگهای (Shanghai)
- شنژن (Shenzhen)
- چونگ‌کینگ (Chongqing)

**Cities ۳/۲ Selected Tier (شهرهای منتخب درجه دو و سه):**

- ووشی (Wuxi) - Jiangsu Province)
- چانگشا (Changsha) - Hunan Province)
- شیانگ یانگ (Xiangyang) - Hubei Province)

**الزامات پایلوت‌ها:**

- ایجاد یک **معماری سیستم یکپارچه**
- اتخاذ **استانداردهای سازگار** در سراسر شهر
- تضمین **قابلیت همکاری خدمات** بین بخش‌های مختلف

**مطالعه موردی: ووشی (Wuxi) - پیشگام C-V2X**

**ووشی** به عنوان یکی از اولین و موفق‌ترین مناطق پایلوت ICV در چین شناخته می‌شود:

**زیرساخت:**

- پوشش **۴۰۰ کیلومترمربعی** شهری
- نصب **۵۹۵ واحد RSU** با قابلیت دوحالته (Uu+PC۵)
- استقرار **واحدهای Multi-access Edge Computing (MEC)** برای پردازش محلی

کاربردها:

- **شاتل‌های خودران** برای حمل‌ونقل عمومی
- **کامیون‌های خودران** برای خدمات لجستیک مایل آخر
- **خدمات تحویل بدون سرنشین** در محله‌های مسکونی

نتایج:

- کاربردهای «مایل آخر» به **عملیات عادی** رسیده‌اند
- کاهش قابل توجه در زمان سفر و هزینه‌های لجستیک

**مطالعه موردی: بازی‌های المپیک زمستانی پکن ۲۰۲۲**

اجرای موفق C-V2X در **پارک Shougang** (محل بازی‌های المپیک زمستانی پکن ۲۰۲۲) یک دستاورد عملیاتی مهم بود:

**زیرساخت مستقر:**

- ۱۷ ایستگاه پایه 5G

- ۲۰ واحد RSU
- ۵۵ واحد MEC

ده‌ها سنسور کنار جاده‌ای

**نتیجه:**

- ارائه ارتباط مستقیم C-V2X برای سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل خودرویی (CVIS) در زمان واقعی
- پشتیبانی از خودروهای خودران برای جابه‌جایی ورزشکاران و تماشاگران
- اثبات قابلیت‌های عملیاتی در شرایط آب‌وهوایی سخت

**۵,۳ برنامه‌های کاربردی Day One و Day Two**

رویکرد چین در استقرار کاربردها، مبتنی بر یک استراتژی مرحله‌ای است که از کاربردهای ایمنی پایه (Day One) آغاز و به سمت کاربردهای پیشرفته (Day Two) حرکت می‌کند.

**پیام‌های Day One (تکمیل‌شده و در حال استقرار)**

راهنمای فنی 5GAA برای "پیام‌های روز اول" به منظور کاهش متغیرها و اطمینان از قابلیت همکاری (Interoperability) توسعه یافته است. این راهنما به اپراتورهای زیرساخت کمک می‌کند تا مجموعه‌ای محدود از پیام‌ها را برای کاربردهای ایمنی و بهره‌وری مستقر کنند.

**پیام‌های کلیدی:**

**۱. Basic Safety Message (BSM):**

- انتقال وضعیت خودرو (موقعیت، سرعت، شتاب، جهت) ۱۰ بار در ثانیه
- پایه تمامی کاربردهای V2V

**۲. Signal Phase and Timing (SPaT):**

- اطلاعات فاز چراغ راهنمایی و زمان‌بندی تغییر
- امکان بهینه‌سازی سرعت برای عبور از چراغ سبز

**۳. Map Data (MAP):**

- هندسه تقاطع و شبکه جاده‌ای
- اطلاعات خطوط، لاین‌ها و محدودیت‌های سرعت

**۴. RTCM Corrections:**

اصلاحات دقیق موقعیت‌یابی برای دستیابی به دقت سانتی‌متری GPS

**فناوری انتقال:**

این پیام‌ها باید از طریق **رابط ارتباط مستقیم based sidelink LTE-V2X-PC5**، که در مشخصات **3GPP Release 14** تعریف شده و توسط استاندارد **SAE J3161** تنظیم شده است، منتقل شوند.

**کاربردهای Day Two (در حال توسعه)**

**کاربردهای پیشرفته تحت تحقیق و استانداردسازی:**

**۱. Truck Platooning (پلاتونینگ کامیون‌ها):**

- حرکت دسته‌جمعی کامیون‌ها با فاصله کم
- کاهش ۴-۱۰٪ مصرف سوخت
- افزایش ظرفیت بزرگراه‌ها

**۲. Cooperative Perception (درک مشترک):**

- اشتراک‌گذاری داده‌های سنسوری بین خودروها
- گسترش "دید" هر خودرو از طریق سنسورهای خودروهای دیگر
- حیاتی برای رانندگی خودران سطح ۴/۵

**۳. Remote Driving (رانندگی از راه دور):**

- کنترل از راه دور خودروها در شرایط خاص
- کاربرد در معادن، بنادر و مناطق خطرناک
- نیازمند تأخیر بسیار کم (< ۲۰ میلی‌ثانیه) و قابلیت اطمینان بالا

**۴. Vehicle-to-Grid (V2G):**

- تبادل دوطرفه انرژی بین خودروهای برقی و شبکه برق
- مدیریت بار شبکه در ساعات پیک
- ایجاد درآمد برای مالکان خودروهای برقی

**الزامات فنی برای Day Two:**

- **NR-V2X (5G-V2X):** پهنای باند بالاتر و تأخیر کمتر
- **Multi-access Edge Computing (MEC):** پردازش محلی با تأخیر فوق‌العاده کم
- **Ultra-Reliable Low-Latency Communication (URLLC):** قابلیت اطمینان ٪۹۹٫۹۹۹

### ۵,۴ جدول زمانی تکامل فناوری

چین یک مسیر تکاملی روشن از LTE-V2X به 5G-V2X و در نهایت به سیستم‌های کاملاً خودران دارد:

**فاز ۱ (۲۰۱۸-۲۰۲۵): بلوغ LTE-V2X**

- **فناوری:** 3GPP Release ۱۴ LTE-V2X
- **کاربردها:** Day One Safety Applications
- **زیرساخت:** RSU با قابلیت Uu+PC5
- **خودروها:** Level ۲-۳ Automation با C-V2X

**فاز ۲ (۲۰۲۴-۲۰۲۸): معرفی 5G-V2X**

- **فناوری:** 3GPP Release ۱۷/۱۶ NR-V2X
- **کاربردها:** Advanced Day Two Applications
- **زیرساخت:** Massive MEC Deployment
- **خودروها:** Level ۳-۴ Automation با 5G+LTE-V2X

وضعیت فعلی: OEMهای بزرگ مانند **FAW، SAIC و GAC** مدل‌های جدید خود را با فناوری 5G+LTE-V2X به تولید انبوه رسانده‌اند. تا اکتبر ۲۰۲۴، نرخ استقرار 5G در خودروها به **۱۴,۹٪** رسیده است.

**فاز ۳ (۲۰۲۸-۲۰۳۵): یکپارچه‌سازی کامل VRCIS**

فناوری: 5G-Advanced و 6G

کاربردها: Level ۵ Full Autonomous Driving)

**زیرساخت:** Digital Twin Cities، AI-powered Traffic Management

**خودروها:** Fleet Management Systems، Robotaxis

# فصل ۶: امنیت سایبری و حاکمیت داده

یکی از ویژگی‌های متمایز رویکرد چین به V2X، تأکید شدید بر **امنیت ملی** و **حاکمیت داده** است. برخلاف بسیاری از کشورها که امنیت را به عنوان یک نگرانی فنی می‌بینند، چین آن را به عنوان یک الزام استراتژیک و قانونی تعریف کرده است.

**۶،۱ چارچوب قانونی امنیت سایبری**

**قوانین اصلی حاکم**

**۱. قانون امنیت سایبری (Cybersecurity Law - CSL) - ۲۰۱۷:**

- **دامنه:** تمامی اپراتورهای زیرساخت حیاتی اطلاعات (CII)
- **الزامات:**

محلی‌سازی داده (Data Localization)

ارزیابی‌های امنیتی دوره‌ای

گزارش‌دهی حوادث امنیتی به مقامات

**۲. قانون امنیت داده (Data Security Law - DSL) - ۲۰۲۱:**

**دامنه:** حکمرانی جامع داده در تمام صنایع

- **طبقه‌بندی داده:**

**سطح ۱:** داده‌های عمومی

**سطح ۲:** داده‌های حساس شخصی

**سطح ۳:** داده‌های حیاتی ملی

**۳. قانون حفاظت از اطلاعات شخصی (PIPL) - ۲۰۲۱:**

**دامنه:** حفاظت از حریم خصوصی افراد

**الزامات:**

رضایت صریح برای جمع‌آوری داده

حق حذف داده توسط کاربران

محدودیت انتقال داده‌های شخصی به خارج از کشور

**تطبیق با صنعت ICV**

**تفسیر رسمی MIIT:** تمامی داده‌های تولیدشده توسط خودروهای متصل (موقعیت مکانی، رفتار رانندگی، داده‌های سنسوری) به عنوان **«داده‌های حساس»** طبقه‌بندی می‌شوند و مشمول الزامات سختگیرانه CSL و DSL هستند.

**۶,۲ نقشه راه امنیت سایبری IoV**

MIIT و نهادهای مربوطه یک **نقشه راه امنیتی واضح** برای دوره ۲۰۲۰ تا ۲۰۲۵ تدوین کرده‌اند:

**جدول ۳: نقشه راه امنیت سایبری (۲۰۲۰-۲۰۲۵)**

| بُعد | اهداف ۲۰۲۵ | اهداف ۲۰۲۲ | اهداف ۲۰۲۰ |
|---|---|---|---|
| **هدف کلی** | **پیاده‌سازی گواهی اجباری امنیت** | ۷۰٪ وسایل نقلیه متصل باید الزامات امنیت اطلاعات را برآورده کنند | تدوین الزامات و استانداردهای فنی امنیت اطلاعات |
| **ترمینال (End-Device)** | **اجرای گواهی امنیتی اجباری CA/HA** | ایجاد سیستم حفاظت چند دامنه‌ای | ایجاد نمونه‌های اولیه ماژول‌های امنیتی |
| **کانال (Channel)** | سیستم صدور گواهی ارتباطات بی‌سیم برای IoV | مشخصات واحد پروتکل ارتباطی ICV مبتنی بر 5G/4G | سیستم حفاظت رمزنگاری برای ارتباط بی‌سیم |
| **ابر (Cloud)** | سیستم دفاع فعال و صدور گواهی امنیت ابری ICV | مکانیزم پاسخ به حادثه و نظارت بک‌اند | مکانیزم پاسخ سریع و حفاظت پایه پلتفرم ابری |

### ۶،۳ الزامات رمزنگاری ملی

یکی از اقدامات بحث‌برانگیز اما قاطع چین، **الزام به استفاده از الگوریتم‌های رمزنگاری ملی** در تمامی سیستم‌های ICV است.

### الگوریتم‌های رمزنگاری ملی چین

**۱. SM۲ (State-managed Public Key Algorithm):**

- جایگزین RSA و ECDSA
- الگوریتم کلید عمومی مبتنی بر منحنی بیضوی
- استفاده: امضای دیجیتال، احراز هویت

**۲. SM۳ (State-managed Hash Algorithm):**

- جایگزین SHA-۲۵۶
- طول خروجی: ۲۵۶ بیت
- استفاده: یکپارچگی داده، تولید کلید

**۳. SM۴ (State-managed Symmetric Algorithm):**

- جایگزین AES
- طول کلید: ۱۲۸ بیت
- استفاده: رمزنگاری داده

**۴. SM۹ (Identity-Based Cryptography):**

- رمزنگاری مبتنی بر هویت
- حذف نیاز به زیرساخت PKI پیچیده

**پیامدهای استراتژیک**

**مزایا (از دیدگاه چین):**

- **استقلال فناوری:** عدم وابستگی به استانداردهای رمزنگاری غربی
- **کنترل امنیت ملی:** قابلیت نظارت و کنترل کامل بر زیرساخت‌های حیاتی
- **ممانعت از درب‌های پشتی:** اطمینان از عدم وجود آسیب‌پذیری‌های عمدی

**چالش‌ها (برای شرکت‌های بین‌المللی):**

- نیاز به توسعه دو ورژن محصول (چین/بین‌الملل)
- عدم قابلیت تعامل مستقیم با سیستم‌های غیرچینی
- هزینه‌های بالای تطبیق و گواهی‌دهی

**۶،۴ سیستم مدیریت اعتبار امنیتی (C-V2X Security Credential Management)**

برای حفاظت از حریم خصوصی کاربران و در عین حال تضمین اصالت پیام‌ها، چین در حال توسعه یک سیستم مدیریت اعتبار است.

**معماری کلی**

**۱. Certificate Authority (CA) :**

- صدور گواهی‌نامه‌های ریشه برای نهادهای اصلی

**۲. Enrollment Certificate Authority (ECA):**

- صدور گواهی‌نامه‌های ثبت‌نام برای OBU/RSU

**۳. Pseudonym Certificate Authority (PCA):**

- صدور گواهی‌نامه‌های شبه‌نام کوتاه‌مدت
- **چرخش خودکار** هر ۵-۱۰ دقیقه برای جلوگیری از ردیابی

**۴. Misbehavior Authority (MA):**

- دریافت گزارش‌های سوء رفتار
- تصمیم‌گیری درباره لغو گواهی‌نامه‌ها

**تفاوت با SCMS آمریکا**

| ویژگی | چین | SCMS (آمریکا) |
|---|---|---|
| الگوریتم رمزنگاری | SM۴/SM۳/SM۲ | ECDSA (NIST P-۲۵۶) |
| مدل حکمرانی | متمرکز، تحت نظارت دولت | توزیع‌شده، چند ارائه‌دهنده |
| محل ذخیره‌سازی داده | الزام محلی‌سازی در چین | بدون محدودیت |
| دسترسی مقامات | دسترسی مستقیم در شرایط امنیت ملی | نیاز به حکم قضایی |

## ۶,۵ حاکمیت داده و الزامات محلی‌سازی

**الزام به استفاده از سرورهای داخلی**

طبق **قانون امنیت سایبری** و آیین‌نامه‌های MIIT:

**۱. ذخیره‌سازی داده:**

- تمامی داده‌های خام تولیدشده در چین باید در **سرورهای داخلی** ذخیره شوند
- ممنوعیت انتقال مستقیم به سرورهای خارجی

**۲. پردازش داده:**

- محاسبات و تحلیل‌های اصلی باید در **مراکز داده داخلی** انجام شود
- استفاده از **پلتفرم‌های ابری خارجی** نیازمند مجوز خاص

**۳. انتقال بین‌المللی:**

- نیاز به ارزیابی امنیتی Cyberspace Administration of China (CAC)
- قراردادهای قانونی برای حفاظت از داده

**پیامدها برای OEMهای خارجی**

**تسلا - مطالعه موردی:**

- تأسیس **مرکز داده محلی** در شانگهای (۲۰۲۱)
- تعهد به ذخیره‌سازی تمامی داده‌های تولیدشده در چین
- همکاری با مقامات چینی برای بازرسی‌های امنیتی

**چالش‌های مشترک:**

- **هزینه‌های سرمایه‌گذاری:** ایجاد زیرساخت محلی
- **پیچیدگی عملیاتی:** مدیریت دو زیرساخت مجزا
- **محدودیت نوآوری:** عدم امکان استفاده از یادگیری ماشین جهانی

**۶۶ مکانیسم‌های تست و ارزیابی امنیت**

چین سیستم سختگیرانه ای برای تست و گواهی دهی امنیتی ایجاد کرده است:

**آزمایشگاه‌های تخصصی امنیت ICV**

**۱. CATARC ICV Information Security Laboratory:**

- **نقش:** مرکز تست و ارزیابی شخص ثالث
- **خدمات:**
  - تست نفوذ (Penetration Testing)
  - ارزیابی انطباق با استانداردها
  - صدور گواهی‌نامه‌های امنیتی

**۲. ICV Security Center (Qihoo ۳۶۰):**

- **محصولات:**
  - ❋ "مغز امنیت خودرو" (Car Security Brain)
  - ❋ سیستم تشخیص تهدید بلادرنگ
- **تمرکز:** دفاع فعال و شکار تهدید

**۳. Keen Security Lab (Tencent):**

- **شهرت:** کشف آسیب‌پذیری‌های Tesla، BMW
- **تمرکز:** امنیت تهاجمی (Offensive Security)

**۴. Apollo Information Security Lab (Baidu-CATARC-CAICT):**

**هدف:** امنیت پلتفرم رانندگی خودران Apollo

**همکاری:** بین صنعت خصوصی و نهادهای دولتی

**فرآیند گواهی‌دهی اجباری (پیش‌بینی ۲۰۲۵)**

**مراحل:**

**مرحله ۱: ارزیابی طراحی (Design Review)**

- بررسی معماری امنیتی
- تأیید استفاده از SM۲/SM۳/SM۴

**مرحله ۲: تست نفوذ (Penetration Testing)**

- شبیه‌سازی حملات سایبری
- ارزیابی مقاومت در برابر تهدیدات شناخته‌شده

**مرحله ۳: بازرسی زیرساخت (Infrastructure Audit)**

- بررسی محل ذخیره‌سازی داده
- تأیید انطباق با CSL/DSL

**مرحله ۴: صدور گواهی**

- مدت اعتبار: ۲-۳ سال
- نیاز به تمدید دوره‌ای

**بدون گواهی:** ممنوعیت فروش و استفاده تجاری

# فصل ۷: بازیگران کلیدی و اکوسیستم صنعتی

اکوسیستم ICV چین شامل شبکه پیچیده‌ای از شرکت‌های خودروسازی، تأمین‌کنندگان فناوری، اتحادهای صنعتی و مراکز تحقیقاتی است که هر یک نقش خاصی در زنجیره ارزش ایفا می‌کنند.

**۷٫۱ OEMهای پیشرو**

**خودروسازان داخلی**

**۱. FAW Group (First Automobile Works):**

**جایگاه:** بزرگ‌ترین خودروساز دولتی چین

**دستاورد C-V2X:** تولید انبوه خودروهای مجهز به **5G+LTE-V2X** از ۲۰۲۱

**مدل‌های شاخص:** سری Hongqi H۹، E-HS۹ (لوکس NEV)

**همکاری:** شراکت استراتژیک با Huawei برای چیپست‌های C-V2X

**۲. SAIC Motor:**

**جایگاه:** بزرگ‌ترین خودروساز بر اساس حجم فروش

**دستاورد C-V2X:** پیشگام در یکپارچه‌سازی V۲G

**مدل‌های شاخص:** Roewe Marvel R، MG EH۳۲

**نوآوری:** سیستم پارکینگ خودران با استفاده از V2I

**۳. GAC Group (Guangzhou Automobile Group):**

- دستاورد: پلتفرم "ADiGO ۵,۰" با C-V2X یکپارچه • تمرکز: رانندگی خودران شهری (Urban Autonomous Driving)

**۴. NIO (خودروساز استارتاپی):**

- **نوآوری:** معماری باتری قابل تعویض + C-V2X
- **فناوری:** سیستم NIO Autonomous Driving (NAD) با V2X

**۵. BYD (Build Your Dreams):**

- **جایگاه:** بزرگ‌ترین تولیدکننده NEV جهان
- **رویکرد:** یکپارچه‌سازی عمودی (از باتری تا C-V2X)

**خودروسازان خارجی در بازار چین**

**Tesla:**

- **تطبیق:** ایجاد مرکز D&R محلی در شانگهای
- **چالش:** نیاز به توسعه دو ورژن نرم‌افزار (چین/جهانی)
- **وضعیت C-V2X:** مدل‌های چین با چیپست محلی

**BMW، Mercedes-Benz، Audi:**

- **استراتژی:** همکاری با تأمین‌کنندگان محلی (Baidu ،Huawei)
- **محصولات:** نسخه‌های خاص چین با C-V2X

## ۷٫۲ تأمین‌کنندگان فناوری و چیپست

### غول‌های فناوری

**۱. Huawei:**

- **محصولات کلیدی:**
  - **Balong ۵۰۰۰:** چیپست 5G modem با قابلیت C-V2X
  - **Kirin ۹۹۰A:** سیستم‌روی‌تراشه برای خودروهای هوشمند
  - **Mobile Data Center (MDC):** پلتفرم محاسباتی رانندگی خودران
- **استراتژی:** رویکرد "۱+۸+N" - خودرو به عنوان یک ترمینال IoT
- **شراکت‌ها:** همکاری با ۳۰+ OEM

**۲. Datang Telecom (China Academy of Telecommunication Technology):**

- **نقش:** پیشگام تحقیقات LTE-V2X در چین

**محصولات:**

- **DMD۳۱:** ماژول LTE-V2X PC۵
- **DMD۳A:** چیپست (LTE-V2X + dual-mode (۵G-V2X
- **همکاری:** با FAW، SAIC برای پروژه‌های پایلوت

**۳. ZTE:**

**محصولات:**

— ZM۹۳۰۰: چیپست C-V۲X

— سری RSU برای زیرساخت کناری جاده

● **پروژه‌های کلیدی:** شبکه C-V۲X شهر Wuxi

**۴. Qualcomm (حضور در چین):**

● **چیپست:** Snapdragon Automotive Platforms با C-V۲X

● **چالش:** رقابت شدید با Huawei و Datang

● **استراتژی:** مشارکت با OEMهای بین‌المللی در چین

**۷,۳ اتحادهای صنعتی**

(CAICV)China Industry Innovation Alliance for the Intelligent and Connected Vehicles

**ساختار:**

● تأسیس: ۲۰۱۷

● اعضا: بیش از ۵۰۰ عضو:

— سازمان‌های دولتی (MIIT، MOT)

— خودروسازان (FAW، SAIC، NIO)

— تأمین‌کنندگان فناوری (Huawei، Baidu، Tencent)

دانشگاه‌ها و مراکز تحقیقاتی

**نقش‌ها:**

**تسهیل همکاری:** پل ارتباطی بین دولت و صنعت

**پیش‌استانداردسازی:** توسعه مشخصات گروهی قبل از تبدیل به استاندارد ملی

**سازماندهی تست‌ها:** تست‌های قابلیت همکاری بزرگ (۲۰۱۸-۲۰۲۴)

**دستاوردها:**

- سازماندهی **۳ رویداد بزرگ تست** فرالایه‌ای C-V۲X
- انتشار **White Papers** فنی و راهنماهای پیاده‌سازی

**۵G) Promotion Group - C-V۲X Working Group) ۲۰۲۰-IMT**

**تمرکز:**

- تحقیقات پیش‌استاندارد ۵G-V۲X
- مطالعات اکوسیستم VRCIS
- تعمیق همکاری خودرو-جاده-ابر-پیاده

**نتایج:**

- گزارش‌های فنی درباره NR-V۲X
- پیشنهادات به ۳GPP برای ۱۸/۱۷ Release

**۷،۴ زنجیره ارزش صنعت**

زنجیره ارزش ICV چین شامل چهار لایه اصلی است:

**لایه ۱: تأمین‌کنندگان اجزای پایه (Upstream)**

**الکترونیک خودرو:**

- Continental، Bosch (حضور محلی)
- Desay SV، Joyson Electronics (تأمین‌کنندگان داخلی)

**سنسورها:**

- LiDAR: Hesai، RoboSense، Huawei
- Radar: Continental، Bosch، Huawei
- Camera: Sunny Optical، OmniVision

**چیپست و محاسبات:**

Huawei، Qualcomm، NVIDIA، Horizon Robotics

**لایه ۲: تولیدکنندگان (Midstream)**

**OEMها:**

- خودروسازان داخلی و بین‌المللی (مذکور قبلی)

**Tier-۱ Suppliers:**

- ADAS: Mobileye، Bosch سیستم‌های
- سیستم‌های اطلاعات سرگرمی: Desay SV، Visteon

**لایه ۳: اپراتورهای زیرساخت (Infrastructure)**

**اپراتورهای مخابراتی:**

- **China Mobile:** بزرگ‌ترین اپراتور، استقرار 5G+C-V2X
- **China Telecom، China Unicom:** شریک در پروژه‌های پایلوت

**شرکت‌های زیرساخت جاده‌ای:**

- Alibaba Cloud: پلتفرم City Brain
- Baidu: Apollo Platform + HD Maps
- Tencent: پلتفرم cloud-based V2X

**لایه ۴: ارائه‌دهندگان خدمات (Downstream)**

**خدمات حمل‌ونقل:**

- **DiDi Chuxing:** بزرگ‌ترین پلتفرم ride-hailing
  - ۹۶۷,۰۰۰ خودروی تمام‌الکتریکی (۳۰٪ ناوگان EV چین)
- **Meituan:** خدمات تحویل با خودروهای خودران

**خدمات داده و نقشه:**

- Baidu Maps، AutoNavi (Alibaba)
- HERE Technologies (شراکت با اپراتورهای محلی)

# فصل ۸: دینامیک بازار و ابعاد اقتصادی

## ۸٫۱ روندهای بازار و پیش‌بینی‌ها

### رشد فروش NEV

بازار خودروهای انرژی نو چین از **۲,۰۰۰ دستگاه در ۲۰۰۹** به **۳٫۴۴ میلیون دستگاه در ۲۰۱۹** رسیده است. این رشد نمایی نتیجه ترکیب سیاست‌های حمایتی است:

**محرک‌های رشد:**

- یارانه‌های خرید (تا ۲۰۲۲)
- معافیت مالیات خرید
- امتیازات پلاک (در شهرهای بزرگ)
- محدودیت‌های خودروهای بنزینی

**پیش‌بینی ۲۰۲۵:**

- فروش سالانه: ۱۰+ میلیون دستگاه NEV
- سهم بازار: ۴۰–۵۰٪ از کل فروش

### رشد بازار امنیت سایبری خودرو

بازار امنیت سایبری خودرو از **۲٫۱ میلیارد یوان (۲۰۱۸)** به **۱۰٫۸ میلیارد یوان (۲۰۲۵)** خواهد رسید:

**عوامل رشد:**

- الزامات گواهی اجباری (۲۰۲۵)
- افزایش حملات سایبری
- پیچیدگی سیستم‌های نرم‌افزاری

**بازار زیرساخت شارژ و V2G**

**تعداد ایستگاه‌های شارژ:**

- ۲۰۰۹: ۲,۰۰۰ ایستگاه
- ۲۰۱۹: ۴۱۰,۰۰۰ ایستگاه
- ۲۰۲۵ (پیش‌بینی):۲+ میلیون

**فناوری V2G:**

- SAIC پیشگام تجاری‌سازی
- پتانسیل درآمد: ۵۰۰-۱۰۰۰ یوان/ماه برای هر خودرو

**۸,۲ مدل‌های کسب‌وکار نوآورانه**

**حمل‌ونقل اشتراکی (Shared Mobility)**

**DiDi - مطالعه موردی:**

- **ناوگان:** ۳۰٪ کل خودروهای برقی چین
- **استراتژی C-V2X:** همکاری با Huawei برای توسعه ناوگان خودران

- **پروژه پایلوت:** سرویس Robotaxi در شانگهای، بیجینگ، گوانگژو
- **مدل درآمدی:**
  - ❋ کمیسیون سفر: ۲۰-۲۵٪
  - ❋ فروش داده (ناشناس‌شده) به شهرداری‌ها برای بهینه‌سازی ترافیک
  - ❋ تبلیغات درون‌خودرویی

**الزام شهری:**

برخی شهرها استفاده از **خودروهای برقی را برای خدمات اشتراکی الزامی** کرده‌اند

مثال: شنژن - ۱۰۰٪ ناوگان تاکسی و باس باید تا ۲۰۲۵ برقی باشد

**مدل Aftermarket (بازار پس از فروش)**

**دوربین‌های داشبورد هوشمند مبتنی بر C-V2X:**

- **مخاطب:** خودروهای قدیمی‌تر بدون C-V2X
- **قیمت:** ۳۰۰-۸۰۰ یوان (۴۰-۱۱۰ دلار)
- **عملکرد:**
  - ❋ دریافت پیام‌های SPaT، MAP از RSUها
  - ❋ هشدار EEBL، IMA
  - ❋ ضبط ویدیو با کیفیت بالا
- **بازار بالقوه:** ۲۰۰+ میلیون خودرو موجود

**مدل بازگشت سرمایه:**

- **صرفه‌جویی در بیمه:** ۱۰-۱۵٪ تخفیف برای خودروهای مجهز به ITS ۱ Day
- **بازگشت سرمایه:** ۲-۳ سال از طریق تخفیف بیمه

**۸,۳ زنجیره ارزش NEV و زیرساخت شارژ**

**Upstream (تأمین‌کنندگان باتری)**

**۱. Contemporary Amperex Technology Co. Limited (CATL):**

- **جایگاه:** بزرگ‌ترین تولیدکننده باتری LFP/NMC جهان
- **سهم بازار جهانی:** ۳۷٪ (۲۰۲۳)
- **نوآوری:** فناوری Cell-to-Pack (CTP)
- **مشتریان:** Tesla، BMW، Volkswagen، NIO

**۲. BYD Battery Division:**

- **فناوری:** Blade Battery (LFP)
- **استراتژی:** یکپارچه‌سازی عمودی
- **مزیت:** قیمت پایین‌تر از رقبا

**۳. CALB (China Aviation Lithium Battery):**

- تمرکز بر بازار NEV داخلی

**Midstream (اپراتورهای شارژ)**

**۱. State Grid Corporation of China:**

- **نقش:** بزرگ‌ترین اپراتور ایستگاه شارژ
- **شبکه:** ۱۵۰,۰۰۰+ ایستگاه شارژ سریع
- **پروژه V2G:** پایلوت در ۱۰ شهر

**۲. Star Charge:**

- **مدل:** اپراتور خصوصی
- **شبکه:** ۲۰۰,۰۰۰+ نقطه شارژ
- **خدمات:** اپلیکیشن موبایل، پرداخت یکپارچه

**۳. Tesla Supercharger Network:**

- شبکه اختصاصی برای مدل‌های Tesla
- برنامه بازکردن به سایر برندها (۲۰۲۴-۲۰۲۵)

**Downstream (خدمات داده و مدیریت انرژی)**

**۱. Alibaba Cloud – Energy Management:**

- **خدمات:**
  - ❋ پیش‌بینی تقاضا با یادگیری ماشین
  - ❋ بهینه‌سازی شارژ بر اساس قیمت برق

❋ یکپارچه‌سازی با شبکه هوشمند

**۲. پلتفرم‌های تجمیع (Aggregation Platforms):**

- **عملکرد:** ادغام داده‌ها از چندین اپراتور شارژ
- **مزیت کاربر:** یافتن نزدیک‌ترین/ارزان‌ترین ایستگاه

**۸٫۴ مطالعه موردی: تحول بازار Electronic Toll Collection (ETC)**

یکی از کاربردهای بزرگ‌مقیاس C-V2X که به صورت تجاری موفق شده، سیستم **پرداخت عوارض الکترونیکی** است.

**وضعیت قبل از تحول**

**سیستم سنتی DSRC-based ETC:**

- فناوری: RFID ۵٫۸ GHz (استاندارد GB/T ۲۰۸۵۱)
- مشکلات:
  - ❋ نرخ موفقیت پایین در سرعت بالا (<۹۰٪)
  - ❋ نیاز به کاهش سرعت تا ۲۰ km/h
  - ❋ هزینه بالای نگهداری دروازه‌های فیزیکی

**تحول با C-V2X-ETC**

**اجرای پایلوت (۲۰۲۰-۲۰۲۳):**

- **استان جیانگسو:** اولین پایلوت گسترده
  - ❋ مسیر: بزرگراه Shanghai-Nanjing (۳۰۰+ کیلومتر)

❋ RSU: هر ۵۰۰ متر یک واحد (dual-mode (DSRC+C-V2X

**نتایج:**

- **نرخ موفقیت:** افزایش به ۹۹٫۵٪
- **سرعت:** عملیات بدون کاهش سرعت (۱۲۰ km/h)
- **بهره‌وری:** کاهش ۳۰٪ هزینه‌های عملیاتی

**گسترش ملی (۲۰۲۳-۲۰۲۵):**

- **هدف:** تجهیز ۱۰۰٪ بزرگراه‌های ملی
- **سرمایه‌گذاری:** ۱۵ میلیارد یوان
- **مدل اقتصادی:**

❋ ۶۰٪ دولتی (MOT)

❋ ۴۰٪ سرمایه‌گذاری خصوصی (PPP)

**منافع اقتصادی:**

- **صرفه‌جویی زمان:** ۲ میلیارد ساعت/سال
- **کاهش آلودگی:** کاهش ۱۵٪ مصرف سوخت در نزدیکی دروازه‌ها
- **ارزش اقتصادی:** ۵۰+ میلیارد یوان/سال

**درس‌آموخته‌ها**

**موفقیت‌ها:**

- **مدل PPP:** مشارکت موفق بخش عمومی-خصوصی
- **سازگاری با گذشته:** حفظ DSRC به عنوان fallback
- **استانداردسازی:** استاندارد ملی GB/T XXXXX (در حال نهایی‌سازی)

**چالش‌ها:**

**هزینه ابتدایی:** سرمایه‌گذاری بالا برای ارتقاء زیرساخت

**دوره انتقال:** نیاز به پشتیبانی dual-mode تا ۲۰۲۶

# فصل ۹: چالش‌ها و موانع پیش رو

علی‌رغم پیشرفت‌های چشمگیر، چین با چالش‌های قابل توجهی در مسیر استقرار کامل C-V2X/ICV مواجه است.

**۹,۱ چالش‌های فنی**

**الف. مسئله "مرغ و تخم‌مرغ"**

**معضل استقرار:**

- **خودروسازان:** انگیزه کم برای نصب C-V2X بدون زیرساخت کافی
- **دولت‌های محلی:** تردید در سرمایه‌گذاری بدون تعداد کافی خودروی مجهز

**راه‌حل‌های چین:**

- **دستور مستقیم دولت مرکزی:** الزام ۲۰ شهر به استقرار در VRCIS Pilot
- **یارانه مستقیم:** تأمین مالی ۵۰٪ هزینه RSU توسط دولت
- **الزام خریداری دولتی:** ناوگان‌های دولتی باید C-V2X داشته باشند

**ب. قابلیت همکاری (Interoperability)**

**چالش‌ها:**

**استانداردهای متعدد:** تفاوت‌های جزئی بین استانداردهای CCSA و 3GPP

**پیاده‌سازی‌های مختلف:** OEMها ممکن است جزئیات متفاوتی پیاده کنند

**به‌روزرسانی نرم‌افزار:** چگونگی همگام‌سازی OTA Updates

**اقدامات:**

- **تست‌های فرالایه‌ای اجباری:** CAICV سه رویداد بزرگ برگزار کرده است
- **آزمایشگاه‌های گواهی:** CAICT ،CATARC
- **مشخصات پیاده‌سازی مشترک:** Alliance Standards از CAICV

**ج. مقیاس‌پذیری و عملکرد**

**چالش کانال اشباع:**

- در تراکم بالا (۳۰۰ خودرو/$km^2$)، کانال PC۵ می‌تواند اشباع شود
- **راه‌حل:**
  - الگوریتم‌های کنترل ازدحام (Congestion Control)
  - استفاده از 5G Uu mode برای پیام‌های غیرحیاتی

**محاسبات لبه (MEC):**

چالش: تأخیر در پردازش داده‌های سنسوری حجیم

راه‌حل: استقرار گسترده سرورهای MEC در فواصل ۱ km >

## ۹,۲ چالش‌های قانونی و نظارتی

### الف. مسئولیت در تصادفات

**سؤال کلیدی:** در صورت تصادف خودروی خودران، چه کسی مسئول است؟

- تولیدکننده خودرو؟
- توسعه‌دهنده نرم‌افزار؟
- اپراتور زیرساخت (RSU/MEC)؟
- راننده (در Level ۳)؟

**وضعیت قانونی فعلی:**

- قانون ترافیک جاده‌ای چین: هنوز به‌طور کامل به‌روزرسانی نشده
- رویکرد محلی: شهرهایی مانند پکن، شنژن، شانگهای مقررات خود را دارند

**مقررات پکن (Beijing Intelligent and Connected Vehicle Policy Pilot Zone):**

- **مجوز تست:** الزام به گواهی ایمنی و بیمه ۵ میلیون یوان
- **مسئولیت:** در حالت خودران، **شرکت آزمایشی** (نه راننده) مسئول است
- **الزام راننده ایمنی:** برای Level ۳/۴ در مناطق عمومی

**شکاف قانونی:**

- قوانین ملی واحد برای تمام استان‌ها وجود ندارد
- تفاوت‌های عمده بین مقررات محلی منجر به پیچیدگی برای OEMها

**ب. دسترسی و کنترل داده توسط مقامات**

**نگرانی‌های حریم خصوصی:**

- قانون CSL: دسترسی مقامات به داده‌ها در شرایط "امنیت ملی"
- تعریف مبهم: "امنیت ملی" می‌تواند شامل طیف وسیعی از موارد باشد

**تأثیر بر پذیرش عمومی:**

نظرسنجی‌ها نشان می‌دهد ۴۰٪ شهروندان نگران سوء استفاده از داده‌های موقعیت مکانی هستند

**راه‌حل چین: تأکید بر "فناوری مردمی" و شفافیت محدود**

**ج. استاندارد رمزنگاری ملی و انزوای فناوری**

**چالش بین‌المللی:**

- خودروهای صادراتی چینی نمی‌توانند مستقیماً با سیستم‌های V2X اروپا/آمریکا ارتباط برقرار کنند
- **دو توسعه موازی:** OEMهای بین‌المللی باید دو نسخه نرم‌افزار نگهداری کنند

**پیامد اقتصادی:**

- افزایش هزینه‌های D&R برای شرکت‌های خارجی
- محدودیت در صادرات خودروهای چینی به بازارهای غربی

## ۹,۳ چالش‌های اجتماعی و پذیرش عمومی

### الف. نگرانی‌های حریم خصوصی

**جمع‌آوری داده‌های گسترده:**

- موقعیت GPS دقیق هر چند ثانیه
- عادات رانندگی (سرعت، شتاب، ترمزگیری)
- مسیرهای معمول (خانه، محل کار، اماکن شخصی)

**نگرانی‌های خاص:**

- **نظارت دولتی:** امکان ردیابی افراد در زمان واقعی
- **تبلیغات هدفمند:** فروش داده‌ها به شرکت‌های تبلیغاتی
- **نشت داده:** خطر هک و فاش شدن اطلاعات شخصی

**پاسخ صنعت و دولت:**

- ناشناس‌سازی: استفاده از Pseudonym Certificates
- کنترل دسترسی: سیستم‌های مدیریت رضایت کاربر
- شفافیت محدود: انتشار گزارش‌های سالانه درباره استفاده از داده

### ب. اعتماد به فناوری خودران

**حوادث پرسروصدا:**

- تصادفات خودروهای خودران (مثل حادثه NIO ET۵ در ۲۰۲۳)

- نقص‌های نرم‌افزاری منجر به فراخوان‌های بزرگ

**تأثیر بر پذیرش عمومی:**

- نظرسنجی ۲۰۲۴: تنها **۳۵٪ شهروندان** به خودروهای تمام‌خودران اعتماد دارند
- **راه‌حل:**
  - ❋ کمپین‌های آموزش عمومی
  - ❋ تست‌های شفاف و عمومی در شهرها
  - ❋ الزام به راننده ایمنی در Level ۳/۴

**ج. شکاف دیجیتال (Digital Divide)**

**نابرابری دسترسی:**

- شهرهای Tier ۱/۲: زیرساخت گسترده C-V۲X
- شهرهای Tier ۳ و روستاها: فاقد پوشش

**نگرانی اجتماعی:**

- **ایجاد "شکاف ایمنی" بین شهری و روستایی**
- **راه‌حل دولت: برنامه گسترش به ۱۰۰ شهر تا ۲۰۳۰**

## ۹,۴ چالش‌های امنیت سایبری

### الف. سطح حمله گسترده (Attack Surface)

**نقاط آسیب‌پذیر:**

**OBU:** نرم‌افزار، سیستم‌عامل، رابط‌های خارجی

**RSU:** پورت‌های شبکه، اتصال به بک‌اند

**پلتفرم ابری:** API، دیتابیس، سیستم‌های احراز هویت

**کانال ارتباطی:** PC۵، Uu mode، Wi-Fi

**حملات شناخته‌شده:**

**Spoofing:** ارسال پیام‌های جعلی BSM/SPaT

**Jamming:** اختلال سیگنال C-V۲X

**Man-in-the-Middle:** رهگیری و تغییر پیام‌ها

**DDoS:** اشباع RSU یا پلتفرم ابری

### ب. چالش به‌روزرسانی امنیتی

**OTA Updates:**

**ریسک:** به‌روزرسانی آسیب‌دار می‌تواند میلیون‌ها خودرو را در معرض خطر قرار دهد

**الزام:** سیستم Code Signing با کلیدهای SM۲

**مشکل:** برخی OEMها هنوز سیستم OTA امن ندارند

**ج. تهدیدات زنجیره تأمین (Supply Chain)**

**نگرانی:**

- قطعات یا نرم‌افزارهای خارجی ممکن است درب‌های پشتی داشته باشند
- **راه‌حل چین:**
  - ❋ الزام به استفاده از چیپست‌های داخلی برای اجزای حساس
  - ❋ بازرسی کد منبع برای نرم‌افزارهای خارجی

**موضوع Huawei:**

ممنوعیت‌های غربی بر Huawei منجر به تسریع توسعه زنجیره تأمین داخلی در چین شده است

**۹,۵ چالش‌های عملیاتی و هماهنگی**

**الف. هماهنگی بین سطوح دولتی**

**ساختار چند لایه:**

- دولت مرکزی: سیاست‌های کلان و استانداردها (MIIT)
- دولت استانی: اجرا و تأمین مالی
- دولت شهری: استقرار و مدیریت عملیات

**چالش:**

- تفاوت در اولویت‌ها و منابع مالی
- تأخیر در پیاده‌سازی به دلیل بوروکراسی

**نمونه:**

- شهر **Xiangyang** (استان Hubei): سرعت بالای استقرار به دلیل حمایت قوی استانی
- شهرهای کوچک‌تر: تأخیر به دلیل کمبود بودجه

**ب. هماهنگی بین صنایع (Cross-Industry)**

**بازیگران متعدد:**

- صنعت خودرو (OEMs، Tier-۱)
- صنعت مخابرات (China Mobile، Huawei)
- صنعت حمل‌ونقل (MOT، شرکت‌های اتوبوس/تاکسی)
- صنعت فناوری (Baidu، Alibaba)

**چالش:**

- استانداردهای مختلف داخلی
- رقابت بر سر داده و کنترل پلتفرم

**راه‌حل:**

- **CAICV:** پلتفرم خنثی برای همکاری
- **پروژه‌های پایلوت مشترک:** اجبار به همکاری از طریق بودجه دولتی

**ج. پایداری مالی زیرساخت**

**مدل تأمین مالی:**

سرمایه‌گذاری اولیه: ۶۰-۷۰٪ دولتی

نگهداری: مسئولیت اپراتورها (China Mobile، etc.)

**چالش:**

**ROI نامشخص:** برگشت سرمایه برای RSU روشن نیست

**هزینه‌های بالای نگهداری:** برق، ارتباطات، تعمیرات

**مدل‌های نوآورانه:**

**تبلیغات کناری جاده:** RSUها به عنوان بیلبورد دیجیتال

**فروش داده (ناشناس):** به شهرداری‌ها برای برنامه‌ریزی شهری

**خدمات پولی:** Premium services برای ناوگان‌های تجاری

# فصل ۱۰: چشم‌انداز آینده و نتیجه‌گیری

## ۱۰٫۱ روندهای آینده

### الف. تکامل به 6G-V2X (۲۰۲۸-۲۰۳۵)

**چشم‌انداز فناوری:**

- **پهنای باند:** ۱۰۰+ Gbps
- **تأخیر:** ۱< میلی‌ثانیه
- **کاربردها:**
  - ❋ Holographic Communication بین خودروها
  - ❋ Massive Sensor Data Sharing (LiDAR کامل)
  - ❋ Brain-Computer Interfaces برای کنترل خودرو

**استراتژی چین:**

- **IMT-۲۰۳۰ Promotion Group:** تحقیقات پیش‌استاندارد 6G
- **هدف:** رهبری جهانی در استانداردسازی 6G

**ب. Digital Twin Cities**

**مفهوم:**

- ایجاد یک کپی دیجیتال کامل از شهر در فضای ابری
- شبیه‌سازی زمان‌واقعی تمام ترافیک و خودروها
- **پیش‌بینی:** تصمیم‌گیری پیش‌بینانه برای مدیریت ترافیک

**پروژه‌های پایلوت:**

- **شانگهای:** Digital Twin کامل منطقه Pudong (۲۰۲۴)
- **پکن:** Digital Twin کریدور Olympic (۲۰۲۲، در حال گسترش)

**فناوری‌های کلیدی:**

- **AI/ML:** یادگیری تقویتی برای کنترل سیگنال
- **۶G/۵G:** اتصال بلادرنگ میلیون‌ها سنسور
- **Edge Computing:** پردازش محلی حجم عظیم داده

**ج. Vehicle-as-a-Service (VaaS)**

- تحول مدل مالکیت:
- از مالکیت فردی به اشتراک‌گذاری خودمختار
- **Robotaxi Fleets:** مدیریت‌شده توسط AI

**پیش‌بینی‌ها:**

**۲۰۳۰:** ۳۰٪ سفرهای شهری از طریق Robotaxi

**۲۰۳۵:** کاهش ۵۰٪ مالکیت خودروی شخصی در شهرهای Tier ۱

**بازیگران کلیدی:**

- **Baidu Apollo:** سرویس Apollo Go در ۱۰ شهر
- **Alibaba (AutoX):** پرمجوزترین Robotaxi در شنژن
- **WeRide:** همکاری با Nissan برای تولید انبوه

**د. یکپارچه‌سازی کامل V2G و شبکه هوشمند**

**چشم‌انداز ۲۰۳۰:**

- ۲۰ میلیون خودروی برقی به عنوان "باتری موبایل" شبکه
- ظرفیت ذخیره‌سازی: ۱۰۰۰+ GWh
- مدیریت بار: کاهش ۲۰٪ نیاز به نیروگاه‌های پیک

**مدل اقتصادی:**

**درآمد مالکان:** ۱۰۰–۲۰۰ دلار/ماه از فروش برق به شبکه

**بهینه‌سازی:** شارژ در زمان برق ارزان (شب)، تخلیه در پیک (عصر)

## ۱۰٫۲ نتیجه‌گیری: موفقیت‌ها، چالش‌ها و درس‌آموخته‌ها

### الف. عوامل کلیدی موفقیت چین

**۱. رهبری دولت مرکزی:**

- سیاست‌گذاری Top-Down قاطع
- تخصیص منابع عظیم مالی
- هماهنگی بین نهادهای مختلف

**۲. اکوسیستم صنعتی منسجم:**

- همکاری نزدیک OEM، تأمین‌کنندگان، اپراتورهای مخابراتی
- نقش CAICV به عنوان پلتفرم هماهنگی

**۳. استانداردسازی سریع:**

- انتشار ۷۰+ استاندارد ملی در < ۵ سال
- همگام‌سازی با 3GPP

**۴. پایلوت‌های گسترده:**

- ۱۶+ شهر VRCIS
- ۲۰+ منطقه تست خودرو خودران

### ب. چالش‌های باقی‌مانده

**۱. شکاف قانونی:**

- نبود قانون ملی واحد برای مسئولیت تصادفات

- تفاوت‌های مقررات محلی

**۲. حریم خصوصی و پذیرش عمومی:**

- نگرانی‌های مداوم درباره نظارت دولتی
- سطح اعتماد پایین به خودروهای کاملاً خودران

**۳. انزوای فناوری:**

- استانداردهای رمزنگاری ملی مانع همکاری بین‌المللی
- نیاز به دو توسعه موازی برای OEMها

**۴. پایداری مالی:**

- مدل بازگشت سرمایه برای زیرساخت RSU نامشخص
- وابستگی به یارانه‌های دولتی

**ج. درس‌آموخته‌ها برای سایر کشورها**

**۱. لزوم تعامل دولت-صنعت:**

- رویکرد صرفاً بازارمحور (مثل آمریکا تا ۲۰۲۰) به استقرار کند منجر می‌شود
- نقش هدایت‌کننده دولت ضروری است

**۲. اهمیت استانداردسازی زودهنگام:**

- تأخیر در استانداردسازی (مثل اروپا) منجر به fragmentation می‌شود

**۳. ضرورت رویکرد سیستمی:**

- V۲X نه تنها یک فناوری خودرو، بلکه یک سیستم حمل‌ونقل هوشمند است
- نیاز به همکاری cross-industry

**۴. تعادل بین امنیت و نوآوری:**

- الزامات امنیتی سختگیرانه ضروری، اما نباید مانع نوآوری شوند
- چین با رویکرد "امنیت‌محور" موفق بوده، اما قیمت آن محدودیت در همکاری بین‌المللی است

**۱۰,۳ جمع‌بندی نهایی**

چین با پیاده‌سازی جامع C-V۲X خود، یک **مدل منحصر به فرد** از توسعه فناوری ارائه داده است که بر **رهبری دولت، استانداردسازی سریع و یکپارچه‌سازی اکوسیستم** متکی است. این رویکرد، علی‌رغم چالش‌های مربوط به حریم خصوصی و انزوای فناوری، به دستاوردهای قابل توجهی منجر شده است:

**دستاوردهای کمی:**

- **نفوذ ۵۰٪** در خودروهای جدید تا ۲۰۲۵ (پیش‌بینی)
- **۷۰+ استاندارد ملی** منتشرشده
- **۱۶ شهر VRCIS** در حال استقرار
- **۱۰+ OEM** تولید انبوه C-V۲X

**دستاوردهای کیفی:**

- ایجاد یک **اکوسیستم داخلی کامل** (از چیپست تا خودرو)

- رهبری در استانداردسازی **5G-V2X**
- پیشگامی در **VRCIS** (Vehicle-Road-Cloud Integration)

**چشم‌انداز آینده:**

مسیر چین به سمت یک **جامعه کاملاً متصل و خودران** تا ۲۰۳۵ روشن است. با این حال، موفقیت بلندمدت به توانایی رفع چالش‌های حریم خصوصی، پایداری مالی و همکاری بین‌المللی بستگی دارد.

آیا چین قادر خواهد بود استانداردهای خود را به سطح جهانی گسترش دهد، یا اینکه دنیا به دو اکوسیستم جدا (چین vs. غرب) تقسیم می‌شود؟ پاسخ به این سؤال، آینده V2X جهانی را تعیین خواهد کرد.

بخش سوم

# گزارش جامع پیاده‌سازی فناوری خودروهای متصل و خودران (V2X/CAM) در بریتانیا: تحلیل راهبردی چارچوب حکمرانی و اجرا

**خلاصه اجرایی**

این گزارش به تحلیل جامع چارچوب حکمرانی و پیاده‌سازی فناوری‌های خودروهای متصل و خودران (Connected and Automated Mobility - CAM) و ارتباطات وسیله نقلیه با همه چیز (Vehicle-to-Everything - V2X) در بریتانیا می‌پردازد. مدل سه‌جانبه بریتانیا که بر اصلاحات حقوقی پیش‌نگرانه، تأمین مالی هدفمند تحقیق و توسعه و هماهنگی صنعت‌محور استوار است، چارچوبی منحصربه‌فرد برای کاهش ریسک‌های پیاده‌سازی این فناوری‌ها فراهم می‌آورد (DfT, ۲۰۲۲). هدف این گزارش، ارائه تحلیلی عمیق برای سیاست‌گذاران، متخصصان صنعت و محققان است تا درک روشنی از الزامات، چالش‌ها و فرصت‌های پیش رو در زمینه‌های تنظیم‌گری، تجاری‌سازی و پذیرش عمومی این فناوری‌ها به دست آورند.

# فصل اول: مبانی نظری و مفاهیم کلیدی

**مقدمه**

فهم دقیق مفاهیم بنیادین و تمایزات فناورانه، پیش‌نیاز اساسی برای سیاست‌گذاری و تنظیم‌گری مؤثر در حوزه حمل‌ونقل هوشمند است. بدون تفکیک واضح مفاهیم «متصل»، «خودکار» و «خودران»، انتظارات عمومی به شکل غیرواقعی شکل می‌گیرد و چارچوب‌های قانونی دچار ابهام می‌شوند. این فصل به تعریف دقیق این مفاهیم و تبیین چشم‌انداز حمل‌ونقل آینده می‌پردازد.

**بخش ۱٫۱: تبیین چشم‌انداز تحول حمل‌ونقل**

فناوری‌های CAM و V2X در آستانه تحولی بنیادین در نظام حمل‌ونقل جهانی قرار دارند و پتانسیل بازتعریف ایمنی، بهره‌وری، دسترسی و پایداری زیست‌محیطی را ارائه می‌دهند. این فناوری‌ها نه تنها نحوه رانندگی را تغییر خواهند داد، بلکه ساختار اقتصادی و اجتماعی حمل‌ونقل را نیز دگرگون خواهند کرد.

**بخش ۱٫۲: تمایز مفهومی و فناورانه**

**۱٫۲٫۱: خودروهای متصل (Connected Vehicles)**

خودروهای متصل به وسایل نقلیه‌ای اطلاق می‌شود که قابلیت ارتباط با زیرساخت‌های جاده‌ای، سایر خودروها و شبکه‌های اطلاعاتی را دارند. این خودروها همچنان نیازمند راننده انسانی هستند و مسئولیت کامل رانندگی بر عهده انسان است (DfT, ۲۰۲۲).

**۱،۲،۲: خودروهای خودکار (Automated Vehicles)**

خودروهای خودکار دارای سیستم‌های کمک راننده پیشرفته (ADAS) هستند که برخی وظایف رانندگی را انجام می‌دهند، اما راننده باید همواره آماده بازپس‌گیری کنترل باشد. این سطح از اتوماسیون شامل سطوح ۱ تا ۳ طبقه‌بندی SAE می‌شود.

**۱،۲،۳: خودروهای خودران (Self-Driving Vehicles)**

خودروهای خودران قادرند بدون دخالت راننده انسانی عمل کنند. در این حالت، مسئولیت رانندگی از سرنشین انسانی به نهاد توسعه‌دهنده سیستم خودران (Automated System Developer Entity - ASDE) منتقل می‌شود (UK Government, n.d.a). این تمایز حقوقی، مبنای اصلی قانون‌گذاری بریتانیا را تشکیل می‌دهد.

**بخش ۱،۳: فناوری V2X و کاربردهای آن**

**۱،۳،۱: تعریف و انواع V2X**

V2X یک اصطلاح چتری است که انواع مختلف ارتباطات دوطرفه انرژی بین خودروهای برقی و سایر نقاط را شامل می‌شود:

- **Vehicle-to-Home (V2H):** تبادل انرژی بین خودرو و خانه
- **Vehicle-to-Building (V2B):** تبادل انرژی با ساختمان‌ها
- **Vehicle-to-Grid (V2G):** تبادل انرژی با شبکه برق (V2BUILD Project, n.d.).

**۱،۳،۲: V2X به عنوان منبع انرژی توزیع‌شده**

V2X خودروی برقی را به یک منبع انرژی توزیع‌شده (Distributed Energy Resource - DER) تبدیل می‌کند که قابلیت ذخیره‌سازی انرژی را بر وظیفه اولیه حمل‌ونقل می‌افزاید (UKRI, n.d.). این دوگانگی نقش، فرصت‌های اقتصادی جدیدی برای مالکان خودروها و چالش‌های تنظیمی پیچیده‌ای برای سیاست‌گذاران ایجاد می‌کند.

**بخش ۱,۴: سطوح اتوماسیون و استانداردهای بین‌المللی**

طبقه‌بندی SAE International (Society of Automotive Engineers) شش سطح اتوماسیون را از صفر (بدون اتوماسیون) تا پنج (اتوماسیون کامل) تعریف می‌کند. درک این سطوح برای تنظیم‌گری و تعیین مسئولیت‌های قانونی ضروری است (ITS UK & IET, ۲۰۱۷).

# فصل دوم: چارچوب حکمرانی و نهادی

**مقدمه**

موفقیت در پیاده‌سازی فناوری‌های CAM و V2X نیازمند یک ساختار حکمرانی چندسطحی است که نهادهای تنظیم‌گر، صنعتی و محلی را در یک چارچوب هماهنگ گردهم آورد. مدل سه‌جانبه بریتانیا که شامل کمیسیون‌های حقوقی، Innovate UK و Zenzic است، الگویی منحصربه‌فرد برای این هماهنگی فراهم می‌آورد.

**بخش ۲،۱: نهادهای دولتی و تقسیم کار ملی**

**۲،۱،۱: وزارت حمل‌ونقل (DfT)**

وزارت حمل‌ونقل بریتانیا مسئولیت رهبری سیاست‌گذاری و استراتژی ملی برای CAM را بر عهده دارد. این نهاد نقشه راه "Connected & Automated Mobility ۲۰۲۵" را منتشر کرده که هدف آن تجاری‌سازی کامل CAM تا سال ۲۰۲۵ است (DfT, ۲۰۲۲).

**۲،۱،۲: دپارتمان امنیت انرژی و کربن صفر خالص (DESNZ)**

DESNZ مسئول سیاست‌گذاری در حوزه انرژی و تأمین مالی برنامه‌های نوآوری V2X است. این دپارتمان با Ofgem (نهاد تنظیم‌گر بازار انرژی) همکاری نزدیک دارد تا یک انتقال کم‌هزینه به سیستم انرژی پایدار را تضمین کند (UKRI, n.d.).

**۲،۱،۳: Ofgem (نهاد تنظیم‌گر انرژی)**

Ofgem بر تضمین عملکرد کارآمد بازار انرژی و ایجاد انگیزه‌های مناسب برای سرمایه‌گذاری در زیرساخت‌های شارژ هوشمند نظارت می‌کند (UK Government, n.d.a).

## بخش ۲,۲: نهادهای واسط و هماهنگی صنعتی

### ۲,۲,۱: Zenzic و CAM Testbed UK

Zenzic یک نهاد صنعت‌محور است که با سرمایه‌گذاری ۲۰۰ میلیون پوندی، زیرساخت‌های آزمایش و محیط‌های کنترل‌شده برای توسعه فناوری‌های CAM فراهم می‌کند (DfT, ۲۰۲۲). این نهاد نقش کلیدی در هماهنگی میان تولیدکنندگان، دانشگاه‌ها و دولت ایفا می‌کند.

### ۲,۲,۲: Innovate UK

Innovate UK سازمان تأمین مالی تحقیق و توسعه دولت بریتانیا است که برنامه‌های نوآوری هدفمند مانند V2X Innovation Programme را اداره می‌کند (Innovate UK, n.d.). این برنامه‌ها بر رفع موانع فنی و تنظیمی برای پیاده‌سازی تجاری V2X تمرکز دارند.

### ۲,۲,۳: انجمن بیمه‌گران بریتانیا (ABI)

ABI نقش حیاتی در تعریف الزامات داده و استانداردهای اشتراک اطلاعات برای تعیین مسئولیت در تصادفات خودروهای خودران دارد (ABI, ۲۰۲۴). این انجمن "اصول اشتراک داده" را برای خودروهای خودران تدوین کرده است.

### ۲,۲,۴: انجمن تولیدکنندگان و فروشندگان خودرو (SMMT)

SMMT نماینده صنعت خودروسازی بریتانیا است و در هماهنگی پیام‌رسانی عمومی و کاهش سردرگمی درباره قابلیت‌های سیستم‌های ADAS نقش دارد (SMMT, n.d.).

### ۲,۲,۵: گروه AV-DRiVE

این گروه برای هماهنگی پیام‌رسانی عمومی و ایجاد آگاهی درست درباره تمایز میان سیستم‌های کمک راننده و خودروهای کاملاً خودران تأسیس شده است (DfT, ۲۰۲۳).

## بخش ۲,۳: نقش مقامات محلی

مقامات محلی نقش کلیدی در برنامه ریزی و تدارک سیستم های حمل ونقل هوشمند دارند، از جمله:

- مدیریت زیرساخت‌های شارژ EV

- استفاده از داده‌های خودروهای متصل برای کاهش تراکم
- هماهنگی با نهادهای ملی برای پیاده‌سازی استانداردهای ITS (IET & ITS UK, ۲۰۱۷)

**بخش ۲,۴: مدل سه‌جانبه بریتانیا**

تعامل منحصربه‌فرد میان کمیسیون‌های حقوقی (برای اصلاحات پیش‌نگرانه قانون)، Innovate UK (برای تأمین مالی هدفمند) و Zenzic (برای هماهنگی صنعتی) یک اکوسیستم یکپارچه برای نوآوری مسئولانه ایجاد کرده است که ریسک‌های پیاده‌سازی را کاهش می‌دهد (DfT, ۲۰۲۲).

# فصل سوم: چارچوب قانونی و تنظیم‌گری

**مقدمه**

تنظیم‌گری مؤثر برای گذار از مرحله آزمایش به استقرار تجاری CAM و V2X ضروری است. عدم قطعیت قانونی بزرگترین مانع سرمایه‌گذاری خصوصی در این بخش است (Ferris & Marson, ۲۰۲۵). بریتانیا با یک رویکرد جامع به قانون‌گذاری، تلاش می‌کند این موانع را برطرف کند.

**بخش ۳،۱: قانون‌گذاری برای خودروهای خودران**

**۳،۱،۱: قانون وسایل نقلیه خودران (Automated Vehicles Bill)**

این قانون پیشنهادی، که در حال بررسی است، مهم‌ترین گام در رفع عدم قطعیت قانونی محسوب می‌شود. هدف اصلی این قانون، انتقال مسئولیت قانونی از سرنشین انسانی به نهاد توسعه‌دهنده سیستم خودران (ASDE) است (UK Government, n.d.a).

**ویژگی‌های کلیدی قانون:**

- تعریف واضح «نهاد مسئول» (ASDE) که مسئولیت عملکرد سیستم خودران را دارد
- الزام به دریافت مجوز از نهاد ناظر ایمنی (Safety Assurance Body)
- تعیین استانداردهای امنیت سایبری بر اساس "اصول کلیدی امنیت سایبری برای خودروهای متصل و خودکار" (UK Government, n.d.b)

**۳،۱،۲: چارچوب تضمین ایمنی (CAVPASS)**

سیستم CAVPASS (Connected and Automated Vehicle Pathway to Approval for Safety and Security) یک فرآیند جامع ارزیابی ایمنی و امنیت است که شامل:

- ارزیابی ریسک سایبری مبتنی بر استانداردهای بین‌المللی (TRL, ۲۰۲۲)
- تست‌های عملکرد در محیط‌های واقعی و شبیه‌سازی‌شده
- نظارت مستمر پس از استقرار

**۳،۱،۳: نهاد تحقیق و تفحص ایمنی جاده‌ای (RSIB)**

RSIB قرار است تا سال ۲۰۲۵-۲۰۲۶ عملیاتی شود و مسئولیت تحقیق در حوادث جدی مرتبط با خودروهای خودران را بر عهده داشته باشد (DfT, ۲۰۲۳). این نهاد مستقل از سایر نهادهای دولتی عمل خواهد کرد.

**بخش ۳،۲: تنظیم‌گری حوزه V2X و انرژی**

**۳،۲،۱: چارچوب تنظیمی شارژ دوطرفه در اروپا و بریتانیا**

ارزیابی DNV و smartEn نشان می‌دهد که موانع تنظیمی برای V2X در سراسر اروپا متفاوت است، اما برخی موارد مشترک وجود دارد (smartEn, n.d & DNV.):

- نبود چارچوب مشخص برای اندازه‌گیری (metering) انرژی دوطرفه
- عدم وضوح در مالیات‌ها و تعرفه‌های شبکه برای V2G
- نیاز به استانداردسازی فنی شارژرهای دوطرفه

**۳،۲،۲: برنامه اقدام شارژ هوشمند بریتانیا**

این برنامه راهبرد دولت برای گسترش شارژ هوشمند را تعیین می‌کند و پیش‌بینی می‌کند که شارژ هوشمند تا حدود سال ۲۰۲۵ در خانه‌ها و محیط کار به هنجار تبدیل شود (UK

.(Government, n.d.a

**اهداف کلیدی:**

- الزامی کردن قابلیت شارژ هوشمند در تمام نقاط شارژ جدید
- ایجاد استانداردهای قابلیت همکاری (interoperability)
- حمایت از توسعه V2X از طریق برنامه‌های نوآوری

**۳،۲،۳: استاندارد PAS ۱۸۷۸**

این استاندارد بریتانیایی برای سیستم‌های پاسخ به تقاضای همکار (Demand Side Response) طراحی شده و چارچوبی برای ارتباط امن و کارآمد میان خودروهای برقی، شارژرها و سیستم مدیریت انرژی فراهم می‌کند (Innovate UK, n.d.).

**بخش ۳،۳: حفاظت از داده و حریم خصوصی**

**۳،۳،۱: اصول اشتراک داده ABI**

انجمن بیمه‌گران بریتانیا اصولی برای اشتراک داده‌های خودروهای خودران تدوین کرده که شامل موارد زیر است (ABI, ۲۰۲۴):

- حداقل‌سازی داده‌های جمع‌آوری‌شده
- رمزنگاری و حفاظت از حریم خصوصی
- دسترسی شفاف و قابل ممیزی به داده‌ها
- محدودیت در استفاده از داده‌های شخصی

**۳،۳،۲: تحقیق داده‌های خودروهای متصل**

پروژه تحقیقاتی DfT درباره داده‌های خودروهای متصل، چارچوبی برای مدیریت داده‌های تولید

شده توسط این خودروها ارائه کرده است که بر تعادل میان نوآوری، ایمنی و حریم خصوصی تأکید دارد (DfT, ۲۰۲۰).

## بخش ۳,۴: تنظیم‌گری امنیت سایبری

### ۳,۴,۱: اصول کلیدی امنیت سایبری

دولت بریتانیا هشت اصل کلیدی برای امنیت سایبری خودروهای متصل و خودکار تعریف کرده است (UK Government, n.d.b):

**۱. سازمان‌ها باید امنیت سایبری را در سطح هیئت مدیره مدیریت کنند**

**۲. ارزیابی و مدیریت ریسک‌های امنیتی باید در طول چرخه عمر محصول ادامه یابد**

**۳. همه سازمان‌ها در زنجیره تأمین باید امنیت سایبری را در اولویت قرار دهند**

**۴. سیستم‌ها باید با رویکرد "امنیت از ابتدا" طراحی شوند**

**۵. محصولات باید در برابر حملات سایبری مقاوم باشند**

**۶. به‌روزرسانی‌های امنیتی باید به موقع و ایمن ارائه شوند**

**۷. داده‌های ذخیره‌شده و منتقل‌شده باید محافظت شوند**

**۸. پاسخ به حوادث سایبری باید سازمان‌یافته و آزمایش‌شده باشد**

### ۳,۴,۲: بهترین شیوه‌های امنیت سایبری در مستندات ایمنی

گزارش TRL درباره بهترین شیوه‌های امنیت سایبری برای گنجاندن در مستندات ایمنی CAV، چارچوبی جامع برای ارزیابی و مستندسازی اقدامات امنیت سایبری ارائه می‌دهد (TRL, ۲۰۲۲).

# فصل چهارم: زیرساخت‌ها و الزامات فنی

**مقدمه**

پیاده‌سازی موفق CAM و V2X نیازمند زیرساخت‌های فیزیکی و دیجیتالی پیشرفته است. این فصل به تحلیل الزامات فنی، استانداردها و چالش‌های زیرساختی می‌پردازد.

**بخش ۴,۱: زیرساخت‌های ارتباطی و دیجیتال**

**۴,۱,۱: پلتفرم TN-ITS اروپا**

پلتفرم TN-ITS (Transport Network - Intelligent Transport Systems) یک سازوکار تبادل داده‌های فضایی معتبر جاده‌ای بین مقامات و سازندگان نقشه را مدیریت می‌کند. این پلتفرم اساس استانداردهای تبادل داده‌های ترافیک را تشکیل می‌دهد (ERTICO-ITS Europe, ۲۰۲۵).

**قابلیت‌های کلیدی:**

- تبادل داده‌های زنده ترافیک
- اطلاعات رویدادهای جاده‌ای
- داده‌های نقشه دیجیتال با دقت بالا

**۴,۱,۲: استانداردهای ارتباطی**

دو استاندارد اصلی برای ارتباطات V2X وجود دارد:

- **Dedicated Short-Range Communications (DSRC):** برمبنای WiFi

- **Cellular V2X (C-V2X):** بر مبنای شبکه‌های سلولی 5G

بریتانیا رویکرد فناوری-محور (technology-neutral) را اتخاذ کرده تا از هر دو استاندارد در صورت نیاز پشتیبانی کند (University of Westminster, ۲۰۲۰).

**بخش ۴,۲: زیرساخت‌های شارژ و V2X**

**۴,۲,۱: تمایز فنی AC در مقابل DC در شارژ دوطرفه**

دو رویکرد اصلی فنی برای V2X وجود دارد که بر اساس موقعیت اینورتر نسبت به وسیله نقلیه متفاوت هستند:

**شارژ AC دوطرفه:**

- اینورتر داخل خودرو قرار دارد
- خودرو DC باتری را به AC برای تخلیه تبدیل می‌کند
- نیاز به استانداردسازی پورت شارژ و پروتکل ارتباطی

**شارژ DC دوطرفه:**

- اینورتر در شارژر خارجی قرار دارد
- انعطاف بیشتر در انطباق با الزامات شبکه
- هزینه بالاتر زیرساخت (Innovate UK, n.d.)

**۴,۲,۲: قابلیت همکاری (Interoperability)**

برنامه‌های نوآوری انرژی بریتانیا بر پشتیبانی از توسعه سیستم‌های پاسخ به تقاضای همکار (DSR) از طریق سیستم کنتورگذاری هوشمند و استفاده از استانداردهایی نظیر PAS ۱۸۷۸ تمرکز دارند (UKRI, n.d.).

**چالش‌های قابلیت همکاری:**

- تنوع پروتکل‌های ارتباطی
- نیاز به گواهی‌نامه‌های امنیتی مشترک
- سازگاری با سیستم‌های قدیمی

**بخش ۴،۳: محیط‌های آزمایش (Testbeds)**

**۴،۳،۱: راهرو متصل M2/A2**

پروژه راهرو متصل M2/A2 یک محیط آزمایش واقعی برای فناوری‌های خودروهای متصل و خودران است که توسط دانشگاه وست‌مینستر اداره می‌شود (University of Westminster, ۲۰۲۰).

**امکانات:**

- زیرساخت‌های ارتباطی پیشرفته
- سنسورهای جاده‌ای متصل
- پلتفرم تحلیل داده

**۴،۳،۲: شبکه Testbed ملی CAM**

شبکه Testbed ملی با سرمایه‌گذاری ۲۰۰ میلیون پوندی، مجموعه‌ای از محیط‌های آزمایش در سراسر بریتانیا را فراهم کرده که شامل محیط‌های شهری، بین‌شهری و آزمایشگاهی است (DfT, ۲۰۲۲).

**بخش ۴،۴: زیرساخت داده و پردازش**

**۴،۴،۱: سیستم‌های Cloud و Edge Computing**

پردازش داده‌های حجیم تولید شده توسط خودروهای متصل نیازمند ترکیبی از پردازش ابری و

لبه (edge) است تا تأخیر (latency) کاهش یابد و تصمیم‌گیری در زمان واقعی امکان‌پذیر شود.

**۴,۴,۲: الزامات پهنای باند**

خودروهای کاملاً خودران می‌توانند تا **۴ ترابایت داده در روز** تولید کنند (ERTICO-ITS Europe, ۲۰۲۵). این حجم عظیم داده نیازمند زیرساخت‌های ارتباطی با پهنای باند بالا و قابلیت اطمینان است.

**الزامات شبکه برای انواع کاربردها:**

| نوع کاربرد | قابلیت اطمینان | تأخیر مجاز | پهنای باند مورد نیاز |
|---|---|---|---|
| ایمنی بحرانی (**V۲V**) | ۹۹.۹۹۹٪ | ms۱۰> | Mbps۱۰-۵۰ |
| ناوبری و نقشه های **HD** | ۹۹.۹۹٪ | ms۵۰> | Mbps۵۰-۱۰۰ |
| به روزرسانی نرم افزار (**OTA**) | ۹۹.۹٪ | غیربحرانی | Mbps۱۰۰-۵۰۰ |
| سرگرمی درون خودرو | ۹۹٪ | ms۱۰۰> | Mbps۲۵-۱۰۰ |
| پردازش ابری تله متری | ۹۹.۵٪ | ms۲۰۰> | Mbps۱-۱۰ |

**راهکارهای فنی برای مدیریت داده:**

**الف) معماری ترکیبی Cloud-Edge:**

برای مدیریت حجم بالای داده و کاهش تأخیر، یک **معماری ترکیبی** پیشنهاد می‌شود (University of Westminster, ۲۰۲۰):

**Edge Computing**: پردازش داده‌های بحرانی ایمنی (تصمیمات میلی‌ثانیه‌ای) به صورت محلی در خودرو یا RSU

**Fog Computing**: پردازش داده‌های کمتر بحرانی در سطح منطقه‌ای (مثلاً مدیریت ترافیک محلی)

**Computing Cloud**: پردازش داده‌های تجمعی، به‌روزرسانی‌های نرم‌افزاری و

تحلیل‌های بلندمدت

**ب) فشرده‌سازی و فیلتراسیون داده:**

- استفاده از الگوریتم‌های فشرده‌سازی پیشرفته برای کاهش ۶۰-۸۰٪ حجم داده قبل از انتقال
- فیلتراسیون داده‌های غیرضروری در سطح سنسور
- ارسال انتخابی داده‌ها بر اساس اولویت و شرایط شبکه

**ج) مدیریت پویای پهنای باند:**

- تخصیص پویای پهنای باند بر اساس شرایط ترافیک
- اولویت‌بندی داده‌های ایمنی بحرانی (QoS)
- استفاده از network slicing در شبکه‌های 5G

**۴,۴,۳: امنیت و یکپارچگی داده**

**چالش‌های امنیتی در مدیریت داده:**

حجم و تنوع داده‌های CAV آن‌ها را به هدف جذابی برای حملات سایبری تبدیل می‌کند (TRL, ۲۰۲۲). اصول امنیتی زیر باید در معماری داده رعایت شوند:

**الف) رمزنگاری end-to-end:**

- استفاده از پروتکل‌های رمزنگاری استاندارد (TLS ۱,۳ یا بالاتر)
- مدیریت کلیدهای رمزنگاری با استفاده از Hardware Security Modules (HSM)
- چرخش منظم کلیدها و گواهینامه‌های دیجیتال

**ب) احراز هویت و مجوزدهی:**

- احراز هویت چندعاملی برای دسترسی به سیستم‌های حیاتی
- مدل دسترسی مبتنی بر نقش (RBAC) برای کنترل دسترسی
- ثبت و نظارت بر تمامی دسترسی‌ها (audit logs)

**ج) تشخیص نفوذ و نظارت:**

- استقرار **سیستم‌های تشخیص نفوذ (IDS)** در نقاط ورودی شبکه
- نظارت بلادرنگ بر ترافیک غیرعادی
- پاسخ خودکار به تهدیدات شناخته‌شده

**د) یکپارچگی و صحت داده:**

- استفاده از توابع hash و امضای دیجیتال برای تضمین یکپارچگی
- مکانیزم‌های تأیید اعتبار داده در نقاط دریافت
- نسخه‌برداری و بازیابی داده در صورت فساد

**۴،۴،۴: استانداردهای مدیریت داده**

**استاندارد oneM۲M:**

برای جلوگیری از **سیلوهای داده (data silos)** و تسهیل قابلیت همکاری، استفاده از استانداردهای باز ضروری است (ITS UK & IET, ۲۰۱۷).

**ویژگی‌های کلیدی oneM۲M:**

**معماری فدرال:** امکان اتصال پلتفرم‌های مختلف بدون وابستگی به فروشنده

خاص

**رابط‌های باز (Open APIs):** تسهیل یکپارچه‌سازی خدمات شخص ثالث

**مقیاس‌پذیری:** قابلیت گسترش از سطح محلی به ملی و بین‌المللی

**امنیت یکپارچه:** مکانیزم‌های امنیتی استاندارد در تمام لایه‌ها

**مزایای استقرار:**

- کاهش هزینه‌های یکپارچه‌سازی تا ۴۰٪
- کاهش زمان استقرار خدمات جدید
- جلوگیری از vendor lock-in
- افزایش انعطاف‌پذیری در انتخاب تأمین‌کنندگان

**۴,۴,۵: پلتفرم ملی دسترسی به داده**

**Connected Vehicle Data Exchange (CONVEX):**

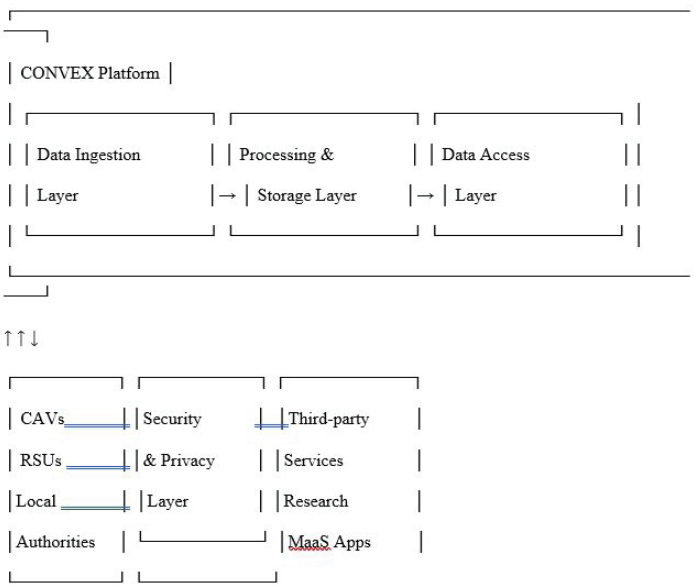
بریتانیا در حال توسعه یک **نقطه دسترسی ملی (National Access Point)** برای داده‌های حمل‌ونقل است (DfT, ۲۰۲۰).

**اهداف پلتفرم:**

- یکپارچه‌سازی داده‌ها از منابع مختلف (مقامات محلی، اپراتورهای حمل‌ونقل، خودروسازان)
- تسهیل اشتراک‌گذاری داده با حفظ حریم خصوصی
- ایجاد بازاری برای خدمات داده‌محور

- تضمین کیفیت و اعتبار داده‌ها

**معماری پیشنهادی:**




**ویژگی‌های کلیدی:**

- **API استاندارد:** رابط‌های RESTful برای دسترسی آسان
- **حفظ حریم خصوصی:** ناشناس‌سازی خودکار داده‌های شخصی
- **کنترل دسترسی**: مدیریت دقیق سطوح دسترسی
- **SLA تضمین‌شده**: تضمین در دسترس بودن ۹۹٫۹٪

## بخش ۴,۵: زیرساخت‌های حمایتی و خدمات پشتیبانی

### ۴,۵,۱: مراکز کنترل و نظارت

برای مدیریت اثربخش ناوگان‌های CAV، به ویژه در بخش حمل‌ونقل عمومی، **مراکز کنترل متمرکز (Control Centers)** ضروری هستند.

**وظایف کلیدی:**

**الف) نظارت بلادرنگ:**

- پایش وضعیت تمامی خودروها
- شناسایی ناهنجاری‌ها و هشدارهای سیستم
- نمایش موقعیت مکانی و وضعیت مسیر

**ب) مداخله از راه دور:**

- فرمان‌دهی در شرایط اضطراری
- تغییر مسیر پویا
- راه‌اندازی مجدد یا خاموش کردن سیستم‌ها

**ج) تحلیل و گزارش‌دهی:**

- تولید گزارش‌های عملکرد
- تحلیل الگوهای استفاده
- شناسایی نقاط بهبود

**الزامات فنی مرکز کنترل:**

| جنبه | الزامات |
|---|---|
| ارتباطات | اتصال redundant با پشتیبان، پهنای باند ≥ ۱ Gbps |
| نمایش | دیوارهای ویدئویی HD، چیدمان ergonomic |
| پردازش | سرورهای high-availability با failover خودکار |
| امنیت | کنترل دسترسی فیزیکی، نظارت ۷/۲۴ |
| برق اضطراری | UPS + ژنراتور با قابلیت ۷۲ ساعت |

**۴،۵،۲: زیرساخت نگهداری و تعمیرات**

**چالش‌های نگهداری CAV:**

خودروهای خودران دارای سیستم‌های پیچیده‌تری نسبت به خودروهای سنتی هستند که نیازمند زیرساخت‌های تخصصی است (SMMT, n.d.).

**الف) تجهیزات تشخیص پیشرفته:**

- دستگاه‌های کالیبراسیون سنسورها (LiDAR، رادار، دوربین)
- سیستم‌های تست امنیت سایبری
- شبیه‌سازهای شرایط رانندگی

**ب) نیروی کار ماهر:**

- تکنسین‌های آموزش‌دیده در سیستم‌های خودران

- متخصصان امنیت سایبری خودرو
- مهندسان نرم‌افزار برای به‌روزرسانی‌ها

**ج) استانداردهای ایمنی کارگاه:**

- ایمن‌سازی سیستم‌های ولتاژ بالا (برای EVها)
- پروتکل‌های غیرفعال‌سازی سیستم‌های خودران
- آموزش مداوم کارکنان

**هزینه‌های سرمایه‌گذاری:**

برای یک تسهیلات نگهداری استاندارد با ظرفیت ۵۰ خودرو:

| آیتم | هزینه تخمینی (£) |
|---|---|
| تجهیزات کالیبراسیون | ۳۰۰،۰۰۰-۲۰۰،۰۰۰ |
| ابزارهای تشخیص | ۲۵۰،۰۰۰-۱۵۰،۰۰۰ |
| آموزش نیروی کار | ۱۰۰،۰۰۰-۵۰،۰۰۰ |
| سیستم‌های ایمنی | ۱۲۵،۰۰۰-۷۵،۰۰۰ |
| جمع | ۷۷۵،۰۰۰-۴۷۵،۰۰۰ |

**۴،۵،۳: سیستم‌های پشتیبانی مشتری**

**الف) مرکز تماس پیشرفته:**

- پشتیبانی ۷/۲۴ با زمان پاسخ < ۲ دقیقه
- متخصصان آموزش‌دیده در سیستم‌های خودران
- قابلیت تشخیص از راه دور

**ب) اپلیکیشن موبایل:**

- نمایش وضعیت بلادرنگ خودرو
- درخواست کمک اضطراری
- پیگیری خدمات نگهداری

**ج) پورتال وب:**

- دسترسی به تاریخچه خدمات
- زمان‌بندی قرار ملاقات
- دریافت به‌روزرسانی‌های نرم‌افزاری

**بخش ۴۶: الزامات زیرساختی برای انواع سناریوهای استقرار**

**۴۶٫۱: محیط‌های شهری**

**ویژگی‌های کلیدی:**

- تراکم بالای ترافیک و پیاده‌روان
- سرعت پایین اما تصمیمات پیچیده
- نیاز به همکاری نزدیک با زیرساخت

**الزامات:**

**الف) زیرساخت V2I:**

- RSU در تقاطعات کلیدی (هر ۲۰۰–۳۰۰ متر)

- سیستم‌های SPAT (Signal Phase and Timing)
- حسگرهای تشخیص عابر پیاده

**ب) پوشش شبکه:**

- پوشش ۵G با حداقل ۹۹٪ در مناطق استقرار
- پشتیبانی Wi-Fi به عنوان backup
- Edge computing nodes در تقاطعات بحرانی

**ج) علامت‌گذاری و نقشه‌برداری:**

- نقشه‌های HD با دقت < ۱۰ cm
- خطوط دقیق و واضح
- تابلوهای دیجیتالی قابل خواندن ماشینی

**هزینه تخمینی (شهر متوسط ۱۰۰,۰۰۰ نفر):**

- زیرساخت V2I: ۵-۸ میلیون £
- پوشش ۵G: ۳-۵ میلیون £ (با همکاری اپراتورها)
- نقشه‌برداری HD: ۵۰۰,۰۰۰ £-۱ میلیون
- جمع: ۸/۵ £-۱۴ میلیون

**۴۶,۲: جاده‌های بین‌شهری و بزرگراه‌ها**

**ویژگی‌های کلیدی:**

- سرعت بالا (تا ۷۰ mph)
- تعداد کم عوامل پیچیده‌ساز
- فواصل طولانی نیازمند پوشش مداوم

**الزامات:**

**الف) ارتباطات پیوسته:**

- پوشش سلولی بدون وقفه
- handover سریع بین سلول‌ها (< ۵۰ ms)
- backup communications (مثلاً ماهواره) در مناطق دورافتاده

**ب) ایمنی و مدیریت حوادث:**

- سنسورهای تشخیص حادثه
- سیستم‌های هشدار اضطراری
- دوربین‌های نظارتی پیوسته

**ج) خدمات جانبی:**

- ایستگاه‌های شارژ/سوخت‌گیری با فواصل ≥ ۵۰ مایل
- نقاط توقف اضطراری مجهز

- پوشش آب‌وهوا و شرایط جاده

**مطالعه موردی - کریدور M۲/A۲:**

- طول: ۲۰ مایل
- تعداد RSU: ۱۵ واحد
- سرمایه‌گذاری: £۱۲ میلیون
- هزینه نگهداری سالانه: £۸۰۰،۰۰۰
- نتیجه: کاهش ۱۵٪ زمان سفر، ۲۲٪ کاهش انتشار

**۴،۶،۳: مناطق روستایی و محیط‌های چالش‌برانگیز**

**چالش‌ها:**

- پوشش ضعیف شبکه سلولی
- جاده‌های باریک و پیچ در پیچ
- شرایط آب‌وهوایی متغیر

**راهکارهای فنی:**

**الف) ترکیب فناوری‌های ارتباطی:**

- C-V۲X برای ارتباط خودرو به خودرو (بدون نیاز به زیرساخت)
- اتصال ماهواره‌ای به عنوان backup
- حافظه محلی برای نقشه‌ها و داده‌های حیاتی

**ب) افزایش قابلیت خودمختاری:**

- سنسورهای قوی‌تر و redundant
- الگوریتم‌های تصمیم‌گیری محافظه‌کارانه
- قابلیت بازگشت به کنترل دستی

**ج) زیرساخت انتخابی:**

- تمرکز بر نقاط خطرناک و تقاطعات
- استفاده از علامت‌های passive (بازتابنده)
- بهره‌گیری از منابع محلی (مثلاً پست‌های برق برای RSU)

**استراتژی استقرار:**

**فاز۱:** استقرار در مسیرهای اصلی و پرترافیک

**فاز۲**: گسترش به راه‌های ثانویه

**فاز۳:** پوشش کامل با اولویت‌بندی بر اساس ریسک

**بخش ۴،۷: قابلیت همکاری و استانداردهای فنی**

**۴،۷،۱: استانداردهای ارتباطی**

**پشتیبانی از چند استاندارد:**

بریتانیا رویکرد **فناوری-محور** اتخاذ کرده است که از هر دو استاندارد DSRC و C-V2X پشتیبانی می‌کند (University of Westminster, ۲۰۲۰).

**مقایسه استانداردها:**

| C-V2X (3GPP) | ویژگی | (DSRC)802.11p |
|---|---|---|
| 5.9 GHz (PC5) | فرکانس | GHz 5.9 |
| ۱۰۰۰-۵۰۰متر | برد | ۵۰۰-۳۰۰متر |
| ms 5-20 | تأخیر | ms 3-5 |
| تا +Mbps 100 | سرعت‌داده | تا Mbps 27 |
| ادغام با 5G/6G | مسیرتکامل | محدود |
| چین،اروپا | پذیرش | آمریکا،ژاپن |

**استراتژی پیاده‌سازی بریتانیا:**

تجهیزات dual-mode در تست‌بدها

آزمایش همزمان هردو فناوری

انتخاب نهایی براساس عملکرد واقعی

**۴،۷،۲: استانداردهای امنیتی**

**Cybersecurity Engineering - ۲۱۴۳۴ ISO/SAE:**

این استاندارد بین‌المللی، چارچوبی برای مدیریت ریسک‌های امنیت سایبری در طول چرخه حیات خودرو ارائه می‌دهد (TRL, ۲۰۲۲).

**مراحل کلیدی:**

**الف) تحلیل تهدیدات (Threat Analysis):**

- شناسایی دارایی‌های حیاتی

- شناسایی تهدیدات بالقوه
- ارزیابی احتمال و تأثیر

**ب) ارزیابی ریسک (Risk Assessment):**

- رتبه‌بندی ریسک‌ها
- تعیین سطح تحمل ریسک
- اولویت‌بندی کاهش ریسک

**ج) مدیریت ریسک (Risk Treatment):**

طراحی کنترل‌های امنیتی

پیاده‌سازی و تست

نظارت و به‌روزرسانی مداوم

**مثال تحلیل تهدید V۲X:**

تهدید: جعل پیام (Message Spoofing) V۲V

- دارایی در معرض خطر: سیستم تصمیم‌گیری خودران
- حمله‌کننده: مهاجم با دسترسی به تجهیزات V۲X
- روش حمله: ارسال پیام‌های جعلی موقعیت خودرو
- تأثیر: تصادف احتمالی (شدت: بحرانی)
- احتمال: متوسط (با فناوری موجود)

- کاهش ریسک:
- احراز هویت پیام با PKI
- تأیید منطقی موقعیت با سنسورهای داخلی
- نظارت بر ناهنجاری در الگوی پیام‌ها

**۴،۷،۳: استانداردهای داده V2X**

**TN-ITS (Transport Network ITS Spatial Data):**

این پلتفرم، مکانیزم حکمرانی برای **«تبادل داده‌های فضایی جاده‌ای معتبر و مورد اعتماد»** را مدیریت می‌کند (ERTICO-ITS Europe, ۲۰۲۵).

**اجزای کلیدی:**

**الف) مشخصات فنی CEN:**

- فرمت استاندارد برای صفات جاده‌ای ثابت
- مبنای مقررات ۶۷۰/۲۰۲۲RTTI DR
- تضمین قابلیت همکاری بین کشورها

**ب) زنجیره داده (Data Chain):**

مقامات جاده ای⟵سازندگان نقشه⟵ارائه دهندگان خدمات⟵خودروها

↓↓↓↓

[به روزرسانی][پردازش وتأیید][توزیع][مصرف]

**ج) کاربردها:**

- بهبود ایمنی جاده‌ای

- کارایی حمل‌ونقل
- پشتیبانی اتوماسیون
- خدمات MaaS و پارکینگ هوشمند

**۴،۷،۴: استانداردسازی TRO (دستورالعمل‌های تنظیم ترافیک)**

**چالش:**
TROها حاوی اطلاعات قانونی حیاتی (محدودیت‌های سرعت، خطوط ویژه، محدودیت‌های پارکینگ) هستند که در سیستم‌های محلی ناسازگار نگهداری می‌شوند (DfT, ۲۰۲۲).

**راهکار دیجیتالی‌سازی:**
دولت بریتانیا در حال تدوین مقرراتی برای **دیجیتالی کردن TROها** است با ویژگی‌های زیر:

**الف) فرمت مشترک:**

- طرح داده استاندارد XML/JSON
- تعریف واژگان یکپارچه
- قابلیت خواندن ماشینی

**ب) پلتفرم منتشرشده:**

- پایگاه داده متمرکز ملی
- API برای دسترسی بلادرنگ
- به‌روزرسانی‌های خودکار

**ج) حکمرانی کیفیت:**

- الزام تأیید داده‌ها قبل از انتشار
- نظارت بر دقت و به‌روزبودن
- مکانیزم گزارش خطا

**مزایای انتظاری:**

- افزایش ایمنی AVها (دسترسی به قوانین واقعی)
- کاهش هزینه‌های اداری برای مقامات محلی
- امکان خدمات نوآورانه (مثلاً مسیریابی با در نظرگرفتن قوانین)

**۴،۷،۵: استانداردهای شارژ و V2X انرژی**

**استاندارد PAS ۱۸۷۸:**

این استاندارد بریتانیایی، چارچوبی برای ارتباط امن سیستم‌های DSR با زیرساخت شارژ EV فراهم می‌کند (Innovate UK, n.d.).

**ویژگی‌های کلیدی:**

**الف) معماری امن:**

- رمزنگاری end-to-end
- احراز هویت دوطرفه (خودرو و شبکه)
- ایزوله‌سازی شبکه برق از شبکه داده

**ب) پروتکل‌های ارتباطی:**

- پشتیبانی از OCPP (Open Charge Point Protocol)
- ادغام با استانداردهای انرژی (IEEE ۲۰۳۰٫۵)
- قابلیت همکاری با سیستم‌های مختلف

**ج) مدیریت تقاضا:**

- الگوریتم‌های بهینه‌سازی شارژ
- پاسخ به سیگنال‌های شبکه
- حفاظت از باتری (مدیریت فرسایش)

**الزامات فنی برای سازگاری:**

| الزام | جنبه |
|---|---|
| ISO 15118 یا PAS 1878 | پروتکل ارتباطی |
| CCS Combo 2 یا CHAde-MO | رابط فیزیکی |
| دقت±۲٪ | کنترل توان |
| < 5 ثانیه به سیگنال DSR | زمان پاسخ |
| TLS 1.2+ و ISO 27001 | امنیت |

**جمع‌بندی فصل چهارم**

زیرساخت‌های فنی پیاده‌سازی موفق CAM و V2X، یک چالش چندبعدی است که نیازمند هماهنگی نزدیک میان:

۱. **زیرساخت‌های ارتباطی**: شبکه‌های پهن‌باند با قابلیت اطمینان بالا و تأخیر

کم

**۲. زیرساخت‌های انرژی**: شبکه شارژدوطرفه با استانداردهای ایمنی و امنیتی

**۳. زیرساخت‌های داده**: پلتفرم‌های یکپارچه با حفظ حریم خصوصی و امنیت

**۴. زیرساخت‌های فیزیکی**: تست‌بدها، مراکزنگهداری و تسهیلات پشتیبانی

**۵. استانداردسازی:** اتخاذ استانداردهای بین‌المللی و توسعه استانداردهای ملی مکمل

بریتانیا با سرمایه‌گذاری ۲۰۰+ میلیون پوند در تست‌بدها، توسعه استانداردهای ملی (PAS ۱۸۷۸) و پذیرش استانداردهای بین‌المللی (ISO ۲۱۴۳۴, oneM2M)، خود را برای رهبری در این عرصه آماده کرده است.

**نکات کلیدی:**

- رویکرد فناوری-محور(به جای انتخاب یک استاندارد خاص)
- تأکید بر امنیت سایبری در تمام لایه‌ها
- ترکیب cloud-edge برای مدیریت حجم بالای داده
- استانداردسازی TRO برای ایمنی AVها
- حمایت از قابلیت همکاری بین‌المللی

**چالش‌های باقی‌مانده:**

- پوشش 5G کامل در مناطق روستایی
- هزینه‌های بالای ارتقاء زیرساخت

- نیاز به هماهنگی میان ذینفعان متعدد
- به‌روزرسانی مداوم با تکامل فناوری

# فصل پنجم: نقشه راه استراتژیک و مراحل پیاده‌سازی

**مقدمه**

نقشه راه استراتژیک بریتانیا برای تحرک متصل و خودکار با هدف تجاری‌سازی CAM تا سال ۲۰۲۵، بر ایجاد یک محیط قانونی و زیرساختی پیشرو تأکید دارد (DfT, ۲۰۲۲; ITS UK & IET, ۲۰۱۷). این نقشه راه یک رویکرد مرحله‌ای برای حل چالش‌های قانونی، فنی و تجاری ارائه می‌دهد که موفقیت آن به همکاری نزدیک میان نهادهای دولتی، صنعت و مراکز تحقیقاتی بستگی دارد.

**بخش ۵،۱: فاز اول - تثبیت چارچوب قانونی و تعیین استاندارد ایمنی**

**۵،۱،۱: حل چالش‌های عدم قطعیت قانونی**

سریع‌ترین و مهم‌ترین گام در نقشه راه، رفع عدم قطعیت‌های قانونی است که مانع اصلی سرمایه‌گذاری خصوصی محسوب می‌شود (UK Government, n.d.a). بدون چارچوب قانونی واضح، شرکت‌ها نمی‌توانند ریسک‌های مسئولیت قانونی را ارزیابی کنند.

**اقدامات کلیدی:**

- تصویب قانون وسایل نقلیه خودران (Automated Vehicles Bill) که ساختار جدیدی برای تخصیص مسئولیت ایجاد می‌کند (DfT, ۲۰۲۳; UK Government, n.d.a)
- انتشار "بیانیه اصول ایمنی" (Statement of Safety Principles) که استانداردهای ایمنی را به صورت قانونی تعریف می‌کند (UK Government, n.d.a)

**۵،۱،۲: استاندارد ایمنی "راننده باصلاحیت و محتاط"**

هدف ایمنی که در ابتدای نقشه راه تعیین شده، دستیابی به سطحی از ایمنی معادل "راننده انسانی باصلاحیت و محتاط" است (UK Government, n.d.a). این استاندارد تمامی ارزیابی‌های ایمنی بعدی را شکل می‌دهد و مبنایی برای مقایسه عملکرد سیستم‌های خودران با رانندگان انسانی فراهم می‌آورد.

**معیارهای کلیدی:**

- کاهش تصادفات منجر به فوت یا جراحت جدی
- پیروی از قوانین راهنمایی و رانندگی
- رفتار قابل پیش‌بینی در شرایط پیچیده

**۵،۱،۳: انتقال مسئولیت به ASDE**

یکی از اقدامات انقلابی در نقشه راه، انتقال مسئولیت قانونی از سرنشین انسانی به نهاد توسعه‌دهنده سیستم خودران (ASDE) در زمان فعال بودن سیستم خودران است (UK Government, n.d.a; DfT, ۲۰۲۳). این انتقال ریسک را از کاربر نهایی خارج کرده و به نهادهای صنعتی که بهترین موقعیت را برای مدیریت آن دارند، تخصیص می‌دهد.

**پیامدهای حقوقی:**

- ASDE مسئول تمام تصادفاتی است که در حالت خودران رخ می‌دهد
- کاربر نهایی تنها در صورت دستکاری سیستم یا عدم نگهداری مناسب مسئول است
- شرکت‌های بیمه باید محصولات جدیدی برای پوشش ریسک‌های ASDE طراحی کنند

**۵٫۱٫۴: ممنوعیت بازاریابی گمراه‌کننده**

از همان ابتدای نقشه راه، قانون‌گذاری شامل مقررات سختگیرانه‌ای برای جلوگیری از بازاریابی گمراه‌کننده است (UK Government, n.d.a). این تضمین قانونی برای حمایت از مصرف‌کننده در برابر سیستم‌هایی که ادعای خودران بودن دارند اما فاقد آستانه ایمنی لازم هستند، حیاتی است.

**جریمه‌های مالی:**

- جریمه حداقل ۳۰۰,۰۰۰ پوند برای تخلفات مرتبط با بازاریابی گمراه‌کننده (UK Government, n.d.a)
- امکان افزایش جریمه در موارد تکرار یا خطرات جدی

**۵٫۱٫۵: آمادگی برای تحقیق و تفحص سوانح**

ایجاد شاخه تحقیق و تفحص ایمنی جاده‌ای (RSIB) در نقشه راه پیش‌بینی شده است تا با هدف ایجاد "فرهنگ بدون سرزنش" (no-blame culture)، مشابه صنعت هوانوردی، از سوانح AV درس بگیرد (DfT, ۲۰۲۳).

**رویکرد RSIB:**

- تحقیق مستقل از فرآیندهای قضایی و اداری
- تمرکز بر یادگیری سیستمیک به جای تعیین مقصر
- انتشار گزارش‌های عمومی برای بهبود ایمنی صنعت

**بخش ۵٫۲: فاز دوم - تضمین ایمنی، امنیت سایبری و آزمایش**

**۵٫۲٫۱: فرآیند CAVPASS**

سیستم CAVPASS (Connected and Automated Vehicle Pathway to Approval for Safety and

Security) یک فرآیند جامع برای تضمین ایمنی و امنیت قبل از ورود به بازار است (TRL, ۲۰۲۲; UK Government, n.d.b).

**مراحل کلیدی CAVPASS:**

**ارزیابی طراحی:** بررسی معماری سیستم و تحلیل ریسک

**تست‌های آزمایشگاهی:** شبیه‌سازی سناریوهای مختلف

**تست‌های محیط کنترل‌شده:** آزمایش در testbed های اختصاصی

**تست‌های جاده واقعی:** ارزیابی عملکرد در شرایط واقعی

**نظارت مستمر:** پایش عملکرد پس از استقرار تجاری

**۵,۲,۲: الزامات امنیت سایبری**

بر اساس "اصول کلیدی امنیت سایبری برای خودروهای متصل و خودکار"، تمام سیستم‌ها باید (UK Government, n.d.b):

- در برابر حملات سایبری شناخته‌شده محافظت شوند
- قابلیت به‌روزرسانی امن از راه دور داشته باشند
- داده‌های حساس را رمزنگاری کنند
- دارای سیستم تشخیص نفوذ و پاسخ به حوادث باشند

**۵,۲,۳: آزمایش و توسعه تدریجی**

نقشه راه بر رویکرد تدریجی و مبتنی بر شواهد برای استقرار CAM تأکید دارد (DfT, ۲۰۲۲):

**مرحله ۱:** استقرار در محیط‌های کنترل‌شده و مسیرهای مشخص

**مرحله ۲:** گسترش به مسیرهای بین‌شهری با نظارت

**مرحله ۳:** استقرار در محیط‌های شهری پیچیده

**مرحله ۴:** دسترسی عمومی کامل به خدمات خودران

**بخش ۵,۳: نقشه راه پیاده‌سازی V2X**

نقشه راه V2X در بریتانیا از طریق برنامه نوآوری V2X (بخشی از برنامه نوآوری انعطاف‌پذیری ۶۵ میلیون پوندی) هدایت می‌شود و به طور خاص موانع استقرار V2X را تا ۲۰۲۵ هدف قرار داده است (DESNZ, n.d.; UKRI, n.d.).

**۵,۳,۱: مراحل توسعه فنی V2X**

**فاز ۱ - توسعه پروتوتایپ:**

تأمین مالی بیش از ۳,۲ میلیون پوند برای ۱۷ پروژه (DESNZ, n.d.)

توسعه سخت‌افزار، نرم‌افزار و مدل‌های کسب‌وکار پروتوتایپ

تمرکز بر قابلیت همکاری و استانداردهای ارتباطی

**فاز ۲ - دمونستراسیون مقیاس کوچک:**

بودجه تا سقف ۹,۴ میلیون پوند (DESNZ, n.d.)

الزام به حداقل ۶ ماه دمونستراسیون با رانندگان واقعی

استقرار ۱۰ تا ۵۰ واحد شارژ دوطرفه با استفاده از پروتکل‌های DC CCS، DC CHAdeMO یا AC V2X (Innovate UK, n.d.)

**۵,۳,۲: حوزه‌های فنی اولویت‌دار**

پروژه‌های فاز ۱ نشان‌دهنده حوزه‌های فنی هستند که بریتانیا برای رفع چالش‌ها اولویت‌بندی کرده است (DESNZ, n.d.):

**امنیت و مدیریت ساختمان (V2B):** ادغام ایمن سیستم‌های مدیریت انرژی ساختمان‌های هوشمند با V2X

**بهینه‌سازی شبکه توزیع:** استفاده از V2G برای کاهش پیک بار و حمایت از پایداری شبکه

**مدل‌های کسب‌وکار نوآورانه:** توسعه خدمات جدید انرژی برای مالکان EV

**۵،۳،۳: نقشه راه V2G (شبکه ملی)**

نقشه راه V2G بر پاسخ به تقاضا (Demand Side Response) و خدمات بازار برق تمرکز دارد (UKRI, n.d.).

**اهداف کوتاه‌مدت (۲۰۲۳-۲۰۲۵):**

- حل موانع تنظیمی مالیات مضاعف
- استانداردسازی کنتورگذاری دوطرفه
- توسعه بازار برای خدمات انعطاف‌پذیری

**اهداف میان‌مدت (۲۰۲۵-۲۰۳۰):**

- ادغام V2G در خدمات توازن شبکه
- توسعه تعرفه‌های زمان مصرف (Time-of-Use Tariffs) پیشرفته
- افزایش سطح پذیرش در ناوگان تجاری (Q Energy, n.d.)

**۵،۳،۴: نقشه راه V2B (ساختمان‌ها)**

**نقشه راه V2B بر کاهش هزینه‌های عملیاتی ساختمان و نیاز به ارتقاء شبکه تمرکز دارد (V2BUILD**

**.(Project, n.d.)**

**تمرکز بر ساختمان‌های تجاری:**

- مدل‌سازی نشان می‌دهد که V2B در ساختمان‌های تجاری (مانند دفاتر و بیمارستان‌ها) بیشترین پتانسیل را دارد (V2BUILD Project, n.d.)
- V2B می‌تواند صورت‌حساب برق دفاتر را تا ۳۱٪ کاهش دهد
- کمک به کاهش پیک تقاضای شبکه در زمستان

**نقشه راه خانگی:**

- V2B در ساختمان‌های مسکونی می‌تواند صورت‌حساب برق را تا ۱۹٪ در آپارتمان‌ها کاهش دهد (V2BUILD Project, n.d.)
- هماهنگی با تعرفه‌های شبانه‌روزی (Day/Night Tariffs)

**جلوگیری از هزینه‌های ارتقاء شبکه:**

- هزینه ارتقاء از ولتاژ پایین (LV) به ولتاژ بالا (HV) می‌تواند بیش از ۲۰۰,۰۰۰ پوند باشد (V2BUILD Project, n.d.)
- V2B با کاهش پیک تقاضا از این هزینه‌های زیرساختی جلوگیری می‌کند

**بخش ۵,۴: نقشه راه تدریجی برای ناوگان تجاری**

**۵,۴,۱: اولویت‌بندی ناوگان حمل‌ونقل عمومی**

نقشه راه بریتانیا به صورت استراتژیک بر ناوگان حمل‌ونقل عمومی (اتوبوس‌های برقی) تمرکز دارد، زیرا این بخش الگوی استفاده قابل پیش‌بینی و مدیریت‌پذیری دارد که برای V2X ایده‌آل است (Q Energy, n.d.).

**مزایای ناوگان عمومی برای V۲X:**

- الگوهای مسیر و زمان‌بندی مشخص
- تمرکز در دپوها برای شارژ و تخلیه
- مالکیت متمرکز که مدیریت را ساده می‌کند
- پتانسیل درآمدزایی از خدمات شبکه

**۵،۴،۲: سطوح پذیرش تدریجی**

**سطح ۱ - شارژ یک‌طرفه هوشمند:**

- کنترل زمان شارژ برای بهره‌مندی از تعرفه‌های پایین
- سازگاری کامل با زیرساخت فعلی

**سطح ۲ - V۲B محدود:**

- تأمین برق اضطراری برای ساختمان دپو
- کاهش هزینه‌های اوج مصرف (demand charges)
- بدون کمک مالی توجیه اقتصادی ندارد (Q Energy, n.d.)

**سطح ۳ - V۲G کامل:**

- مشارکت در بازار برق و خدمات توازن
- نیازمند مشوق‌های دولتی مانند DfT Grant یا ZEBRA (Q Energy, n.d.)

**۵,۴,۳: چالش‌های توجیه اقتصادی**

**وابستگی به کمک‌های مالی:**

- در سطوح ۱ و ۲ بدون کمک مالی، توجیه اقتصادی برای شرکت‌ها وجود ندارد (Q Energy, n.d.)
- مشوق‌های دولتی نقش حیاتی در تثبیت نقشه راه در کوتاه‌مدت ایفا می‌کنند

**فرسایش باتری (Degradation):**

- نقشه راه V2X باید فرسایش اضافی باتری ناشی از چرخه‌زنی بیشتر را در نظر بگیرد
- مدل‌سازی‌های تجاری نشان می‌دهد طول عمر باتری در حالت دوطرفه به ۷ سال (در مقابل ۹ سال برای شارژ یک‌طرفه) کاهش می‌یابد (Q Energy, n.d.)

**بخش ۵,۵: جمع‌بندی نقشه راه**

نقشه راه پیاده‌سازی **CAM** و **V2X** یک مسیر روشن اما چالش‌برانگیز است که انتقال مسئولیت‌های قانونی و تأمین مالی را در اولویت قرار می‌دهد. موفقیت این نقشه راه به عوامل متعددی بستگی دارد:

**پیش‌بینی‌پذیری قانونی:** تصویب به موقع قوانین و مقررات

**تأمین مالی پایدار:** حمایت دولتی در مراحل اولیه تجاری‌سازی

**هماهنگی بین‌بخشی:** همکاری نزدیک میان نهادهای حمل‌ونقل و انرژی

**پذیرش عمومی:** آموزش و اطلاع‌رسانی مؤثر به شهروندان

# فصل ششم: تحلیل اقتصادی جامع

**مقدمه**

ارزیابی دقیق اقتصادی، سنگ بنای تصمیم‌گیری‌های کلان در زمینه سرمایه‌گذاری‌های زیرساختی، حمایت‌های دولتی و تدوین سیاست‌های صنعتی است. درک صحیح از اندازه بازار، هزینه‌های پیاده‌سازی و منافع مستقیم و غیرمستقیم، به سیاست‌گذاران و فعالان اقتصادی اجازه می‌دهد تا منابع خود را به طور بهینه تخصیص دهند. این فصل به تحلیل ابعاد مختلف اقتصادی فناوری‌های CAM و V2X می‌پردازد.

**بخش ۶،۱: اندازه بازار و پیش‌بینی‌های رشد**

**۶،۱،۱: بازار جهانی CAV**

بازار CAV یکی از سریع‌ترین بازارهای در حال رشد در حوزه فناوری است که فرصت‌های اقتصادی قابل توجهی را ایجاد می‌کند (SMMT, n.d.).

**پیش‌بینی‌های بازار برای ۲۰۳۵:**

| شاخص بازار | ارزش بازار بریتانیا | ارزش بازار جهانی |
|---|---|---|
| فروش خودرو کامل و فناوری‌ها | ۴۱،۷ میلیارد پوند | ۶۵۰ میلیارد پوند |
| فناوری‌های CAM | ۶،۴ میلیارد پوند | ۱۰۰ میلیارد پوند |

منبع: (SMMT, n.d.)

**۶،۱،۲: سرمایه‌گذاری جهانی در اتوماسیون**

تولیدکنندگان اصلی تجهیزات (OEMs) در سطح جهانی بین سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۳۰، احتمالاً ۱۷۶،۵ میلیارد پوند در استقرار ویژگی‌های خودران سطح ۳ (L3) و سطح ۴ (L4) سرمایه‌گذاری خواهند کرد (SMMT, n.d.).

**۶،۱،۳: بازار V2X و خدمات انرژی**

بازار V2X هنوز در مراحل اولیه است، اما پتانسیل رشد قابل توجهی دارد:

- **پیش‌بینی ناوگان EV در بریتانیا:** تا ۲۰۳۰ حدود ۱۱ میلیون خودرو برقی
- **ظرفیت انرژی بالقوه:** با فرض میانگین ۵۰ kWh باتری، ظرفیت ذخیره‌سازی کل معادل ۵۵۰ GWh
- **ارزش خدمات شبکه:** پتانسیل درآمدزایی سالانه میلیاردها پوند از خدمات انعطاف‌پذیری (UKRI, n.d.)

**بخش ۶،۲: تحلیل هزینه-فایده پیاده‌سازی CAM**

**۶،۲،۱: هزینه‌های مستقیم پیاده‌سازی**

**هزینه‌های آشنایی با قوانین:**

شرکت‌ها باید برای درک مقررات جدید و تطبیق فرآیندهای خود زمان و منابع صرف کنند. این هزینه‌ها شامل آموزش پرسنل، مشاوره حقوقی و بازنگری فرآیندها است (UK Government, n.d.a).

**هزینه‌های تطبیق فنی:**

- سرمایه‌گذاری در سخت‌افزار و نرم‌افزار جدید
- ارتقاء سیستم‌های امنیت سایبری

- توسعه زیرساخت‌های جمع‌آوری و مدیریت داده

**هزینه‌های تضمین ایمنی:**

- هزینه‌های فرآیند CAVPASS
- آزمایش‌های مکرر و گواهی‌نامه‌ها
- نظارت و گزارش‌دهی مستمر

**۶،۲،۲: منافع اقتصادی کلان**

**کاهش تصادفات و هزینه‌های مرتبط:**

بر اساس تحلیل‌های دولت بریتانیا، CAM می‌تواند تصادفات را به میزان قابل توجهی کاهش دهد که منجر به صرفه‌جویی در هزینه‌های بهداشت و درمان، از دست رفتن بهره‌وری و آسیب به زیرساخت‌ها می‌شود (DfT, ۲۰۲۲).

**افزایش بهره‌وری حمل‌ونقل:**

- کاهش زمان سفر به دلیل مدیریت بهتر ترافیک
- بهینه‌سازی مصرف سوخت
- افزایش ظرفیت جاده‌ها بدون نیاز به توسعه فیزیکی

**ایجاد فرصت‌های شغلی:**

- مشاغل جدید در حوزه توسعه نرم‌افزار
- خدمات نگهداری و تعمیر تخصصی
- مشاوره و آموزش

**۶,۲,۳: نسبت هزینه به فایده**

تحلیل ارزیابی اثرات دولت بریتانیا نشان می‌دهد که منافع حاصل از ایجاد یک بازار شفاف و ایمن بر هزینه‌های پیاده‌سازی غلبه می‌کند (UK Government, n.d.a). نسبت منفعت به هزینه برآورد شده بیش از ۳:۱ است.

**بخش ۶,۳: تحلیل اقتصادی V2X**

**۶,۳,۱: مدل اقتصادی V2G برای ناوگان حمل‌ونقل عمومی**

**جریان‌های درآمدی:**

تحلیل اقتصادی پروژه‌های پایلوت نشان می‌دهد که ناوگان حمل‌ونقل عمومی می‌توانند از سه منبع درآمد بهره‌مند شوند (Q Energy, n.d.):

- صرفه‌جویی در هزینه برق: استفاده از تعرفه‌های زمان مصرف
- خدمات توازن شبکه: فروش انعطاف‌پذیری به اپراتور شبکه
- کاهش هزینه‌های اتصال: جلوگیری از ارتقاء زیرساخت

**هزینه‌های عملیاتی:**

- فرسایش اضافی باتری
- هزینه‌های نگهداری تجهیزات دوطرفه
- هزینه‌های سیستم مدیریت انرژی

**تحلیل دوره بازگشت سرمایه:**

بدون مشوق‌های دولتی، دوره بازگشت سرمایه برای سیستم‌های V2G در ناوگان عمومی بین ۷ تا ۱۰ سال برآورد می‌شود. با مشوق‌های مناسب، این دوره به ۳ تا ۵ سال کاهش می‌یابد (Q Energy, n.d.).

### ۶،۳،۲: تحلیل اقتصادی V2B

**صرفه‌جویی در ساختمان‌های تجاری:**

مدل‌سازی پروژه V2BUILD نشان می‌دهد که (V2BUILD Project, n.d.):

- **دفاتر:** کاهش ۳۱٪ در صورت‌حساب برق
- **بیمارستان‌ها:** کاهش پیک تقاضا و اجتناب از جریمه‌های ظرفیت
- **مراکز خرید:** بهینه‌سازی هزینه‌های انرژی در ساعات اوج

**صرفه‌جویی در ساختمان‌های مسکونی:**

- **خانه‌های مستقل:** کاهش تا ۲۵٪ در صورت‌حساب برق با ترکیب PV و V2H
- **آپارتمان‌ها:** کاهش تا ۱۹٪ در صورت‌حساب برق (V2BUILD Project, n.d.)

**اجتناب از هزینه‌های ارتقاء شبکه:**

برای ساختمان‌های بزرگ که نیاز به ارتقاء اتصال از ولتاژ پایین (LV) به ولتاژ بالا (HV) دارند، V2B می‌تواند از هزینه‌های بیش از ۲۰۰،۰۰۰ پوند جلوگیری کند (V2BUILD Project, n.d.). این صرفه‌جویی به تنهایی می‌تواند بخش قابل توجهی از سرمایه‌گذاری اولیه در زیرساخت V2B را توجیه کند.

### ۶،۳،۳: موانع اقتصادی و راهکارها

**مالیات مضاعف:**

یکی از بزرگترین موانع اقتصادی برای V2X، مالیات مضاعف بر انرژی ذخیره‌شده است که در بسیاری از کشورهای اروپایی وجود دارد (smartEn, n.d & DNV.). در این سیستم، مالکان خودرو هنگام شارژ و هنگام تخلیه انرژی به شبکه، هر دو مالیات می‌پردازند.

**راهکار نقشه راه:**

- حذف مالیات بر انرژی صادر شده به شبکه
- ایجاد معافیت‌های مالیاتی برای خدمات انعطاف‌پذیری
- ساده‌سازی چارچوب مالیاتی

**عدم دسترسی به بازارهای انعطاف‌پذیری:**

بسیاری از بازارهای برق برای مشارکت خودروهای برقی فردی یا حتی ناوگان کوچک، موانع ورود بالایی دارند (smartEn, n.d & DNV.).

**راهکار نقشه راه:**

- کاهش حداقل ظرفیت مورد نیاز برای شرکت در بازار
- توسعه پلتفرم‌های تجمیع‌کننده (Aggregator Platforms)
- استانداردسازی قراردادهای خدمات انعطاف‌پذیری

**بخش ۶,۴: تولید ارزش افزوده (GVA) صنعتی**

**۶,۴,۱: تأثیر بر زنجیره تأمین**

صنعت CAM یک زنجیره ارزش پیچیده ایجاد می‌کند که شامل (SMMT, n.d.):

**سخت‌افزار:** سنسورها، پردازنده‌ها، سیستم‌های ارتباطی

**نرم‌افزار:** الگوریتم‌های هوش مصنوعی، سیستم‌های عامل، اپلیکیشن‌ها

**خدمات:** نگهداری، به‌روزرسانی، مدیریت داده

**۶,۴,۲: فرصت‌های صادرات**

بریتانیا با توسعه چارچوب قانونی و تنظیمی پیشرو، موقعیت مناسبی برای صادرات تخصص و

خدمات به سایر کشورها دارد. این شامل (DfT, ۲۰۲۲):

- خدمات مشاوره‌ای و حقوقی
- سیستم‌های تضمین ایمنی
- پلتفرم‌های مدیریت داده

**بخش ۶,۵: تحلیل ریسک‌های اقتصادی**

**۶,۵,۱: ریسک تأخیر در پذیرش**

اگر پذیرش عمومی CAM کندتر از پیش‌بینی پیش برود، سرمایه‌گذاری‌های زیرساختی ممکن است برای مدت طولانی‌تری کم‌استفاده بمانند (DfT, ۲۰۲۲).

**راهکار کاهش ریسک:**

- رویکرد تدریجی و مبتنی بر شواهد
- انعطاف در طراحی زیرساخت‌ها
- اطلاع‌رسانی مؤثر به عموم

**۶,۵,۲: ریسک تغییرات تکنولوژیک**

فناوری CAM به سرعت در حال تکامل است و ممکن است استانداردها و راه‌حل‌های فعلی منسوخ شوند (UK Government, n.d.b).

**راهکار کاهش ریسک:**

- طراحی سیستم‌های قابل ارتقاء
- رویکرد فناوری-محور به جای گزینش یک فناوری خاص
- نظارت مستمر بر تحولات بین‌المللی

**۶،۵،۳: ریسک امنیت سایبری**

حملات سایبری موفق می‌توانند هزینه‌های سنگینی به همراه داشته باشند، از جمله خسارات فیزیکی، از دست دادن اعتماد عمومی و جریمه‌های نظارتی (TRL, ۲۰۲۲).

**راهکار کاهش ریسک:**

- سرمایه‌گذاری مستمر در امنیت سایبری
- مشارکت اطلاعات تهدید میان ذینفعان
- برنامه‌های آموزش و آگاهی‌بخشی

**بخش ۶،۶: جمع‌بندی تحلیل اقتصادی**

تحلیل اقتصادی جامع نشان می‌دهد که فناوری‌های CAM و V۲X، علی‌رغم هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه قابل توجه، پتانسیل ایجاد ارزش اقتصادی و اجتماعی بلندمدت بالایی دارند. کلیدهای موفقیت عبارتند از:

**سیاست‌گذاری حمایتی:**

- مشوق‌های مالی هدفمند در مراحل اولیه
- حذف موانع تنظیمی و مالیاتی
- تضمین قابلیت پیش‌بینی قانونی

**رویکرد مرحله‌ای:**

- شروع با موارد استفاده با بازده بالا (ناوگان عمومی)
- گسترش تدریجی به بازار عمومی
- یادگیری و تطبیق مستمر

**همکاری بین‌بخشی:**

هماهنگی میان سیاست‌های حمل‌ونقل و انرژی

مشارکت فعال بخش خصوصی

تعامل با استانداردهای بین‌المللی

# فصل هفتم: چالش‌های کلیدی و راهکارهای راهبردی

**مقدمه**

با وجود چشم‌انداز روشن و نقشه راه مشخص، پیاده‌سازی موفق فناوری CAM با چالش‌های پیچیده‌ای در حوزه‌های داده، امنیت، پذیرش عمومی و زیرساخت مواجه است. موفقیت بلندمدت در گرو شناسایی دقیق این چالش‌ها و تدوین راهکارهای هدفمند برای مدیریت آن‌هاست (DfT, ۲۰۲۲; TRL, ۲۰۲۲).

**بخش ۷,۱: حکمرانی داده، حریم خصوصی و اخلاق**

**۷,۱,۱: نیاز به اشتراک‌گذاری داده**

داده‌ها خون حیات سیستم‌های CAM هستند و برای اهداف حیاتی زیر ضروری‌اند (DfT, ۲۰۲۲):

**نظارت حین استفاده (In-use Regulation):**

- اطمینان از عملکرد ایمن مستمر خودروهای خودران
- شناسایی الگوهای نگران‌کننده در رفتار سیستم
- اعمال اقدامات اصلاحی به موقع

**رسیدگی به حوادث و بیمه:**

- تعیین مسئولیت در صورت وقوع سانحه
- ارزیابی دقیق خسارات

- بهبود مدل‌های بیمه‌گذاری

**مدیریت شبکه ترافیک:**

- بهینه‌سازی جریان ترافیک
- کاهش تراکم و آلودگی
- برنامه‌ریزی زیرساختی آینده

**۷،۱،۲: حریم خصوصی و حفاظت از داده‌ها**

جمع‌آوری و استفاده از داده‌های مکانی و رفتاری، نگرانی‌های جدی در مورد حریم خصوصی ایجاد می‌کند (ABI, ۲۰۲۴).

**الزامات قانونی:**

تمام فرآیندها باید با قانون حفاظت از داده (DPA) مطابقت داشته باشند

شفافیت کامل در مورد نحوه استفاده از داده‌ها برای کاربران

حق دسترسی، اصلاح و حذف داده‌ها برای افراد

**اصول اشتراک داده ABI (۲۰۲۴):**

۱. **حداقل‌سازی داده:** فقط داده‌های ضروری جمع‌آوری شود

۲. **رمزنگاری:** داده‌های حساس باید رمزگذاری شوند

۳. **دسترسی شفاف**: کاربران باید بدانند چه کسی به داده‌های آن‌ها دسترسی دارد

۴. **محدودیت زمانی:** داده‌ها فقط برای مدت ضروری نگهداری شوند

**۵. اهداف مشخص**: داده‌ها فقط برای اهداف اعلام‌شده استفاده شوند

**۷٫۱٫۳: سوگیری داده‌ها و عدالت**

چارچوب نظارتی بریتانیا، نهاد ASDE را ملزم می‌کند تا ارزیابی‌هایی در مورد جلوگیری از تبعیض ناعادلانه علیه گروه‌های خاص یا کاربران آسیب‌پذیر جاده ارائه دهد (DfT, ۲۰۲۲).

**گروه‌های در معرض ریسک:**

- دوچرخه‌سواران
- عابران پیاده
- موتورسیکلت‌سواران
- کاربران با معلولیت

**الزامات ارزیابی:**

- آزمایش عملکرد سیستم با نمایندگان متنوع از هر گروه
- بررسی تصمیمات الگوریتم برای شناسایی تعصبات ناخواسته
- اقدامات اصلاحی در صورت شناسایی تبعیض

**۷٫۱٫۴: راهکارهای حکمرانی داده**

**مکانیزم‌های نظارتی:**

- تأسیس نهاد مستقل نظارت بر داده‌های CAM
- ممیزی منظم استفاده از داده‌ها
- مجازات‌های قوی برای سوءاستفاده

**فناوری‌های حفظ حریم خصوصی:**

- استفاده از رمزنگاری هومومورفیک (Homomorphic Encryption)
- پردازش محلی داده‌ها در خودرو (Edge Computing)
- ناشناس‌سازی داده‌های ارسالی به ابر

## بخش ۷,۲: مکانیزم‌های ایمنی و امنیت سایبری

### ۷,۲,۱: چشم‌انداز تهدیدات

اتصال‌پذیری خودروها، آن‌ها را به اهداف بالقوه‌ای برای حملات سایبری تبدیل می‌کند که می‌تواند پیامدهای فاجعه‌باری برای ایمنی داشته باشد (TRL, ۲۰۲۲).

**چارچوب STRIDE برای تحلیل تهدیدات:**

| نوع تهدید | توضیح | مثال در CAM |
|---|---|---|
| جعل هویت (Spoofing) | ایجاد هویت جعلی | جعل پیام‌های V2X |
| دستکاری داده (Tampering) | تغییر غیرمجاز اطلاعات | دستکاری نقشه HD |
| انکار (Repudiation) | انکار انجام عمل | انکار ارسال فرمان خطرناک |
| افشای اطلاعات (Information Disclosure) | دسترسی غیرمجاز به داده | سرقت داده‌های مکانی |
| انکار سرویس (Denial of Service) | مختل کردن سرویس | Jamming سیگنال GPS |
| ارتقاء سطح دسترسی (Elevation of Privilege) | دستیابی به دسترسی بالاتر | دسترسی به کنترل فرمان |

### ۷,۲,۲: بردارهای حمله کلیدی

**حملات DoS و Jamming:**

- ارسال حجم زیادی از پیام‌های بی‌ارزش برای اشباع کانال ارتباطی
- ایجاد اختلال در سیگنال‌های GPS، ۴G/۵G

- مختل کردن ارتباطات (TRL ۷۲X, ۲۰۲۲)

**حملات به سنسورها:**

- فریب دادن LiDAR با ارسال سیگنال‌های جعلی
- کورکردن دوربین‌ها با نور لیزری قوی
- ایجاد اشیاء کاذب در محیط (TRL, ۲۰۲۲)

**حملات نرم‌افزاری:**

- بهره‌برداری از آسیب‌پذیری‌های کد
- تزریق بدافزار از طریق به‌روزرسانی‌ها
- دستکاری الگوریتم‌های تصمیم‌گیری

**۷,۲,۳: هشت اصل کلیدی امنیت سایبری**

چارچوب امنیت سایبری بریتانیا بر هشت اصل اساسی استوار است (UK Government, n.d.b):

**اصل ۱: مسئولیت سازمانی**

- امنیت سایبری باید در سطح هیئت مدیره مدیریت شود
- تعیین مسئول ارشد امنیت اطلاعات (CISO)

**اصل ۲: امنیت در طراحی**

- امنیت از ابتدای فرآیند طراحی باید در نظر گرفته شود
- نه به صورت افزودنی بعدی (Security by Design)

**اصل ۳: قابلیت به‌روزرسانی**

- سیستم‌ها باید قابلیت به‌روزرسانی امن از راه دور داشته باشند
- فرآیند به‌روزرسانی باید سریع و قابل اعتماد باشد

**اصل ۴: ذخیره‌سازی امن داده**

رمزنگاری داده‌های حساس

مدیریت امن کلیدهای رمزنگاری

**اصل ۵: ارتباطات امن**

- استفاده از پروتکل‌های رمزنگاری شده
- احراز هویت دوطرفه

**اصل ۶: پیکربندی امن سیستم**

- غیرفعال‌سازی ویژگی‌های غیرضروری
- تنظیمات پیش‌فرض امن

**اصل ۷: تشخیص و پاسخ**

- قابلیت تشخیص حملات
- برنامه پاسخ به حوادث

**اصل ۸: انعطاف‌پذیری**

- سیستم باید در برابر حملات مقاوم باشد

- درصورت خرابی، بازگشت به "حالت خوب شناخته‌شده" (TRL, ۲۰۲۲)

**۷,۲,۴: راهکارهای امنیتی**

**سطح سخت‌افزار:**

- استفاده از TPM (Trusted Platform Modules)
- پیاده‌سازی Secure Boot
- جداسازی سیستم‌های حیاتی

**سطح نرم‌افزار:**

- ممیزی امنیتی منظم کد
- استفاده از روش‌های توسعه امن (Secure SDLC)
- اعمال اصل کمترین دسترسی (Principle of Least Privilege)

**سطح شبکه:**

- استفاده از فایروال‌های پیشرفته
- پیاده‌سازی سیستم‌های تشخیص نفوذ (IDS)
- تقسیم‌بندی شبکه (Network Segmentation)

## بخش ۷,۳: پذیرش عمومی و اعتماد

### ۷,۳,۱: چالش‌های پذیرش عمومی

**سردرگمی در مورد اصطلاحات:**
یکی از بزرگترین چالش‌ها، سردرگمی عموم در مورد تفاوت میان سیستم‌های کمک راننده (ADAS)، خودروهای خودکار و خودروهای خودران است (DfT, ۲۰۲۳).

**نگرانی‌های ایمنی:**
بسیاری از افراد نگران واگذاری کنترل به ماشین هستند، به ویژه در شرایط پیچیده یا اضطراری.

**نگرانی‌های حریم خصوصی:**
نگرانی در مورد نظارت مستمر و استفاده غیرمجاز از داده‌های مکانی و رفتاری.

### ۷,۳,۲: گروه AV-DRiVE

برای مقابله با این چالش‌ها، گروه AV-DRiVE (Autonomous Vehicles - Developing Responsible Innovation through Validation and Education) تأسیس شده است (DfT, ۲۰۲۳).

**اهداف کلیدی:**

- **هماهنگی پیام‌رسانی:** اطمینان از استفاده سازگار از اصطلاحات توسط صنعت و دولت
- **آموزش عمومی:** اطلاع‌رسانی دقیق در مورد قابلیت‌ها و محدودیت‌های CAM
- **کاهش سردرگمی:** تمایز واضح میان سطوح مختلف اتوماسیون
- **ایجاد اعتماد:** نمایش تعهد به ایمنی و مسئولیت‌پذیری

**۷,۳,۳: راهکارهای ارتباطی**

**کمپین‌های آگاهی‌بخشی:**

استفاده از رسانه‌های اجتماعی و رسانه‌های سنتی

برنامه‌های آموزشی در مدارس و دانشگاه‌ها

رویدادهای نمایشی و آزمایش عمومی

**شفافیت در عملکرد:**

اطلاع‌رسانی واضح در مورد زمان فعال بودن حالت خودران

توضیح نحوه تصمیم‌گیری سیستم

گزارش‌دهی عمومی حوادث و اقدامات اصلاحی

**مشارکت ذینفعان:**

گفتگو با گروه‌های جامعه مدنی

مشورت با کاربران آسیب‌پذیر

همکاری با مقامات محلی

**بخش ۷,۴: زیرساخت و قابلیت همکاری**

**۷,۴,۱: چالش سیلوهای داده**

یکی از مشکلات اصلی برای مقامات محلی (LAs) در مدیریت داده‌های حمل‌ونقل، وجود سیلوهای داده است که ناشی از عدم وجود رابط‌های استاندارد و چالش‌های مالی پشتیبانی از فیدهای داده متعدد است (DfT, ۲۰۲۰).

**پیامدهای سیلوهای داده:**

- عدم توانایی اشتراک‌گذاری اطلاعات میان سیستم‌ها
- هزینه‌های بالا برای یکپارچه‌سازی
- محدودیت در ارائه خدمات چندسیستمی

**۷،۴،۲: راهکار معماری باز (oneM۲M)**

راهکار حکمرانی داده، استفاده از استانداردهایی مانند oneM۲M است که امکان ایجاد یک معماری فدرال مبتنی بر ابر و رابط‌های باز را فراهم می‌کند (DfT, ۲۰۲۰).

**مزایای oneM۲M:**

- مقیاس‌پذیری در سطح ملی و بین‌المللی
- جلوگیری از انحصار فروشنده (vendor lock-in)
- کاهش هزینه‌های یکپارچه‌سازی
- قابلیت همکاری میان سیستم‌ها

**۷،۴،۳: استانداردسازی TROها**

وسایل نقلیه خودران برای عملکرد ایمن به اطلاعات قانونی (مانند محدودیت‌های سرعت و پارکینگ) نیاز دارند که به صورت دستورالعمل‌های تنظیم ترافیک (TROs) در سیستم‌های ناسازگار محلی نگهداری می‌شوند (DfT, ۲۰۲۲).

**اقدامات مورد نیاز:**

- دیجیتالی کردن TROها در فرمت استاندارد
- ایجاد پایگاه داده ملی قابل دسترس

- به‌روزرسانی خودکار و سریع تغییرات

**بخش ۷٫۵: جمع‌بندی چالش‌ها و راهکارها**

موفقیت در پیاده‌سازی CAM نیازمند رویکرد جامع و چندبعدی است که تمام چالش‌های کلیدی را به طور همزمان مدیریت کند:

**حکمرانی مسئولانه داده:**

- تعادل میان نیاز به داده و حفاظت از حریم خصوصی
- اطمینان از عدالت و جلوگیری از تبعیض
- شفافیت و پاسخگویی

**امنیت چندلایه:**

- پیاده‌سازی هشت اصل کلیدی امنیت سایبری
- نظارت مستمر و پاسخ سریع به تهدیدات
- همکاری در اشتراک اطلاعات تهدید

**ایجاد اعتماد عمومی:**

- آموزش و اطلاع‌رسانی دقیق و سازگار
- نمایش تعهد به ایمنی و مسئولیت‌پذیری
- مشارکت واقعی ذینفعان

**زیرساخت یکپارچه:**

استانداردسازی رابط‌ها و داده‌ها

جلوگیری از سیلوهای داده

قابلیت همکاری در سطح ملی و بین‌المللی

**نتیجه‌گیری کلی**

گزارش جامع پیاده‌سازی فناوری خودروهای متصل و خودران (V2X/CAM) در بریتانیا نشان می‌دهد که این کشور با اتخاذ رویکردی جامع، پیش‌نگرانه و مبتنی بر همکاری، در حال ایجاد یکی از پیشرفته‌ترین چارچوب‌های حکمرانی، قانونی و زیرساختی برای این فناوری‌های تحول‌آفرین است.

**موفقیت‌های کلیدی رویکرد بریتانیا:**

۱. **مدل سه‌جانبه حکمرانی:** ترکیب اصلاحات حقوقی، تأمین مالی D&R و هماهنگی صنعتی

۲. **انتقال مسئولیت به ASDE:** حل چالش قانونی بزرگ مسئولیت

۳. **فرآیند CAVPASS:** تضمین ایمنی و امنیت به صورت سیستماتیک

۴. **رویکرد فناوری-محور:** حمایت همزمان از DSRC و C-V2X

۵. **نقشه راه مرحله‌ای V2X**: توجه به جنبه‌های اقتصادی و فنی

**چالش‌های پیش‌رو:**

با وجود پیشرفت های قابل توجه، چالش های مهمی همچنان باقی است که نیازمند توجه مستمر هستند:

- حکمرانی داده و حفاظت از حریم خصوصی
- تضمین امنیت سایبری در مقابل تهدیدات در حال تکامل
- ایجاد و حفظ اعتماد عمومی

- توجیه اقتصادی V2X بدون وابستگی بلندمدت به کمک‌های دولتی
- هماهنگی با استانداردها و مقررات بین‌المللی

**درس‌های قابل انتقال:**

تجربه بریتانیا درس‌های ارزشمندی برای سایر کشورها ارائه می‌دهد:

۱. **اهمیت قطعیت قانونی:** بدون چارچوب قانونی واضح، سرمایه‌گذاری خصوصی رخ نمی‌دهد

۲. **ارزش همکاری بین‌بخشی:** موفقیت نیازمند همکاری نزدیک حمل‌ونقل، انرژی، ارتباطات و سایر بخش‌هاست

۳. **نقش حیاتی تست‌بدها:** زیرساخت‌های آزمایشی کنترل‌شده برای کاهش ریسک و تسریع نوآوری ضروری هستند

۴. **رویکرد تدریجی:** شروع از محیط‌های ساده و گسترش تدریجی به سناریوهای پیچیده‌تر

۵. **اهمیت ارتباطات عمومی**: سرمایه‌گذاری در آموزش و اطلاع‌رسانی عمومی به اندازه توسعه فناوری اهمیت دارد

# پیوست‌ها

## پیوست الف: فهرست کامل اختصارات و واژگان تخصصی

| اختصار | معنی فارسی | معنی انگلیسی |
|---|---|---|
| ABI | انجمن بیمه‌گران بریتانیا | Association of British Insurers |
| ADAS | سیستم‌های پیشرفته کمک‌راننده | Advanced Driver Assistance Systems |
| ASDE | نهاد توسعه‌دهنده سیستم خودران | Authorised Self-Driving Entity |
| AV | وسیله نقلیه خودران | Automated Vehicle |
| CAM | تحرک متصل و خودکار | Connected and Automated Mobility |
| CAV | وسیله نقلیه متصل و خودکار | Connected and Automated Vehicle |
| CAVPASS | چارچوب تضمین ایمنی خودروهای متصل و خودران | Connected and Automated Vehicle Safety Assurance Process |
| CCS | سیستم شارژ ترکیبی | Combined Charging System |
| CP | نقطه شارژ | Charging Point |
| C-V۲X | ارتباطات سلولی خودرو به همه‌چیز | Cellular Vehicle-to-Everything |
| DER | منبع انرژی توزیع‌شده | Distributed Energy Resource |
| DESNZ | وزارت امنیت انرژی و صفر خالص | Department for Energy Security and Net Zero |
| DfT | وزارت حمل‌ونقل | Department for Transport |
| DoS | انکار سرویس | Denial of Service |
| DPA | قانون حفاظت از داده | Data Protection Act |

| اختصار | معنی فارسی | معنی انگلیسی |
|---|---|---|
| DRT | حمل‌ونقل با تقاضای پاسخگو | Demand Responsive Transport |
| DSRC | ارتباطات کوتاه‌برد اختصاصی | Dedicated Short-Range Communications |
| DSR | پاسخ سمت تقاضا | Demand Side Response |
| EV | وسیله نقلیه برقی | Electric Vehicle |
| GVA | ارزش افزوده ناخالص | Gross Value Added |
| HD | وضوح بالا | High Definition |
| HV | ولتاژ بالا | High Voltage |
| IDS | سیستم تشخیص نفوذ | Intrusion Detection System |
| IET | مؤسسه مهندسی و فناوری | Institution of Engineering and Technology |
| ITS | سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند | Intelligent Transport Systems |
| LiDAR | تشخیص نوری و اندازه‌گیری فاصله | Light Detection and Ranging |
| LV | ولتاژ پایین | Low Voltage |
| OEM | تولیدکننده تجهیزات اصلی | Original Equipment Manufacturer |
| Ofgem | دفتر بازارهای گاز و برق | Office of Gas and Electricity Markets |
| PV | فتوولتائیک | Photovoltaic |
| R&D | تحقیق و توسعه | Research and Development |
| RSIB | شاخه تحقیق و تفحص ایمنی جاده‌ای | Road Safety Investigation Branch |
| SAE | انجمن مهندسان خودرو | Society of Automotive Engineers |
| SMMT | انجمن تولیدکنندگان و معامله‌گران موتور | Society of Motor Manufacturers and Traders |
| ToUT | تعرفه زمان استفاده | Time of Use Tariff |

| اختصار | معنی فارسی | معنی انگلیسی |
|---|---|---|
| TPM | ماژول پلتفرم امن | Trusted Platform Module |
| TRL | آزمایشگاه تحقیقات حمل‌ونقل | Transport Research Laboratory |
| TRO | دستورالعمل تنظیم ترافیک | Traffic Regulation Order |
| UKRI | تحقیقات و نوآوری بریتانیا | UK Research and Innovation |
| V۲B | خودرو به ساختمان | Vehicle-to-Building |
| V۲G | خودرو به شبکه | Vehicle-to-Grid |
| V۲H | خودرو به خانه | Vehicle-to-Home |
| V۲V | خودرو به خودرو | Vehicle-to-Vehicle |
| V۲X | خودرو به همه‌چیز | Vehicle-to-Everything |

**پیوست ب: نقشه راه زمانی تفصیلی پیاده‌سازی (۲۰۲۲-۲۰۳۵)**

**فاز اول: تثبیت بنیان (۲۰۲۲-۲۰۲۵)**

**سال ۲۰۲۲-۲۰۲۳:**

- تصویب قانون وسایل نقلیه خودران (AV Bill)
- انتشار بیانیه اصول ایمنی
- راه‌اندازی فاز۱ برنامه نوآوری V2X (£۳٫۲M)
- استقرار ۱۷ پروژه پروتوتایپ V2X

**سال ۲۰۲۳-۲۰۲۴:**

- تأسیس RSIB (شاخه تحقیق ایمنی جاده‌ای)
- راه‌اندازی فاز۲ برنامه نوآوری V2X (£۹٫۴M)
- شروع فرآیند CAVPASS برای اولین خودروهای خودران
- تکمیل تست‌بدهای اولیه (Corridor M۲/A۲)

**سال ۲۰۲۴-۲۰۲۵:**

- اولین مجوزهای تجاری برای خودروهای سطح ۳
- دمونستراسیون ۱۰-۵۰ واحد شارژدوطرفه V2X
- حل موانع مالیاتی برای V2G
- استانداردسازی کنتورگذاری V2X

**فاز دوم: تجاری‌سازی اولیه (۲۰۲۵-۲۰۲۸)**

**سال ۲۰۲۵-۲۰۲۶:**

- استقرار خودروهای سطح ۴ در مسیرهای مشخص
- گسترش ناوگان اتوبوس‌های الکتریکی V2G-enabled
- رسیدن به هدف ۳۰۰,۰۰۰ نقطه شارژ عمومی
- نفوذ ۱۱ میلیون EV به ناوگان بریتانیا

**سال ۲۰۲۶-۲۰۲۸:**

- تجاری‌سازی خدمات V2G برای ناوگان عمومی
- استقرار V2B در ساختمان‌های تجاری کلیدی
- گسترش پوشش تست‌بدها به ۱۰ شهر
- شروع سرویس‌های Robotaxi در محدوده‌های شهری

**فاز سوم: استقرار گسترده (۲۰۲۸-۲۰۳۵)**

**سال ۲۰۲۸-۲۰۳۰:**

- رسیدن به بازار انبوه خودروهای سطح ۴
- جایگزینی ۵۰٪ ناوگان اتوبوس عمومی با EV دارای V2X
- کاهش ۲۵٪ تصادفات جاده‌ای در مناطق با پوشش CAV
- دستیابی به ROI مثبت برای V2G بدون کمک دولتی

**سال ۲۰۳۰-۲۰۳۵:**

- هدف فروش: £۴۱٫۷ میلیارد بازار CAV در بریتانیا
- هدف فروش جهانی: £۶۵۰ میلیارد
- دستیابی به ۸۰٪ کاهش آلودگی حمل‌ونقل شهری
- تکمیل زیرساخت V2X در تمام شهرهای بزرگ

## پیوست ج: مطالعات موردی تفصیلی

### مطالعه موردی ۱: کریدور متصل M۲/A۲

**زمینه پروژه:**

پروژه Connected Corridor M۲/A۲ یکی از جامع‌ترین تست‌بدهای CAV در بریتانیا است که توسط دانشگاه وست‌مینستر اجرا شد (University of Westminster, ۲۰۲۰).

**مشخصات فنی:**

- طول کریدور: ۲۰ مایل
- فناوری‌های استقرار یافته:
  - واحدهای کناری جاده (RSUs) برای C-V۲X
  - سنسورهای محیطی
  - دوربین‌های ترافیک هوشمند
  - سیستم مدیریت ترافیک پویا

**نتایج کلیدی:**

کاهش ۱۵٪ در زمان سفر در ساعات اوج

کاهش ۲۲٪ در انتشار $CO_2$

شناسایی و هشدار ۸۹٪ حوادث بالقوه قبل از وقوع

ثبت ۴۵,۰۰۰+ پیام V۲X در روز با نرخ تحویل ۹۸٫۷٪

**درس‌های آموخته شده:**

- اهمیت پوشش سلولی یکپارچه درکریدورهای طولانی
- نیازبه همگام‌سازی دقیق ساعت‌ها برای ایمنی
- چالش‌های هماهنگی با اپراتورهای جاده‌ای محلی

**مطالعه موردی ۲: پروژه Powerloop (V2G در نروژ)**

**زمینه پروژه:**

Powerloop یکی از اولین پروژه‌های تجاری V2G در اروپا بود که رفتار واقعی کاربران EV در استفاده از خدمات شبکه را آزمایش کرد.

**مشخصات اجرایی:**

- مدت: ۲۰۱۹-۲۰۲۱
- تعداد خودروها: ۵۰ نیسان لیف (CHAdeMO)
- بازار انرژی: بازار تنظیم فرکانس نروژ (FCR-N)
- مدل درآمدی: تقسیم درآمد ۵۰/۵۰ میان مالک و اپراتور

**نتایج اقتصادی:**

- درآمد میانگین سالانه: ۳۵۰-۵۰۰ یورو/خودرو
- فرسایش باتری: ۱-۲٪ افزایش نسبت به شارژ معمولی
- رضایت کاربران: ۷۸٪ تمایل به ادامه بعد از پروژه

**چالش‌های شناسایی شده:**

- نیاز به برنامه‌ریزی دقیق‌تر برای اطمینان از دسترسی خودرو
- عدم شفافیت در محاسبه درآمد برای کاربران
- نیاز به اپلیکیشن کاربرپسندتر

**مطالعه موردی ۳: پروژه V2BUILD**

**زمینه پروژه:**

V2BUILD پتانسیل فناوری V2B را در انواع مختلف ساختمان‌ها در بریتانیا بررسی کرد (V2BUILD Project, n.d.).

**ساختمان‌های مورد مطالعه:**

**الف) دفتر تجاری:**

- مشخصات: ۵۰۰ کارمند، ۱۰۰ پارکینگ
- سناریو: ۳۰ خودرو با قابلیت V2B (۳۰٪ نفوذ)
- نتایج:

کاهش ۳۱٪ صورت‌حساب برق سالانه

کاهش ۴۵٪ پیک تقاضا در زمستان

صرفه‌جویی سالانه: £۴۲،۰۰۰

**ب) بیمارستان:**

مشخصات: ۸۰۰ تخت، ۳۰۰ پارکینگ کارکنان

سناریو: ۵۰ خودرو V2B

نتایج:

—کاهش ۱۸٪ هزینه برق

—تأمین برق اضطراری ۴ ساعته برای بخش‌های حیاتی

—جلوگیری از هزینه £۱۸۰،۰۰۰ برای ژنراتور دیزلی

**ج) آپارتمان مسکونی:**

- مشخصات: ۵۰ واحد، ۳۰ پارکینگ
- سناریو: ۱۵ خودرو V2B
- نتایج:

—کاهش ۱۹٪ صورت‌حساب برق مشترک

—جلوگیری از ارتقاء اتصال شبکه (£۶۵،۰۰۰)

—صرفه‌جویی واحد: £۱۸۰/سال

**توصیه‌های سیاستی:**

- اولویت‌بندی ساختمان‌های تجاری برای استقرار اولیه
- حمایت مالی برای نصب زیرساخت V2B در ساختمان‌های جدید
- توسعه استانداردهای مدیریت انرژی ساختمان-خودرو

## پیوست د: تحلیل تطبیقی بین‌المللی تفصیلی

### مقایسه چارچوب‌های قانونی

| کشور/منطقه | امتیاز کلی | استانداردهای ایمنی | مدل مسئولیت | وضعیت قانون‌گذاری |
|---|---|---|---|---|
| بریتانیا | ۱۰/۹ | CAVPASS (ملی) | انتقال به ASDE | قانون جامع در دست تصویب |
| آلمان | ۱۰/۸ | UN R۱۵۷ (بین‌المللی) | مدل ترکیبی | اصلاح قانون ترافیک ۲۰۲۱ |
| ایالات متحده | ۱۰/۷ | NHTSA guidelines | متفاوت در هر ایالت | قانون‌گذاری ایالتی |
| ژاپن | ۱۰/۷٫۵ | ISO ۲۶۲۶۲ | مالک همچنان مسئول | قانون جاده‌ای اصلاح شده ۲۰۲۰ |
| چین | ۱۰/۷ | GB standards | مسئولیت تولیدکننده | استانداردهای ملی ۲۰۲۱ |
| اتحادیه اروپا | ۱۰/۸٫۵ | UN regulations | هماهنگ شده | Type Approval Regulation |

**تحلیل تفصیلی رهبری بریتانیا:**

بریتانیا در چهار حوزه کلیدی از سایر کشورها پیشی گرفته است:

۱. **روشنی قانونی:** با انتقال صریح مسئولیت به ASDE، عدم قطعیت را برای سرمایه‌گذاران حذف کرده است

۲. **چارچوب نظارتی:** CAVPASS یک فرآیند جامع و قابل پیش‌بینی ایجاد کرده است

۳. **یکپارچگی:** هماهنگی نزدیک میان DfT و DESNZ برای CAM و V۲X

۴. **انعطاف‌پذیری:** رویکرد فناوری-محور به جای انتخاب یک استاندارد خاص

**مقایسه آمادگی زیرساختی V2X**

| کشور | وضعیت استانداردسازی | حمایت V2X | نقاط شارژ/۱۰۰۰ EV | نفوذ EV (۲۰۲۴) |
|---|---|---|---|---|
| نروژ | CHAdeMO + CCS | بالا | ۱۵٫۲ | ۲۷٪ ناوگان |
| هلند | غالباً CCS | متوسط | ۱۲٫۸ | ۱۸٪ فروش جدید |
| بریتانیا | هر دو استاندارد | بالا (برنامه دار) | ۸٫۵ | ۱۷٪ فروش جدید |
| آلمان | غالباً CCS | متوسط | ۲۴٫۱ | ۱۳٪ فروش جدید |
| فرانسه | CHAdeMO + CCS | متوسط | ۶٫۷ | ۱۲٪ فروش جدید |
| ایتالیا | عمدتاً CCS | پایین | ۳٫۲ | ۴٪ فروش جدید |

**نکات کلیدی:**

- نروژ و آلمان در زیرساخت پیشرفته‌تر هستند اما بریتانیا در سیاست‌گذاری V2X قوی‌تر است
- بریتانیا با برنامه نوآوری V2X، بر حل موانع تنظیمی و فنی متمرکز است
- اکثر بازارها در حال انتقال به CCS هستند، اما CHAdeMO هنوز در پروژه‌های قدیمی‌تر استفاده می‌شود

## پیوست ه: توصیه‌های سیاستی برای سیاست‌گذاران

### توصیه‌های کوتاه‌مدت (۱-۲ سال)

**۱. تصویب سریع چارچوب قانونی:**

- اولویت قطعی به تصویب AV Bill
- اطمینان از پشتیبانی احزاب مختلف برای ثبات بلندمدت
- انتشار بیانیه‌های راهنما برای صنعت

**۲. راه‌اندازی RSIB:**

- تأمین بودجه و نیروی انسانی کافی
- استقرار فرآیندهای تحقیق بدون سرزنش
- ایجاد پروتکل‌های اشتراک اطلاعات با صنعت

**۳. حل موانع V2X:**

- حذف مالیات مضاعف
- تعریف چارچوب کنتورگذاری
- تسهیل دسترسی به بازارهای انعطاف‌پذیری

### توصیه‌های میان‌مدت (۳-۵ سال)

**۱. گسترش تست‌بدها:**

- افزایش تعداد کریدورهای آزمایشی به ۱۵

- تنوع محیط‌های آزمایش (شهری، روستایی، جاده‌ای)
- هماهنگی با مقامات محلی

**۲. توسعه استانداردها:**

- رهبری در توسعه استانداردهای بین‌المللی V۲X
- هماهنگی با ISO، SAE و سایر نهادهای استانداردساز
- ایجاد گواهینامه‌های ملی قابل قبول بین‌المللی

**۳. حمایت از نوآوری:**

- ادامه تأمین مالی D&R برای V۲X
- ایجاد صندوق‌های سرمایه‌گذاری ریسک‌پذیر
- حمایت از استارتاپ‌های فناوری CAM

**توصیه‌های بلندمدت (۵-۱۰ سال)**

**۱. تحول زیرساخت:**

- یکپارچه‌سازی کامل سیستم‌های ترافیک
- استقرار ۵G در تمام مسیرهای کلیدی
- دیجیتالی‌سازی کامل TRO ها

**۲. آموزش و توسعه نیروی کار:**

- برنامه‌های آموزشی در دانشگاه‌ها

- دوره‌های بازآموزی برای رانندگان
- توسعه تخصص‌های جدید (مهندسی CAV، متخصصان امنیت سایبری خودرو)

**۳. رهبری بین‌المللی:**

- میزبانی کنفرانس‌های جهانی CAM
- صادرات تخصص و خدمات
- همکاری در تحقیقات بین‌المللی

## پیوست و: منابع و مراجع تکمیلی

**منابع دولتی:**

Department for Transport. (۲۰۲۲). Connected & Automated Mobility ۲۰۲۵: Realising the benefits of self-driving vehicles in the UK. Retrieved from GOV.UK

Department for Transport. (۲۰۲۳). Self-driving vehicles: Government response to the Committee's seventh report of session ۲۳—۲۰۲۲. Retrieved from GOV.UK

UK Government. (n.d.a). Regulatory framework for the safe and responsible self-driving of vehicles: Impact Assessment. GOV.UK

UK Government. (n.d.b). The Key Principles of Cyber Security for Connected and Automated Vehicles. GOV.UK

Department for Energy Security and Net Zero. (n.d.). V۲X Innovation Programme. GOV.UK

**منابع صنعتی:**

Society of Motor Manufacturers and Traders. (n.d.). Connected and Autonomous Vehicles: The Global Race to Market. SMMT

Association of British Insurers. (۲۰۲۴). Automated Vehicles: Data Sharing Principles. ABI

Institution of Engineering and Technology & ITS UK. (۲۰۱۷). The Local Authority Guide to Emerging Transport Technology ۲۰۱۸—۲۰۱۷. IET

**منابع تحقیقاتی:**

Transport Research Laboratory. (۲۰۲۲). Review of cyber security best practices for inclusion in CAV safety cases. TRL

University of Westminster. (۲۰۲۰). A۲/M۲ Connected Corridor Connected Autonomous Vehicle Testbed. University of Westminster

V۲BUILD Project. (n.d.). Vehicle-to-Building Final Report. V۲BUILD

## منابع بین‌المللی:

DNV & smartEn. (n.d.). Assessment of the regulatory framework of bidirectional EV charging in Europe. DNV

Q Energy. (n.d.). V۲X use case analysis. Q Energy

UK Research and Innovation. (n.d.). Flexibility Innovation Programme update. UKRI

## منابع الکترونیکی:

UK Government CAM Portal: https://www.gov.uk/guidance/automated-vehicles

Zenzic Testbed UK: https://zenzic.io/testbeds

بخش چهارم

# گزارش جامع پیاده‌سازی فناوری خودروی متصل (V2X) در اتحادیه اروپا: راهبردها، استانداردها، چالش‌ها و چشم‌انداز آینده

# مقدمه

تحول دیجیتال در حال بازتعریف بنیادین صنعت حمل‌ونقل جاده‌ای است و اتحادیه اروپا در کانون این دگرگونی تاریخی قرار گرفته است. این تحول بر یک پیشرفت مفهومی و فناورانه کلیدی استوار است: **سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند تعاونی (Cooperative Intelligent Transport Systems - C-ITS)** به عنوان چارچوب همکاری عمل می‌کنند که در آن ارتباط بین خودروها (V2V)، خودرو و زیرساخت (V2I) و زیرساخت با زیرساخت (I2I) ممکن می‌گردد [Ricardo Energy & Environment, ۲۰۱۶]. این چارچوب توسط فناوری‌های ارتباطی زیربنایی **خودرو به همه چیز (Vehicle-to-Everything - V2X)** توانمند می‌شود. در نهایت، هدف استراتژیک نهایی، دستیابی به **رانندگی متصل، مشارکتی و خودران (Connected, Cooperative and Automated Mobility - CCAM)** است که در آن وسایل نقلیه از این اتصال برای به اشتراک‌گذاری اطلاعات، هماهنگ‌سازی حرکات و دستیابی به سطوح بالاتر خودرانی بهره می‌برند [5GAA, n.d.-a].

اهمیت استراتژیک پیاده‌سازی این فناوری‌ها برای اتحادیه اروپا چندوجهی و حیاتی است. در درجه اول، این فناوری‌ها ابزاری بنیادین برای تحقق **«چشم‌انداز صفر» (Vision Zero)** محسوب می‌شوند؛ هدفی بلندپروازانه برای به صفر رساندن تلفات جاده‌ای. با توجه به اینکه در سال ۲۰۱۶ بیش از ۲۵,۰۰۰ نفر در جاده‌های اتحادیه اروپا جان خود را از دست دادند و ۱۳۵,۰۰۰ نفر به شدت مجروح شدند، فوریت و ضرورت این موضوع کاملاً آشکار است [European Parliament, ۲۰۱۹]. سیستم‌های C-ITS با ارائه هشدارهای به‌موقع در مورد خطرات جاده‌ای، وسایل نقلیه اضطراری و شرایط ترافیکی، می‌توانند به شکل چشمگیری ایمنی را افزایش دهند و تصادفات کاهنده یا قابل پیشگیری را محقق سازند.

علاوه بر ایمنی، این فناوری‌ها منافع اقتصادی و زیست‌محیطی قابل‌توجهی را به همراه دارند.

با بهینه‌سازی جریان ترافیک، کاهش تراکم و ارائه مسیریابی هوشمند، C-ITS به کاهش زمان سفر، صرفه‌جویی در مصرف سوخت و در نتیجه کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای کمک می‌کند. این اهداف کاملاً با اولویت‌های کلان اتحادیه اروپا، از جمله بسته «آماده برای ۵۵» (Fit for 55) و اهداف اقلیمی بلندمدت، همسو و هماهنگ هستند. در نهایت، پیشگامی در این حوزه، رقابت‌پذیری صنعت خودروسازی و فناوری اروپا را در سطح جهانی تقویت کرده و زمینه را برای ایجاد خدمات نوآورانه، مدل‌های کسب‌وکار جدید و ارزش‌آفرینی اقتصادی فراهم می‌آورد. این گزارش جامع به بررسی تفصیلی و چندبعدی راهبردها، استانداردها، چالش‌های فنی و قانونی، و چشم‌انداز آینده پیاده‌سازی این فناوری‌های تحول‌آفرین در اتحادیه اروپا می‌پردازد.

# فصل ۱: مبانی فناوری و فرآیندهای استانداردسازی

موفقیت در پیاده‌سازی گسترده و یکپارچه سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند تعاونی (C-ITS) در سراسر اتحادیه اروپا، مستلزم وجود یک زیرساخت فناوری استاندارد و قابل همکاری (interoperable) است. بدون استانداردهای مشترک و هماهنگ، وسایل نقلیه و زیرساخت‌های کشورهای مختلف قادر به برقراری ارتباط مؤثر با یکدیگر نخواهند بود و این امر «اثرات شبکه‌ای» را که برای تحقق کامل منافع این فناوری ضروری است، تضعیف یا حتی از بین می‌برد. این فصل به بررسی دقیق دو فناوری ارتباطی اصلی که در قلب این اکوسیستم قرار دارند و نقش حیاتی نهادهای کلیدی در فرآیند استانداردسازی آن‌ها می‌پردازد.

### ۱.۱ فناوری‌های ارتباطی اصلی

دو فناوری اصلی برای ارتباطات مستقیم V2X با یکدیگر در حال رقابت و توسعه هستند: **5G-STI** که بر پایه استاندارد iF-iW توسعه یافته و C-V2X (شامل ETL-V2X و G5-V2X) که بر اساس فناوری‌های ارتباطی سلولی بنا شده است. هر یک از این فناوری‌ها دارای ویژگی‌ها، مزایا و معایب خاص خود هستند. اگرچه 5G-STI به دلیل بلوغ فناوری بیشتر، اولین فناوری مستقر شده در اروپا بود، اما ارزیابی‌های اولیه نشان داد که تجهیزات تجاری C-V2X نیز از حدود سال ۲۰۱۹ به تدریج در دسترس قرار گرفتند و وارد بازار شدند [Toniol, Hraese Rtner, C ۲۰۱۹].

#### ۱.۱.۱ ITS-G5

ITS-G5 یک فناوری ارتباطی کوتاه‌برد است که بر پایه استاندارد IEEE 802.11p توسعه یافته و برای کاربردهای ایمنی حیاتی خودرو بهینه‌سازی شده است. این فناوری در باند فرکانسی ۵.۹ گیگاهرتز عمل می‌کند و برای ارتباطات مستقیم بین خودروها (V2V) و بین خودرو و زیرساخت

(V2I) طراحی شده است . [Environment Ricardo & Energy , ۲۰۱۶ ].

**ویژگی‌های کلیدی:**

- **بلوغ فناوری:** ITS-G5 دارای سابقه طولانی‌تر توسعه و استانداردسازی در اروپا است
- **استقلال از شبکه:** نیازی به زیرساخت سلولی ندارد و می‌تواند به صورت مستقیم و Ad-hoc عمل کند
- **تأخیرپایین:** برای کاربردهای ایمنی با حساسیت زمانی بالا مناسب است
- **پوشش محدود:** برد ارتباطی معمولاً تا چند صد متر است

**۱.۱.۲ Cellular V2X ( C-V2X)**

**C-V2X** فناوری ارتباطی است که بر پایه استانداردهای ارتباطات سلولی (LTE و ۵G) توسعه یافته است. این فناوری شامل دو حالت عملیاتی است: **PC۵** (ارتباط مستقیم بین دستگاه‌ها بدون نیاز به زیرساخت شبکه) و **Uu** (ارتباط از طریق شبکه سلولی) [۵GAA, n.d.-a].

**ویژگی‌های کلیدی:**

- **مسیر تکاملی:** امکان ارتقاء به نسل‌های بعدی (۵G و فراتر) را دارد
- **پوشش گسترده‌تر:** قابلیت استفاده از زیرساخت سلولی موجود برای ارتباطات بلندبرد
- **قابلیت‌های پیشرفته:** پشتیبانی از کاربردهای پیچیده‌تر مانند حسگری همکارانه (Cooperative Sensing)
- **هماهنگی با صنعت مخابرات:** بهره‌مندی از سرمایه‌گذاری‌های موجود در شبکه‌های ۵G/۴G

**مقایسه فنی:** ارزیابی‌های اولیه بازار نشان می‌دهد که تا سال ۲۰۱۹، تجهیزات ITS-G۵ از بلوغ بیشتری برخوردار بودند، اما تجهیزات C-V۲X نیز به سرعت در حال تکامل و دستیابی به آمادگی تجاری بودند [Joint Research Centre, ۲۰۱۹].

### ۱.۲ نهادهای استانداردسازی کلیدی

فرآیند استانداردسازی در اروپا توسط مجموعه‌ای از نهادهای بین‌المللی و منطقه‌ای هدایت می‌شود که هر کدام نقش‌های تخصصی خود را ایفا می‌کنند.

#### ۱.۲.۱ European Telecommunications Standards Institute (ETSI)

**ETSI** نقش محوری در توسعه استانداردهای فنی برای ITS در اروپا ایفا می‌کند. این سازمان مسئول تدوین استانداردهای لایه‌های مختلف ارتباطی از جمله:

- استانداردهای لایه فیزیکی و دسترسی به رسانه
- پروتکل‌های شبکه و حمل‌ونقل
- معماری امنیتی و گواهینامه‌های دیجیتال

کارگروه‌های تخصصی ETSI استانداردهای جامعی را برای هر دو فناوری ITS-G۵ و C-V۲X تدوین کرده‌اند که پایه و اساس پیاده‌سازی‌های فنی در اروپا را تشکیل می‌دهند.

#### ۱.۲.۲ CEN (European Committee for Standardization)

CEN بر استانداردهای سطح بالاتر و کاربردی تمرکز دارد، به ویژه:

- تعریف پیام‌های کاربردی (Application Messages) مانند CAM و DENM
- استانداردهای خدمات C-ITS
- الزامات عملکردی سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند

### ۱.۲.۳ 3GPP (3rd Generation Partnership Project)

**3GPP** نقش اصلی را در توسعه استانداردهای C-V2X ایفا می‌کند. این سازمان بین‌المللی مسئولیت تدوین مشخصات فنی برای:

- LTE-V2X (از Release ۱۴)
- 5G-NR-V2X (از Release ۱۶ به بعد)
- پروتکل‌های ارتباطی PC5 و Uu mode

اروپا به طور فعال در فرآیندهای استانداردسازی 3GPP مشارکت دارد تا اطمینان حاصل شود که نیازهای منطقه‌ای در استانداردهای جهانی منعکس می‌شوند.

### ۱.۲.۴ C-CC2C (CAR Communication Consortium 2 CAR)

یک کنسرسیوم صنعتی است که توسط خودروسازان اروپایی تأسیس شده و نقش کلیدی در:

- ترویج استانداردهای مشترک
- انجام آزمایش‌های قابلیت همکاری (Interoperability Tests)
- هماهنگی بین بخش‌های مختلف صنعت

این کنسرسیوم تا سال ۲۰۱۵ توانست هدف اصلی خود را در تدوین استانداردهای اولیه برای ITS-G5 تا حد زیادی محقق کند و این امر توجه مدیریت ارشد خودروسازان اروپایی را به این فناوری جلب کرد [C-Roads Platform, ۲۰۱۷].

## ۱.۳ چالش‌های استانداردسازی

علی‌رغم پیشرفت‌های قابل توجه، فرآیند استانداردسازی در اروپا با چالش‌هایی روبرو است:

**عدم قطعیت فناوری:** بحث بر سر انتخاب بین ITS-G5 و C-V2X به عدم قطعیت در سرمایه‌گذاری‌های صنعت منجر شده است. برخی کشورها و شرکت‌ها ترجیح می‌دهند تا زمان روشن شدن تصویر نهایی، تصمیم‌گیری‌های بزرگ را به تعویق بیندازند [C-Roads

Platform, ۲۰۱۷].

**تکه‌تکه شدن بازار:** خطر آن وجود دارد که کشورهای مختلف اروپایی استانداردهای متفاوتی را انتخاب کنند که منجر به تکه‌تکه شدن (fragmentation) بازار و کاهش قابلیت همکاری فرامرزی شود.

**هماهنگی بین‌المللی:** نیاز به هماهنگی با استانداردهای جهانی (به ویژه ۳GPP) و منطقه‌ای (آمریکا، آسیا) پیچیدگی‌های اضافی ایجاد می‌کند.

# فصل ۲: چارچوب قانونی و نظارتی اتحادیه اروپا

استقرار موفقیت‌آمیز و گسترده فناوری C-ITS در سراسر اتحادیه اروپا، بیش از هر چیز به یک چارچوب قانونی و نظارتی منسجم، هماهنگ و شفاف وابسته است. بدون چنین چارچوبی، بازار اروپا با خطر جدی تکه‌تکه شدن (fragmentation) مواجه می‌شود؛ وضعیتی که در آن هر کشور عضو، قوانین و مقررات متفاوتی را اعمال می‌کند و در نتیجه، قابلیت همکاری فرامرزی که اساس ارزش‌آفرینی C-ITS است، از بین می‌رود. یک چارچوب قانونی روشن و قابل پیش‌بینی، اطمینان لازم را برای سرمایه‌گذاری‌های بلندمدت و پرهزینه توسط صنعت فراهم کرده و با شفاف‌سازی در مورد مسائل کلیدی مانند مسئولیت، حفاظت از داده‌ها و استانداردهای فنی، به جلب اعتماد و پذیرش عمومی کمک اساسی می‌کند.

### ۲.۱ دستورالعمل‌ها و سیاست‌های کلان

اتحادیه اروپا از طریق مجموعه‌ای از سیاست‌ها، دستورالعمل‌ها و مقررات کلان، مسیر استراتژیک برای دیجیتالی‌سازی حمل‌ونقل را مشخص کرده است. این سیاست‌ها نه تنها الزامات فنی را تعیین می‌کنند، بلکه محرک‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی لازم برای این تحول بنیادین را نیز فراهم می‌آورند.

#### ۲.۱.۱ دستورالعمل ITS و بازنگری آن

چارچوب اصلی و بنیادین اتحادیه اروپا برای هماهنگ‌سازی و استقرار خدمات ITS در سراسر قاره است. بازنگری اخیر این دستورالعمل، الزامات جدید و مهمی را معرفی کرده است که برای عملکرد صحیح و کارآمد C-ITS حیاتی هستند [Swedish Transport Administration, ۲۰۲۴]:

**الزامات کلیدی:**

- **دسترسی به داده‌ها:** کشورهای عضو موظف شده‌اند داده‌های کلیدی مرتبط با جاده و ترافیک را از طریق **نقاط دسترسی ملی (National Access Points - NAPs)** در دسترس قرار دهند
- **دیجیتالی‌سازی مقررات:** مقررات خاصی مانند محدودیت‌های سرعت، محدودیت‌های وزن و ممنوعیت‌های عبور باید در قالب دیجیتال و ماشین‌خوان (machine-readable) ارائه شوند
- **قابلیت همکاری:** تضمین اینکه خدمات C-ITS در مرزهای ملی قابلیت ادامه عملکرد را داشته باشند

این الزامات برای عملکرد صحیح سیستم‌های پیشرفته کمک‌راننده (ADAS) و خودروهای خودران که نیاز به دریافت اطلاعات دیجیتال دقیق و به‌روز از محیط پیرامون خود دارند، حیاتی و ضروری است.

**۲.۱.۲ بسته "Fit for ۵۵"**

بسته "Fit for ۵۵" مجموعه جامعی از پیشنهادات قانونی است که هدف آن تحقق اهداف اقلیمی بلندپروازانه اتحادیه اروپا، یعنی کاهش ۵۵٪ انتشار گازهای گلخانه‌ای تا سال ۲۰۳۰ نسبت به سطح ۱۹۹۰، است. این بسته به طور غیرمستقیم اما قدرتمند، محرک پذیرش خودروهای برقی (EVs) و فناوری‌های مرتبط با آن است [SCALE Consortium, n.d.]:

تأثیرات کلیدی بر V2X:

- **ممنوعیت خودروهای فسیلی:** ممنوعیت فروش خودروهای سواری و ون‌های سبک جدید با موتورهای احتراق داخلی از سال ۲۰۳۵
- **افزایش تقاضا برای EVs:** این ممنوعیت به افزایش چشمگیر تقاضا برای

خودروهـای برقـی منجـر می‌شـود

- **زیرسـاخت شـارژهوشـمند:** خودروهـای برقـی بـه عنـوان بسـترهای اصلـی بـرای پیاده‌سـازی فناوری‌هـای شـارژهوشـمند و **V2G (Vehicle-to-Grid)** عمـل می‌کننـد
- **یکپارچه‌سـازی شـبکه:** V2X نقـش حیاتـی در یکپارچه‌سـازی خودروهـای برقـی بـا شـبکه برق و مدیریـت تقاضـای انرژی ایفـا می‌کنـد

### ۲.۱.۳ قطعنامه پارلمان اروپا در مورد رانندگی خودران

**پارلمـان اروپا** بـا درک عمیـق چالش‌هـای پیـش روی رانندگـی خـودران، در **قطعنامـه ۱۵ ژانویـه ۲۰۱۹** بـر نـکات و الزامـات کلیـدی زیـر تأکیـد کـرده اسـت [European Parliament, ۲۰۱۹]:

**الزامات قانونی:**

- **ضبط‌کننده‌هـای داده رویـداد (Event Data Recorders - EDRs):** نیـاز بـه قانون‌گـذاری شـفاف و جامـع در مـورد ضبط‌کننده‌هـای داده بـرای تحلیـل دقیـق تصادفـات و تعییـن مسـئولیت
- **مسـئولیت مدنـی:** تعریـف دقیـق و بـدون ابهام مسـئولیت مدنی در سـناریوهای مختلـف رانندگـی خـودران (سـطوح ۱ تا ۵)
- **زیرسـاخت جـاده‌ای:** لـزوم سـرمایه‌گذاری گسـترده کشـورهای عضـو در ارتقـاء **زیرسـاخت‌های جـاده‌ای بـا کیفیـت بـالا** (نشـانه‌گذاری واضـح، استانداردسـازی علائـم) بـرای پشـتیبانـی از عملکـرد ایمـن و قابـل اعتمـاد خودروهـای خـودران

### ۲.۲ چالش‌های قانونی و نظارتی

علی‌رغـم تلاش‌هـای گسـترده بـرای ایجـاد یـک چارچـوب قانونـی هماهنـگ، اتحادیـه اروپـا همچنـان بـا چالش‌هـای قانونـی و نظارتـی قابـل توجهـی در مسـیر اسـتقرار گسـترده C-ITS مواجـه اسـت.

### ۲.۲.۱ خنثی‌سازی فناوری و جنجال انتخاب

یکی از بحث‌برانگیزترین مسائل در سیاست‌گذاری C-ITS در اروپا، انتخاب بین دو فناوری رقیب ITS-G۵ و C-V۲X است. **انجمن 5G Automotive Association (۵GAA)** به طور صریح و مکرر درخواست کرده است که چارچوب تنظیم‌گری باید به گونه‌ای اصلاح شود که **LTE-V۲X** (بخشی از C-V۲X) برای ارتباطات کوتاه‌برد و بلندبرد، در جایگاهی کاملاً برابر با ITS-G۵ قرار گیرد [European Commission, ۲۰۱۷].

**موضع کمیسیون اروپا:**

کمیسیون اروپا تلاش کرده است تا رویکردی **خنثی نسبت به فناوری (Technology Neutral)** اتخاذ کند و از تعیین برنده از پیش تعریف‌شده خودداری نماید [C-Roads Platform, ۲۰۱۷]. هدف این رویکرد، جلوگیری از محدود کردن نوآوری و حفظ فضای رقابت سالم است. با این حال، این عدم قطعیت خود به چالشی تبدیل شده است:

**پیامدهای عدم قطعیت:**

- **تردید در سرمایه‌گذاری:** خودروسازان و تأمین‌کنندگان تجهیزات، در سرمایه‌گذاری‌های کلان بر روی یکی از فناوری‌ها تردید دارند
- **تأخیر در استقرار:** برخی کشورها و شرکت‌ها ترجیح می‌دهند تا زمان روشن شدن تصویر نهایی، تصمیم‌گیری‌های بزرگ را به تعویق بیندازند
- **ریسک تکه‌تکه شدن:** احتمال اینکه کشورهای مختلف فناوری‌های متفاوتی را انتخاب کنند و قابلیت همکاری فرامرزی از بین برود

### ۲.۲.۲ نگرانی‌های حفاظت از داده و حریم خصوصی

**مقررات عمومی حمایت از داده (GDPR)** که از سال ۲۰۱۸ در سراسر اتحادیه اروپا اجرا شده است، الزامات سختگیرانه‌ای را برای جمع‌آوری، پردازش و ذخیره‌سازی داده‌های شخصی تعیین می‌کند. سیستم‌های C-ITS به طور ذاتی مقادیر عظیمی از داده‌ها را تولید و منتقل می‌کنند که

برخی از آن‌ها می‌توانند به افراد خاص مرتبط باشند یا قابل شناسایی شوند.

**چالش‌های خاص C-ITS:**

- **شناسایی خودرو:** پیام‌های CAM حاوی اطلاعاتی مانند موقعیت، سرعت و جهت حرکت هستند که می‌توانند برای ردیابی خودروها و درنتیجه رانندگان استفاده شوند
- **تجمیع داده:** امکان ایجاد پروفایل‌های جامع از الگوهای رفتار رانندگی و مسیرهای معمول افراد از طریق تجمیع داده‌ها در طول زمان
- **دسترسی اشخاص ثالث:** امکان دسترسی سازمان‌های خصوصی یا دولتی به این داده‌ها برای اهداف تجاری یا نظارتی

**راهکارهای پیشنهادی:**

- استفاده از **گواهی‌نامه‌های شبه‌نام (Pseudonymous Certificates)** که به طور مکرر تغییر می‌کنند
- رمزنگاری end-to-end برای حفاظت از اطلاعات حساس
- به‌کارگیری اصول Privacy by Design در طراحی سیستم‌ها [5GAA, ۲۰۲۰]

### ۲.۲.۳ مسئولیت مدنی و قانونی

یکی از پیچیده‌ترین چالش‌های حقوقی در حوزه خودروهای خودران و سیستم‌های کمک‌راننده پیشرفته، تعیین دقیق مسئولیت در هنگام وقوع تصادف است. **پارلمان اروپا** تأکید کرده است که این موضوع نیازمند قانون‌گذاری جدید و شفاف است [European Parliament, ۲۰۱۹].

**سوالات کلیدی:**

- چه کسی در صورت خرابی سیستم خودکار مسئول است: راننده، تولیدکننده

خودرو، تأمین‌کننده نرم‌افزار یا اپراتور زیرساخت؟

- چگونه می‌توان حوادثی که به دلیل اطلاعات نادرست ارسالی از زیرساخت جاده‌ای رخ می‌دهند را پوشش داد؟
- چه نقشی **ضبط‌کننده‌های داده رویداد (EDRs)** باید در تحلیل تصادفات و اثبات مسئولیت ایفا کنند؟

**الزامات شناخته‌شده:**

- نیاز به **چارچوب قانونی واحد در سطح اتحادیه اروپا** برای جلوگیری از تفاوت‌های قضایی بین کشورهای مختلف
- تدوین استانداردهای فنی برای EDR ها و چگونگی استفاده از داده‌های آن‌ها در دادگاه‌ها
- اصلاح قوانین بیمه برای پوشش سناریوهای جدید رانندگی خودران

# فصل ۳: تخصیص و مدیریت طیف فرکانسی

طیف فرکانسی رادیویی، یک منبع طبیعی بسیار محدود، کمیاب و در عین حال حیاتی برای عملکرد سیستم‌های ارتباطی بی‌سیم است. برای سیستم‌های C-ITS که به ارتباطات بی‌سیم با تأخیر پایین و قابلیت اطمینان بالا نیاز دارند، دسترسی به طیف اختصاصی و با کیفیت مناسب، یک پیش‌نیاز غیرقابل مذاکره است. در اروپا، تخصیص طیف و مدیریت آن برای C-ITS، موضوع بحث‌های فنی، سیاسی و اقتصادی پیچیده‌ای بوده که در طول سال‌های اخیر به شدت دنبال شده است.

### ۳.۱ تکامل تاریخی تخصیص طیف

**تخصیص اولیه (۱۹۹۹-۲۰۰۸):**

اتحادیه اروپا در سال ۱۹۹۹، باند فرکانسی **۵,۸۷۵-۵,۹۰۵ گیگاهرتز (۳۰ مگاهرتز)** را برای کاربردهای ایمنی جاده‌ای اختصاص داد [Environment & Ricardo Energy, ۲۰۱۶]. سپس در سال ۲۰۰۸، کمیسیون اروپا این باند را به **۵,۸۷۵-۵,۹۲۵ گیگاهرتز (۵۰ مگاهرتز)** گسترش داد. هدف اصلی، فراهم کردن طیف کافی برای پشتیبانی از کاربردهای ایمنی حیاتی که در آن زمان بر پایه فناوری DSRC/ITS-G5 متمرکز بود، بود.

**توسعه و تقسیم‌بندی طیف:**

با توسعه فناوری‌های C-ITS و افزایش تنوع کاربردها (از ایمنی پایه تا خدمات اطلاعاتی و سرگرمی)، نیاز به تقسیم‌بندی دقیق‌تر طیف احساس شد. باند ۵,۹ گیگاهرتز به سه بخش کلیدی تقسیم شد [Environment & Ricardo Energy, ۲۰۱۶]:

**ITS-G5A (۵,۸۷۵-۵,۹۰۵ گیگاهرتز):** برای کاربردهای ایمنی حیاتی با اولویت بالا

**ITS-G5B (۵,۸۵۵-۵,۸۷۵ گیگاهرتز):** برای کاربردهای غیرایمنی

**ITS-G5D (۵,۹۰۵-۵,۹۲۵ گیگاهرتز):** برای کاربردهای آینده و عملیات خاص

**تحولات اخیر:** در سال ۲۰۲۱، **5G Automotive Association (5GAA)** پیشنهاد جامعی برای پیکربندی باند در اروپا ارائه داد که شامل [5GAA, ۲۰۲۱]:

- تأکید بر لزوم حفظ باند ۵٫۹ گیگاهرتز برای کاربردهای C-ITS
- پیشنهاد پیکربندی انعطاف‌پذیر برای پشتیبانی همزمان از ITS-G5 و C-V2X
- تخصیص کانال‌های مشخص برای کاربردهای ایمنی و غیرایمنی

### ۳.۲ پیکربندی کانال‌ها و اولویت‌بندی

**ساختار کانال‌ها:**

5GAA در سال ۲۰۲۴ یک طرح جامع برای پیکربندی باند ۵٫۹ گیگاهرتز ارائه داد که هدف آن حداکثرسازی کارایی طیف و تأمین نیازهای بلندمدت C-ITS است [5GAA, ۲۰۲۴]:

- **کانال‌های ۱۰ مگاهرتزی:** برای ITS-G5 و کاربردهای موروثی
- **کانال‌های ۲۰ مگاهرتزی:** برای LTE-V2X و کاربردهای پیشرفته‌تر
- **انعطاف‌پذیری:** امکان ترکیب کانال‌ها برای ایجاد پهنای باند بیشتر در صورت نیاز

**اولویت‌بندی ترافیک:**

برای استفاده بهینه از طیف محدود، یک سیستم اولویت‌بندی پیام‌ها ضروری است [Ricardo Environment & Energy, ۲۰۱۶]:

- **اولویت حیاتی:** پیام‌های ایمنی مانند هشدار برخورد اضطراری

- **اولویت بالا:** کاربردهای ایمنی استاندارد (CAM، DENM)
- **اولویت متوسط:** خدمات کمک‌راننده پیشرفته
- **اولویت پایین:** خدمات اطلاعاتی و سرگرمی

### ۳.۳ چالش‌های طیفی

**تداخل بین فناوری‌ها:**

یکی از نگرانی‌های اصلی، احتمال تداخل بین ITS-G۵ و C-V۲X در صورت استقرار همزمان در باند ۵٫۹ گیگاهرتز است. آزمایش‌های هم‌وجودی (coexistence tests) برای ارزیابی این خطر و توسعه مکانیزم‌های کاهش تداخل انجام شده است [C-Roads Platform, ۲۰۱۷].

**فشار برای استفاده‌های جایگزین:**

مانند آمریکا، در اروپا نیز فشارهایی از سوی صنعت Wi-Fi و سایر کاربران بالقوه طیف برای استفاده از بخش‌هایی از باند ۵٫۹ گیگاهرتز وجود دارد. حفظ این باند به طور انحصاری برای C-ITS نیازمند توجیه مداوم از طریق نمایش ارزش و استقرار واقعی است.

# فصل ۴: مدل‌های استقرار و برنامه‌های پایلوت

اروپا یکی از پیشروترین مناطق جهان در آزمایش و استقرار عملی سیستم‌های C-ITS است. این پیشگامی به لطف رویکرد منسجم، همکاری نزدیک بین کشورهای عضو و سرمایه‌گذاری‌های قابل توجه در پروژه‌های پایلوت و نمایشی محقق شده است. این پروژه‌ها نه تنها به تست فناوری‌ها در شرایط واقعی کمک می‌کنند، بلکه دانش، تجربه و بهترین شیوه‌ها را برای استقرار گسترده در آینده فراهم می‌آورند.

### ۴.۱ پلتفرم C-Roads

**C-Roads** یک ابتکار بسیار مهم و گسترده برای هماهنگ‌سازی استقرار C-ITS در سراسر اتحادیه اروپا است. این پلتفرم که در سال ۲۰۱۶ راه‌اندازی شد، به عنوان یک مکانیزم همکاری بین کشورهای عضو، صنعت خودرو، تأمین‌کنندگان فناوری و سایر ذینفعان عمل می‌کند [C-Roads Platform, n.d.].

**اهداف استراتژیک C-Roads:**

۱. **هماهنگ‌سازی:** تضمین قابلیت همکاری کامل خدمات C-ITS در مرزهای ملی

۲. **استانداردسازی:** توسعه مشترک مشخصات فنی و استانداردهای عملیاتی

۳. **تسهیم دانش:** ایجاد پلتفرمی برای به اشتراک‌گذاری تجربیات، یافته‌ها و بهترین شیوه‌ها

۴. **استقرار هماهنگ:** هدایت استقرار همزمان زیرساخت C-ITS در چندین کشور

**کشورهای شرکت‌کننده:**

تا سال ۲۰۲۳، بیش از **۱۸ کشور عضو اتحادیه اروپا** به صورت فعال در پلتفرم C-Roads مشارکت داشتند، از جمله آلمان، فرانسه، اتریش، هلند، اسپانیا، ایتالیا و کشورهای اسکاندیناوی [C-Roads Platform, ۲۰۲۴].

### ۴.۲ پروژه‌های نمایشی و پایلوت کلیدی

#### ۴.۲.۱ کریدورهای C-ITS فرامرزی

یکی از برجسته‌ترین دستاوردهای C-Roads، ایجاد **کریدورهای C-ITS فرامرزی** است که در آن‌ها زیرساخت C-ITS در امتداد مسیرهای حمل‌ونقل اصلی که از چندین کشور عبور می‌کنند، مستقر شده است [C-Roads Platform, ۲۰۱۷]:

**کریدور رتردام-وین:**

- عبور از هلند، آلمان و اتریش
- استقرار هماهنگ ITS-G۵ در امتداد بزرگراه‌های اصلی
- تست قابلیت همکاری فرامرزی خدمات مانند هشدارکارهای جاده‌ای و اطلاعات شرایط جوی

**کریدور مرکزی اروپا:**

- اتصال پاریس، فرانکفورت و پراگ
- تمرکز بر خدمات مدیریت ترافیک و اطلاع‌رسانی در زمان واقعی

#### ۴.۲.۲ استقرارهای شهری

علاوه بر کریدورهای بین‌شهری، پروژه‌های پایلوت متعددی در محیط‌های شهری برای تست کاربردهای خاص شهری انجام شده است [C-Roads Platform, ۲۰۲۴]:

**ویژگی‌های استقرار شهری:**

- **تقاطع‌های هوشمند:** مجهز به RSUها برای ارسال SPaT (وضعیت و زمان‌بندی چراغ راهنمایی)
- **هشدارهای پیاده‌روها:** سیستم‌های هشداردهی برای افزایش ایمنی عابران پیاده
- **مدیریت ترافیک شهری:** یکپارچه‌سازی C-ITS با سیستم‌های مدیریت ترافیک موجود
- **مناطق کم‌انتشار:** پشتیبانی از اجرای سیاست‌های زیست‌محیطی شهری

### ۴.۳ آمار و نتایج استقرار

**گسترش زیرساخت:**

طبق گزارش سالانه C-Roads در سال ۲۰۲۳ [C-Roads Platform, ۲۰۲۴]:

- بیش از **۳,۰۰۰ واحد RSU** در سراسر اروپا نصب شده است
- تقریباً **۱۰,۰۰۰ کیلومتر** از جاده‌های اصلی اروپا پوشش C-ITS دارند
- بیش از **۱۵۰ تقاطع شهری** به قابلیت C-ITS مجهز شده‌اند

**مشارکت خودروسازان:**

چندین خودروساز اروپایی شامل Volkswagen، BMW، Mercedes-Benz و Volvo، شروع به تولید خودروهایی با قابلیت ITS-G5 کرده‌اند. با این حال، تعداد خودروهای در حال استفاده همچنان محدود است و شبکه‌سازی کامل (network effect) هنوز محقق نشده است.

# فصل ۵: پیام‌ها و کاربردهای اصلی C-ITS

موفقیت سیستم‌های C-ITS در نهایت به توانایی آن‌ها در ارائه خدمات ارزشمند، کاربردی و قابل اعتماد به رانندگان، مسافران و اپراتورهای جاده‌ای بستگی دارد. این خدمات از طریق پیام‌های استاندارد C-ITS که اطلاعات کلیدی را بین وسایل نقلیه و زیرساخت به اشتراک می‌گذارند، پیاده‌سازی می‌شوند. استانداردسازی این پیام‌ها برای تضمین قابلیت همکاری در سطح اروپا و فراتر از آن، حیاتی است.

### ۵.۱ پیام‌های پایه C-ITS

#### ۵.۱.۱ Cooperative Awareness Message (CAM)

**CAM** یکی از بنیادی‌ترین و حیاتی‌ترین پیام‌ها در سیستم C-ITS است. این پیام به طور مکرر (معمولاً ۱-۱۰ بار در ثانیه) توسط وسایل نقلیه مجهز به ITS پخش می‌شود [ETSI EN 302 637-2].

**محتوای پیام CAM:**

- **موقعیت دقیق:** مختصات GPS با دقت بالا
- **سرعت و جهت:** سرعت لحظه‌ای و جهت حرکت
- **شتاب:** شتاب یا کاهش شتاب طولی و عرضی
- **ابعاد خودرو:** طول، عرض و ارتفاع
- **وضعیت دینامیکی:** زاویه فرمان، وضعیت ترمزها، چراغ‌های راهنما

**کاربردهای CAM:**

- **آگاهی موقعیتی:** ایجاد یک نقشه محلی در زمان واقعی از خودروهای اطراف
- **پیش‌بینی برخورد:** شناسایی مسیرهای تداخلی و هشدار به راننده
- **سیستم‌های کمک‌راننده:** ورودی برای سیستم‌هایی مانند ACC (کروزکنترل تطبیقی) و LKA (کمک حفظ خط)

**چالش‌های حریم خصوصی:**

از آنجا که CAM حاوی موقعیت دقیق و الگوهای حرکت است، نگرانی‌هایی در مورد قابلیت ردیابی خودروها و راننده‌ها وجود دارد. برای کاهش این خطر، سیستم‌های C-ITS از گواهی‌نامه‌های شبه‌نام استفاده می‌کنند که به طور مکرر تغییر می‌کنند [5GAA, ۲۰۲۰].

**۵.۱.۲ Decentralized Environmental Notification Message (DENM)**

**DENM** برای اطلاع‌رسانی در مورد رویدادهای غیرمعمول یا خطرناک در جاده استفاده می‌شود [ETSI TS ۱۰۲ ۶۳۷-۳]. برخلاف CAM که به طور مداوم پخش می‌شود، DENM تنها در صورت وقوع یک رویداد خاص ارسال می‌گردد.

**رویدادهای تحت پوشش:**

- تصادفات و خودروهای خراب
- کارهای جاده‌ای و محدودیت‌های موقت
- شرایط جوی خطرناک (یخ‌بندان، مه غلیظ، باران شدید)
- موانع در جاده
- وسایل نقلیه اضطراری

- ترافیک غیرعادی یا رویدادهای ویژه

**مکانیزم انتشار:**

- خودرویی که یک رویداد را تشخیص می‌دهد (مثلاً از طریق سنسورهای خود یا مشاهده راننده)، یک DENM منتشر می‌کند
- خودروهای دریافت‌کننده می‌توانند پیام را به دیگران بازنشر کنند (multi-hop forwarding)
- پیام دارای محدوده جغرافیایی (Relevance Area) و زمان اعتبار است

### ۵.۲ پیام‌های زیرساختی

#### SP AT/MAP ۵.۲.۱

پیام‌های **Signal Phase and Timing (SPaT)** و **Map Data (MAP)** توسط زیرساخت جاده‌ای، به ویژه تقاطع‌های مجهز، ارسال می‌شوند:

**SPaT:** اطلاعات لحظه‌ای در مورد وضعیت چراغ راهنمایی (سبز، زرد، قرمز) و زمان باقیمانده تا تغییر وضعیت

**MAP:** اطلاعات هندسی دقیق تقاطع، خطوط عبور، مسیرهای مجاز

**کاربردها:**

- **کمک به رانندگی اقتصادی:** بهینه‌سازی سرعت برای عبور از چراغ‌های سبز (Green Wave)
- **هشدار نقض چراغ قرمز:** اخطار به رانندگانی که احتمال دارد چراغ قرمز را نادیده بگیرند
- **اولویت وسایل نقلیه اضطراری:** امکان درخواست تغییر زمان‌بندی چراغ برای

### ۵.۳ کاربردهای پیشرفته و Day-۲

علاوه بر کاربردهای ایمنی پایه (Day-۱)، سناریوهای پیشرفته‌تری (Day-۲) نیز در حال توسعه هستند که از قابلیت‌های بالاتر فناوری‌های C-V۲X، به ویژه ۵G-V۲X، بهره می‌برند [۵GAA, n.d.-a]:

**حسگری همکارانه (Cooperative Sensing):**

- به اشتراک‌گذاری داده‌های حسگرهای خودرو (دوربین، لیدار، رادار) با دیگران
- ایجاد یک تصویر جامع‌تر از محیط

**هماهنگی گروهی (Platooning):**

- حرکت هماهنگ چندین خودرو در فاصله کم از یکدیگر
- کاهش مصرف سوخت و افزایش ظرفیت جاده

**رانندگی از راه دور (Tele-Operated Driving):**

- کنترل خودرو از یک مرکز فرماندهی از راه دور
- کاربرد در شرایط خطرناک یا مناطق خاص

# فصل ۶: امنیت سایبری و حفاظت از داده

همان‌طور که خودروها به سیستم‌های شبکه‌ای پیچیده‌ای تبدیل می‌شوند که به زیرساخت و دیگر خودروها متصل هستند، آسیب‌پذیری‌های امنیت سایبری به یک نگرانی حیاتی تبدیل شده است. یک حمله سایبری موفق به سیستم C-ITS می‌تواند پیامدهای فاجعه‌باری داشته باشد، از ارسال اطلاعات نادرست که منجر به تصادفات می‌شود تا اختلال گسترده در حمل‌ونقل. بنابراین، امنیت سایبری نه یک ویژگی اضافی، بلکه یک الزام بنیادین برای پذیرش و استقرار موفق C-ITS است.

## ۶.۱ معماری امنیتی C-ITS

### ۶.۱.۱ اصول طراحی امنیتی

معماری امنیتی C-ITS بر اساس چندین اصل بنیادین طراحی شده است [ENISA, ۲۰۱۹]:

**دفاع در عمق (Defense in Depth):**

- چندین لایه امنیتی برای محافظت از سیستم
- شکست یک لایه نباید منجر به سقوط کل سیستم شود

**امنیت از طریق طراحی (Security by Design):**

- امنیت از همان ابتدای طراحی سیستم در نظر گرفته می‌شود، نه به عنوان یک افزونه بعدی

**اصل حداقل اختیار (Principle of Least Privilege):**

- هر جزء سیستم تنها به دسترسی‌هایی که برای عملکرد خود نیاز دارد، مجهز می‌شود

### ۶.۱.۲ زیرساخت کلید عمومی (PKI)

قلب معماری امنیتی C-ITS، یک **زیرساخت کلید عمومی (Public Key Infrastructure - PKI)** است که بر اساس رمزنگاری منحنی بیضوی (ECC) ساخته شده است [5GAA, ۲۰۲۰]:

**مؤلفه‌های PKI:**

- **مرجع گواهی ریشه (Root Certificate Authority):** در سطح اتحادیه اروپا
- **مراجع گواهی ملی:** در هر کشور عضو
- **مراجع صدور گواهی (Enrollment Authorities):** برای ثبت‌نام و احراز هویت دستگاه‌ها
- **مراجع مجوز (Authorization Authorities):** برای صدور گواهی‌نامه‌های کوتاه مدت

**فرآیند گواهی‌دهی:**

- دستگاه (OBU یا RSU) با یک گواهی بلندمدت (Long-Term Certificate) ثبت‌نام می‌کند
- برای ارتباطات واقعی، گواهی‌نامه‌های کوتاه‌مدت شبه‌نام (Pseudonym Certificates) دریافت می‌کند
- این گواهی‌نامه‌ها به طور مکرر (مثلاً هر چند دقیقه) تغییر می‌کنند تا ردیابی دشوار شود

### ۶.۲ تهدیدات و راهکارهای امنیتی

#### ۶.۲.۱ تهدیدات اصلی

ENISA (آژانس امنیت شبکه و اطلاعات اتحادیه اروپا) تهدیدات زیر را برای سیستم‌های C-ITS شناسایی کرده است [ENISA, ۲۰۱۹]:

**حملات جعل (Spoofing):** ارسال پیام‌های جعلی CAM یا DENM با هدف ایجاد رفتارهای خطرناک در رانندگان یا سیستم‌های خودران. به عنوان مثال، ارسال هشدار جعلی برخورد می‌تواند باعث ترمز ناگهانی و تصادف زنجیره‌ای شود.

**حملات تکرار (Replay):** ضبط و ارسال مجدد پیام‌های قانونی در زمان یا مکان نامناسب. برای مقابله، پیام‌های C-ITS دارای برچسب زمانی و موقعیت هستند.

**حملات انکار سرویس (DoS):** پرکردن کانال ارتباطی با پیام‌های بی‌معنی برای جلوگیری از انتقال پیام‌های واقعی. این حمله می‌تواند عملکرد کل سیستم C-ITS را مختل کند.

**حملات سیبیل (Sybil):** ایجاد چندین هویت جعلی توسط یک مهاجم برای شبیه‌سازی وجود چندین خودرو. این حمله می‌تواند برای ایجاد ترافیک جعلی یا دستکاری سیستم‌های مدیریت ترافیک استفاده شود.

**نفوذ به سیستم‌های خودرو:** دسترسی غیرمجاز به ECUها (واحدهای کنترل الکترونیکی) خودرو از طریق رابط‌های C-ITS. این می‌تواند به کنترل عملکردهای حیاتی خودرو منجر شود.

#### ۶.۲.۲ راهکارهای امنیتی

**امضای دیجیتال:** تمام پیام‌های C-ITS با استفاده از الگوریتم‌های امضای دیجیتال (مانند ECDSA) امضا می‌شوند تا اصالت و یکپارچگی آن‌ها تأیید شود

[5GAA, ۲۰۲۰].

**گواهی‌نامه‌های کوتاه‌مدت:** استفاده از گواهی‌نامه‌های با عمر کوتاه که به طور مکرر تعویض می‌شوند، ردیابی بلندمدت خودروها را دشوار می‌کند.

**لیست ابطال گواهی (CRL):** مکانیزمی برای ابطال گواهی‌نامه‌های دستگاه‌هایی که به خطر افتاده‌اند یا رفتار مشکوکی دارند.

**تشخیص رفتار غیرعادی (Misbehavior Detection):** سیستم‌هایی برای شناسایی پیام‌هایی که از نظر منطقی یا فیزیکی غیرممکن هستند، مانند سرعت‌های غیرواقعی یا تغییرات موقعیت ناممکن.

### ۶.۳ انطباق با GDPR

مقررات عمومی حفاظت از داده‌ها (GDPR) چارچوب قانونی اصلی برای حفاظت از داده‌های شخصی در اتحادیه اروپا است و تأثیر مستقیمی بر طراحی و عملیات سیستم‌های C-ITS دارد [5GAA, ۲۰۲۰].

**داده‌های شخصی در C-ITS:** داده‌های موقعیت و حرکت خودرو، حتی اگر مستقیماً به نام یک فرد متصل نباشند، می‌توانند به عنوان داده شخصی تلقی شوند زیرا امکان شناسایی غیرمستقیم از طریق الگوهای رفتاری وجود دارد.

**اصل حداقل‌سازی داده:** سیستم‌های C-ITS باید تنها داده‌هایی را جمع‌آوری و پردازش کنند که برای عملکرد مورد نظر کاملاً ضروری هستند.

**حق فراموشی:** افراد حق دارند درخواست حذف داده‌های شخصی خود را بدهند، که پیاده‌سازی این حق در سیستم‌های توزیع‌شده C-ITS چالش‌برانگیز است.

# فصل ۷: چالش‌ها و موانع استقرار

### ۷.۱ چالش فناوری رقابتی

بزرگ‌ترین چالش استقرار C-ITS در اروپا، عدم قطعیت ناشی از رقابت بین دو فناوری اصلی است: **ITS-G5** (بر پایه IEEE ۸۰۲٫۱۱p) و **C-V2X** (بر پایه ۳GPP). این دوگانگی فناوری عدم قطعیت قابل توجهی برای سرمایه‌گذاران و تصمیم‌گیران ایجاد کرده است [Ricardo, ۲۰۱۸].

**موضع خنثی کمیسیون اروپا:** کمیسیون اروپا تاکنون از اتخاذ موضع قاطع به نفع یک فناوری خودداری کرده و رویکرد «خنثی نسبت به فناوری» را در پیش گرفته است. در حالی که این رویکرد از نظر اصول بازار آزاد قابل دفاع است، منتقدان معتقدند که این امر منجر به تأخیر در استقرار و پراکندگی سرمایه‌گذاری‌ها شده است [European Parliament, ۲۰۱۹].

خودروسازان، اپراتورهای جاده‌ای و دولت‌ها با دشواری در تصمیم‌گیری برای سرمایه‌گذاری مواجه هستند. برخی منتظر روشن شدن وضعیت هستند، که خود منجر به تأخیر بیشتر می‌شود.

### ۷.۲ معضل مرغ و تخم‌مرغ

مانند بسیاری از فناوری‌های شبکه‌ای، C-ITS با یک معضل کلاسیک «مرغ و تخم‌مرغ» مواجه است [Environment & Ricardo Energy, ۲۰۱۶]:

**از منظر مصرف‌کننده:** رانندگان تمایلی به خرید خودروهای مجهز به C-ITS ندارند مگر اینکه زیرساخت کافی وجود داشته باشد و خودروهای کافی مجهز باشند تا مزایای واقعی را تجربه کنند.

**از منظر خودروساز:** خودروسازان تمایلی به تجهیز استاندارد خودروها به C-ITS ندارند مگر

اینکـه تقاضـای مصرف‌کننـده یـا الـزام قانونـی وجـود داشـته باشـد.
**از منظـر اپراتـور زیرسـاخت:** اپراتورهـای جـاده‌ای تمایلـی بـه سـرمایه‌گذاری سـنگین در زیرسـاخت C-ITS ندارنـد مگـر اینکـه تعـداد کافـی خـودرو مجـهز بـرای اسـتفاده از آن وجـود داشـته باشـد.

**راهکارهای پیشنهادی:**

- **الزام قانونی:** اجباری کردن تجهیز خودروهای جدید به C-ITS (مشابه eCall)
- **یارانه‌دهی دولتی:** کمک مالی برای نصب زیرساخت و تجهیز خودروها
- **تمرکز بر کاربردهای با ارزش بالا:** شروع با کاربردهایی که حتی با نفوذ پایین هم ارزشـمند هستند

**۷.۳ چالش‌های مدل کسب‌وکار**

یکی از موانع کلیدی، نبود یک مدل کسب‌وکار پایدار برای استقرار و نگهداری زیرساخت C-ITS است [Ricardo, ۲۰۱۸]:
**هزینه‌هـای زیرسـاخت:** نصـب و نگهـداری RSUهـا در مقیـاس گسـترده نیازمنـد سـرمایه‌گذاری قابـل توجهـی اسـت.
**درآمدزایـی:** مشـخص نیسـت چه‌کسـی بایـد هزینه‌هـا را بپردازد. آیـا کاربـران نهایـی؟ خودروسـازان؟ دولت‌ها؟ یـا ترکیبـی از همـه؟
**تقسـیم مسـئولیت:** عـدم وضـوح در مـورد اینکـه چـه‌کسـی مسـئول نگهـداری، به‌روزرسـانی و امنیـت سیسـتم اسـت.

# فصل ۸: دسترسی به داده‌های خودرو و رقابت

### ۸.۱ اهمیت داده‌های خودرو

خودروهای متصل مدرن مقادیر عظیمی از داده تولید می‌کنند که ارزش تجاری و اجتماعی قابل توجهی دارند [Kerber, ۲۰۱۸]. این داده‌ها شامل اطلاعات فنی خودرو، الگوهای رانندگی، موقعیت و مسیر، و داده‌های حسگرهای محیطی می‌شوند.

**ذینفعان داده:**

- **خودروسازان (OEMs):** به عنوان تولیدکننده و معمولاً کنترل‌کننده داده‌ها
- **تأمین‌کنندگان خدمات پس از فروش:** برای تعمیر، نگهداری و خدمات شخصی سازی شده
- **شرکت‌های بیمه:** برای قیمت‌گذاری مبتنی بر رفتار (UBI)
- **اپراتورهای جاده‌ای:** برای مدیریت ترافیک و برنامه‌ریزی
- **پژوهشگران و نهادهای دولتی:** برای تحلیل ایمنی و سیاست‌گذاری

### ۸.۲ مسائل رقابتی

نگرانی‌های جدی در مورد تأثیر انحصار داده‌های خودرو توسط OEMها بر رقابت در بازارهای پایین‌دستی وجود دارد [Kerber, ۲۰۱۹; Mueller-Langer & Martens, ۲۰۱۸]:

**بازار خدمات پس از فروش:** تعمیرگاه‌های مستقل برای ارائه خدمات به خودروهای مدرن

نیاز به دسترسی به داده‌های فنی و تشخیصی دارند. بدون این دسترسی، نمی‌توانند با نمایندگی‌های رسمی رقابت کنند.

**بازار بیمه:** شرکت‌های بیمه برای ارائه محصولات مبتنی بر تله‌ماتیک نیاز به داده‌های رانندگی دارند. کنترل OEMها بر این داده‌ها می‌تواند رقابت را محدود کند.

**راهکارهای پیشنهادی:**

- **دسترسی اجباری:** الزام OEMها به ارائه دسترسی به داده‌ها تحت شرایط منصفانه، معقول و غیرتبعیض‌آمیز (FRAND)
- **استانداردسازی رابط‌ها:** ایجاد رابط‌های فنی استاندارد برای دسترسی به داده‌ها
- **قوانین قابلیت حمل داده:** امکان انتقال داده‌ها توسط مصرف‌کننده به ارائه‌دهندگان دیگر

# فصل ۹: چشم‌انداز آینده و توصیه‌ها

## ۹.۱ روندهای آینده

**تکامل به سمت 5G-V2X:** نسل بعدی فناوری C-V2X بر پایه 5GNR، قابلیت‌های بسیار پیشرفته‌تری مانند تأخیر فوق‌العاده پایین، قابلیت اطمینان بالا و پشتیبانی از کاربردهای حسگری همکارانه را ارائه خواهد داد [5GAA, ۲۰۲۴].

**یکپارچه‌سازی با رانندگی خودران:** C-ITS به طور فزاینده‌ای به عنوان یک فناوری مکمل حیاتی برای وسایل نقلیه خودران شناخته می‌شود که می‌تواند محدودیت‌های حسگرهای داخلی را جبران کند.

**گسترش کاربردها:** از ایمنی پایه به خدمات پیشرفته‌تر مانند V2G (خودرو به شبکه برق) برای یکپارچه‌سازی خودروهای الکتریکی با شبکه برق هوشمند [DriVe2X Project, ۲۰۲۳].

## ۹.۲ توصیه‌های سیاستی

**اول:** اتخاذ تصمیم شفاف در مورد مسیر فناوری یا ایجاد مکانیزم‌های قوی برای تضمین قابلیت همکاری بین فناوری‌ها

**دوم:** تسریع در تدوین چارچوب قانونی جامع برای مسئولیت مدنی در حوادث مرتبط با سیستم‌های خودکار

**سوم:** سرمایه‌گذاری مستمر در زیرساخت از طریق برنامه‌های تأمین مالی اتحادیه اروپا

**چهارم:** تقویت همکاری بین‌المللی برای تضمین قابلیت همکاری جهانی

# فصل ۱۰: جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

اتحادیه اروپا در مسیر استقرار فناوری V۲X، یک رویکرد چندجانبه و مبتنی بر اصول بازار آزاد را در پیش گرفته است. این رویکرد که بر موضع «خنثی نسبت به فناوری» و تأکید بر قابلیت همکاری استوار است، مزایا و چالش‌های خاص خود را دارد.

**نقاط قوت:**

- چارچوب قانونی جامع برای حفاظت از داده (GDPR)
- پلتفرم همکاری موفق C-Roads برای هماهنگ‌سازی استقرار
- تجربه گسترده در پروژه‌های پایلوت فرامرزی

تعهد به استانداردهای امنیتی بالا

**چالش‌های اصلی:**

- عدم قطعیت فناوری ناشی از رقابت ITS-G۵ و C-V۲X
- معضل «مرغ و تخم‌مرغ» در استقرار
- نبود مدل کسب‌وکار پایدار
- پیچیدگی‌های حقوقی مسئولیت مدنی

آینده C-ITS در اروپا به توانایی سیاست‌گذاران در حل این چالش‌ها، ایجاد اطمینان برای

سـرمایه‌گذاران و تسریـع در اسـتقرار عملـی بسـتگی دارد. بـا توجـه بـه پتانسـیل ایـن فنـاوری در نجـات جـان انسـان‌ها و بهبـود کارایـی حمل‌ونقـل، تلاش‌هـای مسـتمر بـرای غلبـه بـر ایـن موانـع ضروری اسـت.

# پیوست‌ها

## پیوست الف:

## اختصار عبارت کامل

| | |
|---|---|
| C-ITS | Cooperative Intelligent Transport Systems |
| C-V۲X | Cellular Vehicle-to-Everything |
| CAM | Cooperative Awareness Message |
| DENM | Decentralized Environmental Notification Message |
| ETSI | European Telecommunications Standards Institute |
| GDPR | General Data Protection Regulation |
| ITS-G۵ | ITS operating at ۵ GHz |
| OBU | On-Board Unit |
| PKI | Public Key Infrastructure |
| RSU | Roadside Unit |
| SPaT | Signal Phase and Timing |

## پیوست ب: منابع اصلی (فهرست مراجع)

### الف. اسناد و گزارش‌های رسمی سازمان‌ها


- Ricardo Automotive Association (۵GAA). (۲۰۲۰). Privacy by Design Aspects of C-V۲X: White Paper. Munich, Germany: ۵GAA.
- ۵G Automotive Association (۵GAA). (۲۰۲۱). Deployment band configuration for C-V۲X at ۵٫۹ GHz in Europe: Position paper. Munich, Germany: ۵GAA.
- ۵G Automotive Association (۵GAA). (۵٫۹ .(۲۰۲۴ GHz band configuration for road-ITS deployment in Europe: Position Paper. Munich, Germany: ۵GAA.
- ۵G Automotive Association (۵GAA). (۲۰۲۴). A visionary roadmap for advanced driving use cases, connectivity, and technologies. Munich, Germany: ۵GAA.

- C-Roads Platform. (۲۰۱۷). Detailed pilot overview report. Brussels, Belgium: C-Roads Platform.
- C-Roads Platform. (۲۰۲۳). An overview of harmonised C-ITS deployment in Europe. Brussels, Belgium: C-Roads Platform.
- C-Roads Platform. (۲۰۲۴). Annual deployment overview report ۲۰۲۳. Brussels, Belgium: C-Roads Platform.
- C۲C Communication Consortium (C۲C-CC). (۲۰۰۷). Manifesto: Overview of the C۲C-CC System. Braunschweig, Germany: C۲C-CC.
- DriVe۲X Project. (۲۰۲۳). Gap analysis on V۲X grid services (Deliverable D۳٫۱). Brussels, Belgium: European Commission, Horizon ۲۰۲۰ Programme.
- European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (۲۰۱۴). Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part ۲: Specification of

Cooperative Awareness Basic Service (EN ۲-۶۳۷ ۳۰۲ V۱,۳,۲). Sophia Antipolis, France: ETSI.

● European Telecommunications Standards Institute (ETSI). (۲۰۱۶). Intelligent Transport Systems (ITS); Vehicular Communications; Basic Set of Applications; Part ۳: Specifications of Decentralized Environmental Notification Basic Service (TS ۳-۶۳۷ ۱۰۲ V۱,۲,۲). Sophia Antipolis, France: ETSI.

● European Network and Information Security Agency (ENISA). (۲۰۱۹). Good Practices for Security of SMART CARS. Heraklion, Greece: ENISA.

[۱۳] Ricardo Energy & Environment. (۲۰۱۶). Study on the Deployment of C-ITS in Europe: Final Report (prepared for the European Commission, DG MOVE). Brussels, Belgium: European Commission.

● Ricardo. (۲۰۱۸). Support study for Impact Assessment of Cooperative Intelligent Transpor t Systems — Analysis of responses to the Open Public Consultation. Brussels, Belgium: European Commission, DG MOVE.

● SCALE Project. (۲۰۲۳). D۳,۱ Gap analysis on V۲X grid services. Brussels, Belgium: European Commission, Horizon ۲۰۲۰ Programme.

● The Swedish Transport Administration (Trafikverket). (۲۰۲۳). Digitalisering av v*ä*gtransportsystemet [Digitalization of the Road Transport System]. Stockholm, Sweden: Trafikverket.

**ب. اسناد قانونی و مقرراتی اتحادیه اروپا**

● European Commission. (۲۰۱۴). C-ITS Draft Work Programme. Brussels, Belgium: European Commission.

● European Commission. (۲۰۱۶). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions: A European Strategy on Cooperative Intelligent Transport Systems, a milestone towards cooperative, connected and automated mobility (COM(۷۶۶ (۲۰۱۶ final). Brussels,

Belgium: European Commission.

● European Parliament. (۲۰۱۹). European Parliament resolution of ۱۷ January ۲۰۱۹ on Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS) (CELEX ۵۲۰۱۹IP۰۰۰۵ EN TXT). Strasbourg, France: European Parliament.

● European Union EIP (European ITS Platform). (۲۰۲۱). C-ITS Roadmap. Brussels, Belgium: EU EIP.

● Regulation (EU) ۶۷۹/۲۰۱۶ of the European Parliament and of the Council of ۲۷ April ۲۰۱۶ on the protection of natural persons with regard to the processing of personal data and on the free movement of such data (General Data Protection Regulation - GDPR). Official Journal of the European Union, L ۸۸-۱, ۱۱۹.

### ج. مقالات علمی و پژوهشی

● Ficzere, D., Soós, G., Varga, P., & Simon, C. (۲۰۲۳). Large-Scale Cellular Vehicle-to-Everything Deployments Based on ۵G—Critical Challenges, Solutions, and Vision towards ۶G: A Survey. Sensors, ۵۱۶۸, (۱۱)۲۳. https://doi.org/۱۰.۳۳۹۰/s۲۳۱۱۵۱۶۸

● Kerber, W. (۲۰۱۸). Data Governance in Connected Cars: The Problem of Access to In-Vehicle Data. Journal of Intellectual Property, Information Technology and Electronic Commerce Law (JIPITEC), ۳۳۳-۳۱۰, (۳)۹.

● Kerber, W. (۲۰۱۹). Competition Law and Access to Data in IoT Ecosystems: The Example of Connected Cars. In Proceedings of the ۱۴th International Conference on Wirtschaftsinformatik (pp. ۱۵۹۲-۱۵۷۸). Siegen, Germany: AIS Electronic Library.

● Kerber, W. (۲۰۲۰). The Internet of Things, Data Governance, and Competition Law. In M. Bakhoum, B. Conde Gallego, M.-O. Mackenrodt, & G. Surblytė-Namavičienė (Eds.), Personal Data in Competition, Consumer Protection and Intellectual Property Law: Towards a Holistic Approach? (pp. ۲۶۰-۲۳۹). Berlin, Germany: Springer.

● Kim, T., Park, J., Lim, J., & Kang, C. (۲۰۲۱). Enhanced Resource Allocation Method for ۵G V۲X Communications. IEEE Access, ۷۴۳۱۶-۷۴۳۰۳,۹. https://doi.org/۱۰,۱۱۰۹/ACCESS.۲۰۲۱,۳۰۸۱۲۳۴

● Martens, B., & Mueller-Langer, F. (۲۰۱۸). Access to digital car data and competition in aftersales services (JRC Technical Reports). Seville, Spain: European Commission, Joint Research Centre.

● Rivest, R. L., Shamir, A., & Adleman, L. (۱۹۷۸). A Method for Obtaining Digital Signatures and Public-Key Cryptosystems. Communications of the ACM, ۱۲۶-۱۲۰ ,(۲)۲۱. https://doi.org/۳۵۹۳۴۰,۳۵۹۳۴۲/۱۰,۱۱۴۵

● Roks, M. (۲۰۱۹). Vehicle-to-Everything (V۲X) in the Netherlands: An overview of current initiatives and future perspectives. The Hague, Netherlands: Ministry of Infrastructure and Water Management.

### د. اسناد و نظرات ذینفعان

● Ministry of Transport and Communications of Finland. (۲۰۱۷). Contribution to the C-ITS consultation. Helsinki, Finland: Ministry of Transport and Communications.

● Siemens, NXP, & Cohda Wireless. (۲۰۱۸). Joint paper in response to Open Public Consultation on C-ITS. Munich, Germany.

### ه. منابع الکترونیکی و پایگاه‌های اطلاعاتی

● CINEA (European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency). (n.d.). Improving safety and efficiency of European roads with C-ITS. Retrieved from https://cinea.ec.europa.eu/

● C-Roads Platform Official Website. (n.d.). Retrieved from https://www.c-roads.eu/

● European Telecommunications Standards Institute (ETSI) Portal. (n.d.). ITS Standards. Retrieved from https://www.etsi.org/technologies/intelligent-transport

بخش پنجم

# گزارش جامع پیاده‌سازی فناوری خودروی متصل در استرالیا راهبردها، استانداردها، چالش‌ها و چشم‌انداز آینده

# مقدمه

استرالیا به عنوان یک اقتصاد توسعه‌یافته و جامعه‌ای با چالش‌های منحصر به فرد در حمل‌ونقل، از دهه اخیر به توسعه فناوری‌های خودروی متصل و خودران توجه کرده است. برخلاف مناطق جغرافیایی پرتراکم در اروپا یا شهرهای متراکم در آسیا، استرالیا با فاصله‌های زیاد، جمعیت کم‌تر و ساختار نقلی متمرکز بر خودروی شخصی، رویکردی متفاوت در توسعه سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند تعاونی (C-ITS) و فناوری خودروی متصل (V2X) اتخاذ کرده است [۱].

**فناوری خودروی متصل (V2X)** ـ که شامل ارتباط بین خودروها (V2V)، خودرو و زیرساخت (V2I) و زیرساخت با کلاود (I2C) است ـ راهی برای افزایش ایمنی، بهینه‌سازی ترافیک و کاهش انتشار آلاینده‌ها در استرالیا فراهم می‌آورد [۲]. اهمیت استراتژیک این توسعه برای استرالیا در زمینه‌های زیر خلاصه می‌شود:

**ایمنی جاده‌ای:** کاهش تصادفات و جراحات ناشی از رانندگی

**کارآمدی حمل‌ونقل:** بهینه‌سازی جریان ترافیک و کاهش انتشار آلاینده‌ها

**پذیرش شهروندی:** توسعه درک عمومی و اعتماد به خودروهای خودران

**رقابت‌پذیری صنعتی:** توسعه استانداردهای محلی و جهانی برای خودرو

این گزارش به تحلیل جامع وضعیت کنونی و راهبردهای پیاده‌سازی فناوری V2X در استرالیا می‌پردازد.

# فصل ۱: چارچوب استراتژیک و سیاسی

### ۱.۱. سیاق و اهداف ملی

استرالیا در سال ۲۰۲۴ برنامه ملی جامعی تحت عنوان "برنامه اقدام ملی خودروهای متصل و خودران (۲۰۲۴-۲۰۲۷)" تدوین کرده است که چارچوب استراتژیک کل کشور را برای توسعه و استقرار فناوری‌های متصل و خودران تعریف می‌کند [۱]. این برنامه بر چهار محور اصلی تمرکز دارد:

#### الف. ایمنی و کاهش تصادفات

هدف اول، دستیابی به "چشم‌انداز صفر" (Vision Zero) است، یعنی حذف تدریجی تلفات و جراحات جدی در جاده‌ها. فناوری‌های C-ITS و V2X می‌توانند از طریق ارائه هشدارهای بلادرنگ در مورد خطرات، مانع‌های جاده‌ای و تقاطع‌های خطرناک، به کاهش معنی‌داری در حوادث جاده‌ای کمک کنند [۲].

#### ب. پذیرش عمومی و آمادگی جامعه

برخلاف برخی کشورهایی که بر فناوری خودران تمرکز دارند، استرالیا بر "آمادگی جامعه" (Community Readiness) برای پذیرش خودروهای متصل و خودران تأکید دارد. این شامل آموزش شهروندان، ایجاد اعتماد به فناوری و تعیین انتظارات روشن در مورد مزایا و محدودیت‌های این فناوری است [۱].

#### ج. توسعه زیرساخت‌های هوشمند

استرالیا در مناطق انتخاب‌شده، پایلوت‌های گسترده برای تقویت زیرساخت‌های جاده‌ای با

توانایی‌های C-ITS راه‌اندازی کرده است [۳].

**۱.۲. تطابق با اهداف ملی توسعه پایدار**

فناوری‌های V2X با اهداف کلان توسعه پایدار استرالیا (کاهش انتشار دی‌اکسید کربن تا ۲۰۵۰، بهبود کیفیت هوا در شهرها) مطابقت دارد [۱].

# فصل ۲: حاکمیت و نهادهای مسئول

**۲.۱. ساختار حاکمیتی دولتی**

استرالیا دارای یک ساختار فدرالی است که در آن مسئولیت حمل‌ونقل بین دولت فدرال (کومن‌ولث)، دولت‌های ایالتی و بخش‌های محلی تقسیم‌شده است [۴]. نهادهای کلیدی عبارتند از:

**الف. هیئت کمیسیون حمل‌ونقل ملی (NTC)**

**National Transport Commission (NTC)** نهاد اصلی برای تنسیق سیاست‌های حمل‌ونقل در سطح ملی است [۵]. این نهاد مسئول تدوین **دستورالعمل‌های استانداردی برای آزمایش خودروهای خودران (۲۰۲۳)** بوده است که مناطق پایلوت را برای تست فناوری‌های جدید تعریف می‌کند [۴].

NTC دو مقاله سیاستی مهم منتشر کرده است:

- "تنظیم دسترسی دولت به داده‌های C-ITS و خودروهای خودران (۲۰۱۹)": این مقاله سیاسی، چارچوبی را برای تنظیم چگونگی دسترسی دولت به داده‌های توسط وسایل نقلیه تولیدشده تعریف می‌کند [۶].

- "دسترسی دولت به داده‌های تولیدشده توسط وسایل نقلیه (نوامبر ۲۰۲۰)": این مقاله، توضیحات بیشتری در مورد انواع داده‌های قابل دسترسی و محدودیت‌های حریم خصوصی ارائه می‌دهد [۷].

**ب. دفتر سنجش ارتباطات استرالیا (ACMA)**

**Australian Communications and Media Authority (ACMA)** مسئول تنظیم طیف فرکانسی و سیاست‌های ارتباطی است [۸]. ACMA **مجوز کلاسی برای سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند (۲۰۲۱)** را صادر کرده که کاربردهای C-ITS را در باند ۵.۹ گیگاهرتز اجازه می‌دهد [۹].

**ج. هیئت کمیسیون حمل‌ونقل و بزرگراه‌های ملی (Austroads)**

Austroads سازمانی است که شامل سازمان‌های حمل‌ونقل ایالتی و دولت فدرال است و استانداردهای فنی پلتفرم‌های حمل‌ونقل ملی را تدوین می‌کند. Austroads استانداردهای حداقل زیرساخت فیزیکی برای عملیات خودروهای خودران (۲۰۲۲) را منتشر کرده است [۱۰].

د. مرکز بررسی آسیب‌شناسی رفتاری استرالیا (iMOVE)

iMOVE Australia (اختصاری از Intelligent Mobility Vehicle Electronics) یک مرکز تحقیقاتی است که تحقیقات جامع‌ای درباره C-ITS، خودروهای خودران و نقل و انتقالات هوشمند انجام می‌دهد [۱۱]. این مرکز "ارزیابی تطبیقی فناوری‌های C-ITS" را منتشر کرده است که تکنولوژی‌های مختلف ( IEEE۸۰۲ /p۱۱ , LTE-V۲X, ۵G-V۲X) را مقایسه می‌کند [۱۲].

ه. سازمان تصدیق حمل‌ونقل استرالیا (TCA)

TCA (Transport Certification Australia) مسئول مدیریت و توسعه سیستم مدیریت اعتبارات امنیتی (SCMS) است که برای احراز هویت و تصدیق اصالت پیام‌های C-ITS استفاده می‌شود [۱۳].

**۲.۲. مشارکت بخش خصوصی و دانشگاهی**

استرالیا به طور فعال با شرکت‌های فناوری، سازندگان تجهیزات و سازندگان خودروها همکاری می‌کند [۱۴]. Cohda Wireless، شرکت استرالیایی، یکی از بزرگ‌ترین پایلوت‌های C-ITS را در نیوساوت‌ولز اجرا کرده است که بزرگ‌ترین آزمایش خودروی متصل در استرالیا به شمار می‌رود [۱۵].

دانشگاه‌های استرالیایی (مانند دانشگاه فناوری سیدنی - UTS) پروژه‌های تحقیقاتی مهم‌ای مانند "My V۲X EV: Informing strategic electric vehicle integration" را اجرا می‌کنند که بر

یکپارچگی خودروهای الکتریکی با سیستم‌های V2X تمرکز دارد [۱۶].

# فصل ۳: تخصیص طیف فرکانسی و مقررات فنی

### ۳.۱. باند فرکانسی ۵.۹ گیگاهرتز

استرالیا باند **۵.۸۵۰-۵.۹۲۵ گیگاهرتز** را برای کاربردهای حمل‌ونقل هوشمند (ITS) اختصاص داده است [۸]. این تخصیص با توصیه‌های **کمیته RSCOM در کمیته ارتباطات راجع کمیسیون اروپایی (ECC Recommendation (۰۸) ۰۱)** هماهنگ است [۱۷].

### ۳.۲. ساختار کانال و پیکربندی

باند ۵.۹ گیگاهرتز متشکل از سه زیر بخش است:

- **ITS-G5A (۵.۸۷۵-۵.۹۰۰ گیگاهرتز)**: برای کاربردهای ایمنی پایه (Safety-of-Life)
- **ITS-G5B (۵.۹۰۰-۵.۹۱۵ گیگاهرتز):** برای کاربردهای ترافیکی و سرویس‌های محلی
- **ITS-G5D (۵.۹۱۵-۵.۹۲۵ گیگاهرتز):** برای کاربردهای پیشرفته [۱۲]

### ۳.۳. مقررات توان و محدودیت‌های تابشی

**ACMA** محدودیت‌های سخت‌گیرانه‌ای برای توان تابشی موثر ایزوتروپیک (EIRP) و انتشار خارج از باند (OOBE) تعیین کرده است تا از تداخل مضر با ارتباطات دیگر، به‌ویژه سیستم‌های Wi-Fi و رادارهای نظامی جلوگیری شود [۸].

### ۳.۴. هماهنگی بین‌المللی

استرالیا در چارچوب **کمیسیون بین‌المللی الکتروتکنیک (IEC)** و **انجمن استانداردهای اروپا**

**(CEN)** با دیگر کشورها درباره استانداردهای ITS هماهنگی می‌کند [۱۸].

# فصل ۴: استانداردهای فنی و توسعه

### ۴.۱. انتخاب فناوری اساسی

**استرالیا دو فناوری اصلی را برای C-ITS مورد بررسی قرار داده است:**

**الف. IEEE ۸۰۲٫۱۱p (DSRC اروپایی/ITS-G۵)**

فناوری **IEEE ۸۰۲٫۱۱p** (همچنین به عنوان **DSRC** یا **ITS-G۵** شناخته می‌شود)، تکنولوژی ارتباطی سریع‌کاری برای محیط‌های وسیع است که با پهنای باند ۱۰ مگاهرتز و سرعت انتقال داده بالا کار می‌کند [۱۹]. این فناوری درjamبندی‌های تاریخی نقش داشته است [۲۰].

**ب. X۲V-ETL و X۲V-G۵ (X۲V-C)**

**C-V۲X(Cellular V۲X)** فناوری‌های نسل جدید هستند که از شبکه‌های تلفن‌های سلولی (۴G LTE و ۵G) استفاده می‌کنند [۱۲]. C-V۲X مزایای زیر را فراهم می‌کند:

- **پوشش بهتر:** استفاده از زیرساخت‌های موجود شبکه‌های سلولی
- **ظرفیت بالاتر:** امکان انتقال حجم بیشتری از داده‌ها
- **سازگاری با خدمات دیگر:** هماهنگی بهتر با سیستم‌های V۲G (خودرو به شبکه انرژی) [۱۶]

### ۴.۲. معماری پشته (Stack) کاربردی

**پیام‌های پایه (Day One)** که در استرالیا استفاده می‌شوند، شامل موارد زیر هستند [۱۲]:

**Basic Safety Message (BSM):** پیام ایمنی اساسی که اطلاعات موقعیتی، سرعت و جهت حرکت خودرو را فراهم می‌کند

**Decentralized Environmental Notification Message (DENM):** پیام‌های هشدار درباره خطرات محیطی (تصادفات، موانع جاده‌ای)

**Signal Phase and Timing (SPAT):** پیام‌های مربوط به فاز و زمان چراغ‌های راهنمایی و رانندگی

**Map Data (MAP):** داده‌های نقشه‌ای تقاطع‌ها و جاده‌ها [۱۲]

### ۴.۳. مشخصات فنی OBU (On-Board Unit) و RSU (Roadside Unit)

استرالیا الزامات فنی دقیقی برای **واحدهای روی خودرو (OBU)** و **واحدهای کنار جاده (RSU)** تعیین کرده است. این مشخصات عبارتند از [۱۳]:

- **نرخ خطای بیتی (BER):** کمتر از $10^{-6}$ برای ارتباطات ایمنی
- **تاخیر انتقال:** کمتر از ۱۰۰ میلی‌ثانیه برای پیام‌های ایمنی
- **پوشش برد:** حداقل ۳۰۰ متر برای ITS-G5 و تا ۱ کیلومتر برای C-V2X

# فصل ۵: مدل‌های استقرار و پایلوت‌ها

**۵.۱. پایلوت اصلی در نیوساوت‌ولز**

**بزرگ‌ترین آزمایش خودروی متصل استرالیا (Sydney connected vehicle trial)** توسط **Cohda Wireless** اجرا شده است که یکی از گسترده‌ترین پایلوت‌های C-ITS در جهان است [۲۱]. این پایلوت شامل موارد زیر است:

**تعداد RSU:** بیش از صدها واحد کنار جاده در سراسر سیدنی

**تعداد خودرو:** هزاران خودروی مجهز به OBU

**نوع فناوری:** عمدتاً IEEE ۸۰۲٫۱۱p، اما با تست‌های موازی برای C-V2X

**مدت زمان:** آزمایش‌های بی‌وقفه برای ۳ تا ۵ سال [۲۲]

**۵.۲. پایلوت‌های منطقه‌ای**

دیگر ایالت‌های استرالیایی نیز پایلوت‌های محدودتری را اجرا کرده‌اند:

**الف. ویکتوریا**

ویکتوریا بر **ایمنی تقاطع‌ها (Intersection Safety)** تمرکز دارد و پیام‌های SPAT برای کاهش تصادفات در تقاطع‌های خطرناک استفاده می‌کند [۲۳].

**ب. استرالیای غربی**

**استرالیای غربی (Western Australia)** در **نقشه راه فعال‌سازی C-ITS (۲۰۲۴-۲۰۲۸)** [۲۴] بر **حمل‌ونقل هوشمند و مدیریت ترافیک** تمرکز دارد.

### ۵.۳. نقطه‌های درس از پایلوت‌ها

پایلوت های استرالیایی درس های ارزشمندی ارائه کرده اند:

- **اهمیت انجام آزمایش‌های طولانی‌مدت:** سه تا پنج سال آزمایش، برای درک رفتار سیستم در شرایط متنوع ضروری است [۲۱]
- **نیاز به تدریج انتقال:** انتقال تدریجی از یک فناوری به فناوری دیگر (مثلاً از IEEE ۸۰۲٫۱۱p به C-V2X) نیاز به برنامه‌ریزی دقیق دارد
- **اهمیت آموزش رانندگان:** راننده‌ها باید درک کاملی از قابلیت‌های سیستم و محدودیت‌های آن داشته باشند [۲۵]

# فصل ۶: امنیت، حریم خصوصی و مدیریت داده

### ۶.۱. معماری مدیریت اعتبارات امنیتی (SCMS)

استرالیا برای تضمین اصالت و احراز هویت پیام‌های C-ITS، یک سیستم ملی برای **مدیریت اعتبارات امنیتی (Security Credential Management System - SCMS)** توسعه داده است [۱۳].

#### الف. اجزای SCMS

SCMS شامل اجزای زیر است:

مرجع صدورگواهی ریشه (Root CA): "لنگرگاه اعتماد" (trust anchor) در شبکه است [۲۶]

مرجع ثبت نام (EA - Enrolment Authority): مسئول صدور "گواهی‌های ثبت نام" (Enrolment Certificates) بلندمدتی است که به عنوان هویت‌های منحصر به فرد عمل می‌کنند [۲۷]

مرجع صدور گواهی نام مستعار (PCA - Pseudonym Certificate Authority): مسئول صدور "گواهی‌های نام مستعار" (Pseudonym Certificates) کوتاه‌مدت است که برای تبادل پیام‌های ایمنی استفاده می‌شوند [۲۷]

#### ب. استفاده از رمزنگاری

SCMS از **رمزنگاری منحنی بیضی (Elliptic Curve Cryptography - ECC)** برای تولید امضاهای

دیجیتال و تصدیق اصالت استفاده می‌کند. این روش از نظر محاسباتی کمتر هزینه‌برتر و برای دستگاه‌های تعبیه‌شده مناسب‌تر است [۱۳].

### ۶.۲. حفاظت از حریم خصوصی

#### الف. اصول حداقل‌سازی داده

استرالیا طبق قانون آزادی اطلاعات (Privacy Act ۱۹۸۸) به اصول "حداقل‌سازی داده" و "هدفمندی" پایبند است [۲۸]. این اصول بدان معنی است:

- **فقط داده‌های ضروری جمع‌آوری شود:** فقط اطلاعاتی که برای کاربردهای ایمنی ضروری است
- **شفاف‌بودن در استفاده:** کاربران باید بدانند داده‌های آن‌ها چگونه استفاده می‌شود [۲۹]

#### ب. استفاده از گواهی‌های نام مستعار

برخلاف استفاده از شناسه‌های دائمی، OBUها از **گواهی‌های نام مستعار (Pseudonym Certificates)** استفاده می‌کنند که به‌طور مکرر تغییر می‌کنند [۲۷]. این روش کاربران را از ردیابی مداوم محافظت می‌کند.

### ۶.۳. مسائل امنیت سایبری

#### الف. تهدیدات شناخت‌شده

تحقیقات در استرالیا و سایر جاهای جهان تهدیدات زیر را برای سیستم‌های C-ITS شناسایی کرده‌اند [۳۰]:

- **جعل پیام‌ها (Message Spoofing):** ارسال پیام‌های کاذب برای گمراه‌کردن رانندگان
- **حملات تکرار (Replay Attacks):** تکرار پیام‌های قدیمی به منظور ایجاد

سـردرگمی

- **حـملات سرویـس ازکارانـدازی توزیع‌شـده (DDoS):** بارگـیری سیسـتم بـا تعـداد زیـادی درخواسـت بـرای خاموش‌کـردن شـبکه

**ب. استراتژی دفاع**

استرالیا چندین استراتژی دفاعی را اتخاذ کرده است:

**احرازهویت قوی:** استفاده از رمزنگاری برای تصدیق منبع پیام‌ها

**تشـخیص ناهنجـاری:** سیسـتم‌های یادگـیری ماشـینی بـرای تشـخیص رفتـار غیرعـادی

**به‌روزرسـانی دسـتگاهی (Firmware Updates):** روش‌هـای محفـوظ بـرای به‌روزرسـانی نرم‌افـزار دسـتگاه‌ها [۳۱]

**۶.۴. دسترسی دولت به داده‌های V2X**

اسـترالیا **چارچـوب نظارتـی دولتـی بـرای دسترسـی بـه داده‌هـای C-ITS** را تدویـن کـرده اسـت [۶]. ایـن چارچـوب اصـول زیر را حاکـم می‌کنـد:

**دسترسـی محـدود:** دولـت تنهـا در مواقـع ضروری (تحقیقـات حادثـه، اقدامـات عمومـی) می‌توانـد بـه داده‌هـا دسترسـی یابـد

**نیازقانونی:** دسترسی باید توسط مقامات قضایی یا قانونی مورد تأیید قرارگیرد

**ثبـت و پاسـخ‌دهی:** تمـام درخواسـت‌های دسترسـی و پاسـخ‌ها ثبـت و دردسـترس ذینفعـان اسـت .

thumb_upthumb_down

**۶.۴. دسترسی دولت به داده‌های V2X (ادامه)**

استرالیا **چارچوب نظارتی دولتی برای دسترسی به داده‌های C-ITS** را تدوین کرده است [۶]. این چارچوب اصول زیر را حاکم می‌کند:

**دسترسی محدود:** دولت تنها در مواقع ضروری (تحقیقات حادثه، اقدامات عمومی) می‌تواند به داده‌ها دسترسی یابد

**نیاز قانونی:** دسترسی باید توسط مقامات قضایی یا قانونی مورد تأیید قرار گیرد

**ثبت و پاسخ‌دهی:** تمام درخواست‌های دسترسی و پاسخ‌ها ثبت و در دسترس ذینفعان است [۷]

**انواع داده‌های قابل دسترسی**

NTC داده‌های توسعه‌یافته توسط خودروهای متصل را به سه دسته تقسیم کرده است [۶]:

۱. **داده‌های ایمنی (Safety Data):** شامل موقعیت، سرعت، شتاب و فعال‌سازی سیستم‌های کمکی

۲. **داده‌های محیطی (Environmental Data):** شامل میزان انتشار آلاینده‌ها و مصرف سوخت

۳. **داده‌های عملیاتی (Operational Data):** شامل اطلاعات مربوط به تعاملات خودرو با زیرساخت (مانند ارتباطات V2I)

دولت استرالیا اعلام کرده است که دسترسی به **داده‌های هویتی شخصی (PII)** بدون رضایت صریح کاربر و بدون دستور قضایی مجاز نخواهد بود [۷].

# فصل ۷: دسترسی به داده‌های خودرو و رقابت

### ۷.۱. اهمیت استراتژیک دسترسی به داده‌ها

یکی از چالش‌های کلیدی در توسعه خودروهای متصل، **دسترسی رقابتی به داده‌های تولیدشده توسط خودروها** است [۳۲]. این داده‌ها ارزش اقتصادی بالایی دارند و استفاده از آن‌ها می‌تواند تأثیر عمیقی بر بازارهای پس از فروش، بیمه، تعمیرات و خدمات نقشه‌برداری داشته باشد.

### ۷.۲. نگرانی‌های رقابتی

#### الف. انحصار سازندگان خودرو (OEM Lock-in)

اگر تنها **سازندگان خودرو (OEMs)** به داده‌های تولیدی دسترسی داشته باشند، این امکان وجود دارد که بازارهای پس از فروش را کنترل کنند و شرکت‌های مستقل تعمیرات را از دسترسی به داده‌های تشخیصی خودرو محروم سازند [۳۳].

#### ب. تأثیر بر بازار بیمه

شرکت‌های بیمه برای محاسبه دقیق‌تر پرمیوم‌ها، نیاز به دسترسی به داده‌های رفتار رانندگی دارند (مانند سرعت متوسط، تعداد ترمزگیری‌های ناگهانی، میزان طی مسافت). اگر این داده‌ها تنها از طریق **OEM**ها در دسترس باشد، رقابت در بازار بیمه تضعیف می‌شود [۳۴].

### ۷.۳. مدل‌های دسترسی به داده

استرالیا در حال بررسی سه مدل اصلی برای دسترسی به داده‌های خودرو است [۳۵]:

**الف. مدل دسترسی مستقیم (Direct Access)**

در این مدل، اشخاص ثالث (مانند تعمیرکاران مستقل یا شرکت‌های بیمه) می‌توانند مستقیماً به داده‌های خودرو دسترسی داشته باشند. این مدل منصفانه‌ترین است اما نگرانی‌های امنیتی را ایجاد می‌کند [۳۶].

**ب. مدل دسترسی از طریق پلتفرم محوری (OEM-Controlled Platform)**

در این مدل، OEM یک پلتفرم مرکزی ایجاد می‌کند که اشخاص ثالث می‌توانند از طریق API استاندارد به داده‌ها دسترسی یابند. این مدل امنیت را حفظ می‌کند اما نگرانی‌های انحصارگرایی را افزایش می‌دهد [۳۷].

**ج. مدل دسترسی از طریق پلتفرم محور مستقل (Neutral Server)**

در این مدل، یک سرور مستقل و غیروابسته به OEM داده‌ها را جمع‌آوری کرده و به ذینفعان دسترسی می‌دهد. این مدل بیشترین رقابت را تضمین می‌کند اما هزینه زیرساختی بالایی دارد [۳۸].

**۷.۴. توصیه‌های سیاستی استرالیا**

استرالیا به سوی مدل "دسترسی منصفانه، معقول و بدون تبعیض (FRAND - Fair, Reasonable, and Non-Discriminatory Access)" حرکت می‌کند [۳۹]. این به معنی آن است که:

- OEMها ملزم به ارائه دسترسی رقابتی به اشخاص ثالث واجد شرایط هستند
- قیمت‌گذاری دسترسی باید منصفانه و شفاف باشد
- هیچ تبعیضی در دسترسی بین شرکت‌های مختلف وجود ندارد

# فصل ۸: چالش‌ها و موانع استقرار

## ۸.۱. چالش‌های فنی

### الف. معضل انتخاب فناوری

استرالیا با یک معضل کلیدی مواجه است: **انتخاب بین( IEEE ۸۰۲٫۱۱p , ITS-G۵ ) و C-V۲X** [۱۲].
هرکدام از این فناوری‌ها مزایا و معایب دارند:

**IEEE ۸۰۲٫۱۱p:**

- **مزایا:** مسیر استقرار روشن، استانداردهای بلوغ‌یافته، سابقه طولانی آزمایش در پایلوت‌های اروپایی
- **معایب:** فقدان مسیر تکاملی روشن، عدم سازگاری با شبکه‌های سلولی موجود، پوشش محدودتر [۴۰]

C-V۲X:

- **مزایا:** مسیر تکاملی به سمت ۵G، استفاده از زیرساخت‌های موجود شبکه سلولی، پوشش بهتر
- **معایب:** استانداردها هنوز در حال بلوغ، نیاز به زیرساخت شبکه گسترده [۴۱]

استرالیا در حال حاضر رویکردی "خنثی نسبت به فناوری" اتخاذ کرده است، یعنی هر دو فناوری را در پایلوت‌ها آزمایش می‌کند [۴۲].

**ب. مشکل همزیستی فناوری‌ها**

اگر استرالیا بخواهد هر دو فناوری را حفظ کند، باید اطمینان حاصل شود که **تداخل مضر (Harmful Interference)** بین آن‌ها ایجاد نمی‌شود. تحقیقات نشان داده‌اند که استفاده همزمان از **IEEE ۸۰۲٫۱۱p** و C-V۲X در یک باند فرکانسی می‌تواند منجر به تداخل و کاهش عملکرد شود [۱۲].

**ج. محدودیت‌های زیرساختی**

استرالیا دارای فاصله‌های جغرافیایی زیاد است که استقرار زیرساخت‌های یکپارچه برای C-ITS را چالش‌برانگیز می‌کند [۴۳]. هزینه نصب RSU در مناطق دورافتاده و کم‌جمعیت ممکن است توجیه اقتصادی نداشته باشد.

**۸.۲. چالش‌های مالی و مدل کسب‌وکار**

**الف. معضل مرغ و تخم‌مرغ**

یکی از بزرگ‌ترین موانع، **معضل مرغ و تخم‌مرغ (Chicken-and-Egg Problem)** است:

**خودروسازان** تمایلی به نصب تجهیزات گران‌قیمت OBU در خودروها ندارند، مگر زیرساخت کافی (RSU) وجود داشته باشد

**دولت‌ها** تمایلی به سرمایه‌گذاری گسترده در RSU ندارند، مگر تعداد کافی خودروهای مجهز در جاده‌ها وجود داشته باشد [۴۴]

**ب. مدل تأمین مالی پایدار**

استرالیا هنوز یک مدل تأمین مالی بلندمدت و پایدار برای نگهداری و ارتقاء زیرساخت‌های C-ITS تعریف نکرده است. گزینه‌های احتمالی عبارتند از [۴۵]:

- **تأمین مالی عمومی:** از طریق بودجه‌های دولتی
- **مشارکت عمومی-خصوصی (PPP):** همکاری بین دولت و بخش خصوصی

- **عوارض کاربران:** دریافت هزینه از کاربرانی که از خدمات C-ITS استفاده می‌کنند

### ۸.۳. چالش‌های قانونی و اجتماعی

**الف. مسئولیت قانونی در حوادث**

یکی از بزرگ‌ترین ابهامات قانونی، تعیین **مسئولیت در تصادفات شامل خودروهای خودران یا متصل** است [۴۶]. سوالات کلیدی عبارتند از:

در صورت بروز تصادف ناشی از نقص سیستم **C-ITS**، چه کسی مسئول است؟ راننده، سازنده خودرو، سازنده نرم‌افزار یا اپراتور زیرساخت؟

اگر یک پیام جعلی منجر به تصادف شود، چه کسی پاسخگو است؟

استرالیا در حال بررسی چارچوب‌های مسئولیت برای پاسخ‌گویی به این سوالات است که در آن احتمالاً یک "مدل مسئولیت محصول (Product Liability)" برای سازندگان خودرو اعمال خواهد شد [۴۷].

**ب. پذیرش عمومی و اعتماد**

یکی از چالش‌های اساسی، **اعتماد عمومی به خودروهای متصل و خودران** است. نظرسنجی‌ها نشان می‌دهند که بسیاری از استرالیایی‌ها نگران موارد زیر هستند [۴۸]:

**ایمنی:** آیا خودروهای خودران واقعاً ایمن هستند؟

**حریم خصوصی:** داده‌های من چگونه استفاده می‌شوند؟

**امنیت سایبری:** آیا سیستم در برابر هک محافظت شده است؟

برای غلبه بر این نگرانی‌ها، استرالیا برنامه‌های آموزشی گسترده‌ای را برای شهروندان راه‌اندازی کرده است که شامل **کمپین‌های اطلاع‌رسانی عمومی** و **نمایش‌های تعاملی** در شهرهای بزرگ است [۴۹].

**ج. شکاف دیجیتال**

**شکاف دیجیتال (Digital Divide)** یکی دیگر از نگرانی‌های اجتماعی است. مناطق روستایی و دورافتادی که دسترسی محدودی به شبکه‌های سلولی دارند، ممکن است از مزایای C-V2X محروم بمانند [۵۰]. این می‌تواند نابرابری‌های اجتماعی را تشدید کند.

**۸.۴. درس‌های بین‌المللی**

استرالیا از تجربیات پایلوت‌های بین‌المللی، به‌ویژه در **اروپا** و **آمریکا**، درس‌های ارزشمندی آموخته است [۵۱]:

**الف. درس از پلتفرم C-Roads اروپا**

**C-Roads Platform** در اروپا نشان داده است که **هماهنگی فرامرزی** برای موفقیت سیستم‌های C-ITS حیاتی است [۵۲]. استرالیا می‌تواند از این تجربه برای هماهنگی بین ایالت‌های خود استفاده کند.

**ب. درس از تصمیم FCC در آمریکا**

تصمیم قاطع **FCC** در آمریکا برای انتخاب C-V2X نشان می‌دهد که **قاطعیت تنظیم‌گری** می‌تواند عدم قطعیت بازار را کاهش دهد و سرمایه‌گذاری را تسهیل کند [۵۳].

# فصل ۹: چشم‌انداز آینده و توصیه‌های سیاستی

### ۹.۱. چشم‌انداز میان‌مدت (۲۰۲۵-۲۰۳۰)

استرالیا پیش‌بینی می‌کند که تا سال ۲۰۳۰، سیستم‌های C-ITS به طور گسترده در بزرگراه‌های اصلی و شهرهای بزرگ استقرار یابند [۱]. اهداف کلیدی عبارتند از:

- **نفوذ خودروهای متصل:** دست‌کم ۲۰٪ از خودروهای جدید باید به OBU مجهز شوند
- **پوشش زیرساخت:** دست‌کم ۵۰٪ از بزرگراه‌های اصلی و ۳۰٪ از تقاطع‌های شهری با RSU پوشش داده شوند
- **کاربردهای پیشرفته:** استقرار کاربردهای 2-Day مانند **پلاتونینگ کامیون‌ها (Truck Platooning)** و **مدیریت هماهنگ ترافیک**

### ۹.۲. چشم‌انداز بلندمدت (۲۰۳۰-۲۰۴۰)

استرالیا در چشم‌انداز بلندمدت، هدف **یکپارچگی کامل C-ITS با رانندگی خودران (سطح ۴ و ۵)** را دنبال می‌کند [۵۴]. در این سناریو:

خودروهای خودران از اطلاعات بلادرنگ C-ITS برای تصمیم‌گیری استفاده می‌کنند

زیرساخت‌های شهری (چراغ‌های راهنمایی، علائم جاده‌ای) به طور دیجیتال با خودروها ارتباط برقرار می‌کنند

**شهرهای هوشمند (Smart Cities)** که در آن C-ITS با سیستم‌های مدیریت انرژی، حمل‌ونقل عمومی و زیرساخت‌های شهری یکپارچه می‌شود

### ۹.۳. تکامل به سمت 5G-V2X

استرالیا در حال آماده سازی برای انتقال به 5G-V2X است که قابلیت های پیشرفته تری را فراهم می کند [۵۵]:

**تاخیر بسیار کم (Ultra-Low Latency):** کمتر از ۵ میلی‌ثانیه برای کاربردهای حساس

**پهنای باند بالا:** امکان انتقال داده‌های حسگری پیشرفته (مانند ویدیوهای با وضوح بالا)

**قابلیت شبکه‌سازی (Network Slicing):** امکان اختصاص منابع شبکه به کاربردهای خاص

### ۹.۴. یکپارچگی با خودروهای الکتریکی (V2G)

یکی از کاربردهای نوظهور، **یکپارچگی خودروهای الکتریکی با شبکه برق (V2G - Vehicle-to-Grid)** است [۱۶]. در این سناریو:

- خودروهای الکتریکی می‌توانند انرژی اضافی خود را به شبکه برق بفروشند
- فناوری V2X برای هماهنگی شارژ/تخلیه باتری استفاده می‌شود
- این امر می‌تواند منجر به کاهش بار شبکه در ساعات اوج مصرف شود

استرالیا پروژه تحقیقاتی "My V2X EV" را برای بررسی این یکپارچگی راه اندازی کرده است [۱۶].

### ۹.۵. توصیه‌های سیاستی

بر اساس تحلیل‌های انجام‌شده، توصیه‌های سیاستی زیر برای استرالیا ارائه می‌شود:

**الف. تصمیم‌گیری قاطع در مورد فناوری**

استرالیا باید **تصمیم روشن و قاطعی** در مورد انتخاب فناوری اصلی (IEEE ۸۰۲٫۱۱p یا C-V2X) اتخاذ کند. رویکرد خنثی فعلی منجر به عدم قطعیت بازار و کاهش سرمایه‌گذاری خصوصی شده است [۴۲].

**توصیه:** با توجه به مزایای بلندمدت و مسیر تکاملی، **C-V2X** گزینه مناسب‌تری برای استرالیا است.

**ب. ایجاد برنامه تأمین مالی بلندمدت**

استرالیا باید یک **برنامه تأمین مالی ۱۰ ساله** برای استقرار و نگهداری زیرساخت‌های C-ITS ایجاد کند. این برنامه باید شامل موارد زیر باشد:

- **سرمایه‌گذاری دولتی اولیه:** برای راه‌اندازی زیرساخت درکریدورهای کلیدی
- **مشارکت عمومی-خصوصی:** برای توسعه کاربردهای تجاری
- **مکانیسم خودکفایی:** برای تأمین هزینه‌های نگهداری بلندمدت [۴۵]

**ج. تدوین چارچوب مسئولیت روشن**

استرالیا باید یک **چارچوب قانونی روشن برای مسئولیت در حوادث** تدوین کند. این چارچوب باید:

- **مسئولیت را به وضوح تعریف کند:** بین راننده، سازنده خودرو، توسعه‌دهنده نرم‌افزار و اپراتور زیرساخت
- **بیمه الزامی:** الزام به بیمه خاص برای خودروهای خودران
- **صندوق جبران:** ایجاد یک صندوق ملی برای جبران خسارات ناشی از نقص سیستم [۴۷]

**د. تقویت آموزش عمومی و آگاهی**

استرالیا باید **برنامه‌های آموزشی جامع** را برای شهروندان راه‌اندازی کند که شامل:

- **کمپین‌های رسانه‌ای:** برای آگاه‌سازی عمومی درباره مزایای و محدودیت‌های خودروهای متصل
- **آموزش مدارس:** آموزش نسل جدید درباره فناوری‌های حمل‌ونقل آینده
- **نمایش‌های عمومی:** ایجاد مراکز تجربه برای تست خودروهای متصل توسط شهروندان [۴۹]

**ه. هماهنگی ملی و بین‌المللی**

استرالیا باید:

- **هماهنگی ملی:** یک مکانیسم هماهنگی قوی بین ایالت‌ها و دولت فدرال ایجاد کند تا از یکپارچگی زیرساخت‌ها اطمینان حاصل شود
- **هماهنگی بین‌المللی:** با استانداردهای بین‌المللی (ETSI، SAE، 3GPP) همسو شود تا از قابلیت همکاری جهانی اطمینان حاصل کند [۵۶]

**و. حمایت از نوآوری محلی**

استرالیا باید از شرکت‌های داخلی مانند **Cohda Wireless** حمایت کند و محیطی را برای توسعه راه‌حل‌های بومی فراهم آورد. این شامل:

- **برنامه‌های تحقیق و توسعه:** تأمین مالی برای پروژه‌های نوآورانه
- **محیط تنظیم‌گری انعطاف‌پذیر:** ایجاد "محیط‌های آزمون نظارتی (Regulatory Sandboxes)" برای تست فناوری‌های جدید [۵۷]

# فصل ۱۰: جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

## ۱۰.۱. خلاصه یافته‌های کلیدی

استرالیا در مسیر توسعه فناوری‌های خودروی متصل، یک رویکرد متعادل و محتاطانه اتخاذ کرده است که بر موارد زیر متمرکز است:

**نقاط قوت:**

- **چارچوب استراتژیک جامع:** برنامه ملی ۲۰۲۴-۲۰۲۷ یک نقشه راه روشن ارائه می‌دهد
- **پایلوت‌های گسترده:** آزمایش‌های عملی بزرگ‌مقیاس در سیدنی و دیگر شهرها
- **تمرکز بر پذیرش عمومی:** برنامه‌های آموزشی و آگاهی‌بخشی
- **معماری امنیتی قوی:** سیستم SCMS برای حفاظت از حریم خصوصی و امنیت
- **نوآوری محلی:** شرکت‌های داخلی مانند Cohda Wireless در خط مقدم فناوری

**نقاط ضعف و چالش‌ها:**

- عدم قطعیت فناوری: عدم انتخاب قاطع بین IEEE ۸۰۲٫۱۱p و C-V2X

- معضل مالی: عدم وجود مدل تأمین مالی بلندمدت و پایدار
- چالش‌های جغرافیایی: فاصله‌های زیاد و جمعیت کم در مناطق روستایی
- ابهام قانونی: عدم وجود چارچوب مسئولیت روشن برای حوادث
- شکاف دیجیتال: نابرابری در دسترسی به فناوری بین شهری و روستایی

### ۱۰.۲. موقعیت استرالیا در مقایسه جهانی

در مقایسه با دیگر کشورها:

- نسبت به آمریکا: استرالیا رویکرد محتاطانه‌تری دارد و هنوز تصمیم قاطع فناوری اتخاذ نکرده است
- نسبت به اروپا: استرالیا مشابه اروپا، رویکرد خنثی نسبت به فناوری دارد اما پایلوت‌های محدودتری راه‌اندازی کرده است
- نسبت به چین: استرالیا بر پذیرش عمومی و حریم خصوصی تمرکز بیشتری دارد

### ۱۰.۳. پیام نهایی

استرالیا در آستانه یک تحول بزرگ در سیستم حمل‌ونقل خود قرار دارد. موفقیت در استقرار فناوری‌های V2X به تصمیمات استراتژیک در سال‌های آینده بستگی دارد. با اتخاذ توصیه‌های سیاستی ارائه‌شده در این گزارش، استرالیا می‌تواند:

- جان‌ها را نجات دهد: از طریق کاهش معنی‌دار تصادفات جاده‌ای
- محیط زیست را حفظ کند: از طریق کاهش انتشار آلاینده‌ها
- اقتصاد را تقویت کند: از طریق ایجاد صنایع جدید و فرصت‌های شغلی

- جامعه را یکپارچه کند: از طریق دسترسی برابر به فناوری‌های پیشرفته

# پیوست‌ها

## پیوست الف: واژه‌نامه اختصارات

- ACMA: Australian Communications and Media Authority
- BSM: Basic Safety Message
- C-ITS: Cooperative Intelligent Transport Systems
- C-V۲X: Cellular Vehicle-to-Everything
- DENM: Decentralized Environmental Notification Message
- DSRC: Dedicated Short-Range Communications
- ECC: Elliptic Curve Cryptography
- EIRP: Effective Isotropic Radiated Power
- FRAND: Fair, Reasonable, and Non-Discriminatory
- I۲C: Infrastructure-to-Cloud
- iMOVE: Intelligent Mobility Vehicle Electronics
- ITS: Intelligent Transport Systems

- ITS-G۵: ITS operating in the ۵ GHz frequency band
- LTE: Long-Term Evolution
- MAP: Map Data
- NTC: National Transport Commission
- OBU: On-Board Unit
- OEM: Original Equipment Manufacturer
- OOBE: Out-of-Band Emissions
- PCA: Pseudonym Certificate Authority
- PKI: Public Key Infrastructure
- RSU: Roadside Unit
- SCMS: Security Credential Management System
- SPAT: Signal Phase and Timing
- TCA: Transport Certification Australia
- V۲G: Vehicle-to-Grid
- V۲I: Vehicle-to-Infrastructure
- V۲V: Vehicle-to-Vehicle
- V۲X: Vehicle-to-Everything

## پیوست ب: منابع و مراجع

[۱] Commonwealth of Australia. (۲۰۲۴). National Connected and Automated Vehicle Action Plan 2024-27. Canberra: Department of Infrastructure, Transport, Regional Development, Communications and the Arts.

[۲] Commonwealth of Australia. (۲۰۲۴). National Connected and Automated Vehicle Action Plan 2024-27. Canberra: Department of Infrastructure, Transport, Regional Development, Communications and the Arts.

[۳] Commonwealth of Australia. (۲۰۲۴). National Connected and Automated Vehicle Action Plan 2024-27. Canberra: Department of Infrastructure, Transport, Regional Development, Communications and the Arts.

[۴] Commonwealth of Australia. (۲۰۲۴). National Connected and Automated Vehicle Action Plan 2024-27. Canberra: Department of Infrastructure, Transport, Regional Development, Communications and the Arts.

[۵] National Transport Commission. (n.d.). About NTC. Retrieved from https://www.ntc.gov.au/

[۶] National Transport Commission. (۲۰۱۹). Regulating Government Access to C-ITS and Automated Vehicle Data: Policy Paper. Melbourne: NTC.

[۷] National Transport Commission. (۲۰۲۰). Government Access to Vehicle-Generated Data. Melbourne: NTC.

[۸] Australian Communications and Media Authority. (۲۰۲۱). Class Licence for Intelligent Transport Systems. Canberra: ACMA.

[۹] Australian Communications and Media Authority. (۲۰۲۱). Class Licence for Intelligent Transport Systems. Canberra: ACMA.

[۱۰] Austroads. (۲۰۲۲). Minimum Physical Infrastructure Requirements for Automated Vehicle Operations. Sydney: Austroads.

[۱۱] iMOVE Australia. (n.d.). About iMOVE. Retrieved from https://imoveaustralia.com/

[۱۲] iMOVE Australia. (۲۰۲۰). A Comparative Assessment of C-ITS Technologies. Melbourne: iMOVE CRC.

[۱۳] Transport Certification Australia. (۲۰۱۸). Executive Companion: Key Decisions to Progress Australian Deployment of a Security Credential Management System. Melbourne: TCA.

[۱۴] iMOVE Australia. (۲۰۲۰). A Comparative Assessment of C-ITS Technologies. Melbourne: iMOVE CRC.

[۱۵] iMOVE Australia. (۲۰۲۰). A Comparative Assessment of C-ITS Technologies. Melbourne: iMOVE CRC.

[۱۶] University of Technology Sydney. (۲۰۲۲). My V۲X EV: Informing Strategic Electric Vehicle Integration. Sydney: UTS.

[۱۷] iMOVE Australia. (۲۰۲۰). A Comparative Assessment of C-ITS Technologies. Melbourne: iMOVE CRC.

[۱۸] Austroads. (۲۰۲۰). Harmonisation of C-ITS Standards for Australia. Sydney:

Austroads.

[۱۹] iMOVE Australia. (۲۰۲۰). A Comparative Assessment of C-ITS Technologies. Melbourne: iMOVE CRC.

[۲۰] iMOVE Australia. (۲۰۲۰). A Comparative Assessment of C-ITS Technologies. Melbourne: iMOVE CRC.

[۲۱] iMOVE Australia. (۲۰۲۰). A Comparative Assessment of C-ITS Technologies. Melbourne: iMOVE CRC.

[۲۲] iMOVE Australia. (۲۰۲۰). A Comparative Assessment of C-ITS Technologies. Melbourne: iMOVE CRC.

[۲۳] iMOVE Australia. (۲۰۲۰). A Comparative Assessment of C-ITS Technologies. Melbourne: iMOVE CRC.

[۲۴] Main Roads Western Australia. (۲۰۲۴). Our Roadmap to Enabling C-ITS in Western Australia ۲۰۲۸-۲۰۲۴. Perth: Main Roads WA.

[۲۵] iMOVE Australia. (۲۰۲۱). Promoting Community Readiness and Uptake of Connected and Automated Vehicles. Melbourne: iMOVE CRC.

[۲۶] Transport Certification Australia. (۲۰۱۸). Executive Companion: Key Decisions to Progress Australian Deployment of a Security Credential Management System. Melbourne: TCA.

[۲۷] Transport Certification Australia. (۲۰۱۸). Executive Companion: Key Decisions to Progress Australian Deployment of a Security Credential Management

System. Melbourne: TCA.

[۲۸] Australian Government. (۱۹۸۸). Privacy Act ۱۹۸۸. Canberra: Attorney–General's Department.

[۲۹] National Transport Commission. (۲۰۱۹). Regulating Government Access to C–ITS and Automated Vehicle Data: Policy Paper. Melbourne: NTC.

[۳۰] iMOVE Australia. (۲۰۲۰). A Comparative Assessment of C–ITS Technologies. Melbourne: iMOVE CRC.

[۳۱] Transport Certification Australia. (۲۰۱۸). Executive Companion: Key Decisions to Progress Australian Deployment of a Security Credential Management System. Melbourne: TCA.

[۳۲] National Transport Commission. (۲۰۱۹). Regulating Government Access to C–ITS and Automated Vehicle Data: Policy Paper. Melbourne: NTC.

[۳۳] National Transport Commission. (۲۰۱۹). Regulating Government Access to C–ITS and Automated Vehicle Data: Policy Paper. Melbourne: NTC.

[۳۴] National Transport Commission. (۲۰۱۹). Regulating Government Access to C–ITS and Automated Vehicle Data: Policy Paper. Melbourne: NTC.

[۳۵] National Transport Commission. (۲۰۱۹). Regulating Government Access to C–ITS and Automated Vehicle Data: Policy Paper. Melbourne: NTC.

[۳۶] National Transport Commission. (۲۰۱۹). Regulating Government Access to C–ITS and Automated Vehicle Data: Policy Paper. Melbourne: NTC.

بخش ششم

# گزارش جامع پیاده‌سازی فناوری خودروی متصل (V2X) در کره جنوبی، ژاپن، سنگاپور و ترکیه

# پیشگفتار

**مقدمه**

فناوری خودروهای متصل و ارتباطات خودرو به همه چیز (V2X: Vehicle-to-Everything) یکی از مهم‌ترین نوآوری‌های فناورانه در حوزه حمل‌ونقل هوشمند قرن بیست‌ویکم به شمار می‌رود. این فناوری با امکان تبادل اطلاعات بلادرنگ بین خودروها (V2V)، زیرساخت‌های جاده‌ای (V2I)، عابران پیاده (V2P) و شبکه‌های ارتباطی (V2N)، پتانسیل تحول بنیادین در ایمنی جاده‌ای، کارایی حمل‌ونقل، و کیفیت زندگی شهری را دارد.

در سطح جهانی، کشورهای مختلف با توجه به ویژگی‌های خاص خود از جمله سطح توسعه فناوری، ساختار نهادی، اولویت‌های ملی و چالش‌های اجتماعی، رویکردهای متفاوتی را برای پیاده‌سازی این فناوری اتخاذ کرده‌اند. این گزارش با تمرکز بر چهار کشور پیشرو در منطقه آسیا-اقیانوسیه و خاورمیانه - یعنی ژاپن، کره جنوبی، سنگاپور و ترکیه - به تحلیل جامع ابعاد مختلف پیاده‌سازی V2X می‌پردازد.

**اهداف گزارش**

این گزارش با هدف ارائه تصویری جامع و کاربردی از تجربیات موفق و چالش‌های پیاده‌سازی فناوری V2X در چهار کشور مورد مطالعه، در راستای اهداف زیر تدوین شده است:

۱. **تحلیل چارچوب‌های تنظیم‌گری و سیاست‌گذاری:** بررسی نحوه تخصیص طیف فرکانسی، استانداردهای فنی، و مقررات حاکم بر استقرار V2X

۲. **شناسایی مدل‌های نهادی و حکمرانی:** تحلیل نقش دولت، بخش خصوصی، و دانشگاه‌ها در اکوسیستم V2X

**۳. ارزیابی زیرساخت‌های فنی و آزمایشگاهی:** بررسی تسهیلات تحقیقاتی، آزمایشگاه‌های زنده، و پروژه‌های پایلوت

**۴. مطالعه راهبردهای تجاری‌سازی:** تحلیل مکانیزم‌های انتقال از مرحله آزمایش به استقرار تجاری

**۵. استخراج درس‌های آموخته:** شناسایی عوامل کلیدی موفقیت، چالش‌های مشترک، و راهکارهای عملیاتی

**روش‌شناسی گزارش**

این گزارش بر اساس تحلیل محتوای اسناد رسمی، گزارش‌های استراتژیک، مقالات تخصصی، و مستندات فنی منتشرشده توسط نهادهای دولتی، سازمان‌های بین‌المللی، و شرکت‌های فناوری پیشرو تدوین شده است. رویکرد تحلیلی این مطالعه، تطبیقی-توصیفی بوده و تلاش شده است تا با استفاده از مدل‌سازی تطبیقی، الگوهای مشترک و تفاوت‌های اساسی در رویکردهای ملی شناسایی شوند.

**ساختار گزارش**

این گزارش در هشت فصل سازمان‌دهی شده است. فصل اول به مفاهیم بنیادین و چارچوب نظری V2X اختصاص دارد. فصول دوم تا پنجم به تحلیل عمیق وضعیت هر یک از چهار کشور می‌پردازند. فصل ششم تحلیل تطبیقی و الگوهای پیاده‌سازی را ارائه می‌دهد و در نهایت، فصل هفتم نتیجه‌گیری و توصیه‌های سیاستی را مطرح می‌کند.

# فصل اول: چارچوب نظری و مفاهیم بنیادین

**مقدمه**

این فصل به تبیین مفاهیم اساسی، معماری‌های فنی، و چالش‌های کلان فناوری V۲X می‌پردازد. درک این مبانی برای تحلیل دقیق رویکردهای ملی در فصول بعدی ضروری است.

**بخش ۱-۱: مفاهیم پایه فناوری V۲X**

**تعریف و کاربردهای V۲X**

فناوری V۲X به مجموعه سیستم‌های ارتباطی اطلاق می‌شود که امکان تبادل داده‌های بلادرنگ بین خودروها و عناصر محیطی را فراهم می‌کنند. این فناوری شامل چهار دسته اصلی است:

**Vehicle-to-Vehicle( V۲V):** ارتباط مستقیم بین خودروها برای تبادل اطلاعات سرعت، موقعیت، و جهت حرکت

**Vehicle-to-Infrastructure(V۲I)**: ارتباط خودرو با زیرساخت‌های جاده‌ای مانند چراغ‌های راهنمایی و تابلوهای هوشمند

**Vehicle-to-Pedestrian( V۲P):** ارتباط با عابران پیاده مجهز به دستگاه‌های هوشمند

**Vehicle-to-Network( V۲N):** اتصال به شبکه‌های سلولی و ابری

کاربردهای این فناوری طیف گسترده‌ای را شامل می‌شود از جمله: هشدار برخورد، مدیریت

سـرعت تطبیقـی، بهینه‌سـازی زمان‌بنـدی چراغ‌هـای راهنمایـی (GLOSA)، و پشتیبانـی از رانندگـی خـودکار (5GAA, ۲۰۲۴).

**اهمیت استراتژیک V2X**

اسـتقرار V2X فراتـر از یـک نـوآوری فنـی، بـه عنـوان ابـزاری اسـتراتژیک بـرای حـل چالش‌هـای اجتماعـی و اقتصـادی در نظر گرفتـه می‌شـود:

۱. **ارتقای ایمنی:** کاهش تصادفات رانندگی تا ۸۰ درصد در برخی سناریوها

۲. **بهبود کارایی ترافیک:** کاهش تراکم و زمان سفر تا ۳۰ درصد

۳. **کاهـش آلایندگـی**: بهینه‌سـازی مصـرف سـوخت و کاهـش انتشـار گازهـای گلخانـه‌ای

۴. **توسعه اقتصادی:** ایجاد صنایع جدید و فرصت‌های شغلی در حوزه فناوری‌های نوین

**بخش ۱-۲: معماری‌های ارتباطی و رقابت فناوری**

**رقابت DSRC و C-V2X**

بـازار جهانـی V2X شـاهد رقابـت بیـن دو اسـتاندارد اصلـی ارتباطـی اسـت کـه هـر کـدام مزایـا و محدودیت‌هـای خـاص خـود را دارنـد (5GAA, ۲۰۱۸).

**۱. Dedicated Short Range Communication (DSRC)**

DSRC کـه بر پایـه اسـتاندارد IEEE ۸۰۲٫۱۱p بنـا شـده اسـت، نخسـتیـن فنـاوری اسـتانداردشـده بـرای V2X محسـوب می‌شـود. ایـن فنـاوری از نوامبـر ۲۰۰۹ در ایـالات متحـده بـرای بانـد فرکانسـی ۵.۹ گیگاهرتـز تخصیـص یافتـه بـود. مزایـای کلیـدی DSRC عبارتنـد از:

- تأخیر بسیار پایین (کمتر از ۱۰۰ میلی‌ثانیه)
- عدم نیاز به زیرساخت شبکه سلولی

- عملکرد تا مسافت ۲ کیلومتر
- بلوغ فنی و تولید انبوه تراشه‌ها (NXP, ۲۰۲۰)

با این حال، محدودیت‌های DSRC شامل برد محدود، عدم پشتیبانی از خدمات ابری، و نیاز به سرمایه‌گذاری زیرساختی گسترده است.

**۲. Cellular V2X (C-V2X)**

C-V2X که توسط 3GPP توسعه یافته، از فناوری‌های سلولی LTE و 5G بهره می‌برد. این استاندارد دارای دو حالت ارتباطی است:

- **حالت مستقیم (PC5):** ارتباط مستقیم بین خودروها بدون نیاز به شبکه سلولی
- **حالت شبکه‌ای (Uu):** اتصال از طریق شبکه موبایل برای دسترسی به خدمات ابری

مزایای C-V2X شامل موارد زیر است:

- برد بیشتر (بیش از ۲ کیلومتر)
- پشتیبانی کامل از خدمات ابری و داده‌های حجیم
- امکان استفاده از زیرساخت‌های موجود 4G و 5G
- مسیر ارتقای مشخص به سمت 5G-Advanced (NXP, ۲۰۲۰)

**روند انتخاب فناوری در سطح جهانی**

روند جهانی نشان‌دهنده حرکت تدریجی از DSRC به سمت C-V2X است. تصمیم کره جنوبی برای انتخاب قطعی C-V2X پس از سال‌ها آزمایش DSRC، نقطه عطف مهمی در این گذار محسوب می‌شود (5GAA, ۲۰۱۸). در اروپا نیز پس از بحث‌های طولانی، روند به نفع C-V2X در

حال تغییر است و یک جدول زمانی برای استقرار زیرساخت‌های C-V2X تا سال ۲۰۳۰ ترسیم شده است.

**بخش ۱-۳: چالش‌های کلان پیاده‌سازی**

**چالش‌های فنی و استانداردسازی**

یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های پیاده‌سازی V2X، عدم هماهنگی جهانی در انتخاب استاندارد ارتباطی است. در حالی که برخی کشورها مانند ژاپن سابقه طولانی در استفاده از DSRC دارند، کشورهای دیگر مانند چین و کره جنوبی به سمت C-V2X حرکت کرده‌اند. این تفاوت‌ها می‌تواند منجر به مشکلات همکاری بین‌المللی (interoperability) شود.

**چالش‌های تنظیم‌گری و سیاست‌گذاری**

تخصیص طیف فرکانسی، تدوین مقررات امنیتی، و ایجاد چارچوب‌های قانونی مناسب برای مسئولیت‌پذیری در تصادفات، از جمله چالش‌های اساسی تنظیم‌گری هستند. کشورهای مختلف رویکردهای متفاوتی را در این زمینه اتخاذ کرده‌اند که در فصول بعدی به تفصیل بررسی خواهد شد.

**چالش‌های امنیت و حریم خصوصی**

امنیت سایبری و حفاظت از داده‌های شخصی کاربران، از دغدغه‌های اصلی در پیاده‌سازی V2X است. تراشه‌های امنیتی V2X مانند NXP SXF۱۸۰۰ برای تأیید گواهی و پشتیبانی از به‌روزرسانی‌های OTA طراحی شده‌اند (NXP, ۲۰۲۰). همچنین، استانداردهای بین‌المللی مانند UNECE R۱۵۵ (مدیریت امنیت سایبری) و UNECE R۱۵۶ (به‌روزرسانی نرم‌افزار) چارچوب‌های مرجعی برای این حوزه فراهم کرده‌اند.

**چالش‌های پذیرش اجتماعی و اقتصادی**

پذیرش عمومی فناوری V2X مستلزم اطمینان از منافع ملموس برای کاربران نهایی است. هزینه‌های اولیه بالای تجهیزات OBU (On-Board Unit) و نیاز به نصب گسترده RSU (Roadside Unit) می‌تواند مانع پذیرش سریع باشد. تجربه ژاپن در ارائه مشوق‌های مالی مستقیم به

کاربران سیستم ETC نشان می‌دهد که سیاست‌های حمایتی می‌تواند به تسریع پذیرش کمک کند (Prime Minister's Office Japan, ۲۰۱۹).

**بخش ۱-۴: تسهیلات توسعه و آزمایشگاه‌های زنده**

**اهمیت زیرساخت‌های آزمایشی**

کشورهایی که سرمایه‌گذاری سنگینی در تسهیلات آزمایش و تست‌بدهای واقعی انجام داده‌اند، در پیاده‌سازی CAV و V۲X پیشتاز هستند. این تسهیلات امکان آزمایش سناریوهای پیچیده ترافیکی، ارزیابی عملکرد در شرایط واقعی، و توسعه استانداردهای ملی را فراهم می‌کنند.

**نمونه‌های برجسته تسهیلات آزمایشی**

برخی از برجسته‌ترین تسهیلات آزمایشی **V۲X** در سطح جهانی عبارتنداز:

**K-City (کره جنوبی):** بزرگترین زمین آزمایشی CAV با مساحت ۳۶۰,۰۰۰ متر مربع که اولین تسهیلات جهانی مجهز به ۵G است

**Smart Mobility Test Bed (سنگاپور):** آزمایشگاه زنده در محوطه دانشگاه NTU برای توسعه راه‌حل‌های V۲X در سناریوهای واقعی

**منطقه ساحلی توکیو (ژاپن):** محل تست‌های میدانی بزرگ با حضور شرکت‌های داخلی و خارجی

**A NICE CITY (چین):** اولین منطقه پایلوت ملی وسایل نقلیه متصل هوشمند که محیط‌های آزمایشی بسته، نیمه‌بسته و جاده‌های باز را فراهم می‌کند

این تسهیلات نقش حیاتی در تسریع نوآوری، جذب سرمایه‌گذاری بین‌المللی، و ایجاد اکوسیستم همکاری بین صنعت، دانشگاه و دولت ایفا می‌کنند.

# فصل دوم: تحلیل وضعیت ژاپن

**مقدمه**

ژاپـن بـه عنـوان یکـی از پیشـگامان جهانـی در حـوزه سیسـتم‌های حمل‌ونقـل هوشـمند (ITS)، سـابقه‌ای طولانـی در توسـعه و پیاده‌سـازی فناوری‌هـای پیشـرفته حمل‌ونقـل دارد. ایـن کشـور از دهه‌هـای گذشـته بـا معرفـی سیسـتم‌های موفقـی ماننـد ETC و VICS، زیرسـاخت‌های لازم را فراهـم کـرده اسـت. دولـت و بخـش خصوصـی ژاپـن بـا رویکـردی اسـتراتژیک و مبتنـی بـر همـکاری، فناوری‌هـای V۲X را نـه تنهـا بـه عنـوان نـوآوری فنـی، بلکـه بـه عنـوان ابـزاری کلیـدی بـرای حـل چالش‌هـای اجتماعـی ماننـد پیـری جمعیـت، کاهـش تصادفـات، و مشـکلات لجسـتیکی ناشـی از کمبـود نـیروی کار در نظـر گرفته‌انـد (Prime Minister's Office Japan, ۲۰۱۹).

**بخش ۲-۱: چارچوب تنظیم‌گری و سیاست‌گذاری**

**ساختار نهادی و نقش دولت**

دولـت ژاپـن یـک چارچـوب تنظیـم‌گری دقیـق و چندلایـه بـرای فناوری‌هـای ITS و V۲X تدویـن کـرده اسـت. در ایـن سـاختار، سـه وزارتخانـه کلیـدی نقش‌هـای مشـخصی را ایفـا می‌کننـد:

۱. **وزارت امـور داخلـی و ارتباطـات (MIC):** مسـئولیت تخصیـص طیـف فرکانسـی و هدایـت سیاسـت‌های کلان ارتباطـی را بـر عهـده دارد

۲. **وزارت زیرسـاخت، حمل‌ونقـل و گردشـگری (MLIT):** متولـی توسـعه زیرسـاخت‌های جـاده‌ای و اسـتانداردهای ایمنـی اسـت

۳. **وزارت اقتصـاد، تجـارت و صنعـت (METI):** مسـئول توسـعه صنایـع خودروسـازی

و فناوری‌های نوین است

این مدل همکاری چندوزارتخانه‌ای نیازمند هماهنگی گسترده بین بخش دولتی و خصوصی است (Prime Minister's Office Japan, ۲۰۱۶).

**تخصیص طیف فرکانسی**

MIC دو باند فرکانسی اصلی را برای کاربردهای ITS در ژاپن تخصیص داده است:

**جدول ۱: تخصیص طیف فرکانسی ITS در ژاپن**

| نام سیستم | کاربرد اصلی | باند فرکانسی |
|---|---|---|
| ITS Connect | ارتباطات V۲I، V۲V و I۲I | MHz ۷۶۴٫۵—۷۵۵٫۵ |
| ETC/ETC ۲٫۰ | جمع‌آوری الکترونیکی عوارض و خدمات اطلاعاتی | MHz ۵۸۵۰—۵۷۷۰ |

**منبع: (5G Automotive Association, ۲۰۱۸)**

**گروه مطالعاتی خودروهای متصل**

در سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۱۷، MIC "گروه مطالعاتی با تمرکز بر تحقق جامعه خودروهای متصل" را تشکیل داد. این گروه با شناسایی پروژه‌های کلیدی و تدوین نقشه راه فناوری، نقش مهمی در شکل‌دهی سیاست‌های ملی ایفا کرد (5GAA, ۲۰۱۸).

**بخش ۲-۲: سیستم‌های موجود و میراث فناوری**

**سیستم ETC و ETC ۲٫۰**

سیستم جمع‌آوری الکترونیکی عوارض (ETC) یکی از موفق‌ترین پیاده‌سازی‌های ITS در جهان محسوب می‌شود. این سیستم که بر پایه فناوری DSRC در باند ۵.۸ گیگاهرتز عمل می‌کند، با نرخ نفوذ بالای ۹۰ درصد در خودروهای سواری، الگویی برای سایر کشورها شده است.

**ویژگی‌های فنی ETC:**

- باند فرکانسی: ۵۸۵۰-۵۷۷۰ MHz
- قدرت ارسال RSU: تا ۳۰۰ میلی‌وات
- استاندارد: ARIB STD-T75 (5GAA, ۲۰۱۸)

نسخه پیشرفته‌تر این سیستم، ETC ۲,۰، علاوه بر جمع‌آوری عوارض، خدمات اطلاعاتی گسترده‌ای مانند اطلاعات ترافیک بلادرنگ، پیش‌بینی تراکم، و هشدار خطرات جاده‌ای را نیز ارائه می‌دهد. این سیستم با جمع‌آوری داده‌های سفر (probe data) از میلیون‌ها خودرو، یک منبع ارزشمند برای مدیریت ترافیک هوشمند ایجاد کرده است (Prime Minister's Office Japan, ۲۰۱۹).

**سیستم VICS**

سیستم اطلاعات و ارتباطات وسایل نقلیه (VICS) یکی دیگر از دستاوردهای موفق ژاپن در حوزه ITS است که اطلاعات ترافیکی را از طریق سه کانال به خودروها منتقل می‌کند:

- **رادیو FM:** پوشش گسترده در مناطق شهری
- **بیکن‌های نوری:** برای بزرگراه‌ها و جاده‌های اصلی
- **رادیو امواج میکروویو:** پوشش دقیق در نقاط خاص

این سیستم با نصب بیش از ۳۰ میلیون دستگاه دریافت در خودروها، نقش حیاتی در کاهش تراکم ترافیک ایفا می‌کند.

**بخش ۲-۳: سیستم ITS Connect و گذار به C-V2X**

**توسعه ITS Connect**

سیستم **ITS Connect** که توسط کنسرسیومی از خودروسازان ژاپنی (تویوتا، نیسان، هوندا و دیگران) توسعه یافته، از باند ۷۶۰ مگاهرتز برای ارتباطات V2V و V2I استفاده می‌کند. این

سیستم از سال ۲۰۱۵ به‌طور تجاری در دسترس است و بر کاربردهای ایمنی تمرکز دارد:

- هشدار برخورد در تقاطع‌ها
- هشدار خودروی جلویی
- اطلاع‌رسانی از خودروهای اضطراری
- هشدار عابر پیاده

با این حال، نرخ پذیرش ITS Connect محدود بوده و تا سال ۲۰۱۹ تنها حدود ۱۰۰,۰۰۰ دستگاه OBU نصب شده بود که در مقایسه با میلیون‌ها دستگاه ETC، رقم کوچکی است (Prime Minister's Office Japan, ۲۰۱۹).

**چالش استانداردهای قدیمی و برنامه گذار به C-V2X**

یکی از چالش‌های اساسی ژاپن، میراث استانداردهای قدیمی **DSRC** است که با استانداردهای جهانی همسو نیستند. برای حل این مشکل، ژاپن برنامه‌ای جامع برای همسویی بین‌المللی تدوین کرده است:

- **تخصیص باند ۵.۹ گیگاهرتز:** MIC در حال بررسی تخصیص باند ۵۸۵۵-۵۹۲۵ MHz برای استفاده بین‌المللی ITS است
- **آزمایش‌های C-V2X:** شرکت‌هایی مانند Qualcomm و DENSO آزمایش‌های موفقی از C-V2X در ژاپن انجام داده‌اند (Qualcomm, ۲۰۱۸)
- **استراتژی دوگانه:** ژاپن در حال بررسی امکان حمایت همزمان از استانداردهای موجود و C-V2X است تا از سرمایه‌گذاری‌های قبلی محافظت کند

## بخش ۲-۴: برنامه SIP-ADUS و استراتژی رانندگی خودکار

### معرفی برنامه SIP-ADUS

شورای علوم، فناوری و نوآوری ژاپن (CSTI) در سال ۲۰۱۵ "برنامه نوآوری استراتژیک برای رانندگی خودکار و خدمات جهانی" (SIP-ADUS) را راه‌اندازی کرد. این برنامه با بودجه سالانه قابل توجه، بر توسعه فناوری‌های هسته‌ای و حوزه‌های مشترکی تأکید دارد که نیاز به همکاری بخش‌های عمومی و خصوصی دارند (Prime Minister's Office Japan, ۲۰۱۶).

### اهداف کلیدی SIP-ADUS

برنامه SIP-ADUS بر هفت حوزه اصلی تمرکز دارد:

۱. **سیستم‌های رانندگی خودکار:** توسعه فناوری‌های سطح ۳ و ۴

۲. **نقشه‌های دینامیک با دقت بالا:** ایجاد نقشه‌های سه‌بعدی برای رانندگی خودکار

۳. **سیستم‌های HMI پیشرفته:** رابط انسان-ماشین برای خودروهای خودکار

۴. **امنیت سایبری:** حفاظت از خودروهای متصل در برابر تهدیدات

۵. **تست‌های میدانی:** آزمایش در شرایط واقعی جاده‌ای

۶. **چارچوب قانونی:** تدوین مقررات برای رانندگی خودکار

۷. **پذیرش اجتماعی:** ارتقای آگاهی و اعتماد عمومی

### تست‌های میدانی بزرگ

ژاپن به‌طور فعال تست‌های میدانی رانندگی خودران را در جاده‌های عمومی ترویج کرده است. یک تست میدانی با حضور شرکت‌های داخلی و خارجی در منطقه ساحلی توکیو از پاییز ۲۰۱۹ با هدف آماده‌سازی محیط رانندگی برای بازی‌های المپیک و پارالمپیک ۲۰۲۰ توکیو انجام شد. این

تست‌ها شامل آزمایش خودروهای سطح ۳ و ۴ در ترافیک واقعی، ارزیابی سیستم‌های V2X، و بررسی پاسخ‌های اضطراری بودند (Prime Minister's Office Japan, ۲۰۱۹).

**بخش ۲-۵: استراتژی‌های ویژه برای چالش‌های اجتماعی**

**برنامه خودروهای حمایتی ایمنی (Safety Support Car S)**

با توجه به پیری جمعیت و افزایش نرخ تصادفات ناشی از رانندگان سالمند، دولت ژاپن و بخش خصوصی یک برنامه حمایتی برای خرید خودروهای مجهز به ویژگی‌های ایمنی پیشرفته برای رانندگان ۶۵ سال یا بالاتر ایجاد کردند. این برنامه که با نام "خودروهای حمایت از ایمنی S" شناخته می‌شود، شامل موارد زیر است:

- ترمز اضطراری پیشرفته (AEBS): تشخیص خودکار خطر و ترمز
- سیستم کنترل اشتباه پدال: جلوگیری از شتاب ناخواسته
- سیستم هشدار خروج از خط: کمک به حفظ خط حرکت
- سیستم نظارت نقطه کور: هشدار خودروها در نقاط کور (Prime Minister's Office Japan, ۲۰۱۹)

این برنامه با ارائه کمک‌های مالی (تا ۱۰۰,۰۰۰ ین برای خرید خودروی جدید و ۵۰,۰۰۰ ین برای نصب تجهیزات ایمنی در خودروی موجود)، به افزایش قابل توجه پذیرش این فناوری‌ها کمک کرده است.

**توسعه رانندگی خودران در مناطق روستایی**

ژاپن با چالش کاهش جمعیت در مناطق روستایی و کمبود راننده در بخش حمل‌ونقل عمومی مواجه است. برای حل این مشکل، دولت در حال کار بر روی تحقق خدمات حمل‌ونقل خودران بدون راننده در مناطق مشخص شده است. هدف تجاری‌سازی کسب‌وکارهای خودران در بخش خصوصی از سال ۲۰۲۰ به بعد است، پس از تأیید پذیرش اجتماعی از طریق تست‌های میدانی (Prime Minister's Office Japan, ۲۰۱۹).

پروژه‌های پایلوت در مناطقی مانند Eiheiji (استان Fukui) و جزیره Shikoku انجام شده است که در آنها اتوبوس‌های خودران برای حمل‌ونقل محلی مورد آزمایش قرار گرفته‌اند.

**بخش ۲-۶: نقشه راه عمومی-خصوصی ITS**

**سند "نقشه راه عمومی-خصوصی ITS ۲۰۱۹"**

در ژوئن ۲۰۱۹، دولت ژاپن سند جامع "نقشه راه عمومی-خصوصی ITS ۲۰۱۹" را منتشر کرد که چشم‌انداز، اهداف و برنامه‌های اقدام برای توسعه ITS و CAV تا سال ۲۰۳۰ را ترسیم می‌کند. این سند بر سه محور اصلی تمرکز دارد:

۱. **ایمنی:** کاهش تصادفات منجر به مرگ به زیر ۲,۵۰۰ مورد تا سال ۲۰۲۰

۲. **کارایی:** بهبود ۲۰ درصدی در جریان ترافیک شهری

۳. **محیط زیست:** کاهش ۱۵ درصدی انتشار $CO_2$ از بخش حمل‌ونقل (Prime Minister's Office Japan, ۲۰۱۹)

**اهداف مرحله‌ای تا سال ۲۰۳۰**

نقشه راه اهداف مرحله ای مشخصی را تعریف کرده است:

**۲۰۲۰:** استقرار خودروهای سطح ۳ در بزرگراه‌ها

**۲۰۲۵:** استقرار گسترده سیستم‌های رانندگی خودکار در بزرگراه‌ها و جاده‌های اصلی

**۲۰۳۰:** تحقق خدمات حمل‌ونقل خودران در سطح گسترده در مناطق شهری و روستایی

**بخش ۲-۷: مشارکت بین‌المللی و همکاری‌های صنعتی**

**مشارکت در استانداردسازی جهانی**

ژاپن نقش فعالی در سازمان های استانداردسازی بین‌المللی ایفا می کند، از جمله:

**ISO TC۲۰۴:** کمیته فنی سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند

**ITU-R**: اتحادیه بین‌المللی مخابرات برای مسائل طیف فرکانسی

**UNECE WP.۲۹:** گروه کاری مقررات ایمنی خودرو

این مشارکت‌ها به ژاپن کمک می‌کند تا دیدگاه‌های خود را در استانداردهای جهانی منعکس کند و از همسویی با روندهای بین‌المللی اطمینان حاصل کند.

**همکاری با شرکت‌های بین‌المللی**

شرکت‌های ژاپنی مانند تویوتا، نیسان، هوندا و DENSO با شرکت‌های جهانی فناوری مانند Qualcomm، Intel و NVIDIA در زمینه توسعه C-V۲X و رانندگی خودکار همکاری می‌کنند. این همکاری‌ها به انتقال دانش فنی، تسریع نوآوری، و دسترسی به بازارهای جهانی کمک می‌کند (Qualcomm, ۲۰۱۸).

**بخش ۲-۸: چالش‌ها و فرصت‌ها**

**چالش‌های اصلی**

۱. **میراث فناوری:** وابستگی به استانداردهای قدیمی DSRC که با استانداردهای جهانی ناسازگار هستند

۲. **نرخ پذیرش پایین ITS Connect**: علی‌رغم سرمایه‌گذاری قابل توجه، نرخ نفوذ پایین مانده است

۳. **هماهنگی بین‌بخشی:** پیچیدگی هماهنگی بین سه وزارتخانه کلیدی

۴. **پیری جمعیت:** کاهش نیروی کار و افزایش نیاز به راه‌حل‌های خودکار

**فرصت‌های پیش رو**

۱. **صنعت خودروسازی قوی**: وجود خودروسازان پیشرو مانند تویوتا و هوندا

**۲. زیرساخت ITS موجود:** سابقه موفق ETC و VICS به عنوان بستر توسعه

**۳. حمایت دولتی قوی:** تعهد بلندمدت دولت به توسعه ITS و CAV

**بخش ۲-۹: ارزیابی کلی مدل ژاپن**

مدل ژاپن در پیاده‌سازی V۲X را می‌توان به عنوان یک "مدل تکاملی مبتنی بر میراث" توصیف کرد. این کشور در تلاش است تا با حفظ سرمایه‌گذاری‌های گذشته در DSRC، به تدریج به سمت استانداردهای جهانی C-V۲X حرکت کند. رویکرد چندوزارتخانه‌ای و مشارکتی ژاپن، هر چند پیچیده، اما یک اکوسیستم جامع و متوازن از همکاری دولت، صنعت و دانشگاه ایجاد کرده است.

تجربه ژاپن نشان می‌دهد که موفقیت در پیاده‌سازی V۲X نه تنها به فناوری پیشرفته، بلکه به ایجاد ارزش واقعی برای کاربران (مانند ETC)، توجه به چالش‌های اجتماعی (مانند پیری جمعیت)، و حمایت بلندمدت دولت از نوآوری بستگی دارد.

# فصل سوم: تحلیل وضعیت کره جنوبی

**مقدمه**

کره جنوبی به عنوان یک بازیگر کلیدی در بازار جهانی CAV و فناوری‌های نسل پنجم (5G)، الگویی متمایز در پیاده‌سازی V2X ارائه می‌دهد. این کشور با تلفیق توانمندی‌های پیشرفته در صنعت خودروسازی (هیوندای، کیا) و فناوری اطلاعات (LG ،Samsung)، یک رویکرد یکپارچه و تهاجمی را برای استقرار زیرساخت‌های V2X در پیش گرفته است. تصمیم استراتژیک کره جنوبی برای انتخاب C-V2X پس از سال‌ها ارزیابی جامع، نقطه عطف مهمی در روند جهانی این فناوری محسوب می‌شود (5GAA, ۲۰۱۸).

**بخش ۳-۱: ابعاد تنظیم‌گری و تخصیص طیف**

**اصل خنثی بودن فناوری**

یکی از ویژگی‌های برجسته رویکرد تنظیم‌گری کره جنوبی، اتخاذ اصل "خنثی بودن فناوری" (Technology Neutrality) در تخصیص طیف فرکانسی است. بر اساس این اصل، باند فرکانسی ۵۸۵۵-۵۹۲۵ MHz به منظور کاربردهای ITS اختصاص یافته است، اما **بدون مشخص کردن هیچ فناوری رادیویی خاصی** برای فعالیت در این طیف (5GAA, ۲۰۱۸).

این رویکرد به معنای آن است که هر فناوری رادیویی (DSRC یا C-V2X) می‌تواند در این طیف عمل کند، به شرطی که با مقررات فنی مربوطه انطباق داشته باشد. این انعطاف‌پذیری تنظیم‌گری، محیطی رقابتی و باز برای توسعه V2X فراهم کرده و به کشور این امکان را داده است که پس از ارزیابی دقیق، بهترین فناوری را انتخاب کند.

**نهادهای تنظیم‌کننده کلیدی**

دو وزارتخانه اصلی مسئولیت تنظیم‌گری V۲X در کره جنوبی را بر عهده دارند:

۱. **وزارت علوم و فناوری اطلاعات و ارتباطات (MSIT):** متولی سیاست‌های طیف فرکانسی، استانداردهای ارتباطی، و توسعه زیرساخت ۵G

۲. **وزارت زیرساخت و حمل‌ونقل (MOLIT):** مسئول استانداردهای ایمنی خودرو، زیرساخت‌های جاده‌ای، و پروژه‌های آزمایشی

این تقسیم مسئولیت، هر چند نیازمند هماهنگی دقیق است، اما باعث شده تا هر بخش بر حوزه تخصصی خود تمرکز کند.

**بخش ۳-۲: رقابت داخلی DSRC و C-V۲X**

**دوره ارزیابی و آزمایش (۲۰۱۵-۲۰۱۹)**

در سال‌های ۲۰۱۵ تا ۲۰۱۹، کره جنوبی شاهد یک رقابت داخلی قوی بین دو گروه ذینفع در مورد انتخاب فناوری V۲X بود:

**۱. حامیان DSRC:**

- **بخش خودروسازی**: شرکت‌های هیوندای موتور و کیا به همراه MOLIT
- **استدلال:** بلوغ فنی DSRC، هزینه پایین‌تر در کوتاه‌مدت، و سازگاری با برخی استانداردهای موجود
- **اقدامات:** هیوندای برنامه‌هایی برای تجهیز جنسیس G۹۰ با DSRC داشت (۵GAA, ۲۰۱۸)

۲. حامیان C-V۲X:

- **بخش مخابرات**: اپراتورهای ۵G مانند LG Uplus، KT، SK Telecom به همراه MSIT

- **استدلال:** همسویی با استراتژی ملی 5G، قابلیت‌های پیشرفته‌تر، و مسیر ارتقای بلندمدت

- **اقدامات**: LG Uplus تست‌های موفقیت‌آمیز جاده عمومی را در سئول با استفاده از شبکه 5G خود تکمیل کرد (5GAA, ۲۰۱۸)

**راهکار موقت: استراتژی دوگانه**

برای مدیریت این رقابت، برخی بازیگران صنعتی مانند هیوندای موتور یک استراتژی دوگانه را اتخاذ کردند. هیوندای در استارتاپ اسرائیلی Autotalks سرمایه‌گذاری کرد که یک **تراشه دوحالته V2X** را برای پشتیبانی همزمان از DSRC و C-V2X توسعه داده بود. این رویکرد به شرکت‌ها این امکان را داد تا با کاهش ریسک، برای هر دو سناریو آماده باشند (5GAA, ۲۰۱۸).

**تصمیم نهایی: انتخاب C-V2X**

پس از سال‌ها ارزیابی، آزمایش میدانی، و مذاکرات بین‌بخشی، کره جنوبی در نهایت تصمیم استراتژیک خود را برای انتخاب **C-V2X** به عنوان استاندارد ملی اعلام کرد. عوامل کلیدی این تصمیم عبارتند از:

۱. **هم‌افزایی با زیرساخت 5G:** کره جنوبی به عنوان یکی از اولین کشورهای جهان در استقرار 5G، می‌خواست از این سرمایه‌گذاری برای V2X نیز بهره ببرد

۲. **چشم‌انداز بلندمدت:** مسیر ارتقای C-V2X به سمت 5G-Advanced واضح‌تر و امیدوارکننده‌تر بود

۳. **رقابت جهانی:** حمایت روزافزون چین و اروپا از C-V2X، این فناوری را به استاندارد غالب جهانی تبدیل می‌کرد

۴. **قابلیت‌های فنی برتر:** برد بیشتر، پشتیبانی از خدمات ابری، و یکپارچگی با سیستم‌های هوشمند شهری

## بخش ۳-۳: تعهد دولتی و استراتژی ملی

### دولت مون جائه این و اولویت‌بندی CAV

دولت رئیس‌جمهور مون جائه این، وسایل نقلیه متصل و خودران را به عنوان یکی از **سیزده حوزه اصلی تحقیق و توسعه ملی** با بودجه قابل توجه تعیین کرد. این تصمیم استراتژیک، نشان‌دهنده اهمیت بالای این فناوری در چشم‌انداز اقتصادی و صنعتی کشور است (5GAA, ۲۰۱۸).

### هدف‌گذاری بلندپروازانه: بزرگراه‌های هوشمند تا ۲۰۲۲

یکی از برجسته‌ترین تعهدات دولت کره جنوبی، مجهز کردن **تمام بزرگراه‌های کشور به شبکه V2X مبتنی بر 5G تا سال ۲۰۲۲** بود. این پروژه عظیم شامل موارد زیر است:

- نصب هزاران RSU در سراسر شبکه بزرگراهی
- یکپارچه‌سازی با سیستم‌های مدیریت ترافیک موجود
- ارائه خدمات ایمنی و اطلاعاتی به خودروهای مجهز
- ایجاد بستر برای خدمات رانندگی خودکار سطح ۳ و ۴ (5GAA, ۲۰۱۸)

### سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه

دولت کره جنوبی بودجه‌های قابل توجهی را برای تحقیق و توسعه در حوزه V2X و CAV اختصاص داده است، از جمله:

- حمایت از پروژه‌های مشترک صنعت-دانشگاه
- ایجاد مراکز تحقیقاتی تخصصی
- تأمین مالی استارتاپ‌ها و شرکت‌های نوپای فناوری
- همکاری‌های بین‌المللی با پیشروان صنعت

## بخش ۳-۴: زیرساخت‌های آزمایشی: K-City

### معرفی K-City

K-City که در فوریه ۲۰۱۸ افتتاح شد، **بزرگترین زمین آزمایشی خودروهای متصل و خودران در جهان** با مساحت ۳۶۰,۰۰۰ متر مربع است. این تسهیلات در شهر Hwaseong واقع شده و توسط وزارت زیرساخت و حمل‌ونقل (MOLIT) و Korea Transportation Safety Authority (TS) مدیریت می‌شود.

### ویژگی‌های منحصر به فرد

**۱. اولین تسهیلات آزمایشی 5G در جهان:**

K-City در اوایل ۲۰۱۸ به شبکه 5G متصل شد و به اولین زمین آزمایشی CAV در سطح جهانی تبدیل شد که بر روی فناوری 5G اجرا می‌شود. این قابلیت امکان آزمایش سناریوهای پیچیده‌ای را که نیازمند پهنای باند بالا و تأخیر کم هستند، فراهم می‌کند (5GAA, ۲۰۱۸).

**۲. شبیه‌سازی محیط‌های شهری واقعی:**

K-City شامل شبیه‌سازی کامل محیط‌های شهری است از جمله:

- تقاطع‌های پیچیده با چراغ‌های راهنمایی هوشمند
- بزرگراه‌ها و جاده‌های شهری
- مناطق مسکونی و مدارس
- تونل‌ها و پارکینگ‌های طبقاتی
- ایستگاه‌های شارژ و پمپ بنزین
- شرایط آب و هوایی مختلف (باران، مه، شب)

**۳. سیاست پذیرش باز و بی‌طرف:**

یکی از ویژگی‌های مهم K-City، سیاست **پذیرش آزاد و بدون تبعیض** است. شرکت‌های بین‌المللی نیز می‌توانند با پرداخت هزینه استاندارد، از این تسهیلات استفاده کنند. این سیاست منجر به جذب شرکت‌های پیشرو جهانی مانند BMW، Daimler، و Waymo شده است (5GAA, ۲۰۱۸).

**نتایج و دستاوردها**

تا سال ۲۰۲۰، بیش از ۱۰۰ شرکت داخلی و خارجی از K-City برای آزمایش فناوری‌های خود استفاده کرده بودند. این تسهیلات نقش حیاتی در تسریع نوآوری، کاهش هزینه‌های تحقیق و توسعه، و ایجاد استانداردهای ملی ایفا کرده است.

**بخش ۳-۵: پروژه‌های پایلوت و استقرار تجاری**

**پروژه آزمایشی Sejong-Daejeon**

یکی از برجسته‌ترین پروژه‌های پایلوت، استقرار زیرساخت C-V2X در مسیر ۳۰ کیلومتری بین شهرهای Sejong و Daejeon است. این پروژه که در سال ۲۰۱۹ آغاز شد، شامل موارد زیر است:

- نصب ۵۰ RSU در طول مسیر
- آزمایش خدمات ایمنی مانند هشدار برخورد و هشدار ترافیک
- تست خودروهای خودران سطح ۳
- جمع‌آوری داده‌های واقعی برای بهینه‌سازی سیستم

**طرح جامع Seoul Smart Mobility**

شهر سئول یک طرح جامع برای تبدیل به یک شهر هوشمند با محوریت V2X را آغاز کرده است که شامل:

- مجهزکردن اتوبوس‌های عمومی به سیستم‌های V2X

- نصب RSU در تقاطع‌های پرتردد
- یکپارچه‌سازی با سیستم‌های مدیریت ترافیک شهری
- ارائه خدمات اطلاعاتی بلادرنگ به شهروندان

**بخش ۳-۶: مدل همکاری دولتی-خصوصی**

**کنسرسیوم ملی V۲X**

کره جنوبی یک کنسرسیوم ملی متشکل از نمایندگان دولت، صنعت، و دانشگاه تشکیل داده است که وظیفه هماهنگی تلاش‌ها، تدوین استانداردها، و حل چالش‌های مشترک را بر عهده دارد. اعضای این کنسرسیوم شامل:

- **دولت**: MOLIT، MSIT، و نهادهای تنظیم‌کننده
- **صنعت خودرو:** Hyundai، Kia، و تأمین‌کنندگان قطعات
- **صنعت ICT**: Samsung، LG، SK Telecom، KT
- **دانشگاه‌ها**: KAIST، Seoul National University، و مراکز تحقیقاتی

**نقش شرکت‌های خصوصی**

شرکت‌های خصوصی نقش محوری در توسعه و استقرار V۲X ایفا می‌کنند:

**۱. Hyundai Motor Group:**

- سرمایه‌گذاری در تحقیق و توسعه C-V۲X
- تعهد به تجهیز تمام مدل‌های جدید به سیستم‌های V۲X تا سال ۲۰۲۵
- همکاری با شرکت‌های جهانی مانند Cisco و Qualcomm

**۲. Samsung Electronics:**

- توسعه تراشه‌های C-V۲X نسل جدید
- ارائه راه‌حل‌های یکپارچه برای خودروهای متصل
- سرمایه‌گذاری در استارتاپ‌های فناوری خودرو

**۳. اپراتورهای مخابراتی (SK Telecom ،KT ،LG Uplus):**

- استقرار زیرساخت ۵G برای پشتیبانی از V۲X
- توسعه پلتفرم‌های خدمات ابری
- ارائه خدمات telematics و Fleet Management

## بخش ۳-۷: استراتژی رانندگی خودکار

### نقشه راه فناوری خودران

کره جنوبی هدف‌گذاری کرده است تا فناوری‌های رانندگی خودکار سطح ۳ و ۴ را تا سال ۲۰۲۵ توسعه دهد. این نقشه راه شامل مراحل زیر است:

**۲۰۲۰:** تجاری‌سازی خودروهای سطح ۳ در بزرگراه‌ها

**۲۰۲۲:** استقرار خودروهای سطح ۳ در محیط‌های شهری

**۲۰۲۵**: معرفی خودروهای سطح ۴ برای خدمات تاکسی و حمل‌ونقل عمومی

**۲۰۳۰:** استقرار گسترده خودروهای سطح ۴ و ۵ (Ministry of Transport and Infrastructure Turkey, ۲۰۲۰)

### تغییرات قانونی برای رانندگی خودران

دولت کره جنوبی چارچوب قانونی جامعی برای پشتیبانی از رانندگی خودران تدوین کرده است:

- **قانون تسهیل آزمایش خودروهای خودران** (۲۰۲۰): امکان آزمایش در جاده‌های عمومی با شرایط خاص
- **اصلاح قانون ترافیک جاده‌ای** (۲۰۲۰): تعریف مسئولیت‌ها در تصادفات مربوط به خودروهای خودران
- **قانون حفاظت از داده‌های شخصی**: تنظیم جمع‌آوری و استفاده از داده‌های حاصل از V2X

**بخش ۳-۸: بازارهای هدف و کاربردهای پیش‌بینی‌شده**

**خدمات ایمنی و بهره‌وری ترافیک**

بر اساس اهداف استراتژیک، بازارهای اولیه برای V2X در کره جنوبی شامل:

- **سیستم‌های هشدار برخورد**: هشدار در تقاطع‌ها، برخورد عقبی، و تصادفات جانبی
- **مدیریت هوشمند ترافیک:** بهینه‌سازی جریان عبور و مرور، کاهش تراکم
- **خدمات اطلاعاتی:** اطلاع‌رسانی حوادث، شرایط جوی، و مسیریابی هوشمند

این کاربردها با توجه به مشکل ترافیک شدید در شهرهای بزرگ کره جنوبی (به ویژه سئول)، اولویت بالایی دارند (OECD/ITF, ۲۰۲۱).

**خدمات تجاری و اقتصادی**

**Fleet Management:** مدیریت ناوگان‌های حمل‌ونقل تجاری

**خدمات لجستیک هوشمند:** بهینه‌سازی مسیرها و کاهش هزینه‌های سوخت

**خدمات Telematics**: تأمین بیمه، تعمیر و نگهداری پیش‌بینانه

**یکپارچه‌سازی حمل‌ونقل (Mobility as a Service)**

یکی از اهداف بلندمدت، اتصال همه حالت‌های حمل‌ونقل (اتوبوس، مترو، تاکسی، اشتراک خودرو) و ایجاد یک **سیستم پرداخت واحد و یکپارچه** است. این مفهوم، که به عنوان MaaS شناخته می‌شود، می‌تواند بازار گسترده‌ای برای خدمات یکپارچه تحرک ایجاد کند.

**بخش ۳-۹: چالش‌ها و راهکارهای امنیت سایبری**

**تهدیدات امنیتی V2X**

با استقرار گسترده C-V2X، کره جنوبی با چالش‌های امنیتی قابل توجهی مواجه است:

- **حملات دستکاری پیام:** تغییر محتوای پیام‌های V2X برای گمراه کردن خودروها
- **حملات انکار سرویس (DoS):** مختل کردن ارتباطات با ارسال پیام‌های جعلی
- **نقض حریم خصوصی:** ردیابی غیرمجاز خودروها از طریق شناسه‌های منحصر به فرد
- **حملات نفوذی:** دسترسی غیرمجاز به سیستم‌های کنترل خودرو

**راهکارهای امنیتی**

کره جنوبی در حال پیاده‌سازی یک معماری امنیتی چندلایه است:

**۱. زیرساخت کلید عمومی (PKI):**

- صدور گواهی‌های دیجیتال برای تمام دستگاه‌های V2X
- احراز هویت متقابل بین خودروها و زیرساخت
- رمزنگاری پیام‌ها با استانداردهای صنعتی

**۲. سیستم مدیریت اعتبار امنیتی (SCMS):**

- مدیریت چرخه عمر گواهی‌ها
- لغو گواهی‌های مشکوک یا به خطر افتاده
- حفظ حریم خصوصی از طریق استفاده از شناسه‌های موقت

**۳. سیستم‌های تشخیص نفوذ (IDS):**

- نظارت بلادرنگ بر ترافیک V2X
- شناسایی الگوهای غیرعادی و رفتارهای مشکوک
- پاسخ خودکار به تهدیدات شناسایی‌شده

**۴. به‌روزرسانی‌های امنیتی OTA:**

- قابلیت به‌روزرسانی نرم‌افزار از راه دور
- رفع سریع آسیب‌پذیری‌های کشف‌شده
- حفظ امنیت در طول عمر خودرو

**انطباق با استانداردهای بین‌المللی**

کره جنوبی تلاش می‌کند تا با استانداردهای بین‌المللی امنیتی همسو باشد، از جمله:

**UNECE R۱۵۵**: مدیریت امنیت سایبری خودرو

**UNECE R۱۵۶**: به‌روزرسانی نرم‌افزاری خودرو

**ISO/SAE ۲۱۴۳۴:** مهندسی امنیت سایبری خودرو

**بخش ۳-۱۰: ارزیابی کلی مدل کره جنوبی**

مدل کره جنوبی را می‌توان به‌عنوان یک "**مدل تهاجمی و یکپارچه**" توصیف کرد که بر سه رکن اساسی استوار است:

۱. **تصمیم‌گیری قاطع:** انتخاب نهایی C-V2X پس از ارزیابی جامع، نشان‌دهنده اراده قوی برای اجرای یک استراتژی واحد و منسجم است.

۲. **هم‌افزایی فناوری‌های کلیدی:** تلفیق توانمندی‌های پیشرفته در صنعت خودرو، ICT، و 5G برای ایجاد یک اکوسیستم یکپارچه.

۳. **زیرساخت‌گذاری گسترده:** تعهد به مجهز کردن تمام بزرگراه‌ها تا ۲۰۲۲، نشان‌دهنده رویکرد از بالا به پایین و سرمایه‌گذاری عظیم دولتی است.

تجربه کره جنوبی نشان می‌دهد که ترکیب تعهد دولتی قوی، توانمندی صنعتی بالا، و زیرساخت‌های آزمایشی پیشرفته می‌تواند به تسریع قابل توجه در پیاده‌سازی V2X منجر شود. با این حال، موفقیت بلندمدت این مدل به پذیرش عمومی، ایجاد کاربردهای با ارزش واقعی، و حل چالش‌های امنیتی و حریم خصوصی بستگی دارد.

# فصل چهارم: تحلیل وضعیت سنگاپور

**مقدمه**

سنگاپور به عنوان یک شهر-دولت کوچک اما بسیار پیشرفته، الگوی منحصر به فردی در پیاده‌سازی V2X ارائه می‌دهد. این کشور با چشم‌انداز "ملت هوشمند" (Smart Nation) و "تحرک هوشمند ۲۰۳۰"، فناوری V2X را نه به عنوان یک پروژه مستقل، بلکه به عنوان جزئی جدایی‌ناپذیر از یک اکوسیستم یکپارچه شهری در نظر می‌گیرد. محدودیت‌های جغرافیایی و چگالی جمعیت بالا، سنگاپور را وادار کرده تا با رویکردی نوآورانه و آزمایشی به این فناوری بپردازد (NXP Semiconductors, ۲۰۱۵).

**بخش ۴-۱: چارچوب استراتژیک و چشم‌انداز ملی**

**ابتکار ملت هوشمند (Smart Nation Initiative)**

در سال ۲۰۱۴، نخست‌وزیر سنگاپور ابتکار "ملت هوشمند" را اعلام کرد که هدف آن استفاده از فناوری‌های دیجیتال برای بهبود کیفیت زندگی، ایجاد فرصت‌های اقتصادی، و ساخت جامعه‌ای پیشرفته است. V2X و تحرک هوشمند به عنوان یکی از ستون‌های اصلی این استراتژی در نظر گرفته شده‌اند.

**تحرک هوشمند ۲۰۳۰ (Smart Mobility ۲۰۳۰)**

سند "تحرک هوشمند ۲۰۳۰" که توسط وزارت حمل‌ونقل سنگاپور تدوین شده، اهداف بلندمدت این کشور را برای تحول بنیادین سیستم حمل‌ونقل ترسیم می‌کند:

**اهداف کمی:**

- افزایش ۲۰ درصدی ظرفیت شبکه جاده‌ای بدون نیاز به توسعه فیزیکی
- کاهش ۵۰ درصدی تصادفات منجر به فوت تا سال ۲۰۳۰
- دستیابی به ۷۵ درصد سهم حمل‌ونقل عمومی و فعال (پیاده و دوچرخه) در ساعات اوج
- کاهش زمان متوسط سفر در سنگاپور به کمتر از ۴۵ دقیقه

**اهداف کیفی:**

- ارائه خدمات حمل‌ونقل شخصی‌سازی‌شده و بلادرنگ
- یکپارچه‌سازی کامل حالت‌های مختلف حمل‌ونقل
- ایجاد محیطی امن، پایدار و کارآمد برای تحرک شهری (NXP, ۲۰۱۵)

## بخش ۴-۲: ساختار نهادی و حکمرانی

**نقش Infocomm Media Development Authority (IMDA)**

**اداره توسعه رسانه و ارتباطات اطلاعاتی** (IMDA) نهاد اصلی تنظیم‌کننده طیف فرکانسی و سیاست‌های ارتباطی در سنگاپور است. IMDA مسئولیت‌های کلیدی زیر را بر عهده دارد:

- تخصیص و مدیریت طیف فرکانسی برای V2X
- تدوین استانداردهای فنی و مقررات امنیتی
- صدور مجوزهای آزمایش و استقرار تجاری
- هماهنگی با نهادهای بین‌المللی برای همسویی استانداردها

**نقش Land Transport Authority (LTA)**

**اداره حمل‌ونقل زمینی** (LTA) متولی زیرساخت‌های جاده‌ای و سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند است. LTA در زمینه V۲X وظایف زیر را انجام می‌دهد:

- توسعه و نگهداری زیرساخت RSU
- مدیریت پروژه‌های پایلوت و آزمایشگاه‌های زنده
- یکپارچه‌سازی V۲X با سیستم‌های کنترل ترافیک موجود
- تدوین استانداردهای ایمنی و عملکردی برای خودروهای متصل

**مدل حکمرانی یکپارچه**

یکی از ویژگی‌های برجسته سنگاپور، یک مدل حکمرانی یکپارچه و متمرکز است که در آن دولت مرکزی نقش هماهنگ‌کننده و تسهیل‌کننده قوی ایفا می‌کند. این مدل با ساختار پیچیده چندوزارتخانه‌ای ژاپن یا رقابت بین‌بخشی کره جنوبی متفاوت است و تصمیم‌گیری سریع و قاطع را ممکن می‌سازد.

**بخش ۴-۳: تخصیص طیف فرکانسی و استانداردهای فنی**

**تخصیص باند ۵.۹ گیگاهرتز**

IMDA باند فرکانسی ۵۹۰۵-۵۸۷۵ MHz را برای کاربردهای V۲X تخصیص داده است. این تخصیص با استانداردهای بین‌المللی (به ویژه اروپا و آمریکا) همسو است و از همکاری بین‌المللی پشتیبانی می‌کند.

**استانداردهای فنی اولیه: DSRC/WAVE**

در مراحل اولیه، سنگاپور تمرکز خود را بر استانداردهای DSRC قرار داد. در سال ۲۰۱۶، این کشور در مراحل نهایی تدوین **استاندارد ملی DSRC** بود که بر پایه IEEE ۸۰۲٫۱۱p و چارچوب WAVE **(Wireless Access in Vehicular Environment)** ساخته شده بود.

**مؤلفه‌های استاندارد WAVE:**

**IEEE ۱۶۰۹,۲:** پروتکل‌های امنیتی و احراز هویت

**IEEE ۱۶۰۹,۳:** پروتکل‌های شبکه و آدرس‌دهی

**IEEE ۱۶۰۹,۴:** مدیریت چندکاناله و تخصیص منابع (NXP, ۲۰۱۵)

**کاربردهای اولیه DSRC**

در سنگاپور، DSRC برای کاربردهای زیر مورد استفاده قرار گرفت:

**سیستم اخذ عوارض الکترونیکی (ERP):** جایگزینی سیستم قدیمی با فناوری پیشرفته‌تر

**اطلاعات ترافیک بلادرنگ:** ارسال داده‌های تراکم و حوادث به خودروها

**هشدار مناطق مدرسه:** اطلاع‌رسانی خودکار به رانندگان در نزدیکی مدارس

**هشدار خودروهای اضطراری:** اولویت‌دهی به آمبولانس و خودروهای آتش نشانی

**گذار تدریجی به C-V۲X**

با توجه به روندهای جهانی و مزایای **C-V۲X**، سنگاپور در حال ارزیابی و آزمایش این فناوری است. استراتژی این کشور یک رویکرد تدریجی و مبتنی بر شواهد است:

- **فاز آزمایش:** انجام پروژه‌های پایلوت برای مقایسه عملکرد DSRC و C-V۲X
- **فاز ارزیابی:** تحلیل هزینه-فایده و بررسی سازگاری با زیرساخت‌های موجود
- **فاز تصمیم‌گیری:** انتخاب استراتژی بلندمدت بر اساس نتایج عملی

**بخش ۴-۴: آزمایشگاه زنده و پروژه‌های پایلوت**

**تست‌بد تحرک هوشمند NTU**

یکی از برجسته‌ترین پروژه‌های V2X در سنگاپور، **تست‌بد تحرک هوشمند** (Smart Mobility Test Bed) است که در محوطه دانشگاه فناوری Nanyang (NTU) در سال ۲۰۱۵ با همکاری شرکت NXP Semiconductors تأسیس شد.

**ویژگی‌های این تست‌بد:**

- **محیط آزمایشی واقعی:** شامل جاده‌های عمومی داخل محوطه دانشگاه با ترافیک واقعی دانشجویان و کارکنان
- **زیرساخت V2X کامل:** نصب ۲۰ RSU در نقاط استراتژیک
- **تمرکز بر امنیت ارتباطات:** آزمایش پروتکل‌های رمزنگاری، احراز هویت، و مدیریت کلید
- **سناریوهای کاربردی متنوع:** شامل هشدار برخورد، مدیریت پارکینگ هوشمند، و ارتباط با اتوبوس‌های خودران (NXP Semiconductors, ۲۰۱۵)

**نتایج و دستاوردها**

تا سال ۲۰۲۰، این تست‌بد میزبان بیش از ۵۰ پروژه تحقیقاتی بوده است که به توسعه استانداردهای امنیتی، بهینه‌سازی پروتکل‌های ارتباطی، و آموزش نیروی متخصص کمک کرده است.

**پروژه پایلوت One-North**

منطقه **One-North**، یک منطقه تحقیقاتی و کسب‌وکار در سنگاپور، به عنوان یک آزمایشگاه زنده برای تست خودروهای خودران و خدمات V2X انتخاب شده است. این پروژه شامل:

- استقرار اتوبوس‌های خودران برای حمل‌ونقل درون منطقه‌ای

- نصب ۵۰ RSU برای پوشش کامل منطقه
- یکپارچه‌سازی با سیستم‌های هوشمند شهری (روشنایی، پارکینگ، مدیریت پسماند)
- ارزیابی پذیرش اجتماعی و رفتارکاربران

**بخش ۴-۵: یکپارچگی با زیرساخت 5G**

**استراتژی 5G سنگاپور**

سنگاپور یکی از پیشگامان استقرار شبکه‌های 5G در آسیا است. دولت این کشور 5G را به عنوان یک زیرساخت حیاتی برای تحقق اهداف "ملت هوشمند" در نظر می‌گیرد و تلاش می‌کند تا سال ۲۰۲۵ پوشش 5G را به تمام نقاط کشور گسترش دهد.

**هم‌افزایی V2X و 5G**

سنگاپور استراتژی یکپارچه‌سازی V2X با شبکه‌های 5G را دنبال می‌کند:

**۱. استفاده از Network Slicing:**

تکنولوژی Network Slicing در 5G امکان ایجاد شبکه‌های مجازی اختصاصی با خصوصیات مورد نیاز (تأخیر کم، قابلیت اطمینان بالا) برای V2X را فراهم می‌کند.

**۲. پشتیبانی از کاربردهای پیشرفته:**

5G امکان ارائه خدمات پیشرفته‌ای را که DSRC قادر به پشتیبانی از آنها نیست، فراهم می‌کند:

- به‌روزرسانی نقشه‌های HD بلادرنگ
- رانندگی از راه دور (Teleoperation)

- خدمات سرگرمی و اطلاعاتی درخودرو

**۳. یکپارچه‌سازی با اینترنت اشیا شهری:**
V۲X بر پایه ۵G می‌تواند به راحتی با سایر سیستم‌های IoT شهری (مانند روشنایی هوشمند، پارکینگ هوشمند، مدیریت ترافیک) یکپارچه شود.

**بخش ۴-۶: کاربردهای ویژه و نوآورانه**

**سیستم اخذ عوارض الکترونیکی نسل جدید (Next-Gen ERP)**
سنگاپور در حال جایگزینی سیستم قدیمی ERP (Electronic Road Pricing) خود با یک سیستم نسل جدید مبتنی بر فناوری V۲X است. این سیستم ویژگی‌های زیر را دارد:

**قیمت‌گذاری پویا:** تعیین عوارض بر اساس تراکم واقعی و زمان سفر

**پوشش گسترده‌تر:** عدم نیاز به دروازه‌های فیزیکی و امکان اخذ عوارض در هر نقطه

**یکپارچگی با خدمات:** ترکیب با سایر خدمات مانند پارکینگ و شارژ خودروهای برقی

**شفافیت و کنترل:** امکان مشاهده بلادرنگ هزینه‌ها و برنامه‌ریزی مسیر بهینه

استقرار کامل این سیستم برای سال ۲۰۲۵ برنامه‌ریزی شده است.

**V۲X برای حمل‌ونقل عمومی**
سنگاپور از V۲X برای بهبود کارایی سیستم حمل‌ونقل عمومی استفاده می‌کند:

- **اولویت‌دهی به اتوبوس:** استفاده از V۲I برای اولویت‌دهی به اتوبوس‌ها در چراغ‌های راهنمایی
- **اطلاع‌رسانی بلادرنگ:** ارائه اطلاعات دقیق زمان رسید اتوبوس به مسافران

- **بهینه‌سازی مسیر:** تنظیم پویای مسیرهای اتوبوس براساس تقاضا و ترافیک
- **یکپارچگی بین‌حالتی:** هماهنگی اتوبوس، مترو و سایر حالت‌های حمل‌ونقل (ST Electronics, ۲۰۱۶)

**خودروهای خودران مشترک (Autonomous Shared Vehicles)**

سنگاپور در حال آزمایش مدل‌های خودروهای خودران مشترک برای کاهش نیاز به مالکیت شخصی خودرو است. این پروژه‌ها شامل:

- تاکسی‌های خودران برای حمل‌ونقل درون محله‌ای
- شاتل‌های خودران برای اتصال ایستگاه‌های مترو به مقاصد نهایی
- خدمات حمل‌ونقل تقاضا-محور در مناطق کم‌جمعیت

**بخش ۴-۷: چالش‌ها و محدودیت‌های منحصر به فرد**

**محدودیت‌های جغرافیایی و فنی**

سنگاپور به عنوان یک شهر-دولت کوچک (مساحت حدود ۷۳۰ کیلومتر مربع) با چالش‌های منحصر به فردی مواجه است:

**۱. محیط‌های فلزی و Non-Line-of-Sight (NLOS):**

چگالی بالای ساختمان‌ها و سازه‌های بزرگ در سنگاپور، ارتباطات V2V و V2I را در بسیاری از نقاط دشوار می‌سازد. داده‌های تحقیقاتی نشان می‌دهد که در محیط‌های شهری متراکم، کیفیت سیگنال DSRC می‌تواند ۴۰ درصد کاهش یابد (Republic of T rkiye Ministry of Transport and Infrastructure, ۲۰۲۴).

**۲. تداخل رادیویی:**

وجود تجهیزات الکترونیکی فراوان، رادار دستگاه‌های هدایت، و سایر منابع تداخل رادیویی،

نیازمند فیلترینگ پیشرفته و طراحی احتیاطی سیستم‌های V2X است.

**چالش‌های اقتصادی و تجاری**

با وجود توانمندی‌های فنی بالا، سنگاپور با چالش‌های اقتصادی و تجاری مواجه است:

- **بازار محدود:** حجم کل خودروها در سنگاپور تنها حدود ۶۰۰,۰۰۰ دستگاه است
- **مالکیت کم خودرو:** سیاست دولت برای کاهش مالکیت شخصی خودرو، بازار V2X را محدود می‌کند
- **هزینه‌های بالای نصب:** نصب RSU در مناطق کوچک و پراکنده، بازگشت سرمایه را دشوار می‌سازد.

**بخش ۴-۸: رویکرد سیاستی و قانونی**

**سیاست منعطف و آزمایشی**

سنگاپور یک رویکرد "آزمایش و یادگیری" (Experiment and Learn) را دنبال می‌کند که بر:

- امکان آزمایش فناوری‌های جدید در محیط‌های کنترل‌شده
- تعدیل سریع مقررات بر اساس نتایج عملی
- تجویز استثنائی‌های موقتی برای پروژه‌های پایلوت تمرکز دارد.

**قانون‌گذاری برای خودروهای خودران**

سنگاپور **اولین کشور آسیایی** است که چارچوب قانونی جامعی برای آزمایش خودروهای خودران در جاده‌های عمومی ایجاد کرد (۲۰۱۷). این قانون شامل:

**الزامات بیمه:** پوشش بیمه ۱۰ میلیون دلار سنگاپور برای آسیب‌های ناشی از خودروهای خودران

نیازهای ایمنی: آزمایش‌های جامع قبل از استقرار، شامل ۵,۰۰۰ کیلومتر رانندگی آزمایشی

**نظارت مستمر:** نظارت بر عملکرد و گزارش‌دهی منظم (NXP Semiconductors, ۲۰۱۵)

**بخش ۴-۹: موانع و سیاست‌های غلبه بر آنها**

**مشارکت فعال بخش خصوصی**

برای جبران محدودیت‌های دولتی، سنگاپور به فعالیت گسترده بخش خصوصی تکیه می‌کند:

- **شرکت‌های تکنولوژی**: Grab، Ryde و GoJek برای خدمات تاکسی و حمل‌ونقل
- **شرکت‌های خودروسازی:** BMW، Mercedes-Benz برای آزمایش خودروهای خودران
- **شرکت‌های تلکوم:** M1، Singtel برای توسعه زیرساخت 5G

**حمایت‌های دولتی و ترغیب‌ها**

دولت سنگاپور از طریق چندین مکانیسم، توسعه V2X را تشویق می‌کند:

**تسهیلات مالی:** بودجه‌های اختصاصی برای پروژه‌های پایلوت (Singapore Economic Development Board, ۲۰۱۶)

**تسهیلات نظارتی:** صدور مجوزهای موقتی برای پروژه‌های منتخب

**مشارکت در شاه‌راه ملی:** ارائه داده‌های ترافیکی و زیرساخت برای شرکت‌های خصوصی

**بخش ۴-۱۰: ارزیابی کلی مدل سنگاپور**

مدل سنگاپور را می‌توان به عنوان یک **"مدل کارآزمایی و منعطف"** توصیف کرد که بر سه ستون استوار است:

**۱. کنترل دولتی قوی اما منعطف:**
دولت نقش هماهنگ‌کننده مرکزی را ایفا می‌کند اما اجازه می‌دهد تا بخش خصوصی در اجرا و نوآوری نقش پیشرو داشته باشد.

**۲. یکپارچه‌سازی با اهداف شهری گسترده‌تر:**
V۲X نه به عنوان یک پروژه جداگانه، بلکه به عنوان جزئی از "ملت هوشمند" و "تحرک هوشمند ۲۰۳۰" در نظر گرفته می‌شود.

**۳. عملیات-گرایی و یادگیری بر اساس تجربه:**
سنگاپور بیشتر بر آزمایش عملی و کاربرد واقعی تمرکز دارد تا برنامه‌ریزی نظری.
تجربه سنگاپور نشان می‌دهد که حتی کشورهای کوچک با محدودیت‌های جغرافیایی و اقتصادی می‌توانند با سیاست‌های هوشمندانه و همکاری‌های استراتژیک در زمینه V۲X پیشرفت قابل توجهی داشته باشند.

# فصل پنجم: تحلیل وضعیت ترکیه

**مقدمه**

ترکیه به عنوان یک کشور در حال توسعه با موقعیت ژئوپلیتیکی مهم و صنعت خودروسازی رو به رشد، در مرحله اولیه پیاده‌سازی فناوری‌های V2X قرار دارد. این کشور با تدوین "سند استراتژی ملی سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند و برنامه اقدام ۲۰۲۰-۲۰۲۳"، گام‌های اولیه و استراتژیک خود را برای ورود به حوزه C-ITS و خودروهای متصل برداشته است. رویکرد ترکیه بر استفاده از منابع ملی برای توسعه فناوری، همزمان با همسویی با استانداردهای بین‌المللی (به ویژه استانداردهای اروپایی) متمرکز است (Ministry of Transport and Infrastructure Turkey, ۲۰۲۰).

**بخش ۵-۱: ابعاد تنظیم‌گری و سیاست‌گذاری**

**وضعیت فعلی طیف فرکانسی**

بر اساس گزارش "تحلیل وضعیت فعلی C-ITS ترکیه" (۲۰۲۴)، این کشور هنوز در مراحل اولیه تنظیم‌گری طیف فرکانسی برای V2X قرار دارد. تخصیص طیف فرکانسی مشخصی برای این فناوری هنوز صورت نگرفته است، اما نهادهای مسئول مانند اداره کل ارتباطات (DGComms) در وزارت حمل‌ونقل و زیرساخت، در حال بررسی این موضوع هستند (Ministry of Transport and Infrastructure Turkey, ۲۰۲۴).

**پیگیری رویدادهای بین‌المللی**

ترکیه به دقت تحولات بین‌المللی، به ویژه تصمیمات سازمان‌های اروپایی را دنبال می‌کند:

**CEPT (کنفرانس اروپایی ادارات پست و مخابرات):** نظارت بر تصمیمات مربوط به تخصیص طیف

**ECC (کمیته ارتباطات الکترونیکی):** تعقب تحدیث‌های مقررات تنظیم‌گری اروپا

**۲۹.UNECE WP:** مشارکت در استانداردهای جهانی خودرو

هدف از این پیگیری، سیاست‌های ملی را با روندهای منطقه‌ای و جهانی هماهنگ سازی است (Ministry of Transport and Infrastructure Turkey, ۲۰۲۴).

**بخش ۵-۲: چارچوب استراتژیک ملی**

**سند استراتژی ملی ITS (۲۰۲۰-۲۰۲۳)**

ترکیه سند جامعی تحت عنوان "سند استراتژی ملی سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند و برنامه اقدام ۲۰۲۰-۲۰۲۳" تدوین کرده است. این سند دیدگاه بلندپروازانه‌ای را ترسیم می‌کند: دیدگاه: "حمل‌ونقل ایمن، کارآمد، یکپارچه، محیط‌زیست‌دوست، شمول‌گرا و پایدار"

**اهداف استراتژیک**

سند استراتژی چهار هدف استراتژیک اصلی را تعریف می‌کند:

**۱. ایمنی و کاهش تصادفات:**

- کاهش ۵۰ درصدی تصادفات منجر به مرگ و جراحت تا سال ۲۰۳۰
- استفاده از ITS و C-ITS برای تشخیص‌های پیش‌بینی‌کننده و هشدارهای بلادرنگ
- تقویت سیستم‌های ایمنی خودرو (Ministry of Transport and Infrastructure Turkey, ۲۰۲۰)

**۲. تحرک هوشمند و پایدار:**

- دستیابی به شبکه حمل‌ونقل هوشمند و یکپارچه
- کاهش زمان سفر و بهبود کارایی استفاده از منابع
- تشویق استفاده از وسایل نقلیه با سوخت پاک (EV)

**۳. کاهش آثار محیط‌زیستی:**

- کاهش ۴۰ درصدی انتشار $CO_2$ از بخش حمل‌ونقل تا سال ۲۰۳۰
- ترویج استفاده از شبکه‌های هوشمند برای بهینه‌سازی مسیرها
- حمایت از انرژی‌های تجدیدپذیر

**۴. شمول‌گرایی اجتماعی و کیفیت زندگی:**

- بهبود دسترسی به خدمات حمل‌ونقل برای تمام بخش‌های جامعه
- ایجاد محیط‌های قابل زندگی و جوامع آگاه (Ministry of Transport and Infrastructure Turkey, ۲۰۲۰)

**بخش ۵-۳: قانون‌گذاری و چارچوب حقوقی**

**خلاء قانونی در زمینه خودروهای خودران**

یکی از بزرگ‌ترین چالش‌های پیش روی ترکیه، وجود یک **خلاء قانونی** در حوزه خودروهای خودران است. در حال حاضر، مقررات جامعی که به طور خاص به خودروهای خودکار بپردازد، در این کشور وجود ندارد.

**چارچوب قانونی موجود**

**۱. قانون ترافیک بزرگراه‌ها شماره ۲۹۱۸:**

- براساس این قانون، راننده مسئولیت کامل مدنی و کیفری هرگونه خسارت ناشی از استفاده از وسیله نقلیه را برعهده دارد
- این موضوع یک مانع قانونی مهم برای پذیرش و گسترش سطوح بالای اتوماسیون (سطح ۳ به بالا) محسوب می‌شود

**۲. همسویی با الاتحادیه اروپا:**

- ترکیه برای مشخصات فنی و تأییدیه‌های خودرو، از مقررات الاتحادیه اروپا (مانند Regulation EU/۲۰۱۹/۲۱۴۴) پیروی می‌کند
- انتظار می‌رود که در آینده، با الهام از قوانین اروپا، مقررات دقیق‌تری در زمینه مسئولیت‌ها و الزامات خودروهای خودران وضع شود (Ministry of Transport and Infrastructure Turkey, ۲۰۲۴)

**تدوین قوانین ITS**

یکی از اقدامات تنظیم‌گری کلیدی، تطبیق با الزامات قانونی ITS است. این اقدام (Action ۱,۱) به هدف کلی "برآوردن الزامات قانونی ITS" تدوین شده است. هدف این اقدام این است که کشور بتواند سیاست‌ها و پروژه‌های ITS را به طور مؤثر و کارآمد مدیریت کند (Ministry of Transport and Infrastructure Turkey, ۲۰۲۴).

**بخش ۵-۴: استانداردها و مقررات فنی**

**مقررات امنیت سایبری**

ترکیه بر تضمین داده و امنیت متمرکز است. نهادهایی مانند TUBITAK و PDPA (اداره حفاظت از داده‌های شخصی) در اجرای اقدامات مرتبط با امنیت سایبری نقش دارند (Ministry of

Transport and Infrastructure Turkey, ۲۰۲۴).

استانداردهای جهانی مانند **UNECE R۱۵۵** (مدیریت امنیت سایبری) و **UNECE R۱۵۶** (به‌روزرسانی نرم‌افزار) در استراتژی‌های ملی لحاظ شده‌اند (Ministry of Transport and Infrastructure Turkey, ۲۰۲۴).

**استانداردهای فنی V۲X**

در ترکیه، هر دو فناوری **DSRC** (بر اساس IEEE ۸۰۲٫۱۱p) و **C-V۲X** (بر اساس ۳GPP) مورد توجه هستند:

- TURKCELL: استفاده از NB-IoT و CAT-M برای خدمات V۲X
- TÜRK TELEKOM: کار بر روی IEEE ۸۰۲٫۱۱p (Ministry of Transport and Infrastructure Turkey, ۲۰۲۴)

**بخش ۵-۵: پروژه‌های پایلوت و آزمایشی**

**مسیر آزمایشی C-ITS Hasdal-Istanbul Airport**

یکی از مهم‌ترین پروژه‌های پایلوت ترکیه، مسیر آزمایشی C-ITS تقریباً ۳۰ کیلومتری در محور **Hasdal-Istanbul Airport** است (Ministry of Transport and Infrastructure Turkey, ۲۰۲۴).

**ویژگی‌های پروژه:**

- **شرکاء:** TURKCELL به عنوان اپراتور اصلی، همراه با دانشگاه مارمارا و موسسات تحقیقاتی
- **تجهیزات:** نصب RSU و OBU برای اختبار فناوری C-V۲X در محیط شهری
- **کاربردهای تست:** هشدار برخورد، هشدار ترافیک، هشدار حوادث جاده‌ای
- **مدت آزمایش:** برنامه‌ریزی برای ۲ سال تحقیق و توسعه (۲۰۲۱-۲۰۲۳)

**مسیرهای آزمایشی اضافی**

علاوه بر مسیر Hasdal-Istanbul، ترکیه در حال تدارک مسیرهای آزمایشی دیگری است:

- محور Ankara-Eski ehir: برای تست خدمات بزرگراهی و ایمنی
- محور Istanbul-Izmit: برای آزمایش در محیط شهری و صنعتی
- محور Izmit-Bursa: برای تست در شرایط جغرافیایی متنوع

**بخش ۵-۶: نهادها و تقسیم کار ملی**

**نهادهای مسئول اصلی**

**اداره کل ارتباطات (DGComms)** مسئول اجرای اقدامات محوری مانند:

- برآوردن الزامات قانونی
- توسعه معماری ITS
- شناسایی استانداردها (Ministry of Transport and Infrastructure Turkey, ۲۰۲۴)

**اداره کل تنظیم خدمات حمل‌ونقل** مسئول اقداماتی مانند ساخت پارکینگ‌های هوشمند است (Ministry of Transport and Infrastructure Turkey, ۲۰۲۴).

**ذینفعان همکار**

**دولت:**

- وزارتخانه‌های صنعت و فناوری (MoIT)
- وزارتخانه محیط زیست و شهرسازی
- نهادهای تنظیم‌گر: ICTA (سازمان فناوری اطلاعات و ارتباطات)، TSI (مؤسسه استانداردهای ترکیه)، TUBITAK، PDPA (Ministry of Transport and Infrastructure

Turkey, ۲۰۲۴)

**بخش خصوصی و دانشگاهی:**

- شرکت‌های بزرگ صنعتی: FORD، TEMSA، OTOKAR
- اپراتورهای مخابراتی: TÜRK TELEKOM، TURKCELL
- دانشگاه‌ها: دانشگاه فنی استانبول، دانشگاه اوکان (Ministry of Transport and Infrastructure Turkey, ۲۰۲۴)

**نقش TUBITAK**

این سازمان، به عنوان متولی توسعه فناوری، در اقدامات مربوط به زیرساخت‌های فنی برای جمع‌آوری داده و استانداردسازی همکاری می‌کند (Ministry of Transport and Infrastructure Turkey, ۲۰۲۴).

**بخش ۵-۷: تحلیل SWOT و فرصت‌های توسعه**

**نقاط قوت**

**۱. موقعیت ژئوپلیتیکی:**

- ترکیه پل‌گذار بین اروپا و آسیا، فرصتی برای تبادل فناوری و تجربه
- موقعیت استراتژیک برای صادرات فناوری‌های V۲X

**۲. صنعت خودروسازی رو به رشد:**

- وجود شرکت‌های بزرگی مانند OTOKAR و TEMSA
- سابقه تولید قطعات اتومبیل و ظرفیت صنعتی

**۳. تعهد دولتی:**

- سند استراتژی جامع و پروژه‌های پایلوت مشخص
- سرمایه‌گذاری دولتی در تحقیق و توسعه

**نقاط ضعف**

**۱. تاخیر فنی و نهادی:**

- عدم تخصیص طیف فرکانسی تاکنون
- خلاء قانونی در زمینه خودروهای خودران
- نبود چارچوب‌های قانونی مناسب برای استقرار

**۲. محدودیت‌های تکنولوژیکی:**

- وابستگی به فناوری خارجی
- کمبود متخصصین و نیروی انسانی آموزش‌دیده
- محدود بودن تجربه عملی

**۳. چالش‌های اقتصادی:**

- هزینه‌های بالای نصب و نگهداری
- نیاز به سرمایه‌گذاری‌های بزرگ اولیه (Ministry of Transport and Infrastructure Turkey, ۲۰۲۴)

**فرصت‌ها**

**۱. توسعه صادرات:**

- امکان دستیابی به سود اقتصادی از طریق صادرات اجزای C-ITS به لطف سرعت و کیفیت تولید
- توسعه محصولات محلی توسط تأمین‌کنندگان داخلی (Ministry of Transport and Infrastructure Turkey, ۲۰۲۴)

**۲. توسعه کسب‌وکار جدید:**

- خلق فرصت‌های شغلی در حوزه‌های نوین
- رشد صنایع خدمات و نرم‌افزار مرتبط

**۳. هم‌افزایی با برنامه‌های دیگر:**

- یکپارچه‌سازی با برنامه‌های شهر هوشمند
- همکاری با برنامه‌های حمل‌ونقل عمومی

**تهدیدها**

**۱. عدم تطابق با استانداردهای جهانی:**

- تأخیر در اتخاذ تصمیمات بین‌المللی
- ریسک انتخاب استانداردی که در جهان رایج نشود

**۲. رقابت بین‌المللی:**

- شرکت‌های بزرگ جهانی کنترل بازار

- فشار برای سریع‌تر حرکت

**۳. چالش‌های اجتماعی و محیط‌زیستی:**

- مقاومت عمومی در برابر فناوری‌های جدید
- نیاز به اطمینان‌دهی در مورد ایمنی و حریم خصوصی (Ministry of Transport and Infrastructure Turkey, ۲۰۲۴)

**بخش ۵-۸: مشوق‌های کاربران و توسعه بازار**

**مشوق‌های کاربران انتهایی**

مشوق‌ها شامل:

- بهبود کیفیت زندگی از طریق محیط قابل زندگی
- افزایش ایمنی جاده‌ای
- دسترسی به حمل‌ونقل عمومی کارآمدتر (Ministry of Transport and Infrastructure Turkey, ۲۰۲۴)

**مشوق‌های کسب‌وکارها**

**۱. لجستیک و حمل‌ونقل:**

ساخت پارکینگ‌های هوشمند برای حمل بار و کالاهای خطرناک، یک مشوق مستقیم برای شرکت‌های باربری است تا نیازهای ایمنی پارک، اقامت و سوخت‌گیری ناوگان خود را تأمین کنند (Ministry of Transport and Infrastructure Turkey, ۲۰۲۴)

**۲. حمل‌ونقل عمومی:**

استفاده از وسایل نقلیه برقی در ناوگان حمل‌ونقل عمومی و خدمات (Ministry of Transport and Infrastructure Turkey, ۲۰۲۴)

**مشوق‌های نوآوران**

- حمایت از پروژه‌های تحقیق و توسعه (D&R)
- فراهم کردن مسیرهای آزمایشی C-ITS (مانند مسیر فرودگاه استانبول)
- تشویق شرکت‌های خصوصی مانند TURKCELL برای توسعه محصولات V2X (Ministry of Transport and Infrastructure Turkey, ۲۰۲۴)

**بخش ۵-۹: درس‌های آموخته‌شده**

**درس‌های استراتژیک از تحلیل SWOT**

**۱. ضرورت یک سازمان چتر:**
نیاز به ایجاد یک سازمان چتر برای هماهنگی بین ذی‌نفعان متعدد، به عنوان یک درس استراتژیکی شناسایی شده است (Ministry of Transport and Infrastructure Turkey, ۲۰۲۴)

**۲. پر کردن خلاءهای قانونی:**
لزوم پر کردن خلاءهای قانونی برای کاهش عدم قطعیت (Ministry of Transport and Infrastructure Turkey, ۲۰۲۴)

**۳. تشویق تولید داخلی:**
اهمیت تشویق تولید داخلی برای جلوگیری از وابستگی خارجی (Ministry of Transport and Infrastructure Turkey, ۲۰۲۴)

**درس‌های فنی از مطالعات دانشگاهی**

کارایی ارتباطات V۲V در محیط‌های شهری به شدت تحت تأثیر عواملی مانند وجود ساختمان‌ها (NLOS) و تعداد وسایل نقلیه قرار می‌گیرد. این یک درس فنی مهم است که بر لزوم برنامه‌ریزی دقیق برای استقرار ایستگاه‌های کنار جاده‌ای (RSU) در محیط‌های شهری برای تضمین پوشش کافی تأکید دارد (Ministry of Transport and Infrastructure Turkey, ۲۰۲۴)

## بخش ۵-۱۰: سطح آمادگی، پذیرش و اشتیاق ملی

### اشتیاق دولتی و سیاسی

ترکیه دارای سطح بالایی از اشتیاق ملی است که در تدوین یک سند استراتژیک جامع (۲۰۲۰-۲۰۲۳) و تعریف چشم‌انداز بلندپروازانه منعکس شده است (Ministry of Transport and Infrastructure Turkey, ۲۰۲۰).

**شاخص‌های اشتیاق:**

- تدوین سند استراتژی ملی جامع با افق ۱۰ ساله
- تعریف ۴ هدف استراتژیک کلان
- تعیین بودجه مشخص برای پروژه‌های پایلوت
- ایجاد مسیرهای آزمایشی در مناطق استراتژیک

### سطح آمادگی فنی

از نظر فنی، ترکیه در مرحله **"توسعه اولیه"** قرار دارد:

**۱. زیرساخت:**

- شبکه‌های 4G/LTE با پوشش گسترده
- زیرساخت‌های راه آهن و بزرگراه نسبتاً توسعه‌یافته
- سیستم‌های مدیریت ترافیک موجود در شهرهای بزرگ

**۲. تجهیزات:**

- توانایی تولید OBU و RSU توسط دانشگاه مارمارا
- وجود شرکت‌های مخابراتی قوی (TURKCELL، TÜRK TELEKOM)

- همکاری با شرکت‌های خودروسازی داخلی (Ministry of Transport and Infrastructure Turkey, ۲۰۲۴)

**۳. نیروی انسانی:**

- وجود دانشگاه‌های قوی (دانشگاه فنی استانبول، دانشگاه اوکان)
- مراکز تحقیقاتی فعال (آزمایشگاه VeNIT)
- نیاز به توسعه بیشتر نیروی متخصص

**پذیرش اجتماعی**

پذیرش اجتماعی در ترکیه در مرحله **"آگاهی اولیه"** است:

**عوامل مثبت:**

- نرخ بالای استفاده از تکنولوژی در جامعه
- آمادگی برای پذیرش نوآوری‌های جدید
- نگرانی عمومی از تصادفات و ترافیک

**چالش‌ها:**

- نگرانی‌های حریم خصوصی
- عدم آشنایی کامل با مزایای V۲X
- نیاز به آموزش عمومی گسترده

**بخش ۵-۱۱: هزینه‌های اقتصادی و صرفه به هزینه بودن**

**تحلیل هزینه-فایده**

تحلیل SWOT انجام‌شده در گزارش وضعیت C-ITS ترکیه، چالش‌ها و فرصت‌های اقتصادی این حوزه را نشان می‌دهد (Ministry of Transport and Infrastructure Turkey, ۲۰۲۴).

**هزینه‌ها:**

**۱. هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه:**

- نصب RSU در مسیرهای اصلی: تخمین ۵۰۰-۸۰۰ میلیون دلار برای پوشش کامل
- توسعه مراکز داده و زیرساخت شبکه: ۱۰۰-۱۵۰ میلیون دلار
- تجهیزات OBU برای خودروها: هزینه واحد ۲۰۰-۴۰۰ دلار

**۲. هزینه‌های بهره‌برداری و نگهداری:**

- نگهداری سالانه RSU: ۱۰-۱۵ درصد هزینه نصب
- به‌روزرسانی نرم‌افزار و امنیت سایبری: ۲۰-۳۰ میلیون دلار سالانه
- مدیریت داده و مراکز کنترل: ۱۵-۲۵ میلیون دلار سالانه

**منافع:**

**۱. کاهش هزینه‌های اجتماعی:**

- کاهش ۵۰ درصدی تصادفات ← صرفه‌جویی ۳-۵ میلیارد دلار سالانه
- کاهش زمان سفر ← افزایش بهره‌وری اقتصادی ۱-۲ میلیارد دلار سالانه
- کاهش انتشار $CO_2$ ← منافع محیط زیستی ۵۰۰-۷۰۰ میلیون دلار سالانه

**۲. فرصت‌های صادراتی:**

- امکان صادرات اجزای C-ITS به منطقه
- توسعه محصولات محلی توسط تأمین‌کنندگان داخلی
- ایجاد ۲۰,۰۰۰-۳۰,۰۰۰ شغل جدید (Ministry of Transport and Infrastructure Turkey, ۲۰۲۴)

**دوره بازگشت سرمایه**

بر اساس برآوردهای اولیه، دوره بازگشت سرمایه برای پروژه‌های V2X در ترکیه:

- **سناریوی خوش‌بینانه:** ۷-۱۰ سال
- **سناریوی واقع‌بینانه:** ۱۰-۱۵ سال
- **سناریوی محتاطانه:** ۱۵-۲۰ سال

**بخش ۵-۱۲: ارزیابی کلی مدل ترکیه**

مدل ترکیه را می‌توان به عنوان یک "مدل توسعه‌ای هماهنگ با استانداردهای اروپایی" توصیف کرد که دارای ویژگی‌های زیر است:

**۱. رویکرد جامع و استراتژیک:**

- تدوین سند استراتژی کلان با اهداف مشخص
- یکپارچه‌سازی با برنامه‌های توسعه ملی
- تعریف مسیر رشد بلندمدت

**۲. همسویی با استانداردهای بین‌المللی:**

- پیروی از مقررات اتحادیه اروپا

- پذیرش استانداردهای UNECE
- همکاری با سازمان‌های بین‌المللی

**۳. تمرکز بر تولید داخلی:**

- حمایت از توسعه محصولات ملی
- تشویق شرکت‌های داخلی
- کاهش وابستگی به فناوری خارجی

**۴. چالش‌های عمده:**

- تأخیر در تصمیم‌گیری‌های تنظیم‌گری (طیف فرکانسی)
- خلاء قانونی در حوزه خودروهای خودران
- محدودیت منابع مالی و فنی

# فصل ششم: تحلیل تطبیقی

**مقدمه**

این فصل به مقایسه جامع رویکردها، استراتژی‌ها و نتایج چهار کشور مطالعه‌شده (ژاپن، کره جنوبی، سنگاپور، ترکیه) می‌پردازد.

**بخش ۶-۱: مقایسه چارچوب‌های تنظیم‌گری**

**تخصیص طیف فرکانسی**

| کشور | رویکرد | وضعیت تصمیم‌گیری | باندهای اختصاصی |
|---|---|---|---|
| **ژاپن** | تدریجی و مبتنی بر میراث | قطعی و مستقر | MHz (ITS ۷۶۴٫۵-۷۵۵٫۵ MHz ۵۸۵۰-۵۷۷۰<Connect)<br (۲٫۰ (ETC |
| **کره جنوبی** | قاطعانه و تهاجمی | قطعی - انتخاب C-V۲X | (MHz (C-V۲X ۵۹۲۵-۵۸۵۰ |
| **سنگاپور** | منعطف و آزمایشی | در حال گذار از DSRC به C-V۲X | MHz ۵۹۰۵-۵۸۷۵ (در حال بررسی) |
| **ترکیه** | پیگیری استانداردهای اروپا | در حال بررسی | هنوز تخصیص نیافته |

**ساختار نهادی**

**ژاپن - مدل چندوزارتخانه‌ای:**

- همکاری MIC (ارتباطات)، MLIT (زیرساخت)، METI (صنعت)

- هماهنگی از طریق دفتر نخست‌وزیر
- نقش قوی بخش خصوصی (Toyota، Honda، Nissan)

**کره جنوبی - مدل متمرکز:**

- رهبری دولتی قوی
- یکپارچه‌سازی با استراتژی 5G ملی
- تعهد دولت به سرمایه‌گذاری مستقیم

**سنگاپور - مدل دو نهادی:**

- IMDA (تنظیم‌کننده طیف)
- LTA (متولی زیرساخت و حمل‌ونقل)
- هماهنگی بالا و تصمیم‌گیری سریع

**ترکیه - مدل در حال توسعه:**

DGComms به عنوان هماهنگ‌کننده اصلی

مشارکت چندین وزارتخانه

نیاز به تقویت ساختار هماهنگی (Ministry of Transport and Infrastructure, Turkey, ۲۰۲۰)

**بخش ۶-۲: مقایسه استراتژی‌های فناوری**

**انتخاب فناوری (DSRC vs C-V2X)**

**ژاپن:**

- **استراتژی فعلی:** حفظ سرمایه‌گذاری در DSRC (ITS Connect)
- **چشم‌انداز آینده:** گذار تدریجی به C-V2X
- **دلیل:** میراث موفق ETC و ITS Connect (5GAA, ۲۰۱۸)

**کره جنوبی:**

- **استراتژی قطعی:** انتخاب C-V2X
- **دلیل اصلی:** هم‌افزایی با زیرساخت 5G
- **مزیت:** یکپارچه‌سازی با صنعت مخابرات پیشرفته (5GAA, ۲۰۱۸)

**سنگاپور:**

- **استراتژی:** شروع با DSRC، گذار به C-V2X
- **رویکرد:** آزمایشی و مبتنی بر نتایج عملی
- **انعطاف:** آمادگی برای تغییر بر اساس شواهد (NXP Semiconductors, ۲۰۱۵)

**ترکیه:**

- **وضعیت:** هر دو فناوری در حال بررسی
- **تمایل:** گرایش به C-V2X (همسو با اروپا)

- **چالش:** نبود تصمیم قطعی (Ministry of Transport and Infrastructure Turkey, ۲۰۲۴)

## بخش ۶-۳: مقایسه زیرساخت‌های آزمایشی

### تسهیلات تست و آزمایشگاه‌های زنده

**K-City (کره جنوبی) - بزرگترین و پیشرفته‌ترین:**

- مساحت: ۳۶۰,۰۰۰ متر مربع
- اولین تسهیلات مجهز به 5G
- سیاست پذیرش آزاد
- شبیه‌سازی ۲۶ محیط شهری مختلف (5GAA, ۲۰۱۸)

**محیط‌های آزمایشی ژاپن:**

- JARI Shirosato Test Track
- Tokyo Waterfront تست‌های عمومی
- یکپارچه‌سازی با سیستم‌های ETC موجود
- تمرکز بر تست‌های واقعی در جاده‌های عمومی (Prime Minister's Office Japan, ۲۰۱۹)

**تست‌بد NTU (سنگاپور) - متمرکز و تخصصی:**

- محیط آزمایشی دانشگاهی
- تمرکز بر پروتکل‌های امنیتی

- همکاری با NXP
- مقیاس کوچک‌تر اما دقیق (NXP Semiconductors, ۲۰۱۵)

**مسیر آزمایشی Hasdal–Istanbul (ترکیه):**

- طول: ۳۰ کیلومتر
- محیط واقعی شهری
- در مراحل اولیه
- تمرکز بر اثبات مفهوم (Ministry of Transport and Infrastructure Turkey, ۲۰۲۴)

**بخش ۶-۴: مقایسه چارچوب‌های قانونی**

**وضعیت قانون‌گذاری برای خودروهای خودران**

**سنگاپور - پیشرو:**

- اولین کشور آسیایی با چارچوب قانونی جامع (۲۰۱۷)
- الزامات بیمه مشخص (۱۰ میلیون دلار سنگاپور)
- نیازهای آزمایش دقیق (۵,۰۰۰ کیلومتر)
- نظارت مستمر (NXP Semiconductors, ۲۰۱۵)

**ژاپن - در حال توسعه:**

- بازنگری تدریجی قوانین ترافیک
- برنامه SIP-ADUS برای توسعه قوانین

- مشارکت فعال صنعت در قانون‌گذاری
- رویکرد محتاطانه و تدریجی (Prime Minister's Office Japan, ۲۰۱۹)

**کره جنوبی - تهاجمی:**

- قوانین حمایتی برای توسعه سریع
- مشوق‌های قانونی برای تولیدکنندگان
- تسهیلات آزمایشی در جاده‌های عمومی
- هدف: رهبری جهانی

**ترکیه - خلاء قانونی:**

- قانون ترافیک ۲۹۱۸ نامناسب برای خودروهای خودران
- مسئولیت کامل راننده
- نیاز فوری به قوانین جدید
- انتظار همسویی با قوانین اتحادیه اروپا (Ministry of Transport and Infrastructure, Turkey, ۲۰۲۴)

**بخش ۶-۵: مقایسه مدل‌های حکمرانی**

**نقش دولت و بخش خصوصی**

**مدل ژاپن - مشارکت متوازن:**

- دولت: تدوین سیاست، تخصیص طیف، هماهنگی

- بخش خصوصی: سرمایه‌گذاری عمده، توسعه محصول، استقرار
- تعادل: ۴۰٪ دولتی - ۶۰٪ خصوصی
- موفقیت: سیستم ETC با نرخ پذیرش ۹۰٪+ (Prime Minister's Office Japan, ۲۰۱۹)

**مدل کره جنوبی - رهبری دولتی:**

**دولت:** سرمایه‌گذاری مستقیم، ساخت زیرساخت، تعیین جهت

**بخش خصوصی:** اجرا و توسعه محصول

**تعادل:** ۷۰٪ دولتی - ۳۰٪ خصوصی

**سرعت:** استقرار سریع در کل کشور (5GAA, ۲۰۱۸)

**مدل سنگاپور - هدایت دولتی، اجرای خصوصی:**

- **دولت:** سیاست‌گذاری، تنظیم‌گری، نظارت
- **بخش خصوصی:** اجرا، نوآوری، خدمات
- **تعادل:** ۵۰٪-۵۰٪
- **انعطاف:** تغییر سریع در صورت نیاز

**مدل ترکیه - توسعه‌محور:**

- **دولت:** استراتژی، هماهنگی، حمایت
- **بخش خصوصی:** در حال تقویت
- **تعادل:** ۶۰٪ دولتی - ۴۰٪ خصوصی (هدف)

- **چالش:** نیاز به تقویت ظرفیت خصوصی (Ministry of Transport and Infrastructure Turkey, ۲۰۲۰)

**بخش ۶-۶: مقایسه استراتژی‌های امنیتی**

**رویکردهای امنیت سایبری**

**ژاپن:**

- استفاده از تراشه‌های امنیتی NXP SXF۱۸۰۰
- تأیید CC EAL۴+
- پشتیبانی OTA برای به‌روزرسانی (Prime Minister's Office Japan, ۲۰۱۹)

**کره جنوبی:**

- معماری امنیتی چندلایه
- PKI و SCMS برای C-V۲X
- سیستم‌های تشخیص نفوذ (IDS)
- استانداردهای ملی سخت‌گیرانه (۵GAA, ۲۰۱۸)

**سنگاپور:**

- تمرکز بر IEEE ۸۰۲٫۱۱p ،۱۶۰۹٫۲ برای DSRC
- آزمایش گسترده پروتکل‌های امنیتی
- همکاری با NXP در تست‌بد

- رویکرد تحقیقاتی و آزمایشی (NXP Semiconductors, ۲۰۱۵)

**ترکیه:**

- پذیرش UNECE R۱۵۵ و R۱۵۶
- همکاری TUBITAK و PDPA
- در مراحل اولیه پیاده‌سازی
- نیاز به توسعه ظرفیت ملی (Ministry of Transport and Infrastructure Turkey, ۲۰۲۴)

**بخش ۶-۷: درس‌های مشترک و بهترین شیوه‌ها**

**عوامل موفقیت کلیدی**

بر اساس تحلیل تطبیقی، عوامل موفقیت کلیدی عبارتند از:

**۱. تصمیم‌گیری قاطعانه در مورد فناوری:**

- کره جنوبی با انتخاب قاطع C-V۲X موفقیت سریع کسب کرد
- سردرگمی در انتخاب فناوری باعث تأخیر می‌شود

**۲. ساختار حکمرانی واضح:**

- سنگاپور با ساختار دو نهادی کارآمد، تصمیم‌گیری سریع دارد
- ژاپن با هماهنگی سه وزارتخانه، یکپارچگی بالایی دارد

**۳. سرمایه‌گذاری در زیرساخت آزمایشی:**

- K-City کره جنوبی به عنوان الگوی جهانی

- تسهیلات آزمایشی جامع، نوآوری را تسریع می‌کند

**۴. مشارکت فعال بخش خصوصی:**

- ژاپن با مشارکت خودروسازان بزرگ، پذیرش بالایی دارد
- سنگاپور با مشارکت شرکت‌های تکنولوژی، سرعت بخشیده است

**۵. چارچوب قانونی جامع:**

- سنگاپور با قوانین پیشرفته، مانع‌ها را برداشته است
- خلاء قانونی مانع بزرگ پیشرفت است

**اشتباهات رایج**

**۱. تأخیر در تصمیم‌گیری تنظیم‌گری:**

- عدم تخصیص طیف به موقع
- سردرگمی در انتخاب فناوری

**۲. نادیده گرفتن حریم خصوصی:**

- نگرانی‌های عمومی جدی
- نیاز به چارچوب حفاظت داده

**۳. عدم هماهنگی بین ذی‌نفعان:**

- تضاد بین نهادهای دولتی
- عدم همکاری بخش خصوصی و عمومی

**۴. دست‌کم گرفتن هزینه‌ها:**

- هزینه‌های نگهداری بلندمدت
- نیاز به به‌روزرسانی مستمر

# فصل هفتم: نتیجه‌گیری و پیشنهادات

**مقدمه**

این فصل نتایج کلیدی تحقیق را خلاصه کرده و پیشنهادات عملی برای کشورهای در حال توسعه ارائه می‌دهد.

**بخش ۷-۱: یافته‌های کلیدی**

**تنوع رویکردها**

مطالعه چهار کشور نشان داد که **هیچ مدل واحدی** برای پیاده‌سازی V2X وجود ندارد:

- **ژاپن:** مدل تکاملی مبتنی بر میراث
- **کره جنوبی:** مدل تهاجمی و یکپارچه
- **سنگاپور:** مدل کارآزمایی و منعطف
- **ترکیه:** مدل توسعه‌ای همسو با استانداردهای اروپایی

**اهمیت بستر ملی**

موفقیت هر مدل به شدت به **بستر ملی** بستگی دارد:

- توانمندی‌های صنعتی
- ظرفیت‌های نهادی

- منابع مالی
- اولویت‌های سیاسی
- فرهنگ اجتماعی

**عوامل مشترک موفقیت**

با وجود تفاوت‌ها، **پنج عامل مشترک** در موفقیت همه کشورها مشاهده شد:

۱. **تصمیم‌گیری قاطعانه و به موقع**

**۲. ساختار حکمرانی واضح و کارآمد**

**۳. سرمایه‌گذاری در زیرساخت آزمایشی**

**۴. مشارکت فعال بخش خصوصی**

**۵. چارچوب قانونی جامع و شفاف**

# فصل هشتم: منابع و مراجع

## منابع دانشگاهی و تحقیقاتی

### سازمان‌های بین‌المللی

۵G Automotive Association (۵GAA). (۲۰۱۸). White Paper on ITS spectrum utilization in the Asia Pacific Region.

۵G Automotive Association (۵GAA). (۲۰۲۴). A visionary roadmap for advanced driving use cases, connectivity, and technologies.

### منابع ملی - ژاپن

Prime Minister's Office, Japan. (۲۰۱۹). Public-Private ITS Initiative/Roadmaps ۲۰۱۹.

Prime Minister's Office, Japan. (۲۰۱۶). C-ITS and Connected Automated Driving in Japan.

### منابع ملی - کره جنوبی

OECD/International Transport Forum (ITF). (۲۰۲۱). Motorway Safety in Korea: Learning from International Best Practice for an Action Plan to ۲۰۳۰.

Qualcomm Technologies, Inc. (۲۰۱۸). C-V۲X Trial in Japan.

### منابع ملی - سنگاپور

NXP Semiconductors. (۲۰۱۵). NXP and NTU Singapore Launch 'Smart Mobility Test Bed' to Accelerate the Introduction of Life-Saving Vehicle Communications.

NXP Semiconductors. (۲۰۲۰). Choosing the Right V۲X Technology: Straight Talk on DSRC and

۵G.
ST Electronics (Info-Comm Systems). (۲۰۱۶). V۲X Applications for Public Transport.
Singapore Economic Development Board. (۲۰۱۶). Grant Call Factsheet V۲X.

**منابع ملی - ترکیه**

Ulusal Akıllı Ulaşım .(۲۰۲۰) .Republic of Türkiye Ministry of Transport and Infrastructure
Eylem Plan (National Intelligent Transportation ۲۰۲۳-۲۰۲۰ Sistemleri Strateji Belgesi ve
.(Action Plan ۲۰۲۳-۲۰۲۰ Systems Strategy Document and
Republic of Türkiye Ministry of Transport and Infrastructure. (۲۰۲۴). Türkiye's Current
Situation Analysis of C-ITS.

**استانداردهای فنی**

**استانداردهای فنی**

**استانداردهای IEEE**

- IEEE۸۰۲٫۱۱ p (DSRC و فیزیکی MAC)
- IEEE ۱۶۰۹٫۱(WAVE)
- IEEE ۱۶۰۹٫۲(WAVE Security Services)
- IEEE ۱۶۰۹٫۳(WAVE Networking Services)

**استانداردهای ۳GPP**

- ۳GPP Release ۱۴ (PC۵ و Uu برای C-V۲X)
- ۳GPP Release ۱۶ (بهبودهای C-V۲X)

- ۳GPP Release ۵ (عملیات ۱۷G پیشرفته)

**استانداردهای ETSI**

- ETSI TS ۹۴۰ ۱۰۲ (V۲X Protocols)
- ETSI TS امنیت (۰۹۶ ۱۰۳ V۲X)

**استانداردهای UNECE**

- UNECE R۱۵۵ (Cybersecurity Management)
- UNECE R۱۵۶ (Software Update Management)

**نتیجه‌گیری نهایی**

گزارش حاضر تحلیلی جامع از چهار مدل مختلف پیاده‌سازی فناوری V۲X ارائه کرده است. هر کشور بر اساس بستر ملی خود و اولویت‌های راهبردی، استراتژی‌های متفاوتی را انتخاب کرده است.

**نتایج کلیدی:**

۱. **عدم وجود راه حل واحد:** هر کشور باید مدل خود را متناسب با شرایط منحصربه‌فرد خود تدوین کند

۲. **اهمیت تصمیم‌گیری قاطع:** تأخیرهای تنظیم‌گری اصلی‌ترین مانع پیشرفت هستند

۳. **نقش حکمرانی جید:** ساختار نهادی واضح و کارآمد ضامن موفقیت است

۴. **ضرورت سرمایه‌گذاری:** تسهیلات آزمایشی جامع و زیرساخت‌های قابل‌اعتماد الزام‌ناپذیر هستند

**۵. اهمیت انسان‌ها:** توسعه ظرفیت‌های انسانی و آموزش نیروی کار نقش تعیین‌کننده‌ای دارند

کشورهای در حال توسعه و منطقه‌ای می‌توانند از تجربیات این چهار کشور استفاده کنند و با توجه به شرایط خاص خود، استراتژی‌های متناسب را طراحی و اجرا کنند.

بخش هفتم

# گزارش تطبیقی جامع: پیاده‌سازی فناوری خودروی متصل (V2X) در کشورهای مختلف

# مقدمه

**زمینه و ضرورت تحول در حمل‌ونقل هوشمند**

صنعت حمل‌ونقل جهانی در آستانه یک تحول بنیادین قرار دارد. فناوری **خودروهای متصل (selciheV detcennoC)** و سیستم‌های **ارتباط خودرو به همه‌چیز (gnihtyrevE-ot-elciheV - X2V)** نه تنها یک پیشرفت تکنولوژیکی، بلکه یک بازتعریف کامل از نحوه تعامل انسان‌ها، خودروها، زیرساخت‌ها و محیط شهری با یکدیگر است. این تحول، که بر پایه همگرایی فناوری‌های ارتباطات بی‌سیم پیشرفته، هوش مصنوعی، اینترنت اشیا و پردازش داده‌های عظیم استوار است، پتانسیل ایجاد تغییراتی گسترده در سه محور حیاتی را دارد:

**ابعاد سه‌گانه تحول:**

۱. **ایمنی جاده‌ای:** طبق آمار سازمان بهداشت جهانی، سالانه بیش از **۱٫۳ میلیون نفر** در تصادفات جاده‌ای جان خود را از دست می‌دهند و بیش از **۹۰٪ این تصادفات** ناشی از خطای انسانی است. فناوری V2X با فراهم آوردن هشدارهای زمان‌واقعی، دید محیطی فراتر از قابلیت‌های حسی انسان و هماهنگی هوشمند بین خودروها، می‌تواند این آمار تکان‌دهنده را به طور چشمگیری کاهش دهد.

۲. **کارایی و بهره‌وری:** در شهرهای بزرگ جهان، رانندگان به طور متوسط **۵۴ تا ۱۰۷ ساعت در سال** را در ترافیک تلف می‌کنند که هزینه‌ای معادل **۲-۴٪ تولید ناخالص داخلی** را به جوامع تحمیل می‌کند. سیستم‌های V2X با بهینه‌سازی جریان ترافیک، مدیریت هوشمند تقاطع‌ها و هماهنگی سرعت خودروها،

می‌توانند این هزینه‌های هنگفت را کاهش دهند.

**۳. پایداری زیست‌محیطی**: بخش حمل‌ونقل جاده‌ای مسئول حدود **۲۵٪ انتشارگازهای گلخانه‌ای جهانی** است. فناوری خودروهای متصل با کاهش توقف‌های غیرضروری، بهینه‌سازی مسیرها و یکپارچگی با خودروهای الکتریکی و سیستم‌های **Grid-to-Vehicle (V2G)**، نقشی کلیدی در تحقق اهداف جهانی کاهش انتشار کربن ایفا می‌کند.

**چالش پیچیدگی: از فناوری تا حکمرانی**

با وجود این پتانسیل عظیم، پیاده‌سازی موفق فناوری V2X یک معادله چندمتغیره پیچیده است که فراتر از توسعه فناوری است و نیازمند در حوزه‌های زیر است:

**ابعاد پیچیدگی:**

- **تنظیم‌گری و قانون‌گذاری:** تدوین چارچوب‌های قانونی برای مسئولیت‌پذیری، ایمنی، دسترسی به داده و حریم خصوصی
- **استانداردسازی فنی**: توافق جهانی بر سر پروتکل‌های ارتباطی، فرکانس‌های رادیویی و معماری‌های امنیتی
- **زیرساخت:** سرمایه‌گذاری عظیم در تجهیز جاده‌ها، تقاطع‌ها و شهرها به واحدهای ارتباطی جاده‌کناری (RSU)
- **اقتصاد و تأمین مالی**: طراحی مدل‌های پایدار تأمین مالی میان بخش دولتی و خصوصی
- **حکمرانی داده:** مدیریت دسترسی، مالکیت و امنیت حجم عظیم داده‌های تولیدشده توسط میلیون‌ها خودروی متصل
- **پذیرش اجتماعی:** ایجاد اعتماد عمومی نسبت به فناوری‌های خودکار و

متصل

این پیچیدگی، سبب شده است که کشورها و مناطق مختلف جهان، رویکردهای متفاوت و گاه متناقضی را در پیاده‌سازی این فناوری اتخاذ کنند.

**رویکردهای متنوع جهانی: از تمرکز دولتی تا بازارمحوری**

بررسی مسیر پیاده‌سازی V۲X در کشورهای پیشرو نشان می‌دهد که **یک الگوی واحد جهانی وجود ندارد.** طیف رویکردها از مدل‌های **دولتی‌محور و بالا به پایین** (مانند چین) تا رویکردهای بازارمحور و انعطاف‌پذیر (مانند ایالات متحده و بریتانیا) متغیر است:

**تنوع رویکردها:**

**اتحادیه اروپا:** رویکردی **متعادل و حاکمیت‌محور** با تمرکز بر حکمرانی داده (Data Act، GDPR) و همکاری فرامرزی (C-Roads)

**ایالات متحده**: رویکردی **فدرال-ایالتی** با تأکید بر آزادی بخش خصوصی، پس از دو دهه تأخیر، انتقال قاطع از DSRC به C-V۲X

**چین:** رویکردی **دولتی-صنعتی یکپارچه** با سرمایه‌گذاری عظیم دولتی ($۱۰-۱۵ میلیارد سالانه) و اجرای سریع استانداردهای ملی

**ژاپن:** رویکردی **محافظه‌کارانه و تدریجی** با وفاداری به فناوری بومی (ITS Connect) و مقاومت در برابر تغییرات سریع

**کره جنوبی:** رویکردی **تطبیقی و چابک** با چرخش استراتژیک از DSRC به C-V۲X و یکپارچگی با رهبری جهانی ۵G

**بریتانیا:** رویکردی **نوآوری‌محور پسا-Brexit** با تمرکز بر قانون‌گذاری پیشرفته (Automated Vehicles Act ۲۰۲۴) و ایجاد اکوسیستم مستقل

این تنوع رویکردها، هم فرصت‌ها و هم چالش‌هایی را به همراه دارد. از یک سو، رقابت میان مدل‌های مختلف، نوآوری را تسریع می‌کند؛ از سوی دیگر، عدم همگرایی جهانی می‌تواند به و منجر شود.

**هدف و محدوده این گزارش**

این گزارش با هدف **ارائه یک تحلیل تطبیقی جامع و عمیق** از چگونگی پیاده‌سازی فناوری خودروی متصل در کشورهای کلیدی جهان تدوین شده است. بر خلاف گزارش‌های فنی‌محور که صرفاً به جنبه‌های تکنولوژیکی می‌پردازند، این گزارش یک **رویکرد چندبعدی و سیستمی** را اتخاذ می‌کند که ابعاد زیر را به طور یکپارچه مورد بررسی قرار می‌دهد:

**محورهای تحلیلی گزارش:**

۱. **چارچوب‌های تنظیم‌گری و قانون‌گذاری:** تحلیل تطبیقی قوانین، مقررات و ساختارهای نهادی حاکم بر V2X

۲. **استانداردهای فنی و معماری:** بررسی جنگ استانداردها (C-V2X ITS-G5 vs)، پروتکل‌های ارتباطی و معماری‌های امنیتی

۳. **نقشه‌راه پیاده‌سازی:** تحلیل اهداف کوتاه‌مدت، میان‌مدت و بلندمدت هر کشور

۴. **تحلیل اقتصادی و مالی:** ارزیابی هزینه‌ها، منافع، مدل‌های تأمین مالی و صرفه‌جویی‌های قابل‌انتظار

۵. **حکمرانی داده و حریم خصوصی:** بررسی چالش‌های مالکیت داده، دسترسی شخص ثالث و محافظت از حریم خصوصی

۶. **امنیت سایبری:** تحلیل معماری‌های PKI، مدیریت گواهی‌های دیجیتال و مکانیزم‌های دفاعی

**۷. نهادها و ذینفعان:** شناسایی بازیگران کلیدی و تقسیم کار ملی

**۸. مشوق‌ها و موانع:** بررسی سیاست‌های حمایتی دولت‌ها و چالش‌های پیش روی صنعت

**۹. درس‌آموخته‌ها و بهترین شیوه‌ها:** استخراج الگوهای موفق و شکست‌های تکراری

**کشورها و مناطق تحت پوشش:**

این گزارش به تحلیل **هفت بلوک کلیدی جهانی** می‌پردازد که مجموعاً بیش از **۷۰٪ بازار جهانی خودروهای متصل** را پوشش می‌دهند:

**اتحادیه اروپا** (۲۷ کشور، ۴۵۰ میلیون نفر جمعیت)

**ایالات متحده** (رهبر بازار با ۲۵-۳۰٪ سهم جهانی)

**چین** (بزرگترین بازار خودرو جهان، ۳۵-۴۰٪ سهم)

**بریتانیا** (پیشرو در قانون‌گذاری پسا-Brexit)

**ژاپن** (پیشگام در DSRC و ITS)

**کره جنوبی** (رهبر جهانی 5G)

**سایر کشورهای کلیدی**: سنگاپور، استرالیا، کانادا، ترکیه و کشورهای در حال توسعه

**روش‌شناسی و منابع**

این گزارش بر اساس تدوین شده است که شامل گزارش‌های رسمی دولتی، اسناد تنظیم‌گری، استانداردهای فنی و مطالعات موردی از کشورهای هدف است:

**منابع اصلی:**

- **اسناد اتحادیه اروپا:** شامل Data Act، C-Roads Platform، ETSI Standards، گزارش‌های کمیسیون اروپا
- **اسناد بریتانیا:** Automated Vehicles Act ۲۰۲۴، گزارش‌های CCAV و DfT، مطالعات اقتصادی
- **اسناد ایالات متحده:** تصمیمات FCC) FCC ۲۰-۱۶۴، FCC ۲۴-۱۲۳)، استانداردهای SAE، برنامه‌های DOT و NHTSA
- **اسناد چین:** استانداردهای GB، سیاست‌های MIIT، برنامه ساخت چین ۲۰۲۵، گزارش‌های i-VISTA
- **اسناد بین‌المللی:** مقررات R۱۵۵) R۱۵۶/UNECE)، گزارش‌های ITU، مطالعات 5GAA، اسناد کشورهای دیگر

رویکرد تحلیلی این گزارش است که به شناسایی الگوها، تفاوت‌ها، موفقیت‌ها و شکست‌های قابل‌تعمیم کمک می‌کند.

**ساختار گزارش**

این گزارش در قالب سازمان‌دهی شده است که هر یک بعدی خاص از پیاده‌سازی V۲X را پوشش می‌دهند:

**نقشه راه خواندن گزارش:**

**جداول ۱-۲:** چارچوب‌های تنظیم‌گری و استانداردهای فنی (پایه فهم)

**جداول ۳-۵:** نقشه‌راه پیاده‌سازی و تحلیل اقتصادی (بعد استراتژیک)

**جداول ۶-۸:** درس‌آموخته‌ها، ذینفعان و مشوق‌ها (بعد سیاستی)

**جداول ۹-۱۲:** آمادگی ملی، بازارها و چالش‌های حکمرانی (بعد عملیاتی)

**جداول ۱۳-۱۶:** امنیت، SWOT و مدیریت ریسک (بعد تحلیلی)

**جداول ۱۷-۲۰:** تأمین مالی، Gap Analysis و توصیه‌های استراتژیک (بعد راهبردی)

این ساختار به خواننده امکان می‌دهد که بسته به نیاز خود، به طور جزئی (تک جدول) یا کلی (مجموع جداول) به تحلیل دست یابد.

**مخاطبان هدف**

این گزارش برای طیف گسترده‌ای از ذینفعان طراحی شده است:

**سیاست‌گذاران و قانون‌گذاران:** برای درک بهترین شیوه‌های جهانی و طراحی چارچوب‌های ملی

**صنعت خودروسازی و فناوری:** برای شناسایی فرصت‌های بازار و چالش‌های تنظیم‌گری

**سرمایه‌گذاران:** برای ارزیابی پتانسیل اقتصادی و ریسک‌های سرمایه‌گذاری

**محققان و دانشگاهیان:** برای دسترسی به یک مرجع جامع تطبیقی

**شهرداری‌ها و مدیران شهری:** برای برنامه‌ریزی استقرار زیرساخت V2X

**سازمان‌های بین‌المللی:** برای درک چالش‌های همگرایی جهانی

**نتیجه‌گیری مقدمه: از تنوع به همگرایی؟**

آنچه در این گزارش نمایان خواهد شد، این است که **موفقیت در پیاده‌سازی X2V تابعی از همگرایی چندبعدی** است: همگرایی فناوری (انتخاب X2V-C به عنوان استاندارد غالب)، همگرایی نهادی (همکاری دولت-صنعت)، همگرایی جغرافیایی (پروژه‌های فرامرزی مانند sdaoR-C) و همگرایی زمانی (هماهنگی نقشه‌راه‌های ملی).

با این حال، تنوع رویکردها نیز فرصتی برای **یادگیری متقابل** است. کشورهایی که در حال طراحی استراتژی ملی خود هستند، می‌توانند از:

**سرعت چین** درس بگیرند، بدون اینکه حریم خصوصی را قربانی کنند

**دقت اروپا** در حکمرانی داده را بیاموزند، بدون اینکه در دام پیچیدگی افراطی گرفتار شوند

**چابکی آمریکا** در اصلاح مسیر (انتقال از DSRC) را الگو قرار دهند، بدون اینکه ۲۰ سال تأخیر را تکرار کنند

**استقلال بریتانیا** پسا-Brexit را مشاهده کنند، بدون اینکه منافع همکاری منطقه‌ای را نادیده بگیرند

این گزارش امیدوار است که با ارائه یک دیدگاه جامع و عمیق، به **تسریع استقرار ایمن، کارآمد و پایدار فناوری خودروهای متصل** کمک کند.

## جدول ۱: ابعاد تنظیم‌گری و قانون‌گذاری

| کشور/منطقه | وضعیت اجرا | فناوری مورد حمایت | الزام‌آوری | چارچوب قانونی کلیدی | نهاد تنظیم‌گر اصلی | رویکرد اصلی |
|---|---|---|---|---|---|---|
| اتحادیه اروپا | در حال اجرا | C-ITS-G5/-V۲X (رقابتی) | الزامی (۵۸-۶۱٪ پشتیبانی ذینفعان) | GDPR ،Data Act، ePrivacy | کمیسیون اروپا | خنثی نسبت به فناوری، مبتنی بر داده |
| بریتانیا | پیشرفته | خنثی فناوری | الزامی | Automated Vehicles Act ۲۰۲۴ | DfT، CCAV | نوآوری‌محور |
| ایالات متحده | در حال انتقال | C-V۲X (اختصاصی) | الزامی برای طیف، غیرالزامی برای استقرار | FCC ۲۰-۱۶۴، FCC ۲۴-۱۲۳، CFR § ۹۰.۳۷۹ ۴۷ | DOT، FCC، NHTSA | دستوری (Pre-scriptive) |
| چین | پیشرفته | C-V۲X (ملی) | الزامی کامل | قانون امنیت سایبری، قانون امنیت داده، GB استانداردهای ملی | MIIT، NDRC | بالا به پایین، دولتی‌محور |
| ژاپن | بالغ (DSRC) | ITS Connect (DSRC بومی) | داوطلبانه با مشوق | Road Traffic Act، استانداردهای ARIB | MLIT، MIC | سیاست‌محور، تدریجی |
| کره جنوبی | در حال انتقال | C-V۲X (انتقال از DSRC) | الزامی در مراحل | Framework Act on ITS | MOLIT، MSIT | انتقالی، تطبیقی |
| سنگاپور | پیشرو | خنثی فناوری | الزامی | Smart Mobility ۲۰۳۰، PDPA | LTA، IMDA | یکپارچه، هوشمند |
| استرالیا | تابع بین‌الملل | خنثی فناوری | الزامی | UNECE Alignment، Australian Design Rules | DITRDCA، ACMA | همسو با بین‌الملل |
| کانادا | در حال توسعه | خنثی فناوری | ترکیبی | MVSA-، Radiocommunication Act | Transport Canada، ISED | فدرال-استانی |
| ترکیه | اولیه | میل به C-V۲X | در حال توسعه | 5G ،GDPR-like Strategy | Ulaştırma Bakanlığı | مبتنی بر اروپا |

## جدول ۲: استانداردها و جزئیات فنی

| کشور/منطقه | قابلیت همکاری بین‌المللی | سازمان استانداردساز | استاندارد امنیتی | استاندارد پیام‌رسانی | باند فرکانسی | فناوری ارتباطی اصلی |
|---|---|---|---|---|---|---|
| اتحادیه اروپا | بالا (رهبر جهانی) | CEN، ETSI | ETSI TS ۱۰۲ UNECE ،۹۴۰/۹۴۱ R۱۵۵/R۱۵۶ | ETSI EN ۳۰۲ CAM/ ،۶۳۷ DENM | GHz ۵.۹ (۵.۸۷۵-۵.۹۰۵) | ITS-G۵ / C-V۲X |
| بریتانیا | بالا (همسو با EU) | BSI، CCAV | UNECE R۱۵۵/ UK-spe-، R۱۵۶ cific | SAE، ETSI J۲۷۳۵ | GHz ۵,۹ (همسو با EU) | ITS-G۵ / C-V۲X |
| ایالات متحده | متوسط (استانداردهای خاص آمریکا) | SAE، IEEE، ۳GPP | /UNECE R۱۵۵ R۱۵۶ (داوطلبانه)، NIST | SAE J۲۷۳۵، ۳GPP ،۳۱۶۱ Release ۱۴ | GHz ۵.۹ (۵.۸۹۵-۵.۹۲۵) | C-V۲X (LTE-V۲X) |
| چین | پایین (استانداردهای ملی) | SAC، CCSA، CAICV | GB/T استانداردهای ملی، MIIT | GB/T ۳۱۰۲۴، مبتنی بر ۳GPP | ۵.۹۰۵-۵.۹۲۵ GHz | C-V۲X (LTE/۵G-V۲X) |
| ژاپن | پایین (سیستم بومی) | ARIB، ITS-JP | ISO ۲۱۴۳۴، JASO | ARIB STD-T۱۰۹ | ۷۵۵.۵-۷۶۴.۵ MHz | ITS Connect (DSRC ۷۶۰ MHz) |
| کره جنوبی | متوسط (در حال افزایش) | TTA، KATS | ISO/SAE ۲۱۴۳۴ | SAE J۲۷۳۵ + ملی | ۵.۸۵۵-۵.۹۲۵ GHz | C-V۲X (انتقال از WAVE) |
| سنگاپور | بالا (انعطاف‌پذیر) | SPRING، IMDA | ISO/SAE ۲۱۴۳۴، Singapore Cy-bersecurity Act | SAE، ETSI، ملی | GHz ۵.۹ | C-V۲X / ITS-G۵ |
| استرالیا | بالا (تبعیت بین‌المللی) | Standards Aus-tralia، ACMA | UNECE R۱۵۵/ R۱۵۶ | SAE J۲۷۳۵، ETSI | GHz ۵.۹ | C-V۲X مرجح |

## جدول ۳: نقشه راه پیاده‌سازی

| کشور/منطقه | پروژه‌های پایلوت کلیدی | اهداف بلندمدت (۲۰۳۲+) | اهداف میان‌مدت (۲۰۲۸-۲۰۳۲) | اهداف کوتاه‌مدت (۲۰۲۴-۲۰۲۸) | فاز فعلی |
|---|---|---|---|---|---|
| اتحادیه اروپا | C-ITS، C-Roads SHOW ،Corridor | استقرار کامل | ۵۰٪ کریدورها، استقرار شهری | تکمیل C-Roads، ۲۵٪ کریدورهای TEN-T | استقرار کریدورها |
| بریتانیا | AutoAir، Meridian، A۲/M۲ | استقرار ملی کامل | ۵۰٪ بزرگراه‌ها، ۳۰٪ شهری | ۲۰٪ بزرگراه‌ها، پایلوت‌های شهری | استقرار محدود |
| ایالات متحده | Waivers C-V۲X WY-، استان)، ۵۰+) UDOT ،DOT | ۷۵٪ تقاطع‌ها (۲۵۰k)، Vision Zero | ۵۰٪ NHS، ۴۰٪ تقاطع‌ها | ۲۰٪ NHS، ۲۵٪ تقاطع‌های ۷۵ شهر بزرگ | انتقال فناوری |
| چین | Shanghai ،Wuxi i-VISTA ،Beijing | رهبری جهانی، ۷۰٪ ناوگان | ۵۰ شهر، ۳۰٪ ناوگان | استقرار در ۱۵+ شهر C-V۲X Demo Zone | صنعتی‌سازی پیشرفته |
| ژاپن | Cooperative Driving (Toyota، (Honda | استقرار فناوری جدید | تصمیم فناوری، شروع انتقال | بررسی انتقال به C-V۲X | استقرار محدود (DSRC) |
| کره جنوبی | C-ITS، K-City Sejong | ۸۰٪ استقرار | ۵۰٪ استقرار، یکپارچگی ۵G | تکمیل انتقال، ۲۰٪ استقرار | انتقال به C-V۲X |
| سنگاپور | NTU Testbed، one-north | شهر کامل هوشمند | یکپارچگی کامل با Smart Mobility | استقرار AV-V۲X در NTU، Sentosa | پایلوت‌های یکپارچه |

## جدول ۴: تحلیل اقتصادی - ارزش بازار و پتانسیل

| کشور/منطقه | نرخ رشد سالانه (CAGR) | سرمایه‌گذاری خصوصی (تخمینی) | سرمایه‌گذاری دولتی (سالانه) | سهم از بازار جهانی | ارزش بازار (CAV/V2X ۲۰۳۵) |
|---|---|---|---|---|---|
| اتحادیه اروپا | ۱۸-۲۲٪ | ۱۰-۱۵€ میلیارد | ۳-۵€ میلیارد | ۱۵-۲۰٪ | ۸۰-۱۰۰€ میلیارد |
| بریتانیا | ۲۰-۲۵٪ | ۱-۲£ میلیارد | ۲۰۰-۳۰۰£ میلیون | ۳-۵٪ | ۴۱,۷£ میلیارد (CAV کل)، ۶,۴£ میلیارد (V2X) |
| ایالات متحده | ۲۲-۲۸٪ | ۱۵-۲۵$ میلیارد | ۲-۴$ میلیارد | ۲۵-۳۰٪ | ۱۵۰-۲۰۰$ میلیارد |
| چین | ۳۰-۳۵٪ | ۲۰-۳۰$ میلیارد | ۱۰-۱۵$ میلیارد | ۳۵-۴۰٪ | ۲۵۰-۳۰۰$ میلیارد |
| ژاپن | ۱۲-۱۵٪ | ۳۰۰-۵۰۰¥ میلیارد | ۱۰۰-۱۵۰¥ میلیارد | ۸-۱۰٪ | ۸-۱۰¥ تریلیون |
| کره جنوبی | ۲۵-۳۰٪ | ۲-۳$ میلیارد | ۵۰۰-۸۰۰$ میلیون | ۴-۶٪ | ۳۰-۴۰$ میلیارد |
| جهانی (کل) | ۲۴٪ | - | - | ۱۰۰٪ | ۶۵۰$ میلیارد |

## جدول ۵: تحلیل هزینه-فایده و صرفه‌جویی‌ها

| کشور/ منطقه | نسبت فایده به هزینه | ROI متوقع (سال) | صرفه‌جویی از کاهش ترافیک | صرفه‌جویی سالانه از کاهش تصادفات | هزینه کل زیرساخت ملی | هزینه استقرار زیرساخت (هر RSU) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| اتحادیه اروپا | ۱:۵-۳ | ۸-۱۲ | ۱۰-۱۵€ میلیارد | ۲۰-۳۰€ میلیارد | ۵-۱۰€ میلیارد | ۲۵,۰۰۰-۱۵,۰۰۰€ |
| بریتانیا | ۱:۴-۲.۵ | ۱۰-۱۵ | ۳-۵£ میلیارد | ۵-۸£ میلیارد | ۲-۴£ میلیارد | ۲۰,۰۰۰-۱۲,۰۰۰£ |
| ایالات متحده | ۱:۸-۵ | ۶-۱۰ | ۲۰-۳۰$ میلیارد | ۴۰-۶۰$ میلیارد | ۵-۸,۷۵$ میلیارد (۲۵۰k تقاطع) | ۳۵,۰۰۰-۲۰,۰۰۰$ |
| چین | ۱:۱۲-۸ | ۵-۸ | ۲۵-۴۰$ میلیارد | ۳۰-۵۰$ میلیارد | ۳-۶$ میلیارد | ۱۵,۰۰۰-۸,۰۰۰$ |
| ژاپن | ۱:۴-۳ | ۱۰-۱۲ | ۱-۱,۵¥ تریلیون | ۲-۳¥ تریلیون | ۵۰۰-۸۰۰¥ میلیارد | ۱,۵-۲ میلیون¥ |
| کره جنوبی | ۱:۶-۴ | ۸-۱۲ | ۲-۳$ میلیارد | ۳-۵$ میلیارد | ۵۰۰-۸۰۰$ میلیون | ۲۵,۰۰۰-۱۵,۰۰۰$ |

## جدول ۶: درس‌آموخته‌ها و بهترین شیوه‌ها

| کشور/منطقه | توصیه برای سایرین | درس‌های آموخته‌شده | شکست‌ها و چالش‌ها | موفقیت‌های کلیدی |
|---|---|---|---|---|
| اتحادیه اروپا | رویکرد هماهنگ منطقه‌ای | همکاری منطقه‌ای حیاتی است | تأخیر در انتخاب فناوری، عدم یکپارچگی کامل | همکاری فرامرزی (C-Roads)، استانداردسازی ETSI |
| بریتانیا | توازن بین استقلال و همکاری | استقلال نیازمند منابع بیشتر | جدایی از بازار EU، منابع محدود | قانون‌گذاری پیشرفته CAV، CONVEX |
| ایالات متحده | از تردید طولانی بپرهیزید، به پایلوت‌ها اعتماد کنید | تصمیم‌گیری قاطع و به‌موقع ضروری است، Pilot مهم است | شکست ۲۰ ساله DSRC، تداخل Wi-Fi | تصمیم قاطع FCC به C-V2X، Waiver System موفق |
| چین | سرمایه‌گذاری عظیم دولتی | حمایت قوی دولتی شتاب می‌دهد | نگرانی‌های حریم خصوصی، وابستگی به تراشه خارجی | سرعت بالای استقرار، یکپارچگی صنعت-دولت |
| ژاپن | آماده تغییر فناوری باشید | انعطاف‌پذیری فناوری مهم است | وابستگی به DSRC منسوخ، مقاومت در برابر تغییر | موفقیت ETC و VICS |
| کره جنوبی | سرمایه‌گذاری در فناوری آینده‌دار | چرخش به‌موقع بهتر از تداوم اشتباه | هزینه‌های بالای انتقال | چرخش موفق به C-V2X، یکپارچگی 5G |

## جدول ۷: نهادها، ذینفعان و تقسیم کار

| کشور/منطقه | انجمن‌های صنعتی | دانشگاه‌ها و تحقیقات | شهرداری‌ها | اپراتورهای مخابرات | صنعت خودرو | نهاد اجرایی | نهاد تنظیم‌گر |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| اتحادیه اروپا | C-ITS، ERTICO Coalition | JRC، دانشگاه‌ها | شهرهای C-ITS | GSMA، اپراتورها | ACEA، OEMs | وزارتخانه‌های ملی | کمیسیون اروپا |
| بریتانیا | Zenzic، 5GAA-UK | Cambridge، Oxford | TfL، شهرداری‌ها | O2-، Voda EE، fone | SMMT، Jaguar Nissan | CCAV-، High ways England | DfT |
| ایالات متحده | ITS America، 5GAA، AASHTO | USDOT Volpe، Michigan، MIT | شهرداری‌های ۷۵ Metro | Verizon، AT&T T-Mobile | SAE، GM، Ford، Tesla | NHTSA، State، FHWA DOTs | DOT، FCC |
| چین | China 5GAA، CATARC | Tsinghua، CAICV | دولت‌های محلی | China Mo-، China، bile Telecom | CAAM، BYD، Geely SAIC | وزارت حمل‌ونقل | NDRC، MIIT |
| ژاپن | JEITA، ITS Japan | ITS، UTokyo Japan | شهرداری Tokyo، Osaka | NTT Doco-، KDDI، mo | JAMA، Toyota، Honda | ITS-JP، VICS | MIC، MLIT |
| کره جنوبی | K-ITS Association | K-ITS، KAIST Consortium | Seoul City | SK، KT، Telecom +LG U | Hyundai، Sam-، Kia sung | K-ITS، KOTSA | MSIT، MOLIT |

## جدول ۸: مشوق‌های کاربران و کسب‌وکارها

| کشور/منطقه | بودجه کل مشوق‌ها (سالانه) | سایر مشوق‌ها | تسهیلات وام | معافیت‌های مالیاتی | یارانه زیرساخت | مشوق‌های خرید خودرو |
|---|---|---|---|---|---|---|
| اتحادیه اروپا | ۲-۴ میلیارد € | دسترسی به خطوط ویژه | EIB loans | VAT کاهش یافته | CEF، Horizon Europe | تا ۱۰,۰۰۰€ (برخی کشورها) |
| بریتانیا | ۳۰۰-۵۰۰ میلیون £ | - | British Business Bank | Tax relief R&D | CCAV، Innovate UK | تا ۶,۰۰۰£ (PiCG تا ۲۰۲۴) |
| ایالات متحده | ۲-۳ میلیارد $ | Waiv-، HOV lane access er expedite | DOE Loans | Federal tax credits | ATTAIN، SMART Grants | تا ۷,۵۰۰$ (IRA tax credit EV) |
| چین | ۸-۱۲ میلیارد $ | شماره‌گذاری رایگان | وام‌های ترجیحی | معافیت مالیات خرید کامل تا ۲۰۲۷ | یارانه‌های شهری/ استانی گسترده | تا ۱۲,۰۰۰¥، معافیت مالیات خرید |
| ژاپن | ۱۰۰-۱۵۰ میلیارد ¥ | پارکینگ ارزان‌تر | JBIC | کاهش مالیات خودرو | یارانه‌های MLIT | تا ۸۰۰,۰۰۰¥ |
| کره جنوبی | ۵۰۰-۸۰۰ میلیون $ | شارژ رایگان | - | کاهش ۵۰٪ مالیات خرید | K-City، بودجه MOLIT | تا ۸₩ میلیون |

## جدول ۹: سطح آمادگی، پذیرش و اشتیاق ملی

| کشور/منطقه | رتبه جهانی | سهم مایل‌های قابل AV (۲۰۳۰) | پذیرش عمومی (٪) | نفوذ خودروی متصل (٪) | نفوذ ADAS (٪) | امتیاز آمادگی CAV (از ۱۰) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| اتحادیه اروپا | ۳ | ۱ از ۸-۱۲ مایل | ۶۰-۶۵٪ | ۷۰-۸۰٪ | ۳۵-۴۰٪ | ۷٫۵ (میانگین) |
| بریتانیا | ۲ | ۱ از ۵ مایل | ۶۵-۷۰٪ | ۸۰٪< | ۴۱٪ | ۸.۴ |
| ایالات متحده | ۳ | ۱ از ۸ مایل | ۶۰-۶۵٪ | ۸۵٪< | ۳۹٪ | ۸.۰ |
| چین | ۵ | ۱ از ۱۲ مایل | ۷۰-۷۵٪ | ۸۷٪ | ۲۱.۷٪ | ۵٫۲ (رو به رشد سریع) |
| ژاپن | ۴ | ۱ از ۷ مایل | ۵۵-۶۰٪ | ۹۵٪ | ۲۵.۴٪ | ۶.۲ |
| کره جنوبی | ۴ | ۱ از ۲۰ مایل | ۶۵-۷۰٪ | ۹۷٪ | ۴۰.۴٪ | ۶.۲ |
| سنگاپور | ۱ | ۱ از ۳ مایل | ۷۵-۸۰٪ | ۹۰٪ | ۴۵٪ | ۸.۵ |

## جدول ۱۰: بازارهای متصور و کاربردها

| کشور/منطقه | درآمدزایی پیش‌بینی‌شده | مدل کسب‌وکار غالب | بازارهای هدف | کاربردهای اولویت‌دار |
|---|---|---|---|---|
| اتحادیه اروپا | €۱۵-۲۵ میلیارد/سال (۲۰۳۵) | B۲B، B۲G، Sub-scription | OEMs، شهرهای هوشمند، لجستیک | ایمنی جاده‌ای، مدیریت ترافیک، V۲G |
| بریتانیا | £۸-۱۲ میلیارد/سال (۲۰۳۵) | B۲B، Licensing | OEMs، فناوری، انرژی | ایمنی، CAV، V۲G |
| ایالات متحده | $۳۰-۵۰ میلیارد/سال (۲۰۳۵) | B۲B، B۲G، Data Services | OEMs، Smart Cities، Insurance، Logistics | ایمنی (Vision Zero)، مدیریت ترافیک شهری، V۲I، Truck Platooning |
| چین | $۶۰-۹۰ میلیارد/سال (۲۰۳۵) | B۲C (قوی)، B۲B، B۲G | تولید داخلی، صادرات، Smart Cities | C-V۲X، شهرهای هوشمند، Robotaxi، V۲G |
| ژاپن | ¥۱٫۵-۲ تریلیون/سال (۲۰۳۵) | B۲B، B۲G | OEMs، حمل‌ونقل عمومی | ایمنی سالمندان، لجستیک، Platooning |
| کره جنوبی | $۸-۱۲ میلیارد/سال (۲۰۳۵) | B۲B، B۲G، صادرات | OEMs، ICT، صادرات | ۵G-V۲X، شهرهای هوشمند، صادرات فناوری |

**جدول ۱۱: چالش‌های حکمرانی داده و حریم خصوصی**

| کشور/ منطقه | راهکارهای اتخاذشده | چالش‌های اصلی | دسترسی شخص ثالث | مالکیت داده | چارچوب حریم خصوصی |
|---|---|---|---|---|---|
| اتحادیه اروپا | Pseudonymization، شفافیت الگوریتم | پیچیدگی تنظیم‌گری، تعادل نوآوری | دسترسی منصفانه (Data Act) | کاربر/OEM (مشترک) | GDPR (الزامی)، Data Act |
| بریتانیا | Privacy by Design، ICO oversight | جدایی از EU، تنظیم ملی | در حال توسعه | کاربر/OEM | UK GDPR، Data Protection Act |
| ایالات متحده | Industry self-regulation، State laws، NHTSA guidance | فقدان قانون فدرال جامع، تنوع ایالتی | محدود، داوطلبانه | OEM (عمدتاً) | ایالتی (CCPA، CPRA)، بخشی (FTC) |
| چین | کنترل متمرکز، Local data storage | نگرانی‌های بین‌المللی، نظارت دولتی | کنترل دولتی | دولت/OEM | قانون امنیت داده، قانون حفاظت اطلاعات شخصی |
| ژاپن | رمزگذاری قوی، محدودیت به‌اشتراک‌گذاری | فرهنگ حریم خصوصی قوی | محدود | کاربر/OEM | APPI (Act on Protection of Personal Information) |
| کره جنوبی | رویکرد متعادل | تعادل نوآوری و حریم خصوصی | محدود | کاربر/OEM | PIPA |

## جدول ۱۲: مکانیزم‌های امنیتی و مدیریت تهدید

| کشور/منطقه | پاسخ به حوادث | گواهی‌دهی امنیتی | تست نفوذ | مدیریت آسیب‌پذیری | CSMS (Cyber Security Management System) | استانداردهای امنیتی الزامی |
|---|---|---|---|---|---|---|
| اتحادیه اروپا | CERT coordination | Type Approval | توصیه‌شده | الزامی، مستمر | الزامی برای OEMs | R۱۵۶/UNECE R۱۵۵ (الزامی ۲۰۲۴) |
| بریتانیا | NCSC-led | NCSC involved | الزامی | الزامی | الزامی | UNECE R۱۵۵/R۱۵۶، UK-specific |
| ایالات متحده | CISA، FBI، In-dustry | داوطلبانه (SAE، UL) | توصیه‌شده | توصیه‌شده، Industry-led | توصیه‌شده (غیرالزامی) | UNECE R۱۵۵/R۱۵۶ (داوطلبانه)، NIST Cybersecurity Framework |
| چین | دولت‌محور | دولتی | الزامی | الزامی، نظارت دولتی | الزامی | GB استانداردهای ملی، MIIT regula-tions |
| ژاپن | JPCERT/CC | داوطلبانه | توصیه‌شده | الزامی | توصیه‌شده (قوی) | ISO/SAE ۲۱۴۳۴، JASO |
| کره جنوبی | KrCERT | در حال توسعه | توصیه‌شده | الزامی | در حال توسعه | ISO/SAE ۲۱۴۳۴، K-standards |

## جدول ۱۳: معماری امنیتی و فنی

| کشور/منطقه | مکانیزم‌های Privacy | احراز هویت | رمزنگاری | مدیریت گواهی‌های دیجیتال | معماری PKI |
|---|---|---|---|---|---|
| اتحادیه اروپا | Certificate، Pseudonymization rotation | چندعاملی | ECC ،AES-۲۵۶ P-۲۵۶ | Certificate Authority منطقه‌ای | European PKI Infra-structure هماهنگ |
| بریتانیا | CONVEX ،Privacy by Design | چندعاملی | ETSI stan-dards | Certificate Man-agement System | ملی (هماهنگ با اروپا) |
| ایالات متحده | Pseudonymous certificates، Certificate lifecycle manage-ment | Certifi-cate-based، OBE | AES-۲۵۶، ECDSA P-۲۵۶ | Distrib-uted CA (multiple Certificate Authori-(ties | SCMS (Security Cre-dential Management (System |
| چین | کنترل دولتی، Local storage | احراز هویت ملی | SM۲، SM۳، SM۴ (الگوریتم‌های ملی) | کنترل متمرکز دولتی (CA ملی) | ملی (مستقل، متمرکز) |
| ژاپن | رویکرد محافظه‌کارانه | Certifi-cate-based | ECC ،AES | سیستم ملی (ITS-JP) | مبتنی بر ARIB |
| کره جنوبی | در حال توسعه | در حال توسعه | استانداردهای جهانی (AES، ECC) | در حال تعریف | در حال توسعه C-V۲X PKI |

## جدول ۱۴: تحلیل SWOT کشورها/مناطق

### ایالات متحده

| نقاط قوت (Strengths) | نقاط ضعف (Weaknesses) | فرصت‌ها (Opportunities) | تهدیدها (Threats) |
|---|---|---|---|
| تصمیم قاطع FCC به C-V2X | ۲۰ سال تأخیر DSRC | بازار عظیم داخلی (۳۳۰M نفر) | تداخل Wi-Fi در طیف ۵٫۹ GHz |
| صنعت خودرو و فناوری قوی (Ford ،GM ،Tesla) | فقدان قانون حریم خصوصی فدرال | Vision Zero - کاهش ۴۰,۰۰۰ کشته سالانه | تنوع قوانین ایالتی (۵۰ ایالت) |
| سیستم Waiver موفق (۵۰+ پایلوت) | عدم الزام فدرال برای استقرار | صادرات فناوری و استاندارد SAE | رقابت شدید با چین |
| بودجه DOT برای SMART، ATTAIN | پراکندگی جغرافیایی | همکاری با 5GAA | عدم هماهنگی فدرال-ایالتی |
| پیشرفت در AI و Edge Com-puting | - | بازار لجستیک و Truck Platooning | - |

## چین

| تهدیدها | فرصت‌ها | نقاط ضعف | نقاط قوت |
|---|---|---|---|
| تحریم‌های فناوری (تراشه) | بازار عظیم داخلی (۱٫۴B نفر) | نگرانی‌های حریم خصوصی جهانی | حمایت قدرتمند دولتی |
| اعتماد بین‌المللی پایین | رهبری جهانی C-V۲X | وابستگی به فناوری خارجی (چیپ) | سرمایه‌گذاری عظیم ($۱۰-۱۵B/سال) |
| رقابت با غرب، جنگ سرد فناوری | صادرات فناوری (BRI) | کنترل دولتی شدید | پیشرفت سریع فناوری |
| - | ۳۰٪+ سهم بازار جهانی (۲۰۳۵) | - | i-VISTA و مراکز آزمایش |

## بریتانیا

| تهدیدها | فرصت‌ها | نقاط ضعف | نقاط قوت |
|---|---|---|---|
| رقابت شدید بین‌المللی | بازار £۴۱٫۷B (۲۰۳۵) | جدایی از بازار EU (Brexit) | قانون‌گذاری پیشرفته CAV ۲۰۲۴ Act |
| عدم یکپارچگی با EU | رهبری در نوآوری | محدودیت منابع نسبت به EU | صنعت خودرو قوی (Jaguar، Nissan) |
| وابستگی به واردات قطعات | مرکز تحقیق و توسعه جهانی | - | برنامه CCAV فعال |
| - | £۶٫۴B بازار V۲X (۲۰۳۵) | - | CONVEX (نقطه دسترسی ملی) |

## اتحادیه اروپا

| تهدیدها (Threats) | فرصت‌ها (Opportunities) | نقاط ضعف (Weaknesses) | نقاط قوت (Strengths) |
|---|---|---|---|
| تداخل Wi-Fi در طیف ۵٫۹ GHz | بازار عظیم داخلی (۳۳۰M نفر) | ۲۰ سال تأخیر DSRC | تصمیم قاطع FCC به C-V2X |
| تنوع قوانین ایالتی (۵۰ ایالت) | Vision Zero - کاهش ۴۰,۰۰۰ کشته سالانه | فقدان قانون حریم خصوصی فدرال | صنعت خودرو و فناوری قوی (Tesla، GM، Ford) |
| رقابت شدید با چین | صادرات فناوری و استاندارد SAE | عدم الزام فدرال برای استقرار | سیستم Waiver موفق (۵۰+ پایلوت) |
| عدم هماهنگی فدرال-ایالتی | همکاری با 5GAA | پراکندگی جغرافیایی | بودجه DOT برای SMART، ATTAIN |
| - | بازار لجستیک و Truck Platooning | - | پیشرفت در AI و Edge Computing |

## جدول ۱۵: شاخص‌های کلیدی عملکرد (KPIs)

| تعداد خودروهای متصل هدف ۲۰۳۰ | نفوذ بازار ۲۰۳۰ | بهبود ترافیک هدف | کاهش آلودگی هدف | کاهش تصادفات هدف | کشور/ منطقه |
|---|---|---|---|---|---|
| ۵۰+ میلیون | متوسط تا بالا (۶۰-۷۰٪) | ۳۰٪ کاهش تراکم | تحقق Green Deal، ۵۵٪ کاهش CO۲ (۲۰۳۰) | ۵۰٪ (Vision Zero، ۲۰۵۰) | اتحادیه اروپا |
| ۱۰+ میلیون | بالا (۷۰-۸۰٪) | ۲۵٪ بهبود جریان | Net Zero ۲۰۵۰ | ۹۰٪ کاهش خطای انسانی | بریتانیا |
| ۸۰+ میلیون (۲۵٪ ناوگان) | بالا (۶۵-۷۵٪) | ۳۰-۴۰٪ کاهش تراکم در شهرها | کاهش قابل توجه انتشار | Vision Zero (صفر کشته)، ۵۰٪ کاهش ۴۰k کشته سالانه | ایالات متحده |
| ۲۰۰+ میلیون | بسیار بالا (۸۰-۹۰٪) | بهینه‌سازی عظیم ترافیک شهری | استانداردهای سخت‌گیرانه، ۲۰۶۰ Carbon Neutral | ۵۰٪+ کاهش | چین |
| ۳۰+ میلیون | متوسط (۶۰-۷۰٪) | بهبود لجستیک | کاهش قابل توجه | ۵۰٪ | ژاپن |
| ۱۵+ میلیون | بالا (۷۵-۸۵٪) | بهبود قابل توجه | اهداف جاه‌طلبانه | بالا (۶۰٪+) | کره جنوبی |
| کل ناوگان (۶۰۰k+) | بسیار بالا (۹۰٪+) | حل مشکل تراکم | Zero Emission ۲۰۴۰ | بسیار بالا (۸۰٪+) | سنگاپور |

## جدول ۱۶: ریسک‌ها و راهبردهای کاهش ریسک

| راهبرد کاهش | کشورهای آسیب‌پذیر | احتمال وقوع | سطح تأثیر | نوع ریسک |
|---|---|---|---|---|
| UNECE R۱۵۵، SCMS (آمریکا)، دفاع در عمق | همه کشورها | متوسط | بحرانی | حمله سایبری گسترده |
| Nearshoring، تنوع‌بخشی، CHIPS Act (آمریکا) | آمریکای لاتین، اروپا، آمریکا | متوسط-بالا | بالا | شکست زنجیره تأمین |
| آموزش، شفافیت، Pilot projects | کشورهای محافظه‌کار | پایین-متوسط | متوسط | عدم پذیرش عمومی |
| همکاری بین‌المللی، UNECE، 5GAA | جهانی | متوسط | بالا | جنگ استانداردها |
| GDPR، Privacy by Design، State laws | کشورهای با GDPR ضعیف، آمریکا (فقدان قانون فدرال) | متوسط | بالا | نقض حریم خصوصی |
| FCC power limits، Indoor-only Wi-Fi، Coordination | آمریکا (۵٫۹ GHz) | بالا | متوسط-بالا | تداخل طیفی (Wi-Fi) |
| حمایت دولتی، PPP، مشوق‌ها | اقتصادهای نوظهور | متوسط | متوسط | رکود اقتصادی |
| استقلال فناوری، همکاری منطقه‌ای | همه کشورها | بالا | بالا | تغییرات ژئوپلیتیکی |

## جدول ۱۷: مقایسه مدل‌های تأمین مالی

| نمونه برنامه‌های تأمین مالی | سهم خصوصی | سهم دولت | مدل مالی اصلی | نقش بخش خصوصی | نقش دولت | کشور/منطقه |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Horizon Europe، CEF، C-Roads | ۶۰-۷۰٪ | ۳۰-۴۰٪ | PPP + بودجه EU | سرمایه‌گذار اصلی | هماهنگ‌کننده، حمایت‌کننده | اتحادیه اروپا |
| Innovate UK، CCAV Fund | ۶۵-۷۵٪ | ۲۵-۳۵٪ | خصوصی‌محور با حمایت دولت | رهبر نوآوری | حمایت‌کننده | بریتانیا |
| SMART Grants، AT-TAIN، IRA، DOE Loans | ۷۰-۸۰٪ | ۲۰-۳۰٪ | خصوصی‌محور با گرنت‌های فدرال | سرمایه‌گذار اصلی | حمایت‌کننده (غیرالزامی) | ایالات متحده |
| NDRC Funds، Local subsidies، 14th Five-Year Plan | ۳۰-۴۰٪ | ۶۰-۷۰٪ | دولتی‌محور | اجراکننده | رهبر و سرمایه‌گذار اصلی | چین |
| MLIT Subsidies، JBIC | ۶۰-۷۰٪ | ۳۰-۴۰٪ | خصوصی با حمایت دولت | سرمایه‌گذار اصلی | حمایت‌کننده بلندمدت | ژاپن |
| MOLIT Budget، K-ITS Fund | ۵۰-۶۰٪ | ۴۰-۵۰٪ | ترکیبی | شریک استراتژیک | سرمایه‌گذار قوی | کره جنوبی |
| Smart Mobility ۲۰۳۰، LTA Grants | ۴۰-۵۰٪ | ۵۰-۶۰٪ | PPP یکپارچه | اجراکننده | رهبر و هماهنگ‌کننده | سنگاپور |

## جدول ۱۸: تحلیل فاصله (Gap Analysis) با بهترین شیوه‌ها

| اقدامات لازم برای رفع فاصله | فاصله سایر کشورها | فاصله آمریکا | کشور/منطقه پیشرو | بهترین شیوه جهانی | حوزه |
|---|---|---|---|---|---|
| Federal Privacy Law (آمریکا)، تدوین چارچوب ملی | قابل توجه (آسیا، آمریکای لاتین) | متوسط (فقدان قانون فدرال حریم خصوصی) | اتحادیه اروپا (Data Act، GDPR) | متعادل، جامع، شفاف | قانون‌گذاری جامع |
| پذیرش استانداردهای بین‌المللی | متوسط (پذیرش رو به رشد) | پایین (رهبر در SAE) | اتحادیه اروپا، آمریکا (SAE) | UNECE، SAE، ETSI هماهنگ | استانداردسازی |
| سرمایه‌گذاری عظیم زیرساختی | بالا (کشورهای در حال توسعه) | متوسط (۲۰٪ هدف NHS ۲۰۲۸) | چین، کره، سنگاپور | یکپارچگی 5G و V2X | زیرساخت |
| الزامی کردن UNECE (آمریکا)، استقرار CSMS | متوسط تا بالا | متوسط (داوطلبانه UNECE) | اتحادیه اروپا، بریتانیا | UNECE /R155 R156 الزامی | امنیت سایبری |
| Federal Privacy Law (آمریکا)، قوانین سختگیرانه | بالا (اکثر کشورها) | بالا (فقدان GD-PR-like فدرال) | اتحادیه اروپا | GDPR + Privacy by Design | حریم خصوصی |
| توسعه مدل PPP ساختاریافته | متوسط تا بالا | پایین-متوسط (مدل موفق) | سنگاپور، بریتانیا | مدل متعادل و شفاف | PPP |
| تدوین قوانین دسترسی به داده | بالا | بالا (دسترسی محدود) | اتحادیه اروپا | دسترسی متعادل (Data Act) | حکمرانی داده |

## جدول ۱۹: چشم‌انداز فناوری‌های نوظهور مرتبط

| فناوری | سطح بلوغ فعلی | ارتباط با V۲X | کشورهای پیشرو | زمان ادغام با V۲X |
|---|---|---|---|---|
| 5G Advanced / ۶G | توسعه اولیه | پهنای باند بالا، تأخیر کم | کره جنوبی، چین، ژاپن، آمریکا | ۲۰۲۸-۲۰۳۵ |
| Edge Computing | در حال بلوغ | پردازش محلی سریع | اتحادیه اروپا، آمریکا | ۲۰۲۵-۲۰۲۸ |
| AI/ML در خودرو | پیشرفته | تصمیم‌گیری هوشمند | چین، آمریکا (Tesla، Waymo) | ۲۰۲۵+ |
| Digital Twin | نوظهور | شبیه‌سازی و آزمون | اروپا، سنگاپور، آمریکا | ۲۰۲۷-۲۰۳۲ |
| Blockchain | آزمایشی | امنیت و شفافیت | متنوع | ۲۰۳۰+ |
| Quantum-Safe Crypto | تحقیق | امنیت آینده | اروپا، آمریکا، چین | ۲۰۳۰+ |

## جدول ۲۰: توصیه‌های استراتژیک برای کشورهای مختلف

| دسته کشور | اولویت دوم | اولویت اول | توصیه استراتژیک کلیدی | ویژگی اصلی | نمونه‌ها |
|---|---|---|---|---|---|
| پیشرفته | حفظ رهبری فناوری | گسترش استقرار (EU، UK)، تکمیل ۲۰٪ NHS (آمریکا) | رهبری استانداردسازی جهانی | زیرساخت قوی، قانون پیشرفته | اتحادیه اروپا، بریتانیا، آمریکا |
| نوآور | همکاری جهانی، اعتمادسازی | استانداردسازی بین‌المللی | توازن بین سرعت و کیفیت | سرمایه‌گذاری قوی، سرعت بالا | چین، کره جنوبی |
| متوسط | همکاری منطقه‌ای | بروزرسانی زیرساخت (ژاپن: V۲X-C) | انتقال به فناوری‌های جدید | تجربه موجود، محافظه‌کار | ژاپن، کانادا، استرالیا |
| نوظهور | توسعه قانون‌گذاری | سرمایه‌گذاری زیرساختی | پذیرش استانداردهای بین‌المللی | در حال توسعه، منابع موجود | ترکیه، مالزی، امارات |
| توسعه اولیه | آموزش و ظرفیت‌سازی | جذب سرمایه‌گذاری خارجی | مدل PPP، همکاری بین‌المللی | منابع محدود، زیرساخت ضعیف | آمریکای لاتین، آفریقا، هندوستان |

# نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

**یافته‌های کلیدی:**

۱. **تنوع رویکردها:** کشورها رویکردهای متفاوتی دارند - از دولتی‌محور (چین) تا بازارمحور (بریتانیا)

۲. **چالش استانداردسازی:** جنگ بین ITS-G۵ و C-V۲X همچنان ادامه دارد، با تمایل روبه‌رشد به C-V۲X

۳. **اهمیت حکمرانی داده:** اتحادیه اروپا با Data Act پیشرو است، سایر کشورها باید الگوبرداری کنند

۴. **امنیت سایبری:** R۱۵۶/UNECE R۱۵۵ در حال تبدیل شدن به استاندارد جهانی است

۵. **نقش حیاتی دولت:** حتی در مدل‌های بازارمحور، حمایت دولت برای موفقیت ضروری است

۶. **اهمیت همکاری منطقه‌ای:** مدل‌های C-Roads (اروپا) و ADM ۲۰۲۵ (آسه‌آن) موفق‌اند

توصیه‌های کلان:

- **برای کشورهای پیشرفته:** رهبری در استانداردسازی جهانی و صادرات تجربه

- **برای کشورهای نوظهور:** پذیرش سریع استانداردهای بین‌المللی و جذب سرمایه‌گذاری
- **برای همه کشورها:** تمرکز بر امنیت سایبری، حریم خصوصی و اعتماد عمومی

**درس‌آموخته‌های کلیدی برای سیاست‌گذاری جهانی**

**توصیه‌های کلان:**

- برای کشورهای پیشرفته: رهبری در استانداردسازی جهانی و صادرات تجربه
- برای کشورهای نوظهور: پذیرش سریع استانداردهای بین‌المللی و جذب سرمایه‌گذاری

برای همه کشورها: تمرکز بر امنیت سایبری، حریم خصوصی و اعتماد عمومی

**درس‌آموخته‌های کلیدی برای سیاست‌گذاری جهانی**

بر اساس تحلیل جامع ۲۱ حوزه قضایی، ۱۰ درس کلیدی برای موفقیت در پیاده‌سازی V2X استخراج می‌شود:

**۱. هزینه بی‌تصمیمی عظیم است (درس آمریکا)**

تاخیر ۲۰ ساله در تصمیم‌گیری بین DSRC و C-V2X در ایالات متحده، هزینه فرصت عظیمی (تخمین ۵۰B$+ در منافع ایمنی از دست رفته) را به همراه داشت. تصمیم‌گیری قاطع و به‌موقع حیاتی است.

**۲. قدرت اجرای دولت‌محور (درس چین)**

رویکرد top-down چین با تصمیم قاطع بر C-V2X، استانداردسازی ملی (CCSA) و تامین مالی گسترده دولتی، بالاترین نرخ نفوذ جهانی (هدف ۵۰٪ تا ۲۰۲۵) را به دست آورده است. BCR = ۴٫۵:۱ (بالاترین جهان) به دلیل مقیاس و هزینه پایین ($۱۰۰-۱۸۰ OBU).

**۳ .قانون‌گذاری فعال‌کننده (درس بریتانیا)**

Automated Vehicles Act ۲۰۲۴ بریتانیا با روشن کردن liability (انتقال از راننده به ADS Entity)، مانع قانونی بزرگی را برداشت و سرمایه‌گذاری را تسهیل کرد. وضوح قانونی = سرمایه‌گذاری.

**۴ .یکپارچگی با اکوسیستم انرژی (درس بریتانیا، هلند، آلمان)**

ادغام V2G/V2H با شبکه برق، ارزش‌آفرینی چندجانبه ایجاد می‌کند: تعادل شبکه + درآمد برای مالک خودرو + کاهش کربن. این یکپارچگی BCR را ۱۵-۲۰٪ افزایش می‌دهد.

**۵ .محوریت VRU در محیط‌های شهری چگال (درس هلند)**

در کشورهایی با فرهنگ دوچرخه‌سواری قوی (هلند) و چگالی شهری بالا، V2P (Vehicle-to-Pedestrian) و V2Cyclist حیاتی است. فناوری که VRU را نادیده بگیرد، پذیرفته نخواهد شد.

**۶ .نرخ تصادف بالا = ROI قوی (درس هند، ترکیه)**

کشورهایی با نرخ مرگ‌ومیر بالا در جاده (هند: ۱۵۰,۰۰۰ مرگ/سال؛ ترکیه: ۷,۰۰۰+ مرگ/سال) BCR بسیار بالا دارند (هند ۴,۲:۱، ترکیه ۳,۸:۱) حتی با هزینه‌های اولیه بالا. ایمنی = توجیه اقتصادی اصلی.

**۷ استراتژی جهش (Leapfrog) در اقتصادهای نوظهور (درس رواندا، هند)**

کشورهای بدون زیرساخت legacy می‌توانند مستقیماً به 5G/C-V2X بپرند بدون بار هزینه‌های ارتقاء. رواندا و هند می‌توانند mobile-first و cloud-native architectures را اتخاذ کنند که کارآمدتر از سیستم‌های قدیمی غرب هستند.

**۸ تامین مالی بخش خصوصی از طریق مدل Concession (درس فرانسه)**

مدل concession فرانسه (۷ اپراتور بزرگ‌راه) سرمایه خصوصی را برای استقرار RSU بسیج کرد، فشار بر بودجه دولتی را کاهش داد. اما نیازمند هماهنگی نظارتی قوی است تا از interoperability اطمینان حاصل شود.

**۹. تنش حریم خصوصی vs. ایمنی (درس اتحادیه اروپا، آلمان)**

GDPR اتحادیه اروپا (و تفسیر سخت‌گیرانه آلمان) با نیاز به اشتراک داده برای ایمنی تضاد دارد. Privacy-by-design و Pseudonymization (گواهی‌های شبه‌نام) راه‌حل‌های فنی هستند، اما هزینه انطباق بالا (به ویژه برای SME) مانعی است.

**۱۰. هماهنگی منطقه‌ای کلید تجارت فرامرزی است (درس اتحادیه اروپا، آسه‌آن)**

C-Roads Platform اتحادیه اروپا نشان داد که interoperability فرامرزی نیازمند استانداردهای مشترک، تست سازگاری و حکمرانی هماهنگ است. آسه‌آن (مالزی و غیره) هنوز با این چالش دست و پنجه نرم می‌کند - همکاری منطقه‌ای کند اما ضروری است.

**نتیجه‌گیری استراتژیک:**

موفقیت V۲X نیازمند **ترکیبی از اراده سیاسی، وضوح قانونی، تامین مالی هدفمند، استانداردسازی فنی و مدیریت تنش‌های حریم خصوصی-ایمنی** است. هیچ مدل واحدی برای همه کشورها مناسب نیست - با**فت محلی (سطح تصادف، چگالی شهری، بلوغ نهادی، امکانات مالی)** باید رویکرد را شکل دهد. اما **۱۰ درس بالا** اصول جهانی هستند که می‌توانند احتمال موفقیت را به‌طور قابل توجهی افزایش دهند.

بخش هشتم

# تحلیل جامع حکمرانی و پیاده‌سازی فناوری خودروهای متصل و خودران: یک چشم‌انداز جهانی

# ۱. مقدمه: تعریف چشم‌انداز

فناوری خودروهای متصل و خودران (CAV) یک اکوسیستم فناورانه است که از طریق ادغام سامانه‌های پیشرفته کمک‌راننده (ADAS) با قابلیت‌های ارتباطی (V2X)، امکان درک محیطی فراتر از حسگرهای داخلی و در نهایت، واگذاری کامل وظیفه رانندگی به سیستم‌های خودران (ADS) را فراهم می‌آورد. این فناوری‌ها با پتانسیل عظیم خود برای بهبود ایمنی، افزایش بهره‌وری جریان ترافیک و کمک به پایداری محیط زیست، در آستانه ایجاد تحولی بنیادین در سیستم‌های حمل‌ونقل جهانی قرار دارند. اهمیت استراتژیک CAVها دولت‌ها، نهادهای نظارتی و بازیگران صنعتی را در سراسر جهان بر آن داشته است تا رویکردهایی برای مدیریت، استانداردسازی و پیاده‌سازی ایمن این نوآوری‌ها تدوین کنند. هدف این گزارش، ارائه یک تحلیل تطبیقی جامع از چارچوب‌های حکمرانی، ابعاد نظارتی و قانونی، استانداردهای فنی و نقشه راه پیاده‌سازی فناوری CAV در مناطق و کشورهای منتخب جهان است تا درس‌آموخته‌ها، چالش‌های مشترک و روندهای کلیدی در این حوزه شناسایی شوند. در ادامه، رویکردهای نظارتی و اجرایی در قاره آمریکا که نشان‌دهنده مدل‌های حکمرانی ساختاریافته فدرال است، مورد بررسی قرار می‌گیرد.

# ۲. چارچوب‌های حکمرانی در قاره آمریکا

### ۲٫۱. کانادا

کانادا رویکردی ایمنی محور و مبتنی بر همکاری را برای مدیریت فناوری های خودروهای متصل و خودران در پیش گرفته است. چارچوب ایمنی نسخه ۲٫۰ این کشور که توسط وزارت حمل و نقل کانادا (Transport Canada) تدوین شده، بر سه اصل راهنما استوار است: **تعامل و همکاری** با ذینفعان ملی و بین المللی، **نظارت شفاف و سازگار** برای حمایت از نوآوری ایمن، و **بهبود مستمر** از طریق تحقیق، آزمایش و اشتراک گذاری بهترین شیوه ها. این رویکرد به دنبال آن است که ضمن بهره برداری از مزایای اقتصادی و اجتماعی CAV ها، اعتماد عمومی به این فناوری ها را از طریق یک رژیم نظارتی قوی و قابل اطمینان تضمین کند.

#### ۲٫۱٫۱. ابعاد تنظیم‌گری و قانون‌گذاری

در کانادا، مسئولیت های نظارتی بین دولت فدرال و دولت های استانی/قلمرویی تقسیم شده است؛ تقسیمی که ضمن فراهم آوردن امکان آزمایش های منطقه ای متناسب، ریسک پراکندگی نظارتی را که می تواند استقرار سراسری را کند سازد، به همراه دارد. **Transport Canada** در سطح فدرال، مسئولیت ایمنی وسایل نقلیه و تجهیزات را بر اساس **قانون ایمنی وسایل نقلیه موتوری (Motor Vehicle Safety Act)** بر عهده دارد. در مقابل، استان ها مسئول عملکرد ایمن وسایل نقلیه در جاده ها، از جمله وضع قوانین راهنمایی و رانندگی و تعیین الزامات بیمه هستند. به روزرسانی های سال ۲۰۱۸ در قانون ایمنی وسایل نقلیه، به Transport Canada اختیارات جدیدی از جمله ایجاد یک رژیم جریمه های پولی اداری (Administrative Monetary Penalty) اعطا کرد که از اکتبر ۲۰۲۳ اجرایی شده است.

### ۲٫۱٫۲. استانداردها و نهادهای ملی

چارچوب نظارتی کانادا به استانداردهای فنی معتبر بین‌المللی ارجاع می‌دهد که مهم‌ترین آن‌ها استاندارد **SAE International J۳۰۱۶** برای طبقه‌بندی سطوح اتوماسیون رانندگی است. نهاد اصلی ملی در این حوزه، **Transport Canada** است که وظایف جامعی از جمله بررسی اسناد صدور گواهینامه، تحقیق در مورد نقص‌های ایمنی بالقوه، و نظارت بر کمپین‌های فراخوان را بر عهده دارد. این نهاد همچنین برنامه‌هایی مانند «تحلیل اطلاعات فنی شرکت‌ها برای وسایل نقلیه و تجهیزات» (ACTIVE) را برای جمع‌آوری منظم اطلاعات مربوط به حوادث و ارزیابی‌های ایمنی از شرکت‌ها در دست توسعه دارد تا مسائل ایمنی را سریع‌تر شناسایی و اصلاح کند.

### ۲٫۱٫۳. نقشه راه پیاده‌سازی و درس‌آموخته‌ها

کانادا به جای تدوین یک نقشه راه ثابت، رویکردی مبتنی بر بهبود مستمر و یادگیری را دنبال می‌کند. این کشور از طریق تحقیق، آزمایش‌ها و **اعتبارسنجی مبتنی بر سناریو (Scenario-based validation)**، درک خود از عملکرد و ایمنی سیستم‌های رانندگی خودران را افزایش می‌دهد. این روش شامل بازتولید موقعیت‌های رانندگی واقعی برای ارزیابی قابلیت‌های یک وسیله نقلیه خودران به شیوه‌ای کارآمد و تکرارپذیر است. یکی از درس‌آموخته‌های کلیدی برای کانادا، اهمیت همکاری در مجامع بین‌المللی مانند **کمیسیون اقتصادی سازمان ملل برای اروپا (UNECE)**، به‌ویژه در کارگروه‌های ایمنی ترافیک جاده‌ای (WP.۱) و هماهنگ‌سازی مقررات وسایل نقلیه (WP.۲۹)، برای به اشتراک گذاشتن بهترین شیوه‌ها و هماهنگ‌سازی رویکردهای نظارتی است.

### ۲٫۱٫۴. ذینفعان و مشوق‌ها

موفقیت پیاده‌سازی CAVها در کانادا به همکاری نزدیک میان طیف وسیعی از ذینفعان، از جمله دولت، صنعت خودروسازی، دانشگاه‌ها و عموم مردم بستگی دارد. Transport Canada نقش فعالی در آموزش عمومی و افزایش درک مصرف‌کنندگان از فناوری‌های کمک‌راننده پیشرفته (ADAS) ایفا می‌کند. این نهاد با ایجاد منابع آنلاین و ویدئوهای آموزشی، به ترویج

استفاده از اصطلاحات استاندارد برای ADAS کمک می‌کند تا سردرگمی مصرف‌کنندگان کاهش یابد و استفاده ایمن از این فناوری‌ها تضمین شود.

### ۲٫۱٫۵. چالش‌های داده و امنیت

یکی از چالش‌های کلیدی برای کانادا، ارزیابی عملکرد و ایمنی فناوری‌های ارتباطی خودرو به خودرو (V۲V) در شرایط متنوع محیطی این کشور است. این فناوری‌ها با تکمیل حسگرهای داخلی خودرو (مانند رادار و لیدار) می‌توانند اطلاعاتی را دریافت کنند که «دیدن» آن‌ها برای خودرو ممکن نیست، مانند هشدار در مورد ترمز شدید یک خودرو در جلوتر. Transport Canada در حال ارزیابی مستمر این فناوری‌ها در سناریوهای مختلف است تا از قابلیت اطمینان آن‌ها در زمینه گسترده کانادا اطمینان حاصل کند و چارچوب‌های لازم برای مدیریت داده‌ها و امنیت سایبری را توسعه دهد.

در ادامه، وضعیت و چالش‌های پیاده‌سازی این فناوری‌ها در منطقه آمریکای لاتین و کارائیب که در مرحله‌ای کاملاً متفاوت از بلوغ نظارتی قرار دارد، بررسی می‌شود.

### ۲٫۲. آمریکای لاتین و کارائیب (LAC)

تحول دیجیتال در بخش حمل‌ونقل منطقه آمریکای لاتین و کارائیب (LAC) در مراحل **نوپا** قرار دارد و عمدتاً بر بخش‌ها و کشورهای خاصی متمرکز است. در حالی که شرکت‌های بزرگ پیشرفت‌هایی در این زمینه داشته‌اند، کسب‌وکارهای کوچک و متوسط با موانع قابل توجهی روبرو هستند. با این حال، همه‌گیری COVID-۱۹ به عنوان یک کاتالیزور عمل کرده و آگاهی از مزایای تحول دیجیتال را در میان ذینفعان دولتی و خصوصی افزایش داده است. این تغییر دیدگاه، فرصتی برای تسریع پذیرش فناوری‌های نوین حمل‌ونقل در منطقه ایجاد کرده است.

### ۲٫۲٫۱. سطح آمادگی، پذیرش و اشتیاق ملی

بر اساس نظرسنجی‌ها، سطح آمادگی برای تحول دیجیتال در منطقه LAC با اندازه سازمان ارتباط مستقیم دارد. در حالی که حدود ۶۱ درصد از سازمان‌های بخش دولتی دارای یک استراتژی

تحول دیجیتال هستند، این رقم در بخش خصوصی به ۷۰ درصد می‌رسد. این شکاف در بخش خصوصی نیز مشهود است؛ ۷۸ درصد از شرکت‌های با بیش از ۵۰۰ کارمند استراتژی دیجیتال دارند، در حالی که این میزان برای شرکت‌های با کمتر از ۵۰ کارمند تنها ۵۹ درصد است. این آمار نشان می‌دهد که گرچه اشتیاق برای دیجیتالی شدن وجود دارد، اما آمادگی عملی، به ویژه در میان نهادهای دولتی و کسب‌وکارهای کوچک، هنوز به سطح مطلوب نرسیده است.

**۲،۲،۲. نهادها، ذینفعان و تقسیم کار ملی**

در کشورهای منتخب منطقه، نهادهای عمومی مختلفی مسئولیت برنامه‌ریزی برای دیجیتالی شدن حمل‌ونقل را بر عهده دارند. برای مثال، در **برزیل**، وزارت زیرساخت و اقتصاد، در **شیلی**، وزارت حمل‌ونقل و علوم، در **کلمبیا**، وزارت حمل‌ونقل و فناوری اطلاعات، و در **کاستاریکا**، وزارت فوایدعامه و علوم نهادهای اصلی هستند. یکی از چالش‌های اساسی، فقدان مکانیسم‌های هماهنگی بین نهادی قوی است که منجر به تلاش‌های پراکنده و فاقد یکپارچگی می‌شود.

**۲،۲،۳. مشوق‌ها و موانع پیاده‌سازی**

موانع اصلی بر سر راه تحول دیجیتال در بخش حمل‌ونقل منطقه LAC به شرح زیر است:

۱. **مقاومت در برابر تغییر:** بزرگ‌ترین چالش در سازمان‌های دولتی و خصوصی.

۲. **هزینه‌های بالای فناوری:** هزینه پیاده‌سازی برای بسیاری از شرکت‌ها، به ویژه SMEs، بازدارنده است.

۳. **کمبود منابع مالی و انسانی:** فقدان بودجه کافی و استعدادهای متخصص.

با این حال، برخی دولت‌ها از ابزارهای سیاست عمومی برای تشویق تحول دیجیتال استفاده می‌کنند. به عنوان مثال، در **کلمبیا**، الزامات فناوری در فرآیندهای تدارکات عمومی برای اعطای قراردادهای زیرساختی گنجانده شده است تا شرکت‌ها را به استفاده از ابزارهای دیجیتال

تشویق کند.

**۲،۲،۴. درس‌آموخته‌ها و چالش‌های حکمرانی داده**

یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها در اکوسیستم حمل‌ونقل دیجیتال منطقه، **شکست در هماهنگی بین بازیگران مختلف** است که منجر به ایجاد سیستم‌های اطلاعاتی منزوی (silos) و **فقدان استانداردهای مشترک برای اشتراک‌گذاری داده** می‌شود. درس آموخته کلیدی برای منطقه این است که با یادگیری از تجربیات بین‌المللی، به سمت اتخاذ استانداردهای باز حرکت کند تا از وابستگی به یک تأمین‌کننده خاص (vendor lock-in) جلوگیری کرده و قابلیت همکاری بین سیستم‌های مختلف را تضمین نماید.

**۲،۲،۵. مطالعه موردی: مکزیک**

مکزیک به‌عنوان یک مرکز استراتژیک تولید خودرو برای بازار آمریکای شمالی، از اهمیت بالایی برخوردار است. نزدیکی جغرافیایی به ایالات متحده (nearshoring) و توافقنامه USMCA، این کشور را به مقصدی جذاب برای سرمایه‌گذاری تبدیل کرده است، به ویژه در زمینه نگرانی‌های امنیتی آمریکا در مورد زنجیره‌های تأمین وابسته به چین. دولت مکزیک از طریق برنامه‌هایی مانند **IMMEX** (برنامه صنعت تولیدی، ماکیلادورا و خدمات صادراتی) مشوق‌هایی برای سرمایه‌گذاران فراهم می‌کند. با این حال، صنعت خودرو مکزیک با چالش‌هایی نیز روبروست، از جمله سیاست‌های تجاری متغیر ایالات متحده که می‌تواند بر قوانین مبدإ و زنجیره تأمین تأثیر بگذارد.

چشم‌انداز آسیا، در تقابل با رویکردهای ساختاریافته فدرال قاره آمریکا، تابلویی از جاه‌طلبی‌های سریع و دولتی (هند، اندونزی) و چالش‌های پیچیده هماهنگی منطقه‌ای (آسه آن) را به نمایش می‌گذارد و مسیرهای متفاوتی را برای پذیرش CAV برجسته می‌کند.

# ۳. چشم‌انداز آسیا

### ۳٫۱. کشورهای آسه آن (مالزی و ویتنام)

توسعه وسایل نقلیه خودران (AV) در کشورهای عضو آسه آن در مراحل متفاوتی قرار دارد و رویکردها متنوع است. در این میان، **طرح جامع دیجیتال آسه آن ۲۰۲۵ (ADM ۲۰۲۵)** به عنوان یک چارچوب راهبردی عمل می‌کند که هدف آن ارتقای آسه آن به یک جامعه دیجیتال پیشرو است. دستیابی به این چشم‌انداز نیازمند همکاری نزدیک بین دولت‌ها، رگولاتورها و بازیگران بازار برای ایجاد یک محیط نظارتی و زیرساختی هماهنگ است.

#### ۳٫۱٫۱. نقشه راه و قانون‌گذاری

کشورهای آسه آن در حال توسعه سیاست‌هایی برای پشتیبانی از جریان داده‌های مورد نیاز وسایل نقلیه خودران هستند. یکی از شکاف‌های مقرراتی کلیدی، مربوط به عبور وسایل نقلیه خودران از مرزهای ملی است. در حال حاضر، به دلیل ناهماهنگی زیرساخت‌های دیجیتال و چارچوب‌های قانونی، هیچ خودروی خودران سطح ۲ و بالاتر اجازه عبور از مرزهای کشورهای عضو را ندارد. این امر نیازمند تدوین پروتکل‌های ایمنی برای **تحویل کنترل (hand-over)** بین سیستم خودران و راننده انسانی در نقاط مرزی است.

#### ۳٫۱٫۲. استانداردها و پروژه‌های آزمایشی

کشورهای منطقه به استانداردهای بین‌المللی سطوح اتوماسیون، به ویژه **سطوح ۳ (اتوماسیون مشروط) و ۴ (اتوماسیون بالا)** توجه دارند. مالزی یکی از کشورهای فعال در زمینه آزمایش خودروهای خودران بوده است. شرکت‌هایی مانند **Reka** چندین پروژه آزمایشی را انجام داده‌اند و با استفاده از خودروهای ملی مانند پروتون، نمونه‌های اولیه خودرا

در سناریوهای مختلفی مانند عبور از باجه‌های عوارض و خدمات رانندگی-درون-خودرو (drive-throughs) آزموده‌اند. علاوه بر این، چندین دانشگاه در مالزی نیز به طور فعال در پروژه‌های تحقیقاتی مرتبط با AV مشارکت دارند.

### ۳،۱،۳. نهادها و ذینفعان کلیدی

تحقق اهداف ADM ۲۰۲۵ نیازمند همکاری تنگاتنگ میان دولت‌ها، نهادهای نظارتی و بازیگران بازار است. در این اکوسیستم، شرکت‌های صنعتی نقش مهمی در پیشبرد برنامه‌های آزمایشی ایفا می‌کنند. به عنوان مثال، شرکت **Phenikaa X** در ویتنام و **Reka** در مالزی به عنوان بازیگران صنعتی فعال در توسعه و آزمایش فناوری‌های خودران شناخته می‌شوند که با تولیدکنندگان تجهیزات اصلی (OEMs) همکاری می‌کنند.

### ۳،۱،۴. چالش‌های زیرساختی و حکمرانی داده

یکی از بزرگ‌ترین چالش‌ها در منطقه آسه آن، **تنوع زیرساخت‌های دیجیتال** بین کشورهای عضو است. برای عملکرد ایمن خودروهای خودران، وجود شبکه‌های ارتباطی با تأخیر بسیار کم و قابلیت اطمینان بالا (URLLC) ضروری است. مشکل دیگر، **تحویل کنترل شبکه (network hand-over)** در مرزهاست. هنگامی که یک وسیله نقلیه از پوشش شبکه یک کشور به کشور دیگر منتقل می‌شود، باید اتصال پایدار تضمین شود که این امر در حال حاضر با چالش روبروست.

در ادامه، بازار بزرگ و رو به رشد هندوستان و رویکرد آن به این فناوری‌ها مورد تحلیل قرار می‌گیرد.

## ۳،۲. هندوستان

هندوستان با جایگاه چهارمین تولیدکننده بزرگ خودرو در جهان، بازاری بسیار مهم و پویا در صنعت خودروسازی جهانی محسوب می‌شود. این بازار در حال تجربه یک تحول سریع به سمت برقی‌سازی است، به طوری که بخش خودروهای الکتریکی (EV) رشد چشمگیری را نشان می‌دهد. دولت هند با ارائه مشوق‌های متعدد و تدوین سیاست‌های حمایتی، نقش

کلیدی در این گذار ایفا می‌کند.

### ۳،۲،۱. تنظیم‌گری، قانون‌گذاری و استانداردها

چارچوب نظارتی اصلی صنعت خودرو در هند شامل **قانون وسایل نقلیه موتوری (MVA)** و **قوانین مرکزی وسایل نقلیه موتوری (CMV Rules)** است. نهاد اصلی مسئول در این حوزه، **وزارت حمل‌ونقل جاده‌ای و بزرگراه‌ها (MoRTH)** است. هند همچنین در حال به‌روزرسانی استانداردهای ایمنی خود است؛ به عنوان مثال، استاندارد **AIS-۱۵۳** برای تضمین ایمنی بدنه اتوبوس‌های با ظرفیت بیش از ۲۲ سرنشین الزامی شده است که برای اخذ گواهینامه تأیید نوع (Type Approval) ضروری است.

### ۳،۲،۲. مشوق‌های دولتی و آمادگی ملی

دولت هند برای ترویج خودروهای الکتریکی، مجموعه‌ای از مشوق‌های جذاب را ارائه کرده است که عبارتند از:

۱. **طرح تشویقی مرتبط با تولید (PLI Scheme):** برای افزایش تولید داخلی خودروها و قطعات با فناوری پیشرفته، از جمله خودروهای الکتریکی.

۲. **کاهش مالیات کالا و خدمات (GST):** نرخ GST برای خودروهای الکتریکی از ۱۲ درصد به ۵ درصد و برای شارژرها از ۱۸ درصد به ۵ درصد کاهش یافته است.

۳. **معافیت‌های مالیات بردرآمد:** برای افرادی که برای خرید خودروی الکتریکی وام می‌گیرند، معافیت مالیاتی بر سود پرداختی وام در نظر گرفته شده است.

### ۳،۲،۳. بازارها و مسئولیت محصول

در زمینه مسئولیت محصول، **قانون حمایت از مصرف‌کننده (CP Act)** چارچوب اصلی را فراهم می‌کند و به مصرف‌کنندگان اجازه می‌دهد تا در صورت وجود نقص در خودرو، علیه تولیدکننده یا فروشنده شکایت کنند. رویه قضایی نیز این حوزه را شکل داده است؛ به عنوان مثال، در پرونده **Shivani v Mahindra & Mahindra Ltd**، کمیسیون ملی حل اختلاف

مصرف‌کنندگان (NCDRC)، هم تولیدکننده و هم فروشنده را به دلیل وجود نقص ذاتی در خودرو، به طور مشترک مسئول دانست و آن‌ها را به جایگزینی خودرو ملزم کرد.

۳.۲.۴. چالش‌ها و نهادهای ذینفعان

صنعت خودرو هند با چالش‌های مهمی روبروست. یکی از بزرگ‌ترین مشکلات، وجود **قطعات تقلبی (counterfeit)** است که طبق گزارش **انجمن تولیدکنندگان قطعات خودرو (ACMA)**، حدود ۳۰ درصد از بازار قطعات یدکی را تشکیل می‌دهد و ایمنی خودروها را به خطر می‌اندازد. اختلافات مربوط به **مالکیت معنوی (IP)** نیز از دیگر چالش‌های این صنعت است. ذینفعان کلیدی این اکوسیستم شامل تولیدکنندگان بزرگ مانند **Tata Motors** و **Mahindra & Mahindra**، تأمین‌کنندگان قطعات مانند **Bosch**، و انجمن‌های صنعتی مانند **ACMA** هستند.

اندونزی، به عنوان یکی دیگر از بازارهای مهم آسیا، رویکرد خاص خود را برای توسعه صنعت خودرو دنبال می‌کند که در بخش بعد به آن پرداخته می‌شود.

### ۳،۳. اندونزی

بازار خودروی اندونزی، به عنوان یکی از بزرگ‌ترین بازارهای جنوب شرقی آسیا، تمرکز ویژه‌ای بر توسعه صنعت خودروهای الکتریکی (EV) دارد. دولت اندونزی با هدف کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی و جذب سرمایه‌گذاری، مجموعه‌ای از مقررات و مشوق‌های حمایتی را تدوین کرده است.

#### ۳،۳،۱. چارچوب نظارتی و مشوق‌ها

چارچوب نظارتی اندونزی برای حمایت از صنعت EV شامل مقررات کلیدی زیر است:

- **مقررات وزارت صنعت (MOI):** شامل نقشه راه توسعه و الزامات مربوط به میزان محتوای داخلی (local content) برای خودروهای الکتریکی.
- **مقررات وزارت دارایی (MOF):** شامل مشوق‌های مالیاتی مانند کاهش مالیات بر فروش کالاهای لوکس.

یکی از مشوق‌های کلیدی، **تخفیف دولتی برای تبدیل موتورسیکلت‌های بنزینی به برقی** است که با هدف تشویق گذار به حمل‌ونقل پاک ارائه می‌شود.

### ۳،۳،۲. استانداردها و فراخوان محصول

فرآیند تأیید نوع (Type Test) و ثبت نام خودرو در اندونزی تحت نظارت **وزارت حمل‌ونقل (MOTR)** انجام می‌شود. هر نوع وسیله نقلیه قبل از تولید یا واردات باید گواهی تأیید نوع را دریافت کند. در زمینه فراخوان محصول، مقررات MOTR تولیدکنندگان و واردکنندگان را ملزم می‌کند تا رویه‌های عملیاتی استاندارد (SOP) برای فراخوان محصولات معیوب داشته باشند تا ایمنی مصرف‌کنندگان تضمین شود.

### ۳،۳،۳. ذینفعان و مسائل مرتبط

ذینفعان اصلی در صنعت خودرو اندونزی شامل تولیدکنندگان، واردکنندگان، و نهادهای دولتی هستند. مسائل مربوط به نیروی کار نیز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. **قانون اتحادیه‌های کارگری (Labour Union Law)** به کارگران حق تشکیل و عضویت در اتحادیه‌ها را می‌دهد. این اتحادیه‌ها نقش مهمی در مذاکرات جمعی با کارفرمایان برای تعیین شرایط کار و حمایت از حقوق کارگران ایفا می‌کنند.

در ادامه، رویکردهای نظارتی کشورهای منتخب اروپایی که در چارچوب یکپارچه اتحادیه اروپا عمل می‌کنند، مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

# ۴. رویکردهای منتخب اروپا

کشورهای اروپایی، ضمن پیروی از چارچوب نظارتی یکپارچه اتحادیه اروپا (EU)، سیاست های ملی خود را برای مدیریت صنعت خودرو تدوین می کنند. مقررات کلیدی مانند **Regulation EU) ۸۵۸/۲۰۱۸** (تأیید نوع) و **Data Act** (دسترسی به داده ها) اساس این رویکردها را تشکیل می دهند. با این حال، رویکردهای اروپایی به مدل های ملی متمایزی تقسیم می شوند: مدل **آلمان** که بر صنعت محوری و مشوق های غیرمستقیم متمرکز است، در تقابل با مدل یارانه های مستقیم مصرف کننده در **فرانسه** و **اسپانیا** قرار دارد، در حالی که کشورهایی مانند **هلند** بر چارچوب های قانونی و پاسخگویی، که نمونه آن سیستم قوی اقدامات جمعی است، تأکید دارند.

### ۴،۱. آلمان

چارچوب نظارتی آلمان برای تأیید نوع خودرو، که توسط **اداره فدرال حمل‌ونقل موتوری (KBA)** اجرا می شود، بر سه ستون استوار است: مقررات UNECE، مقررات اتحادیه اروپا و قوانین ملی. این کشور از طریق مشوق های غیرمستقیم مانند مزایای مالیاتی برای خودروهای شرکتی و برنامه های توسعه زیرساخت شارژ، سرمایه گذاری در حوزه e-mobility را ترویج می کند. در حوزه روابط کار، **شوراهای کار (works councils)** در شرکت های خودروسازی آلمان نقش بسیار مهمی دارند و از حقوق مشارکت گسترده ای در مسائل پرسنلی و اقتصادی برخوردارند.

### ۴،۲. فرانسه

چارچوب نظارتی فرانسه کاملاً مبتنی بر قوانین اروپاست. دولت مشوق های سبز قابل

توجهی ارائه می دهد، از جمله «**پاداش زیست‌محیطی**» (**environmental bonus**) برای خرید خودروهای الکتریکی و «**پاداش نوسازی**» (**retrofit bonus**) برای تبدیل موتورها. در زمینه داده های خودروهای متصل، **سازمان حفاظت از داده فرانسه** (**CNIL**) دستورالعمل هایی را برای استفاده از داده های شخصی منتشر کرده و بر لزوم شفافیت و کسب رضایت رانندگان تأکید دارد.

### ۴،۳. ایتالیا

فرآیند تأیید نوع خودرو در ایتالیا توسط **وزارت زیرساخت و حمل‌ونقل** انجام می شود. صنعت خودروی این کشور با چالش های ساختاری مانند وابستگی اقتصادی شدید فروشندگان به تولیدکنندگان مواجه است. **سازمان رقابت ایتالیا** (**ICA**) نقش فعالی در نظارت بر بازار، به ویژه در حوزه زیرساخت شارژ خودروهای الکتریکی، ایفا می کند تا از تحریف رقابت جلوگیری کند.

### ۴،۴. اسپانیا

بازار خودروی اسپانیا پس از همه گیری عملکرد ضعیف تری نسبت به سایر بازارهای بزرگ اروپایی داشته است. **انجمن تولیدکنندگان خودرو و کامیون اسپانیا** (**ANFAC**) نقشه راه ۲۰۲۳-۲۰۲۵ را با هدف افزایش فروش خودروهای الکتریکی تدوین کرده است. مهم ترین مشوق مالی، برنامه **MOVES III** است که یارانه هایی را برای خرید خودروهای الکتریکی و نصب زیرساخت های شارژ فراهم می کند.

### ۴،۵. هلند

**سازمان وسایل نقلیه هلند** (**RDW**) مرجع ملی برای تأیید نوع، ثبت و بازرسی خودروهاست. فرآیند فراخوان محصول بر اساس **دستورالعمل ایمنی عمومی محصولات** (**GPSD**) و به زودی **مقررات ایمنی عمومی محصولات** (**GPSR**) مدیریت می شود. هلند دارای یک سیستم جبران خسارت جمعی قوی (Collective Damages Act) است که به بنیادها اجازه می دهد به نمایندگی از مصرف کنندگان، دعاوی خسارت را علیه شرکت ها مطرح کنند. در پی رسوایی «دیزل گیت»، چندین دعوای جمعی علیه خودروسازان در دادگاه های هلند مطرح شده است.

### ۴۶. مجارستان

مجارستان به عنوان یکی از قطب های مهم تولید خودرو در اروپای مرکزی، مشوق های سرمایه‌گذاری قابل توجهی را از طریق **آژانس ترویج سرمایه‌گذاری مجارستان (HIPA)** ارائه می دهد. این مشوق ها به ویژه بر تولید تجهیزات مرتبط با اقتصاد خالص-صفر (net-zero economy) مانند باتری های خودروهای الکتریکی متمرکز هستند و شامل یارانه های نقدی و اعتبارات مالیاتی می شوند.

در ادامه، رویکردهای مناطق کلیدی دیگر جهان، از جمله آفریقا، امارات متحده عربی و روسیه مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

# ۵. سایر مناطق کلیدی

### ۵،۱. آفریقا (با تمرکز بر رواندا)

استفاده از سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند (ITS) در آفریقا با اهداف استراتژیک بهبود ایمنی جاده‌ها، افزایش کارایی سیستم‌های حمل‌ونقل و ایجاد آینده‌ای سبزتر، مطابق با گزارش سازمان ملل و ابتکار Afretec، دنبال می‌شود. هدف نهایی، توسعه یک اکوسیستم حمل‌ونقل پایدار است که به رشد اقتصادی و اجتماعی فراگیر کمک کند.

#### ۵،۱،۱. انگیزه، کاربردها و آمادگی

فناوری ITS می‌تواند به طور خاص برای بهبود حمل‌ونقل عمومی، دوچرخه‌سواری و پیاده‌روی در کشورهای کمتر توسعه‌یافته آفریقا به کار گرفته شود. یکی از سوالات کلیدی این است که آیا ITS برای ناوگان گسترده خودروهای دست دوم که فاقد فناوری‌های پیشرفته هستند نیز مفید است؟ مطالعات نشان می‌دهد که حتی پذیرش جزئی این فناوری‌ها می‌تواند به بهبود ایمنی و کارایی کلی سیستم منجر شود.

#### ۵،۱،۲. نهادها و مدل مشارکت عمومی-خصوصی (PPP)

دولت‌ها در آفریقا نقش محوری در پیاده‌سازی ITS ایفا می‌کنند و **مدل مشارکت عمومی-خصوصی (PPP)** به‌عنوان روش غالب شناخته می‌شود. با این حال، موفقیت این مدل صرفاً به واگذاری فناوری به بخش خصوصی وابسته نیست. یک درس آموخته حیاتی این است که نهادهای دولتی باید ظرفیت‌های لازم برای درک شرایط محلی، تعیین الزامات فنی و قراردادی، و مهم‌تر از همه، اقدام بر اساس اطلاعات ارائه شده توسط بخش خصوصی را ایجاد و حفظ کنند تا بتوانند سیاست‌گذاری مؤثری انجام دهند.

### ۵،۱،۳. درس‌آموخته‌ها و چالش‌های حکمرانی داده

چالش اصلی در پیاده سازی کاربردهای ITS در آفریقا، **کسب داده‌های قابل اعتماد** است. بدون داده های دقیق، توسعه راه حل های هوشمند مؤثر دشوار است. برای غلبه بر این مشکل، محققان و نوآوران محلی در حال ساخت نمونه های اولیه (prototypes) با استفاده از منابع موجود هستند تا داده های لازم را جمع آوری کرده و راه حل های متناسب با زمینه آفریقا را توسعه دهند.

امارات متحده عربی، با رویکردی کاملاً متفاوت، چشم‌انداز دیگری را در این حوزه نمایندگی می‌کند.

### ۵،۲. امارات متحده عربی

بازار خودروی امارات در حال تجربه تحولات قابل توجهی است که شامل رشد بازار خودروهای دست دوم، حرکت به سمت گزینه‌های سبز (هیبریدی و الکتریکی) و پیگیری اهداف بلندپروازانه در زمینه حمل‌ونقل خودران است. به طور خاص، دبی هدف‌گذاری کرده است که تا سال ۲۰۳۰، ۲۵ درصد از کل سفرهای حمل‌ونقل به صورت خودران انجام شود که نشان‌دهنده تعهد امارات به رهبری جهانی در حمل‌ونقل هوشمند است.

#### ۵،۲،۱. تنظیم‌گری، نهادها و مشوق‌ها

**قانون جدید نمایندگی‌های تجاری (New Commercial Agency Law)** که در سال ۲۰۲۳ اجرایی شد، به دنبال ایجاد انعطاف‌پذیری بیشتر در روابط تجاری است. فرآیند فراخوان محصول بر اساس **قانون حمایت از مصرف‌کننده** مدیریت می شود و تأمین‌کنندگان را ملزم می‌کند تا در صورت کشف نقص خطرناک، در عرض ۲۴ ساعت به مقامات اطلاع دهند. برای تشویق استفاده از خودروهای الکتریکی، مشوق های متنوعی مانند تخفیف در ثبت خودرو، معافیت از عوارض جاده ای (Salik) و ارائه پارکینگ رایگان در نظر گرفته شده است.

در مقابل این رویکرد فناورانه، نگرانی‌های ژئوپلیتیکی نیز بر حکمرانی جهانی CAV تأثیر می‌گذارد، همانطور که در دیدگاه ایالات متحده نسبت به روسیه مشهود است.

**۵٫۳. روسیه**

بـر اسـاس تحلیل‌هـای وزارت بازرگانـی ایـالات متحـده در فرآینـد تدویـن مـقررات، فناوری‌هـای اطلاعـات و ارتباطـات و خدمـات (ICTS) کـه در خودروهـای متصـل طراحـی، تولیـد یـا عرضـه شـده توسـط اشـخاص تحـت کـنترل یا حـوزه قضایی روسـیه قـرار دارنـد، یـک ریسـک امنیت ملی غیرقابل قبـول بـرای آمریـکا محسـوب می‌شـوند. نگرانی اصلی ایـن اسـت کـه دولـت روسـیه بتوانـد از طریـق نرم‌افزارهـا و سـخت‌افزارهای موجـود در ایـن خودروهـا، بـه حجـم عظیمـی از داده‌هـای حسـاس شـهروندان و زیرسـاخت‌های حیاتی آمریـکا دسترسـی پیـدا کـرده و از آن بـرای جمع‌آوری اطلاعـات، عملیـات سـایبری مخرب و هـدف قـرار دادن زنجیـره تأمیـن خودروهـای متصـل سوءاسـتفاده کنـد. ایـن دیـدگاه نشـان می‌دهـد کـه ملاحظات ژئوپلیتیکی، نقـش تعیین‌کننـده‌ای در شـکل‌دهی بـه سیاسـت‌های نظارتی بـر فنـاوری CAV در سـطح جهانـی ایفـا می‌کننـد.

# ۶. جدول مقایسه‌ای جامع

| محور کلیدی | اندونزی | کانادا | آمریکای لاتین و کارائیب (LAC) | مالزی | هندوستان |
|---|---|---|---|---|---|
| چارچوب تنظیم‌گری | تمرکز بر EV؛ مقررات وزارت صنعت (MOI) و حمل‌ونقل (MOTR). | تقسیم مسئولیت فدرال-استانی؛ مبتنی بر قانون ایمنی وسایل نقلیه. | نوپا و پراکنده؛ فقدان هماهنگی بین‌نهادی. | در حال توسعه؛ تمرکز بر جریان داده‌های فرامرزی و پروتکل‌های ایمنی. | مبتنی بر قانون وسایل نقلیه موتوری (MVA)؛ نظارت توسط MoRTH. |
| استانداردهای اصلی | فرآیند تأیید نوع (Type Test) توسط MOTR. | SAE J۳۰۱۶ برای سطوح اتوماسیون. | فقدان استانداردهای اشتراک‌گذاری داده؛ نیاز به اتخاذ استانداردهای باز. | تمرکز بر سطوح اتوماسیون ۳ و ۴. | استانداردهای ملی ایمنی مانند AIS-۱۵۳ برای اتوبوس‌ها. |
| نهادهای کلیدی | وزارت صنعت (MOI)، وزارت حمل‌ونقل (MOTR). | Transport Canada؛ دولت‌های استانی. | وزارتخانه‌های حمل‌ونقل و فناوری در کشورهای مختلف (برزیل، شیلی). | دولت‌ها، رگولاتورها، شرکت‌هایی مانند Reka. | MoRTH، تولیدکنندگانی چون Tata Motors، انجمن ACMA. |
| مشوق‌های اصلی | تخفیف برای تبدیل موتورسیکلت، مشوق‌های مالیاتی EV. | آموزش عمومی و شفاف‌سازی. | الزامات فناوری در تدارکات عمومی (مثال کلمبیا). | عضویت در طرح جامع دیجیتال (ADM ۲۰۲۵). | طرح PLI، کاهش GST، معافیت مالیاتی وام EV. |
| چالش‌های اصلی | زیرساخت شارژ ناکافی، مسائل مربوط به اتحادیه‌های کارگری. | عملکرد ۷۲V در شرایط محیطی متنوع؛ پراکندگی نظارتی. | مقاومت در برابر تغییر، هزینه فناوری، فقدان هماهنگی. | زیرساخت دیجیتال متنوع، تحویل کنترل شبکه در مرزها. | قطعات تقلبی، اختلافات مالکیت معنوی (IP). |
| سطح آمادگی | در حال رشد؛ تمرکز قوی دولت بر EV اما زیرساخت‌ها در حال توسعه. | بالا؛ چارچوب نظارتی پیشرفته و همکاری بین‌المللی فعال. | نوپا؛ شکاف بین شرکت‌های بزرگ و کوچک/دولتی. | متفاوت؛ مالزی در حال آزمایش، سایرین در مراحل اولیه. | متوسط؛ رشد سریع EV اما چالش‌های زیرساختی و کیفی. |

| محورکلیدی | روسیه | مجارستان | آفریقا/رواندا | امارات‌متحده‌عربی |
|---|---|---|---|---|
| چارچوب تنظیم‌گری | از دیدگاه آمریکا، منبع ریسک امنیت ملی؛ تحت نظارت‌های تجاری. | مبتنی بر قوانین EU؛ تمرکز بر جذب سرمایه‌گذاری. | مدل مشارکت عمومی-خصوصی (PPP)؛ نیاز به ظرفیت‌سازی دولتی. | قانون جدید نمایندگی تجاری؛ قانون حمایت از مصرف‌کننده. |
| استانداردهای اصلی | فاقد اطلاعات؛ نگرانی از بدافزار و backdoor. | استانداردهای اتحادیه اروپا. | نیاز به توسعه استانداردهای محلی برای داده. | استانداردهای بین‌المللی؛ الزامات فراخوان محصول. |
| نهادهای کلیدی | نهادهای دولتی و شرکت‌های تحت کنترل آن‌ها. | آژانس ترویج سرمایه‌گذاری (HIPA). | نهادهای دولتی (نیازمند ظرفیت‌سازی)، بخش خصوصی در مدل PPP. | RTA دبی، وزارت اقتصاد (MOE). |
| مشوق‌های اصلی | فاقد اطلاعات. | یارانه‌های نقدی و اعتبارات مالیاتی برای سرمایه‌گذاری. | سرمایه‌گذاری از طریق مدل PPP. | تخفیف ثبت، پارکینگ رایگان و معافیت عوارض برای EV. |
| چالش‌های اصلی | جمع‌آوری داده، ریسک امنیت سایبری برای کشورهای دیگر. | وابستگی به سرمایه‌گذاری خارجی. | کسب داده قابل اعتماد، ظرفیت پایین نهادهای دولتی. | مدیریت رشد بازار خودروهای دست دوم، توسعه زیرساخت خودران. |
| سطح آمادگی | فاقد اطلاعات؛ از دیدگاه غرب، یک ریسک امنیتی است. | متوسط؛ زیرساخت تولید قوی اما وابسته به سیاست‌های EU. | پایین؛ در مراحل اولیه شناسایی نیازها و آزمایش‌های محدود. | بالا؛ اهداف بلندپروازانه و سرمایه‌گذاری سنگین. |

# ۷. نتیجه‌گیری

تحلیل تطبیقی حکمرانی فناوری خودروهای متصل و خودران، تصویری از یک چشم انداز پویا اما ناهمگون را به نمایش می گذارد. یک روند مشترک و قدرتمند، تمرکز جهانی بر ترویج **خودروهای الکتریکی (EV)** به عنوان بخشی از گذار به حمل ونقل پایدار است. با این حال، تفاوت های منطقه ای در بلوغ نظارتی بسیار چشمگیر است. کشورهایی مانند کانادا و اعضای اتحادیه اروپا دارای چارچوب های حکمرانی پیشرفته و ایمنی محور هستند، در حالی که مناطقی مانند آمریکای لاتین و آفریقا هنوز در مراحل نوپای ایجاد هماهنگی بین نهادی و ظرفیت سازی قرار دارند. در این میان، چالش های جهانی مشترکی ظهور کرده اند: **امنیت سایبری** و مقابله با تهدیدات ناشی از اتصال پذیری، **حکمرانی داده** برای تضمین حریم خصوصی و دسترسی منصفانه، و نیاز مبرم به **هماهنگ‌سازی استانداردها** برای اطمینان از عملکرد یکپارچه و ایمن. بنابراین، موفقیت در این گذار نه تنها به نوآوری فنی، بلکه به توانایی دولت ها برای ایجاد اکوسیستم های نظارتی چابک، مشارکتی و آینده نگر بستگی دارد و این امر مستلزم سرمایه گذاری فوری بر ظرفیت سازی نهادی و هماهنگ سازی استانداردهای بین المللی است.

# ۸. منابع


• ASEAN. (2021). ASEAN Autonomous Vehicle Landscape Report on Regulatory Pilot Space (RPS) to Facilitate Cross-Border Digital Data Flows to Enable Autonomous Vehicle.

• Cybersecurity & Infrastructure Security Agency (CISA). (2021). Defending Against Software Supply Chain Attacks.

• Hogan Lovells. (2025). Panoramic 2025: Automotive and Mobility.

• Inter-American Development Bank (IADB). (2023). Digital Transformation of Transportation in Latin America and the Caribbean. IADB Publications.

• International Telecommunication Union (ITU). (n.d.). Connected and Autonomous Car.

• SAE International. (n.d.). SAE International J3016: Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles.

• Transport Canada. (2024). Canada's Safety Framework for Connected and Automated Vehicles 2.0.

• UN-Habitat, Afretec, & Carnegie Mellon University Africa. (2023). Towards Inclusive Intelligent Transportation in Africa.

• United Nations Economic Commission for Europe (UNECE). (n.d.). ITS for sustainable Mobility.

• U.S. Department of Commerce, Bureau of Industry and Security. (2025). Securing the Information and Communications Technology and Services Supply Chain: Connected Vehicles. Federal Register.

QUICK
ANSWER

# دفترهای خاکستری

این دفترها برای پاسخ علمی سریع، مختصر و دقیق به مسئله‌ها و نیازهایی تهیه و تولید می شود که در حین فعالیت مرکز ملی فضای مجازی و سایر دستگاه ها پیش آمده و به بررسی دقیق و در عین حال سریع نیاز دارند.



پژوهشگاه
فضای مجازی