بررسی جایگاه فناوری ارتباطات خـودرویی در سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند

زهرا انوری [*+]**، زینب کاموسی** [1] **و بهنام رفیعی‌مهر** [2]
تهران، جهاد دانشگاهی واحد صنعتی شریف، گروه پژوهشـی فناوری اطلاعات، صندوق پستی 686-13445

چکیده

سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند **(**ITS**)** در حال عرضه نوآوری‌های متنوعی هستند که می‌توانند چهره حمل‌ونقل را تغییر دهنـد. اما از دیدگاه بسیاری از صاحب‌نظران جهان، آنچه بزرگترین تاثیر را بر آینده ITS خواهد داشت، فناوری ارتباطات خـودرویی اسـت. فناوری بی‌سیمِ کارآمدِ بکارگرفته شده در آن، با استفاده از ارتباطات خودرو با خودرو (V2V) و خودرو با زیرسـاخت (V2I) قابلیـت متحول نمودن ایمنی حمل‌و نقلی، کاهش ازدحامات ترافیکی و اثرات زیست‌محیطی بخش حمل‌و نقل را دارد. پیاده‌سـازی فنـاوری ارتباطات خودرویی، صرفا تصویری از آینـده ITS نیسـت، بلکـه ITS دنیـا بـر مبنـای آن در حـال متحـول شـدن و توسـعه اسـت. سازمان‌های دولتی، پژوهشکده‌های حمل‌ونقل و خودروسازان جهان، هم‌اکنون در حال توسعه ایـن فنـاوری بـوده و پیشـرفت‌هـایی واقعی در این راه بدست آورده‌اند. این پژوهش به بررسی اثر و جایگاه ارتباطات خودرویی در سامانه حمل‌ونقل هوشمند می‌پردازد.

واژگان کلیدی: سامانه حمل‌ونقل هوشمند، فناوری ارتباطات خودرویی، ایمنی، روانی ترافیک.

* عهده دار مکاتبات
+ شماره نمابر: 021-66024624 و آدرس پست الکترونیکی: Z_anvari@jdsharif.ac.ir
1 شماره نمابر: 021-66024624 و آدرس پست الکترونیکی: Zeinab_kamousi@jdsharif.ac.ir
2 شماره نمابر: 021-66024624و آدرس پست الکترونیکی: Rafiey@jdsharif.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

1- مقدمه

سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند (ITS[3]) به مجموعه‌ای اطلاق می‌شود که با استفاده از ابزارهای خودکار و برنامه‌ریزی شده، برخی از عملیات کنترلی (کنترل جریان تردد، مقررات ترافیکی یا عوارضی و...) و آمارگیری، اطلاع‌رسانی به رانندگان، برداشت اطلاعات و... را برای رفع مشکلات حمل‌و نقل انجام می‌دهد[1]. می‌توان گفت این سامانه‌ها، اصطلاحی برای کاربرد ترکیبیِ فناوری‌های ارتباطاتی، کنترل و پردازش اطلاعات برای شبکه‌های حمل‌ونقلی به‌منظور بهبود کارایی این شبکه‌ها است. اهداف اصلی سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند را می‌توان چنین برشمرد:

- کنترل جابه‌جایی خودروها و جریان ترافیک؛
- بالا بردن ایمنی مسافران در سفر؛
- بهبود کارایی سامانه‌های حمل‌ونقل و فناوری‌های مورد استفاده در آن؛
- ایجاد محیطی مناسب برای تجارت در سامانه‌های حمل‌ونقل؛
- کاهش مصرف انرژی و هزینه‌های ناشی از تخریب محیط زیست.

با گسترش فناوری‌های ارتباطاتی خصوصا فناوری ارتباطات بی‌سیم، سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند مشارکتی (C-ITS[4]) به عنوان زیرمجموعه‌ای از سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند مطرح شده‌اند. در این سامانه‌ها، عناصر مختلف شبکه حمل‌ونقل شامل خودروها، جاده و زیرساخت، اطلاعاتی را با یکدیگر، به‌منظور بهبود کارایی، به اشتراک می‌گذارند. هدف سامانه حمل‌ونقل هوشمند مشارکتی، ایجاد قابلیت ارتباط در سامانه حمل‌ونقل با بکارگیری فناوری‌های پیشرفته، سازگار و تأثیرگذار بی‌سیم است. تحقیقات انجام شده در سطح جهان نشان می‌دهد با بکارگیری این ارتباطات، قابلیت بالقوه‌ی تأمین بخش عظیمی از اهداف اصلیِ برشمرده برای سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند وجود دارد. در این راستا، سناریوهای زیر متصور است:

- شهری وجود داشته باشد که تصادفات بزرگراهی در آن به ندرت اتفاق می‌افتد؛ زیرا همه‌ی انواع خودروها می‌توانند اتفاقات و خطرات پیرامون خود را حس کرده و با آنها در ارتباط باشند؛
- مدیران حمل‌ونقل بار، اپراتورهای سامانه و سایر کاربران، در محیطی کاملا مرتبط و دارای اطلاعات کامل از سفرها و خودروهای در حال تردد، از تمامی جنبه‌های کارایی سامانه مطلع هستند.
- مسافرانی که اطلاعات کامل و دقیقی مانند زمان‌های مسافرت، زمان‌بندی‌ها، هزینه، توانایی ذخیره مکان پارک خالی و تمامی اطلاعات محیطی را در زمان سفر در اختیار دارند؛
- انواع خودروها با زیرساخت و تجهیزات کنار جاده در ارتباط هستند تا بتوانند توقف‌های غیرضروری را کاهش داده و به رانندگان کمک کنند تا با میزان مصرف سوخت کمتری سفرهای خود را انجام دهند.

به عبارت دیگر، می‌توان گفت در سامانه‌های مشارکتی، اجزای سامانه به "گفتگو" با یکدیگر می‌پردازند که این گفتگو شامل اطلاعات با ارزشی در مورد وضعیت، شرایط خودرو و جاده، تصادفات و سایر اطلاعات ترافیکی است. این اطلاعات منجر به ایجاد هماهنگی در حرکت خودروها و اجتناب از تصادفات می‌گردد[2]. در نتیجه‌ی به اشتراک‌گذاری این اطلاعات، ایمنی، کارآمدی و راحتی استفاده از این نوع سامانه‌ها، نسبت به سامانه‌های مستقل ارتقا می‌یابد. مهمترین فناوری مورد استفاده در سامانه‌های حمل‌و نقل هوشمند مشارکتی، فناوری ارتباطات خودرویی است. ارتباطات موجود در این فناوری را می‌توان به سه دسته زیر تقسیم کرد:

- ارتباطات خودرو با خودرو (V2V[5]): در این دسته از ارتباطات، خودروها از طریق واحدهای الکترونیکی خود موسوم به وضعیت‌نمای درون خودرویی (OBU[6]) اطلاعاتی را از طریق امواج بی‌سیم با یکدیگر مبادله می‌کنند.
- ارتباطات خودرو با زیرساخت (V2I[7]): ارتباطاتی که در آنها تبادل پیام بین خودروها و مراکز کنترل و پایش داده‌های ترافیکی، با استفاده از تجهیزات موسوم به واحدهای کنار جاده‌ای (RSU[8]) صورت می‌پذیرد.
- ارتباطات خودرو با تجهیزات قابل حمل (V2N[9]): ارتباط بین خودروها و تجهیزات سیار نظیر گوشی‌های تلفن همراه، تبلت‌ها و ابزارهای ناوبری[10] در این گروه قرار دارد.

بستر بی‌سیم منتخب برای برقراری این ارتباطات، فناوری ارتباطات اختصاصی برد کوتاه (DSRC[11]) است که در ادامه

3 Intelligent Transportation Systems
4 Cooperative intelligent transportation systems

5 Vehicle-to-Vehicle
6 On-Board Unit
7 Vehicle-to-Infrastructure
8 Road-Side Unit
9 Vehicle-to-Navigation
10 Navigation
11 Dedicated Short Range Communications

Archive of SID
www.SID.ir

معرفی می‌گردد.

2- DSRC، فناوری ارتباطی منتخبِ ITS

یکی از مسائل اساسی در ITS جهان برای استقرار سامانه‌های هوشمند مشارکتی، مسئله انتخاب فناوری‌های ارتباطی مورد استفاده در این سامانه‌هاست. از بین فناوری‌های مختلفی که تاکنون برای این منظور مطرح شده‌اند، DSRC بیشتر از سایرین مورد توجه قرار گرفته است. ویژگی‌هایی مانند قابلیت ارتباط در پهنای باند نسبتا وسیع و همچنین سرعت بالا باعث شده است که این فناوری به‌عنوان یکی از قابل اعتمادترین فناوری‌های بکارگرفته شده در محیطهای خودرویی دنیای امروز مطرح باشد.

در سال 1999 کمیسیون مخابرات فدرال ایالات متحده (FCC[12])، 75 مگاهرتز از طیف DSRC در باند 5/9 گیگاهرتز را منحصرا به ارتباطات خودرویی اختصاص داد. این فناوری، یک فناوری ارتباطی رو به گسترش است که با هدف برقراری ارتباط محلی بی‌سیم، برای کاربران ثابت و متحرک با نرخ بالای انتقال داده ارائه شده است[3]. استاندارد اختصاصی این فناوری با نام 802.11p برای کاربرد دسترسی بی‌سیم در محیطهای خودرویی (WAVE[13]) توسط مؤسسه IEEE تدوین شده و در 15 جولای سال 2010 انتشار یافته است. محدوده فرکانسی مورد استفاده در این قرارداد 5/85 تا 5/92 گیگاهرتز و نرخ انتقال داده آن بین 3 تا 27 مگابایت در ثانیه است که کاربردهای بسیار متنوعی از جمله کاربردهای اینترنت در حال حرکت با سرعت بالا را نیز شامل می‌شود[4].

علت انتخاب این فناوری، خصوصیات ویژه و تفاوت‌های اصلی این فناوری در مقایسه با سایر فناوری‌های موجود نظیر شبکه‌های سلولی[14] است[5].

دو تفاوت عمده در این زمینه عبارتند از:

- DSRC، برخلاف فناوری‌های سلولی توانسته است قابلیت‌های مورد نیاز برای پشتیبانی از کاربردهای ایمنی مانند تأخیر کم و همچنین دقت و اطمینان بالا را ارائه نماید.
- فناوری‌ها و کاربردهای مبتنی بر DSRC بر روی خودروهای تجهیز شده، قابلیت یکپارچگی و سازگاری با واسطهایی را دارند که براساس راهبردهای وزارت ملی ایمنی ترافیک بزرگراهی آمریکا (NHTSA[15]) مورد تأیید هستند، در حالی‌که فناوری‌ها و کاربردهای جدید بر مبنای شبکه‌های سلولی، واسطهای یکپارچه‌ای را که تضمین کننده عدم به‌هم خوردن تمرکز راننده باشد، ارائه نمی‌کنند.

DSRC دارای ویژگی‌هایی است که به طور خاص به نیازهای ارتباطی مورد نیاز برای بیشتر کاربردهای ایمنی خودروهای مرتبط (خودروهایی که مجهز به این فناوری هستند) پاسخ می‌دهد، این ویژگی‌ها عبارتند از:

- برد 500 -300 متر (و حداکثر تا 1000 متر در برخی از موارد پیاده‌سازی شده)؛
- قابلیت برقراری ارتباط یک طرفه و دو طرفه بین خودروها با یکدیگر و خودروها با زیر ساخت؛
- قابلیت ارتباطات همه پخشی[16] و نقطه به نقطه[17]؛
- تأخیر کمتر از 100 میلی ثانیه.

تأخیر زمانی در تحویل پیام‌های ایمنی به خودروها علاوه بر کاهش اعتبار پیام و عدم قطعیت در تعیین مکان خودروها، می‌تواند منجر به تلفات جانی غیر قابل جبران نیز شود. هنگام حرکت خودروها با سرعت بالا، هر گونه تأخیر در ارسال، حتی در حد میلی ثانیه، می‌تواند اثرات نامطلوبی بر روی ایمنی داشته باشد.

تحقیقات وزارت حمل‌ونقل آمریکا (USDOT[18]) نشان می‌دهد که DSRC تنها فناوری در دسترس در حال حاضر است که تأخیر پایین، صحت و قابلیت اطمینان مورد نیاز برای ایمنی فعال[19] را در کاربردهای ارتباطات خودرویی ارائه می‌کند[5]، اما با وجود این ارجحیت، چالش‌هایی نیز در مورد پیاده‌سازی این فناوری وجود دارد. از این موارد می‌توان به چالش‌هایی نظیر هزینه‌بر بودن پیاده‌سازی DSRC به‌صورت فراگیر در تمام جاده‌ها و نیز چالش‌هایی درمورد تخصیص پهنای باند فرکانسی آن اشاره نمود[5]. بر این اساس، یکی از گزینه‌های ممکن در پیشِ‌روی ITS جهان، ادغام DSRC با شبکه‌های سلولی برای ارائه راه‌حلی مقرون به صرفه در برقراری ارتباطات V2X[20] است.

12 Federal Communications Commission
13 Wireless Access in Vehicular Environments
14 Cellular Networks
15 National Highway Traffic Safety Administration

16 Broadcasting
17 Peer-to-Peer
18 United States Department of Transportation
19 Active، در مقابل کاربردهای ایمنی غیرفعال (passive) مانند کاربرد کیسه هوا برای کاهش صدمات ناشی از تصادفات
20 V2V,V2I,V2N and …

Archive of SID
www.SID.ir

3- چالش‌های سامانه‌های حمل‌و نقل هوشمند و مزایای بکارگیری فناوری ارتباطات خودرویی

با نگاهی به مهمترین برنامه‌ها و رویکردهای ITS جهان، نظیر ITS آمریکا، اروپا، استرالیا و کانادا، می‌توان گفت بسیاری از اهداف کلی پیاده‌سازی ITS در کشورهای مختلف، با یکدیگر مشترک بوده و چالش‌های یکسانی نیز در پیش‌روی آنها است. محققین معتقدند فناوری ارتباطات خودرویی، راهکارهای بالقوه‌ای را برای این چالش‌ها ارائه می‌نماید. در ادامه، چالش‌های ITS و راهکارهای فناوری ارتباطات خودرویی مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

3-1- ایمنی رانندگی و تصادفات

یکی از چالش‌های اصلی سامانه‌های ITS، مربوط به مسئله‌ی ایمنی و تصادفات می‌شود. اگرچه میزان تصادفات در کشورهای مختلف جهان متفاوت است و آمارها، کاهش میزان مرگ و میر در اکثرکشورها را در سال‌های اخیر نسبت به سال‌های گذشته نشان می‌دهد، با این وجود هنوز میزان تصادفات، غیر قابل قبول است. تصادفات در آمریکا عامل مرگ و میر 32885 نفر در سال2010 در بین افراد بین 34-4 سال بوده است. سازمان ملی ایمنی ترافیک بزرگراهی آمریکا، خسارت‌های اقتصادی ناشی از تصادفات در بزرگراه‌های این کشور را 230/6 میلیارد دلار تخمین زده است که تقریبا برابر با 3/2% از تولید ناخالص ملی یا به طور متوسط برابر با 820 دلار برای هر فرد در کشور آمریکا است[6].

در کشور ایران نیز براساس آمار منتشره طی دوره چهارده ساله 1373 تا 1386، بیش از 267 هزار نفر در تصادفات جاده‌ای برون و درون شهری جان خود را از دست داده‌اند و در این مدت حدود سه میلیون نفر نیز دچار مصدومیت شده‌اند. تلفات جاده‌ای در ایران طی یک دوره 10 ساله با میزان تلفات انسانی جنگ هشت ساله ایران و عراق برابری می‌کند[4].

راهکار فناوری ارتباطات خودرویی برای مسئله ایمنی، کاربردهای ایمنی V2V و V2I است. با بکارگیری فناوری ارتباطات خودرویی، سناریوهای زیر در حوزه ایمنی قابل تصور است:

- رانندگان می‌توانند از حضور خودروها و وقوع حوادثی در پیرامون خود آگاه شوند که در حالت عادی قادر به آگاهی از آنها نیستند، به عبارت دیگر، رانندگان دید 360 درجه‌ای نسبت به پیرامون خود پیدا می‌کنند.
- خودرو می‌تواند راننده را از وضعیت و خطراتی مطلع سازد که قادر به دیدن آنها نیست.
- راننده می‌تواند از سرعت و موقعیت خودرو و یا خودروهایی مطلع شود که در حال نزدیک شدن هستند.

کاربردهای ایمنی فناوری ارتباطات خودرویی، برای افزایش آگاهی از وضعیت، کاهش و یا حذف تعداد تصادفات از طریق انتقال اطلاعات به صورت V2V و یا V2I طراحی شده‌اند که به ارائه اطلاعات کمکی، پیام‌های اخطار به راننده و یا کنترل زیرساخت /خودرو می‌پردازند. با این کاربردها یک محیط حمل‌ونقل مرتبط قادر است به صورت بالقوه 80 درصد سناریوهای تصادفات را با وجود رانندگان بی‌توجه و سهل‌انگار پوشش دهد و از صدها تصادف در سال جلوگیری نماید. تحقیقات بیشتر و پیاده‌سازی گسترده‌تر در این زمینه، باعث کاهش تصادفات ماشین‌های سنگین، اتوبوس‌ها و تصادفات ریلی نیز خواهد شد[7]. تعدادی از کاربردهای ایمنی V2V عبارتند از:

- هشدار برخورد از جلو؛
- هشدار اعلام ترمز ناگهانی توسط خودروهای جلویی؛
- اعلام رخداد تصادف در مسیر پیش‌رو؛
- تشخیص نقطه کور.

و مثال‌هایی از کاربردهای ایمنی V2I نیز عبارتند از:

- سامانه‌های اجتناب از تصادفات در چهارراه‌ها؛
- هشدار عابر پیاده؛
- هشدار ورود خودرو از مسیر فرعی به جاده اصلی.

3-2- ازدحامات ترافیکی و تحرک پذیری

ازدحام ترافیک به طور سالانه 100 میلیارد دلار به اقتصاد آمریکا ضرر وارد می‌کند. به‌علاوه در این کشور تاکنون 4/8 میلیارد ساعت وقت و 1/9 میلیارد گالن سوخت در زمان‌هایی که مردم در ازدحام ترافیکی قرار داشته‌اند، به هدر رفته است[6]. استفاده از فناوری ارتباطات، این توان بالقوه را برای مراکز کنترل سامانه‌های حمل‌ونقل به‌وجود می‌آورد که:

- موقعیت هر کدام از خودروها را در هر لحظه بدانند؛
- الگوهای لحظه‌ای و در حال تغییر ترافیک را ببینند؛
- انتخاب‌های زمان واقعی را از همه جاده‌ها و پارکینگ‌های موجود در طول مسیر در اختیار رانندگان و مسافران قرار دهند.

راهکارهایی که توسط فناوری ارتباطات خودرویی برای کاهش ازدحامات ترافیکی و روان‌سازی ترافیک ارائه می‌شوند، شامل کاربردهای جمع‌آوری و مدیریت داده (DCM)[21] و

21 Data Capture and Management

Archive of SID
www.SID.ir

کاربردهای تحرک‌پذیری پویا (DMA)[22] هستند. مطالعات وزارت حمل‌ونقل آمریکا نشان می‌دهد که پیاده‌سازی کامل کاربردهای اصلی تحرک‌پذیری[23]، باعث کاهش 33 درصد تأخیر ناشی از ازدحامات ترافیکی می‌شود[8]. در ادامه این کاربردها معرفی شده‌اند.

3-2-1- کاربردهای جمع‌آوری و مدیریت داده (DCM)

کاربردهای DCM، این امکان را به‌وجود می‌آورند که داده‌های بلادرنگ، از تجهیزات نصب شده بر روی خودروها (اعم از اتومبیل، اتوبوس و یا کامیون) و یا از تجهیزات کنار جاده دریافت شود، سپس این اطلاعات به صورت بی‌سیم به مرکز داده منتقل شده و توانایی‌های بالقوه زیر را برای سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند به‌وجود آورد:

- ایجاد فضایی برای یکپارچه‌سازی داده‌های سطح بالای ترافیکی که به منظور مدیریت و تحلیل کارآمد این سامانه‌ها، از منابع مختلفِ حمل‌ونقلی به‌دست آمده است؛
- در اختیار قرار دادن اطلاعات بروز به مسافران و کاربران جاده‌ای برای اتخاذ تصمیمات آگاهانه‌تر در مورد سفر و مسیر پیش‌رو؛
- استفاده از این داده‌ها در مجموعه وسیعی از کاربردهای تحرک‌پذیری پویا که در قسمت بعدی آورده می‌شود.

3-2-2- کاربردهای تحرک پذیری پویا (DMA)

فناوری ارتباطات خودرویی این امکان را پدید می‌آورد که با بهره‌گیری از ابزارهای مسیریابی و استفاده بهینه از زیرساخت‌های حمل‌ونقلی، امکان تحرک‌پذیری بیشتر برای خودروها ایجاد گردد. بدین منظور، برنامه‌های کاربردی تحرک‌پذیری پویا سعی در استفاده از پتانسیل‌های موجود در ارتباطات خودرویی، مسافران و زیرساخت‌ها دارد تا سهولت در حمل‌ونقل جاده‌ای افزایش و زمان سفر کاهش یابد.

علاوه بر این، مجموعه کاربردهای DMA فوائدی بیش از بهبود تحرک‌پذیری خودروها را نیز به همراه دارند. این دسته از کاربردها همچنین می‌توانند موجب کاهش مصرف سوخت، کاهش آلودگی هوا و افزایش ایمنی شوند. نمونه‌ای از توانایی‌های بوجود آمده توسط این کاربردها عبارتند از[8]:

- امکان مسیریابی پویا برای خودروهای مرتبط؛
- رانندگی با آگاهی از وضعیت خودرو و شرایط پیرامون؛
- اعلام هشدار ازدحام در مسیر پیش‌رو به رانندگان خودروهای مرتبط؛
- سامانه‌های چراغ راهنمایی مبتنی بر داده‌های پویا.

3-3- سوخت خودروها و مسئله محیط زیست

آمارها نشان می‌دهد در کشور آمریکا هر ساله 1/9 میلیارد گالن سوخت به هدر رفته و 31 درصد دی‌اکسیدکربن توسط خودروها تولید می‌شود[6]. آلایندگی حاصل از تردد خودروها یکی از بزرگ‌ترین منابع تولید دی‌اکسید کربن، اکسید نیتروژن و متان است. این آلودگی‌ها سبب بیماری‌های ریوی و مرگ‌های زودرس می‌شوند. به علاوه خودروهایی که در سطح شهر روشن و ساکن و یا با سرعت پایین در حال حرکت هستند، به دلیل وجود ازدحام، دود و آلودگی‌های مضر بیشتری را نسبت به خودروهایی تولید می‌کنند که در شرایط روان ترافیک در حال رفت‌وآمد هستند. بنابراین فناوری‌هایی که موجب کاهش مصرف سوخت، توقف بی‌جا، ترمز و تغییر سرعت‌های مکرر و یا تعداد خودروهای قرار گرفته در ازدحام سنگین ترافیکی می‌شوند، قادر خواهند بود نقش مهمی را در کاهش تولید گازهای گلخانه‌ای (GHG[24]) ایفا نمایند.

کاربردهای زیست‌محیطی فناوری ارتباطات خودرویی، از داده‌های بلادرنگ حمل‌ونقل برای اطلاع‌رسانی مفید به کاربران و اپراتورهای سامانه‌های حمل‌ونقلی استفاده می‌کنند تا موجب سهولت و پشتیبانی از انتخاب‌های حمل‌ونقلی سازگار با محیط زیست شوند. نمونه‌ای از این کاربردها، رانندگان را در خصوص تنظیم سرعت بهینه برای عبور از چراغ‌های راهنمایی در وضعیت سبز و چگونگی رانندگی سازگار با محیط زیست[25] یاری می‌نمایند. رانندگی سازگار با محیط‌زیست، شامل ارسال توصیه‌های شخصی‌سازی شده (مانند سرعت پیشنهادی، کاهش و افزایش سرعت به صورت بهینه بر اساس شرایط ترافیکی و تعامل با خودروهای اطراف) به رانندگان خودروهای مرتبط است به‌نحوی که موجب بهبود عملکرد رانندگی آنان در زمینه صرفه‌جویی در مصرف سوخت و کاهش آلایندگی محیط زیست شود.

همچنین کاربران این سامانه‌ها با اطلاع از این داده‌های بلادرنگ می‌توانند گزینه‌های مختلفِ سازگار با محیط زیست مانند دوری از ازدحامات ترافیکی، استفاده از مسیرهای جایگزین، استفاده از حمل‌ونقل عمومی و تغییر زمان‌بندی سفر را با توجه

22 Dynamic Mobility Applications
23 Mobility

24 Greenhouse Gas
25 Eco-Driving

Archive of SID
www.SID.ir

به ساعات اوج ترافیک انتخاب نمایند. همه این موارد می‌تواند منجر به کاهش مصرف سوخت و در نتیجه کاهش تولید آلاینده-های زیست‌محیطی شود.

4- رویکرد برنامه‌های ITS کشورهای جهان به فناوری ارتباطات خودرویی

کشور آمریکا اولین کشوری است که راه‌اندازی و توسعه معماری ITS را در سطح ملی مورد توجه قرار داد[1]. همچنین ITS آمریکا از اولین پیشگامان تحقیق، توسعه و استقرار ارتباطات و فناوری‌های پیشرفته در حوزه حمل‌ونقل است که باعث ارتقای ایمنی، امنیت و کارآمدی این سامانه‌ها می‌گردد[5].

به‌منظور تحقیقات در زمینه فناوری ارتباطات خودرویی، وزارت حمل‌ونقل آمریکا اداره پژوهش و نوآوری در فناوری این وزارتخانه را (RITA[26]) به عنوان مسئول هدایت "برنامه پژوهش و و آزمایش سامانه‌های ارتباطات خودرویی" در این کشور برگزیده است. این برنامه، شامل سه قسمت است. در بخش اول، توسعه معماری مناسب برای بکارگیری تمامی رسانه‌های ارتباطی مانند خودرو، زیرساخت و تجهیزات الکترونیکی سیار در سامانه‌های ارتباطات خودرویی مدنظر است. تدوین استانداردهای مورد نیاز و هماهنگ‌سازی با استانداردهای اروپایی در این بخش به انجام می‌رسد.

در دومین بخش، بر اساس فناوری‌های ارتباطات خودرویِ مورد مطالعه، کاربردهای مناسبی در حوزه‌های ایمنی، تحرک‌پذیری و محیط زیست طراحی می‌شوند. برنامه ارتباطات خودرو با خودرو و خودرو با زیرساخت در آن‌آربور[27] ایالت میشیگان، پیشرفته‌ترین برنامه وزارت حمل‌ونقل آمریکاست که با یک آزمون میدانی بزرگ مشتمل بر 3000 خودروی مرتبط همراه است. پژوهش در بخش ارتباط خودرو با زیرساخت بیشتر بر کاربردهای علایم راهنمایی متمرکز است که در آن از اطلاعات سیگنال و زمان‌بندی (SPaT[28]) برای تولید هشدارهای ایمنی استفاده می‌شود.

سومین بخش از برنامه پژوهشی ارتباطات خودرویی وزارت حمل و نقل آمریکا، زمینه سیاست‌گذاری را پوشش می‌دهد. در پیاده‌سازی فناوری ارتباطات خودرویی باید به موضوعات پیچیده‌ای مانند سامانه‌های امنیتی لازم برای ارتباطات خودرویی پاسخ داده شود. همچنین موضوعاتی مانند حریم شخصی اشخاص، مسئولیت‌پذیری زمان بروز حادثه و امنیت در فضای مجازی در این محدوده قرار می‌گیرند.

بر اساس این برنامه، پروژه‌ای تحقیقاتی به‌منظور یکپارچه‌سازی خودرو و زیرساخت (VII[29]) در سال 2001 مطرح شد تا امکان استفاده از فناوری DSRC را در ایجاد محیطی برای مبادله اطلاعات بین خودروها و نیز خودروها و زیرساخت‌های جاده‌ای، به منظور بهبود ایمنی جاده‌ها مورد مطالعه قرار دهد. در سال 2003 کارکنان برنامه سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند آمریکا و سایر کارشناسان به این نتیجه رسیدند که تعامل میان خودروها (V2V) و میان خودروها و زیرساخت‌های جاده‌ای (V2I) توان بالقوه عظیمی برای پاسخ‌گویی به چالش‌های مرتبط با ایمنی و سایر دشواری‌های حمل‌ونقل را در اختیار می‌گذارد. بنابراین در این سال، وزارت حمل‌ونقل آمریکا بر اساس تجارب ناشی از برنامه‌های پژوهشی پیشین (مانند طرح خودروی هوشمند- IVI[30])، برنامه VII را آغاز کرد.

آزمون‌های مفهومی (اثبات ادعا[31]) برنامه VII در سال 2007، امکان‌پذیری و موفقیت برنامه‌های کاربردی ایمنی مبتنی بر فناوری DSRC در باند فرکانسی 5.9 GHz را در حالت کلی نشان داد. با پیشرفت برنامه VII از مرحله پژوهش به مرحله آزمون تجاری و بازاریابی، پژوهشگران دریافتند که قلمرو برنامه‌های ITS باید به‌گونه‌ای گسترش یابد که کاربردهای بالقوه فناوری‌های نوین بی‌سیم و رایانه‌ای را پوشش دهد. برای انعکاس بهتر آخرین نتایج پژوهش، وزارت حمل‌ونقل آمریکا در سال 2009 عنوان جدید "IntelliDrive" را برای برنامه VII برگزید[9]. شکل شماره 1 اجزای برنامه تحقیقاتی پروژه Intellidrive را نشان می‌دهد.

با آغاز برنامه استقرار این پروژه در سال 2009، تحولات مهمی در برنامه سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند روی داد؛ لیکن در این میان پرسش‌های زیادی نیز باقی مانده است که از آن جمله می‌توان به چگونگی نفوذ فناوری به درون خودروها و زیرساخت‌های حمل‌ونقل اشاره کرد. همگام با توسعه فناوری‌ها و کاربردهای مبتنی بر DSRC، برنامه ITS آمریکا طوری طراحی شد که بتواند به تعدادی از پرسش‌های کلیدی در رابطه با پیاده‌سازی و استقرار فناوری پاسخ دهد؛ برخی از این پرسش‌ها عبارت بودند از:

26 Research and Innovative Technology Administration
27 Ann Arbor
28 Signal Phase and Timing

29 Vehicle Infrastructure Integration
30 Intelligent Vehicle Initiative
31 proof-of-concept tests

Archive of SID
www.SID.ir

- آیا مزایای کوتاه مدت پیاده‌سازی فناوری ارتباطات خودرویی برای کاربردهای ایمنی ITS به اندازه‌ای هست که سازمان ملی ایمنی ترافیک بزرگراهی این کشور (NHTSA[32]) را در مورد قانون الزام خودروهای سبک و سنگین به استفاده از ابزارهای مبتنی بر DSRC متقاعد سازد؟
- کدامیک از کاربردهای غیر مرتبط با ایمنی (کاربردهای مربوط به تحرک‌پذیری یا کاربردهای حوزه محیط زیست) می‌توانند مشوق پذیرش سریع‌تر سامانه‌های مبتنی بر DSRC یا فناوری‌های ارتباطی دیگر باشند؟
- چه نوع و چه میزان از زیرساخت‌های جاده‌ای برای پشتیبانی از کاربردهای ایمنی و روان‌سازی ترافیک مورد نیاز هستند؟

نکته مهم این است که برنامه‌های جدید ITS این کشور کارهای قبلی انجام شده بر روی استانداردها را با تمرکز بر بلوغ و همسان‌سازی بین‌المللی استانداردها تداوم خواهد داد تا راه برای استقرار آنها هموار گردد.

شکل 1: اجزای برنامه تحقیقاتی پروژه سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند آمریکا

علاوه بر این، برنامه ITS تمرکز خود را بر روی تمامی فناوری‌های ارتباطی مناسب، به منظور پیاده‌سازی کاربردهایی غیر از ایمنی که به تأخیر پایین نیازمندند، گسترش خواهد داد. شکل 2 نمایی از ساختار و ارتباطات ITS را نشان می‌دهد.

با تکیه بر تحقیقات انجام شده و به موازات تکمیل آنها، وزارت حمل‌و نقل آمریکا در 8 دسامبر 2009، سند برنامه راهبردی ITS آمریکا را برای سال‌های 2010 تا 2014 ارائه کرد. هسته اصلی این برنامه بر پایه فناوری ارتباطات خودرویی و کاربردهایی مبتنی بر ارتباطات بی‌سیم بین خودروها، خودروها با زیرساخت، خودروها و تجهیزات سیار کاربران و زیرساخت است[9]. روند و اهمیت تحولات این فناوری در این کشور تا آنجا بود که در سال 2012، این سند با نگاه جدیدتری بر تحولات فناوری ارتباطات خودرویی بروزرسانی شد[6].

این سازمان در ادامه برنامه‌های خود، در حال حاضر در حال بررسی و جستجوی نظرات عموم ذینفعان پیرامون نسخه آینده برنامه راهبردی سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند آمریکا برای سال‌های 2015 تا 2019 است[10].

این سند مفاد کلی زیر را به منظور دریافت نظرات ذینفعان ارائه می‌نماید:

- بلوغ سامانه‌های ارتباطات خودرویی: تمرکز بر آنچه برای شتاب بخشی به بلوغ ارتباطات خودرویی با سامانه‌های پیرامونی مورد نیاز است؛
- اجرای برنامه‌های پایلوت و آمادگی برای استقرار: تمرکز بر امنیت، سیاست‌گذاری، فرصت‌های‌کاری، قابلیت‌ها، برنامه‌های آزمایشی و مشوق‌های مورد نیاز برای پیاده‌سازی؛
- یکپارچه‌سازی با محیط‌های گسترده‌تر: تمرکز بر یکپارچه-سازی و قابلیت‌های پشتیبانی از تصمیم‌گیری فناوری ارتباطات خودرویی برای ایجاد قابلیت تعامل آن با سایر خدمات دولتی و تاسیسات عمومی.

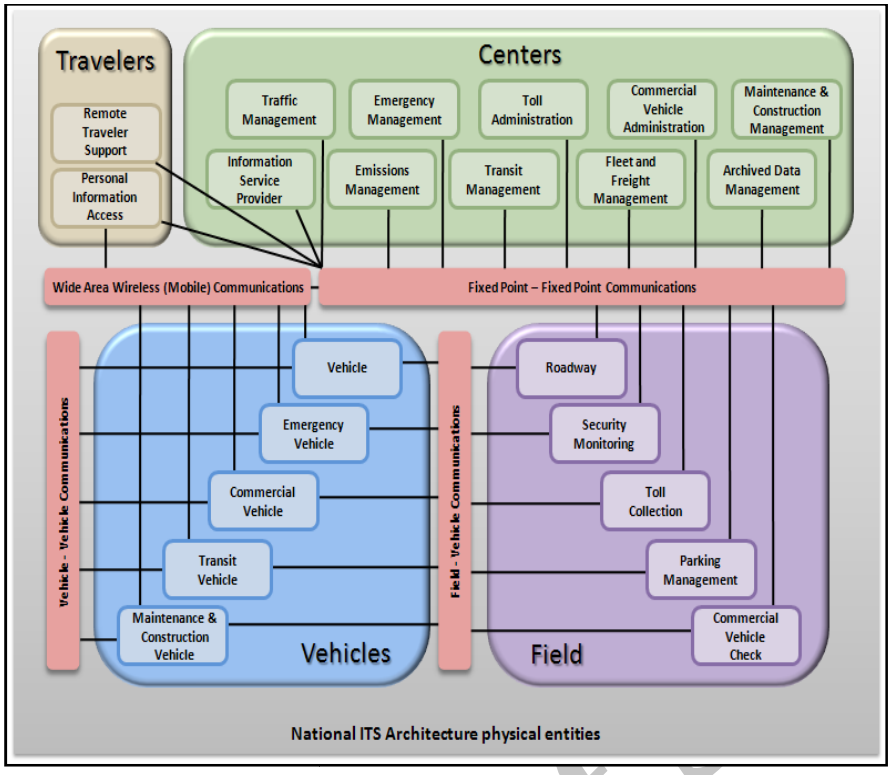
علاوه بر آمریکا در سایر نقاط جهان مانند اتحادیه اروپا، استرالیا، کانادا، ژاپن و.. نیز با ظهور فناوری‌های ارتباطی و اطلاعاتی جدید، تعریف، نقش و جایگاه این فناوری در راهبردهای ITS دولت‌ها برجسته‌تر شده است. در روند تحقیقاتی که برنامه‌های ITS جهان، برای توسعه فناوری‌های جدید به‌منظور افزایش کارآمدی سامانه‌های حمل‌و نقل داشته‌اند، همواره موضوع تحقیق و توسعه کاربردهای فناوری ارتباطات خودرویی به چشم می‌خورده است.

ITS در اروپا، بیشتر تحت نظر سازمان اِرتیکو[33] و شامل مجموعه‌ای متشکل از کشورهای اروپایی، شرکت‌های خودروسازی، تأمین‌کنندگان قطعات و سایر سازمان‌ها و مراکز تحقیقاتی است. یکی از محورهای اصلی فعالیت این سازمان، توسعه سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند مشارکتی در اروپا است.

32 National Highway Traffic Safety Administration

33 Ertico

Archive of SID
www.SID.ir



شکل 2: نمایی از ساختار و ارتباطات ITS آمریکا

فعالیت‌های این سازمان در این زمینه بر چهار بخش زیر استوار است [11]:

- ارتباطات خودرو با خودرو و خودرو با زیرساخت: شامل ارتباطات خودروها با یکدیگر و اتصال آنها به تجهیزات کنار جاده‌ای و زیرساخت‌های حمل‌ونقلی است؛
- کنترل و پایش مشارکتی: به‌منظور تأمین داده‌های بلادرنگ از طریق خودروها در مورد جاده و شرایط ترافیکی، محیطی و تصادفات؛
- کاربردهای ایمنی مشارکتی: به‌منظور ایجاد و فراهم‌سازی هشدارهایی در مورد خطرات و ایمن‌سازی تقاطعات؛
- مدیریت ترافیک مشارکتی: به‌منظور استفاده از تعاملات خودرو با مراکز کنترل ترافیک برای ایجاد ترافیک روان‌تر و استفاده از خودروها به عنوان شناساگر (حلقه)های القایی مجازی[34].

کمیسیون حمل و نقل ملی استرالیا[35] نیز از سازمان‌هایی است که موضوع C-ITS را در این کشور مورد توجه جدی قرار داده است. در سال 2012 کمیسیون مزبور اعلام کرد که فناوری ارتباطات خودرویی می‌تواند با فراهم ساختن امکان ارتباط بین خودروها و زیرساخت‌های جاده‌ای، سالانه موجب نجات 300 نفر از 1300 نفری شود که در جاده‌های این کشور در اثر تصادفات جان خود را از دست می‌دهند[4].

در سندی که در سال 2012 توسط این سازمان ارائه شده است، به بررسی مسائل و جوانب استقرار مؤثر و ایمن سامانه‌های حمل‌ونقل مشارکتی و مسائل و خطراتی پرداخته می‌شود که بر سر راه استقرار این سامانه‌ها وجود دارند. چارچوب خط‌مشی‌ای که برای استقرار C-ITS استرالیا در نظر گرفته شده است، شامل موارد زیر است[2]:

- توسعه و پیاده‌سازی C-ITS؛
- در نظر گرفتن سودمندی برای اشخاص و نیز برای سازمان‌ها و مشاغل مرتبط؛
- پایداری و پویایی محیطی که برای استقرار خط‌مشی در نظر گرفته می‌شود تا این سامانه در آن بستر پیاده‌سازی شده و توسعه یابد.

5- مسائل کلیدی در توسعه فناوری ارتباطات خودرویی از دیدگاه ITS

مسائل کلیدی که در زمینه توسعه این فناوری می‌توان برشمرد، عبارتند از:

- انطباق فناوری ارتباطات خودرویی با ITS

34 Loop Detector
35 Australia National Transport Commission

Archive of SID
www.SID.ir

- فاکتورهای انسانی
- ترکیب کردن فناوری‌های قدیم و جدید در سیستم حمل‌و نقل و ادغام آنها با سایر کاربران جاده‌ای
- صحت داده
- امنیت اطلاعات
- سطح خودمختاری خودرو

در ادامه به بررسی هریک از موارد فوق پرداخته شده است.

5-1- انطباق فناوری ارتباطات خودرویی با ITS

گرچه فناوری ارتباطات خودرویی موضوعی کلیدی و اساسی برای برنامه‌های راهبردی ITS جهان محسوب می‌شود، اما هنوز چالش‌هایی برای انطباق این فناوری با سامانه‌های گسترده‌تر حمل‌ونقل وجود دارد. صاحب نظران ITS آمریکا، اطمینان می‌دهند که فناوری‌های ITS با محیط ارتباطات خودرویی به خوبی منطبق خواهند شد. بر این اساس، در سامانه‌های یکپارچه ترافیک که تاکنون پایه ITS بوده‌اند، فناوری ارتباطات خودرویی به علت تولید سیگنال‌های به‌هنگام پیوسته، پیشرفت عمده بعدی در چراغ‌های راهنمایی سنکرون، تلقی خواهند شد.

پیش‌بینی کارشناسان این است که در نهایت فناوری ارتباطات خودرویی در مکان‌هایی استقرار خواهد یافت که یکی از انواع سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند فناوری ITS را تجربه کرده‌اند و تمام اطلاعات ترافیکی ارائه شده توسط VMSها، چراغ‌های راهنمایی و تابلوهای ترافیکی بر روی نمایشگر داخل خودرو ارائه خواهد شد[12].

با این همه، به علت وجود برخی الزامات و چالش‌ها در حوزه‌های فنی، عملیاتی، حاکمیتی و قانونی موجود برای استقرار گسترده فناوری ارتباطات خودرویی، به‌نظر می‌رسد برای انطباق کامل این فناوری با سامانه‌های حمل‌و نقل هوشمند جهان، هنوز سؤالات زیادی پیش‌رو است.

5-2- فاکتورهای انسانی

مسائل مربوط به عوامل انسانی می‌تواند اثرات مهمی بر این مسئله بگذارد که آیا کاربردهای ایمنی مزایای مدنظر رانندگان و سیستم حمل‌ونقل را ارائه خواهند کرد؟ انسان‌ها معمولاً رفتارهای پیچیده و غیر قابل پیش بینی دارند، در صورتی که فناوری، رفتاری مشخص و برنامه‌ریزی شده دارد. بنابراین تعامل بین این دو می‌تواند منجر به نتایج پیش‌بینی نشده‌ای شود.

5-3- تأثیر ضریب نفوذ و ترکیب فناوری‌های قدیم و جدید

یکی از محدودیت‌های کلیدی فناوری ارتباطات خودرویی این است که مدت زمان زیادی طول می‌کشد تا همه خودروها به این فناوری مجهز شوند و حتی اگر پس از این مدت طولانی نیز این فناوری بر روی همه خودروها پیاده‌سازی شود، به دلیل ظهور فناوری‌های جدید در این حوزه می‌بایست فناوری با فناوری‌های کارآتر و جدیدتر جایگزین یا یکپارچه شود. در حال حاضر خودروهایی که از این فناوری بهره می‌گیرند، تنها با درصد کمی از خودروهای مرتبط موجود در جاده‌ها به تعامل می‌پردازند که البته این تعداد با گذشت زمان رو به افزایش است. به دلیل ظهور و به‌کارگیری فناوری‌های جدید، علاوه بر ایجاد بستری مشترک جهت یکپارچه‌سازی این فناوری‌ها، نیاز جدی در زمینه سازگار نمودن فناوری‌های قدیم و جدید وجود دارد.

5-4- صحت داده

مسئله دیگر، صحت داده (به طور خاص داده‌های مربوط به موقعیت خودروها و داده‌های مربوط به نقشه منطقه) است. دقت و صحت این داده‌ها برای افزایش اثربخشی برخی کاربردها بسیار مهم و حیاتی است. فناوری کنونی موقعیت‌یابی (به طور مثال GPS) ممکن است دقت و صحت بالایی را که برای برخی از کاربردها حیاتی است، در اختیار قرار ندهد. برای مثال، برای کاربردهایی مانند سامانه همکار سرعت هوشمند، کسب داده‌های صحیح، دقیق و بروز از سرعت و مکان دقیق خودرو، از مسائل حیاتی محسوب می‌شود.

5-5- امنیت اطلاعات

امنیت در سطح سامانه و نیز در سطح داده، یکی از ویژگی‌های مهم سامانه حمل‌ونقل مشارکتی محسوب می‌شود. پیاده‌سازی این ویژگی بر مبنای پروتکل‌ها و استانداردهای امنیتی این حوزه خواهد بود که بر مبنای یک سیستم مرکزی کنترل امنیت برای احراز هویت کاربران این سامانه به صورت امن (مانند روشی که در سایت‌های اینترنتی از آنها استفاده می‌شود) عمل می‌کند. در آینده کاربردهایی طراحی خواهند شد که در آنها کاربران نیاز به احراز هویت خواهند داشت. استفاده از پرداخت عوارض جاده‌ای و یا دسترسی به امکانات موجود مانند درگاه‌ها به صورت امن، نمونه‌ای از مواردی است که در آنها کاربران نیاز به احراز هویت دارند.

5-6- سطح خودمختاری خودرو

سطح خودمختاری این فناوری در کنترل خودرو، یکی از نکات کلیدی در استقرار آن است. با توجه به سطح خودمختاری این فناوری در زمینه هدایت و کنترل خودرو و میزان تعامل آن با راننده، سامانه‌های مبتنی بر این فناوری به چند دسته تقسیم می‌شوند:

- سامانه‌های اطلاع‌رسانی و هشداردهی؛

Archive of SID
www.SID.ir

- سامانه‌های مداخله‌ای سخت که این سامانه‌ها در آن دستوراتی مداخله‌ای برای کنترل خودرو صادر کرده و به راننده اجازه دخالت نمی‌دهند. (برای مثال، سامانه‌ای که خودرو را در زمان احتمال وقوع برخورد، به صورت خودکار به ترمز کردن وادار نماید).
- سامانه‌های مداخله‌ای نرم که این سامانه در آن برای کنترل خودرو دستورات مداخله‌ای را فعال می‌سازند، ولی به راننده امکان و اجازه تغییر، قبول و یا رد این دستورات را نیز می‌دهند.

پیاده‌سازی فناوری تا سطح تولید و ارسال هشدارهای ایمنی برای رانندگان، گام قابل قبولی در تأمین ایمنی توسط این فناوری محسوب می‌شود. اما با پیاده‌سازی قابلیت کنترل خودرو توسط فناوری از طریق سامانه‌های مشارکتی نرم یا سخت، مانع بزرگی در دراز مدت بر سر راه پیاده‌سازی آن به‌وجود خواهد آمد؛ چرا که زمانی که فناوری ارتباطات خودرویی شروع به در دست گرفتن کنترل خودرو نماید، حتی با وجود دلایل قانع کننده‌ای نظیر پیشگیری از تصادفات، مسائل قانونی و حقوقی جدیدی پیش خواهد آمد که ممکن است مقاومت عمومی را برانگیزد. این سؤال که در بروز تصادف یا کارکرد اشتباه آن، انسان مقصر است یا خودرو، نمونه‌ای از این مسائل است.

6- نتیجه گیری

در این مطالعه، سامانه‌های حمل‌ونقل هوشمند مشارکتی (C-ITS) و فناوری ارتباطات خودرویی معرفی شدند. سپس چالش‌های ITS جهان و راهکارهای فناوری ارتباطات خودرویی برای حل این چالش‌ها، روند گسترش و نفوذ این فناوری در برنامه‌های ITS کشورها و نیز مسائل کلیدی استقرار آن مورد بررسی قرار گرفت. مطالعه انجام شده نشان می‌دهد فناوری ارتباطات خودرویی در اساسی‌ترین حوزه‌های مطرح ITS شامل ایمنی، محیط زیست و تحرک‌پذیری نقش‌آفرین است؛ به همین دلیل با وجود تمامی مسائل و چالش‌هایی که یک فناوری نوظهور برای استقرار با آنها مواجه است، تحقیق و استقرار این فناوری به عنوان مهمترین فناوری مطرح در حوزه ITS با سرعت و روند رو به رشدی در جهان در حال انجام است.

تاریخ دریافت: 1392/4/1 و تاریخ پذیرش: 1392/7/9

فهرست منابع:

[1] عیسائی، محمد تقی؛ **سیستم‌های هوشمند حمل‌ونقل**، انتشارات آذر، 1384.

[2] Australia National Transport commission (NTC); *Cooperative ITS Regularity Policy Issues*, November 2012.

[3] رستمی، حبیب؛ عطائیان، حمیدرضا؛ شریف‌پور، مهدی؛ **"سامانه ارتباطات هوشمند خودرویی و چشم‌انداز توسعه آن"**، یازدهمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی حمل‌ونقل و ترافیک ایران، 1390.

[4] www.cvt-project.ir.

[5] Belcher, Scott; Kelly, R. B.; Bayless, Steven; Johnson, M. D.; Feenstra, Paul; *Comments Of Intelligent Transportation Society Of America*, 2013.

[6] US department of transportation, *Transforming Transportation through Connectivity: ITS Strategic Research Plan*, 2010–2014 (Progress Update, 2012).

[7] http://www.its.dot.gov/connected_vehicle/connected_vehicle.htm.

[8] Research and Innovation Technology Administration, U.S. Department of Transportation; *Benefits of Dynamic Mobility Applications*, Final Report, Dec 2012.

[9] http://www.its.dot.gov/strategic_plan2010_2014/2010_factsheet.htm.

[10] http://www.its.dot.gov/press/2013/stakeholder_strategicplan.htm.

[11] http://www.ertico.com/cooperativemobility/

[12] Pulse Magazine, Fall 2011, available at: pulse.wavetronix.com.

Archive of SID

www.SID.ir