

# بررسی اثرات بکارگیری سیستم های حمل و نقل هوشمند در کاهش مصرف انرژی

علی خدایی<sup>۱</sup>، سید محمدحسین دهناد<sup>۲</sup>، رضا ذکایی<sup>۳</sup>

۱- دانشیار و عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۲- دانشجوی دکتری تخصصی مهندسی راه و ترابری دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۳- کارشناس مهندسی حمل و نقل و ترافیک شهری دانشگاه جامع علمی کاربردی

## چکیده

استفاده از سیستم های حمل و نقل هوشمند با بهره گیری از فناوری های نوین نشان داده است که این سیستم ها، منافع قابل توجهی برای انواع شبکه های حمل و نقلی دربردارند، بطوریکه یکی از مهمترین آنها کاهش مصرف انرژی وسایل نقلیه می باشد. سیستم های هوشمند در صورت عملکرد صحیح، اعتماد مردم به شبکه حمل و نقل را افزایش داده و با بهینه سازی هایی که انجام می دهند سالانه مقادیر قابل توجهی صرفه جویی اقتصادی برای مردم و دولت ها، بوسیله کاهش مصرف انرژی و اثرات نامطلوب زیست محیطی، کاهش زمان سفر و تأخیرهای ناخواسته به ارمغان خواهند آورد. در نوشتار حاضر سعی گردیده که با بررسی و تحلیل ۱۰ مورد از مهمترین سیستم های هوشمند که موجب کاهش چشمگیری در مصرف سوخت می شوند، به بیان مشکلات ناشی از عدم اجرای آنها و چالش های احتمالی پیش رو در بکارگیری سیستم ها پرداخته و فواید حاصل از استفاده برخی از این سیستم ها بصورت کمی مورد تحلیل و ارزیابی قرار گیرد. در انتهای این پژوهش با مطالعه موردی و انجام ارزیابی اقتصادی اجرای سیستم پرداخت عوارض بدون توقف در محور آزادراه قم - تهران، مشاهده گردید که کاهش مصرف انرژی وسایل نقلیه، سالیانه حدود یک میلیون لیتر در سوخت صرفه جویی حاصل خواهد شد. همچنین با در نظر گرفتن یک سرمایه گذاری اولیه برای حداقل ۱۵ سال جهت بهره گیری از این سیستم، نسبت منافع به هزینه های اجرای این پروژه بیش از ۴/۷ برابر، برای این بازه زمانی خواهد بود.

واژه های کلیدی: سیستم حمل و نقل هوشمند - سوخت - پرداخت عوارض بدون توقف - ITS

## ۱- مقدمه

در عصر حاضر میزان مصرف انرژی، نوع انرژی، میزان آلاینده های زیست محیطی ناشی از مصرف سوخت و به طور کلی عموم مواردی که با سوخت وسایل نقلیه مرتبط می باشد، مورد توجه خاص متصدیان شبکه های حمل و نقلی و خودرو سازان قرار گرفته و به تبع آن طرح ها و برنامه های گوناگونی در این حوزه ارائه شده است. کاهش مصرف انرژی از دو جنبه مسائل اقتصادی و حفظ محیط زیست مورد توجه و حائز اهمیت می باشد و اقدامات مختلفی را می توان برای بهبود این موضوع انجام داد که قسمتی از این موارد متوجه بخش مدیریت حمل و نقل و ترافیک می باشد. در مبحث سیستم های حمل و نقل هوشمند (ITS) نیز با بکارگیری برخی سیستم های هوشمند اقدامات موثری در جهت کاهش مصرف سوخت می توان انجام داد.

سیستم های حمل و نقل هوشمند، به سیستم هایی گفته می شود که با استفاده از ابزارهای خودکار و برنامه ریزی های انجام شده بر روی آنها، برخی از عملیات کنترلی (کنترل جریان تردد، مقررات ترافیکی یا عوارضی و ...) و با اطلاعاتی (آمارگیری، اطلاع رسانی به رانندگان، برداشت اطلاعات و...) را در زمینه حمل و نقل و ترافیک انجام می دهند. این سیستم ها با بکارگیری فن آوری های نوین، از قبیل الکترونیک و ارتباطات و سیستم های کنترل، باعث بهبود سطح ایمنی و کارایی و ارزانی در حمل و نقل (اعم از جاده ای، ریلی، هوایی و دریایی) می شوند. سیستم های کنترل هوشمند تقاطعات،

<sup>1</sup> Intelligent Transportation Systems

پیام رسانی تابلوهای متغیر خبری، دریافت خودکار عوارض جاده ای، ثبت خودکار وقایع و تصادفات و تخلفات، توزین در حال حرکت، اطلاع رسانی شبکه حمل و نقل شهری (اطلاعات لحظه ای معابر) و مسیریابی درون خودرو، آمارگیری خودکار از پارامترهای ترافیکی و مواردی از این دست، جزء این مجموعه محسوب می گردند. در این سیستمها، نیاز به حضور مستمر و همزمان نیروی انسانی در محل انجام عملیات حذف شده و محدودیتهای به کارگیری سیستمهای ثابت (با بهره وری پایین) نیز از بین می رود.

## ۲- اقدامات مفید در جهت کاهش مصرف سوخت با بکارگیری از ITS

### ۲-۱- کاهش ازدحام

با تلاش برای کاهش ازدحام در مسیرهایی که دارای مسیر جایگزین هستند و یا مناطق مرکز شهر می توان از بوجود آمدن صف های ترافیکی و به تبع آن افزایش مصرف سوخت جلوگیری نمود. برای این منظور راههای مختلفی وجود دارد که موارد ذیل از جمله مهمترین آنها می باشد.

*الف) هوشمند سازی چراغ راهنمایی:* مرتبط ساختن کنترل کننده های چراغ راهنمایی بر اساس شرایط لحظه ای ترافیک و دادن اطلاعات ترافیکی به رانندگان از طریق پیام های ترافیکی و نمایشگرهای زمان سفر که راننده قبل از ورود به مسیر پردازدحام اطلاعات مطلوب را به طرق فوق دریافت کرده و تصمیم گیری لازم را انجام دهد.

*ب) راهنمای مسیر جایگزین:* در این سیستم می توان به صورت هوشمند ظرفیت مسیر را بررسی نمود و قبل از بحرانی شدن توسط تابلو های پیام متغیر (VMS<sup>۲</sup>) که توسط یک فلش چراغ مسیری جایگزین را نشان می دهد راننده را متوجه ازدحام در مسیر کرده و آنها را به استفاده از مسیر جایگزین راهنمایی نمود. نمونه اجرایی این سیستم در منطقه Centerico اروپا موجود می باشد که این منطقه دارای حجم ترافیکی بالایی است و برای کمک به کاربران جهت اجتناب از تراکم و حوادث کربدورهای انحرافی برون مرزی بین کلن (آلمان) و آیندهوون (هلند) این سیستم فعال است.

*ج) عوارض ورودی به مناطق پردازدحام شهرها:* در این طرح برای ورود به منطقه پردازدحام، عوارض در نظر گرفته شده است و متقاضیان می توانند قبل از ورود به این مناطق از طریق تلفن و یا اینترنت و یا مراکز مخصوص فروش عوارض مربوطه را پرداخت کرده و به این مناطق وارد شوند، پرداخت عوارض برای این مناطق موجب می شود افرادی که قصد سفر به این مناطق را دارند یا تغییر روش سفر دهند و با حمل و نقل عمومی سفر نمایند و یا در صورت ضروری نبودن سفر از وارد شدن به منطقه پردازدحام خودداری نمایند. این سیستم نیز در شهر لندن اجرایی شده و هنگامی که وسیله نقلیه به منطقه مورد نظر وارد می شود توسط دوربین های ثبت پلاک که بر روی پلاک خودرو متمرکز است عکس ها گرفته شده و به مرکز کنترل ارسال می شود و در آنجا با پلاک های ثبت شده مقایسه شده و در صورت عدم پرداخت عوارض از سوی یک خودرو، برگ جریمه صادر می شود.

*د) کنترل دسترسی به مناطق پردازدحام:* در این طرح مسیرهای ورودی به منطقه پردازدحام توسط راهبندهای جمع شدنی کنترل شده و عبور از آنها تنها با وسایل نقلیه مجاز که مجهز به کارت هوشمند و یا دستگاه خودکار مخابراتی ترانسپوندر نصب شده درون وسیله نقلیه می باشد امکان پذیر است. در بارسلونای اسپانیا این طرح اجرا شده است و پس از اجرا ترافیک ورودی تا ۷۸٪ کاهش و زمان سفر منطقه تا ۱۸٪ کاسته شده است.

### ۲-۲- تشویق مردم به استفاده از وسایل نقلیه عمومی با استفاده از ITS

در صورتی که بتوان با فراهم نمودن امکانات و تجهیزات مناسب و آنچه که مطلوب مردم هر کشور با هر رفتار برای استفاده از حمل و نقل عمومی می باشد، مردم تشویق به استفاده از حمل و نقل عمومی شوند، بدیهی است کاهش قابل توجه مصرف سوخت را در پی خواهیم داشت. در این خصوص متولیان امر حمل و نقل عمومی دو وظیفه بر عهده دارند: ۱- تأمین زیرساخت ها و بر آوردن تقاضای مردم ۲- اطلاع رسانی مناسب و مقایسه ای بین روش سفر که در این خصوص می توان به مقایسه بین زمان سفر با وسیله نقلیه عمومی در مسیرهایی که زمان سفر حمل و نقل عمومی کمتر است، اشاره نمود. در ذیل به برخی از روش های تشویق مردم به تغییر شیوه سفر توسط سیستم های هوشمند اشاره می گردد.

*الف) اطلاعات مفید برای مسافر در حمل و نقل همگانی:* برای این منظور می توان با بکارگیری سیستم تعیین موقعیت خودکار وسیله نقلیه (AVL<sup>۳</sup>) برای ناوگان عمومی، سامانه های اطلاعات به هنگام را در مورد زمان حرکت و نیز زمان رسیدن و پیشنهاد مسیر وسیله نقلیه، در محل ایستگاه، خانه یا محل کار به اطلاع مسافر رساند. این اطلاعات می تواند توسط رسانه های متعدد مانند اینترنت، بانه های اطلاعاتی متن های خبری، تلفن های گویا و ... ارائه گردد.

<sup>2</sup> Variable Message Sign

<sup>3</sup> Automatic Vehicle Location

ب) در مواردی که ادامه سفر با وسیله نقلیه شخصی زمان بر بوده و استفاده از حمل و نقل عمومی به صرفه است می توان از طریق تابلوهای VMS، تلفن، کامپیوترهای جیبی این اطلاعات را در اختیار استفاده کنندگان قرارداد و به آنها توصیه نمود از حمل و نقل عمومی استفاده نمایند.

### ۲-۳- ارائه اطلاعات در خصوص وضعیت ترافیک راه

اطلاعات ترافیکی در صورتی که قبل از سفر ارائه گردد و کاربران قبل از شروع سفر آنها را دریافت کرده و برنامه ریزی خود را بر اساس آنها انجام دهند کارآمد تر است. این اطلاعات می تواند شامل سرعت متوسط، زمان سفر، ساعات اوج و خلوت و چگونگی حرکت (روان - متوسط - کند) باشد. اطلاعات فوق می تواند از طریق اینترنت، تلفن های گویا، تلفن های همراه، رادیو و تابلوهای VMS در اختیار کاربران قرار گیرد با این روش افراد در ساعات های خلوت سفر کرده و از افزایش مصرف سوخت به دلیل وجود حرکت کند و تردد زیاد، جلوگیری می شود و به عبارتی می توان ترافیک را در ساعات مختلف روز توزیع نمود.

### ۲-۴- اعلام توقف های ناگهانی توسط تابلوهای VMS

در محل هایی که راننده دید کافی ندارد مانند قوس ها می توان از طریق کم شدن سرعت به صورت غیر معمول به تابلوهای VMS اعلام نمود پیام مربوطه را به اطلاع خودروهایی که قبل از قوس هستند و یا هنوز به محل نرسیده اند، رسانده و آنها نیز به مرور زمان سرعت خود را کاهش دهند و از ترمز های ناگهانی جلوگیری شود این مورد به غیر از بحث ایمنی که بسیار حائز اهمیت است در کاهش مصرف سوخت به دلیل توقف ناگهانی جلوگیری می نماید، البته آنچه در این مورد باید توجه قرار گیرد پاک نمودن پیام از روی تابلو پس از رفع مشکل است.

### ۲-۵- مسیریابی پویا

راهنمای پویای مسیر شرایط ترافیکی را به صورت به هنگام مد نظر قرار می دهد و با در نظر گرفتن موقعیت فعلی وسیله نقلیه به عنوان مبداء سیستم ناوبری، مسیر بهینه به هر مقصد داده شده را به طور تکراری محاسبه می کند، محاسبات می تواند به صورت on board در یک سیستم نصب شده بر روی وسیله نقلیه یا در یک مرکز ترافیک انجام شود یکی از مزایای سیستم on board از لحاظ بخش زیرساخت نسبت به سیستم های off board این است که جدید ترین داده های نقشه و شرایط ترافیکی را می توان به کار گرفت.

### ۲-۶- خودکار سازی مسیر یابی درون خودرویی حین سفر

در این روش می توان اطلاعات مربوط به ترافیک در مسیر مورد نظر را به کامپیوترهای خودروها فرستاده و با مقایسه بین آیتم های مختلف سریع ترین مسیر و کوتاه ترین مسیر را انتخاب نمود.

### ۲-۷- کنترل هوشمند چراغ راهنمایی

استفاده از سیستم کنترل چراغ راهنمایی (ATCS<sup>۴</sup>) نسبت به کنترل تقاطع از طریق چراغ های زمان ثابت مزایایی را در پی دارد که از جمله آنها می توان به کاهش مصرف سوخت اشاره نمود به طور مثال نمونه اجرایی آن در شهر تورنتو تا ۶ درصد کاهش مصرف سوخت را به همراه داشته است و مزایای دیگر آن شامل کاهش زمان سفر، کاهش طول صف، کاهش مونوکسید کربن (CO)، اکسیدهای نیتروژن (NO<sub>x</sub>) و ... می باشد.

### ۲-۸- ارائه اطلاعات در خصوص وضعیت آب و هوا

اعلام وضعیت آب و هوا برای کاربران حائز اهمیت است و می تواند در زمان شروع سفر و روش سفر تأثیر به سزایی داشته باشد به عنوان مثال با اعلام بالا بودن درجه هوا و پیش بینی آن می توان زمان شروع سفر را جابجا کرد و در ساعاتی که نیاز به استفاده از کولر خودرو نمی باشد سفر را شروع نمود. از مزایای دیگر ارائه اطلاعات، می توان به تجهیز شدن خودروها به وسایل مورد نیاز با توجه به شرایط آب و هوا اشاره نمود؛ به عنوان مثال در جاده هایی که یخبندان بوده و بارش برف وجود دارد کاربران به زنجیر چرخ مجهز شوند و یا در مسیر های بارانی سیستم برف پاک کن را چک کرده و این اطلاعات می تواند قبل از سفر و از طریق تلفن های گویا، رادیو، تلفن همراه، اینترنت و در حین سفر از طریق تابلوهای VMS در اختیار استفاده کنندگان قرار گیرد.

<sup>4</sup> Adaptive Traffic Control System

## ۹-۲- پرداخت عوارض بدون توقف

در این خصوص طرح های متعددی طراحی و پیاده سازی شده است و در واقع امروزه به یکی از شیوه های معمول تبدیل شده است. برای این مقصود از روش های مختلفی استفاده می شود که در ذیل به چند نمونه اجرایی آن اشاره می گردد.

الف- اخذ عوارض برای مناطق پر ازدحام در لندن که در قسمت ۲-۱- بند ج توضیح داده شد.

ب- پلاک الکترونیکی وسیله نقلیه سنگین (HELP): در این سیستم کامیون ها که از قبل به برچسب فرستنده مجهز شده اند می توانند سرعت خود را در راه سازگار نمایند و از طریق برنامه HELP عوارض را پرداخت نمایند.

ج- راه ارتباطی شهر ملبورن: این خط شامل ۲۲ کیلومتر آزادراه کاملاً الکترونیک و خصوصی است که ملبورن دومین شهر بزرگ استرالیا را با فرودگاه، بندر و مناطق صنعتی اطراف آن مرتبط می سازد. این مسیر از فناوری DSRC استفاده می کند و کاربران از قبل می توانند حساب اعتبار عوارضی باز کنند و یا برگه عبور روزانه خریداری کنند، دارندگان حساب یک e-TAG دریافت می کنند و دستگاه های نصب شده بر روی دروازه های بالاسری فلزی بر روی جاده ها به طور خودکار حساب های بدهی را برای هشت منطقه عوارضی که وسیله نقلیه از آن عبور می کند قرائت می نمایند. از کشورهای دیگر که این سیستم را پیاده سازی نموده اند برزیل، نروژ، آمریکا و کانادا می باشند.

در موارد فوق عوارض یا از قبل و یا در حین حرکت پرداخت می شود و از ایجاد صف در مقابل گیت های ورودی جلوگیری کرده و کاهش زیادی در مصرف سوخت به دلیل عدم در صف ایستادن و حرکت مجدد به همراه دارد.

## ۱۰-۲- توزین در حال حرکت (WIM)

در این خصوص کامیون های مشکوک به بارگیری بیش از حد، بدون توقف و در حال حرکت توزین شده و در صورت اثبات تخلف جریمه مربوطه صادر می گردد، در این روش به دلیل عدم توقف کامیون ها و حرکت مجدد در مصرف سوخت میزان قابل توجهی صرفه جویی می گردد.

نمونه اجرایی زیر در ایالت کنتاکی چگونگی عملکرد این سیستم را نشان می دهد:

وسایل نقلیه ای که بار بیش از حد مجاز دارند برای اجتناب از توزین، از جاده های فرعی ایالت کنتاکی استفاده می نمایند که در آنجا توسط ایستگاه مجازی تعیین وزن مورد شناسایی قرار می گیرند، این ایستگاه شامل سیستم توزین در حال حرکت piezo، کنترل کننده خط عبور و دوربین دیجیتالی با کیفیت بالاست، هنگامی که کامیون از آنجا عبور می کند، سیستم تصویربرداری وزن و سرعت (با محاسبه زمان بین دو محور) و طول و طبقه بندی کامیون را ثبت می کند، پرونده به وجود آمده با قید تاریخ و ساعت مهر می شود و سپس در صورت لزوم اقدام، به ایستگاه واقعی تعیین وزن ارسال می گردد.

## ۳- مشکلات ناشی از عدم اجرای سیستم های هوشمند موثر بر کاهش مصرف انرژی

در بخش دوم ۱۰ مورد از اقدامات مرتبط با سیستم های هوشمند حمل و نقل موثر بر کاهش مصرف سوخت تشریح گردید و نمونه هایی از اقدامات کشورهای پیشرو در این حوزه ذکر شد. حال در این مرحله مشکلات ناشی از عدم اجرای سیستم های مذکور بررسی می شود.

### ۳-۱- کاهش ازدحام

در خصوص کاهش ازدحام و جلوگیری از ورود خودروها به محدوده پر ازدحام مشکلات متعددی بوجود خواهد آمد که موارد ذیل برخی از این مشکلات هستند:

- افزایش مصرف سوخت به دلیل حرکت با سرعت پایین و یا توقف با موتور روشن
- افزایش آلاینده های زیست محیطی
- فشار عصبی به راننده و سرنشینان خودروها که در مناطق پر ازدحام گرفتار شده و زمان خود را به اجبار درون خودرو می بایست تلف نمایند که این موضوع دارای اهمیت بسزایی بوده و در دراز مدت ممکن است مشکلات جدی تری را برای افرادی که در سفرهای روزانه خود به این مناطق سفر می کنند، به وجود آورد.
- اتلاف وقت سرنشینان و راننده خودرو که بسیار حائز اهمیت می باشد و این موضوع به راحتی به صورت کمی قابل محاسبه است. به عنوان مثال اگر در یک منطقه پر ازدحام می توان ارزش ریالی اتلاف وقت را بصورت مندرج در جدول (۱) تعیین کرد.

جدول (۱) : محاسبه ارزش ریالی اتلاف وقت در مناطق پرزدحام

	مفروضات	
		حدافل تاخیر هر وسیله
برای ۳۰ دقیقه (تومان) = ۱۱۰۷۰۰۰۰۰ (مزد هر فرد در یک دقیقه) $۳۰ * ۲ * ۴۵۰۰ * ۴۱$	متوسط تعداد سرنشینان هر خودرو	۲ نفر
برای تنها ۴ ساعت (تومان) $۱۱۰۷۰۰۰۰ * ۸ = ۸۸۵۶۰۰۰۰۰$	تعداد وسایل درگیر در منطقه پرزدحام	۴۵۰۰ وسیله نقلیه
	متوسط حقوق ماهیانه هر فرد	۶۰۰.۰۰۰ تومان

لذا در یک محاسبه خیلی ساده متوجه خواهیم شد که در این منطقه پرزدحام روزانه حدافل ۸۸۵۰۰۰۰۰۰ تومان اتلاف وقت صورت گرفته است که البته متوسط درآمد هر فرد ۶۰۰.۰۰۰ تومان در ماه در نظر گرفته شده است و اگر برای یک سال این مبلغ را محاسبه نماییم آنگاه داریم:

$$۸۸۵۰۰۰۰۰۰ * ۳۶۵ = ۳۲۳۰۲۵۰۰۰۰۰۰ \text{ (تومان)}$$

- ❑ ایجاد مزاحمت برای افراد ساکن در محدوده پرزدحام و چالش های روانی برای آنها با توجه به اینکه محل زندگی آنها در اطراف مناطق پرزدحام قرار گرفته است.
- ❑ افزایش استهلاک قطعات خودروها به دلیل کارکردن در دمای بالای ناشی از حرکت آهسته .
- ❑ در صورتی که برای مناطق پر ازدحام عوارض تعیین نماییم ، متولیان شهر به صورت مستقیم منبع درآمد مناسبی را از دست داده اند.

### ۳-۲- تشویق مردم به استفاده از وسایل نقلیه عمومی

آنچه مسلم است در صورت عدم فراهم امکاناتی که در مرحله اول به آن اشاره شد ، سیستم حمل و نقل عمومی کارایی مطلوبی نخواهد داشت. به عنوان مثال آگاهی نداشتن از موقعیت اتوبوس های هر خط برای مسئولین و کنترل کننده ها و عدم توانایی در تنظیم ساعت سرویس دهی و در حالت کلی بی نظمی در رسیدن به ایستگاه ها یکی از دلایلی است که برخی از کاربران، سفر با خودروی شخصی را ترجیح داده و در نهایت سفرهای تک نفره ایجاد می شود همچنین نبود امکانات مناسب جهت تغییر مُد سفر از قبیل وسیله نقلیه شخصی به اتوبوس ، مترو و... موجب کاهش استفاده از وسایل نقلیه عمومی شده که این موضوع نیز باعث افت کارایی سیستم می شود.

### ۳-۳- ارائه اطلاعات در خصوص وضعیت ترافیک راه ها

در این خصوص می توان به عدم وجود زیرساخت های مناسب جهت اطلاع رسانی قبل از سفر اشاره نمود و اینکه در حال حاضر نیز قشر عظیمی از جامعه از خدمات اینترنت بی بهره بوده و اطلاعات مفید راه را نمی توانند از طریق اینترنت دریافت نمایند ، اما ارائه اطلاعات حین سفر از زیرساخت های مناسبی برخوردار بوده و در برخی موارد اجرایی شده است . آنچه مسلم است در صورت عدم اجرای این موضوع مشکلاتی بوجود خواهد آمد که در ذیل به برخی از آنها اشاره می گردد.

- ❑ سفر کننده بدون اطلاع از وضعیت راه سفر خود را آغاز نموده و پس از طی مسافت زیادی در حین سفر متوجه می شود مسیر به عنوانی مختلفی مسدود بوده و یا از تردد بالایی برخوردار است و ضمن مصرف سوخت زیاد ، وقت افراد نیز تلف شده است.
- ❑ در صورت مطلع نبودن افراد سفر کننده از زمان ساعت اوج ممکن است سفر خود را نا آگاهانه در ساعت اوج انجام داده و سوخت زیادی را به دلیل شلوغی مسیر مصرف نمایند و همچنین دیگر تبعات آن نیز به همراه موضوع سوخت متوجه سفر کننده باشد.

### ۳-۴- ارائه اطلاعات در خصوص وضعیت آب و هوا

هوای گرم: سفر در هوای گرم مستلزم استفاده از کولر خودرو بوده که در بیشتر خودروهای موجود در کشور ایران، میزان سوخت مصرفی در هنگام استفاده از کولر افزایش پیدا می کند و اطلاع داشتن از وضعیت هوا می توان سفرهای غیر ضروری را به ساعات خنک تر منتقل نمود.

یخ زدگی سطح جاده ها و بارش برف در زمستان ها استفاده از زنجیر چرخ و یا استفاده از لاستیک های یخ شکن را الزامی نموده تا حرکت خودرو راحت تر و ایمن تر صورت گیرد ، در صورت عدم استفاده از زنجیر چرخ و یا لاستیک های یخ شکن خودرو در محل هایی که برف باریده و یا یخ زده است به دلیل اصطکاک کم بین لاستیک و زمین دور موتور افزایش می یابد که رابطه مستقیمی با مصرف سوخت داشته و موجب افزایش آن می شود .

### ۳-۵- اعلام توقف های ناگهانی از طریق تابلوهای VMS

در این خصوص می توان به این موضوع اشاره نمود که اگر بعد از قوسی تصادفی رخ داده و نیاز به کاهش سرعت می باشد و این مورد از طریق تابلو VMS اطلاع رسانی گردد ، خودروها با کاهش تدریجی سرعت نیاز به ترمز های ناگهانی نداشته و در مصرف سوخت صرفه جویی می شود. به عنوان مثال در صورتی که در یک محور تصادفی رخ دهد که نیاز باشد خودروها سرعت خود را ناگهانی کاهش دهند و با فرض اینکه تا زمان جمع آوری کامل تصادف حدود ۴۰۰۰ خودرو از محل عبور می کرده و هر کدام به دلیل کاهش تدریجی سرعت و عدم ترمز ناگهانی تنها ۰/۰۱ لیتر بنزین صرفه جویی نمایند ، داریم:

$$۴۰۰۰ * ۰/۰۱ = ۴۰$$

• بنزین صرفه جویی شده (لیتر)

حال اگر در روز تنها ۲۵ تصادف مشابه در کل راه های کشور رخ دهد برای یک سال داریم :

$$۴۰ * ۲۵ = ۱۰۰۰$$

• بنزین صرفه جویی شده در یک روز (لیتر)

$$۱۰۰۰ * ۳۶۵ = ۳۶۵۰۰۰$$

• بنزین صرفه جویی شده در یک سال (لیتر)

$$۳۶۵۰۰۰ * ۷۰۰۰ = ۲.۵۵۵.۰۰۰.۰۰۰$$

• هزینه بنزین صرفه جویی شده در یک سال (ریال)

به روشنی مشخص است اجرای این مورد نه تنها ضرر اقتصادی ندارد بلکه بسیار مقرون به صرفه است.

### ۳-۶- مسیر یابی پویا

عدم استفاده از سیستم های on-board در خودروها همان حالت سنتی هدایت خودرو توسط راننده را به همراه دارد که راننده به علت بی خبری از وضعیت راه ها با مشکلاتی از قبیل ورود به منطقه پر ازدحام ، ورود به مسیری که مسدود می باشد و امثالهم روبرو است.

### ۳-۷- خودکار سازی مسیر یابی درون خودرویی حین سفر

در این مورد راننده توسط مقایسه بین آیتم های مختلف می تواند سریع ترین و کوتاه ترین مسیر رانندگی را به همراه دارد که راننده به علت بی خبری از وضعیت راه ها با مشکلات بند ۳-۶ متوجه شخص سفر کننده است.

### ۳-۸- کنترل هوشمند چراغ های راهنمایی

در چراغ های راهنمایی هوشمند در صورت عدم وجود طول صف در معبری که چراغ آن سبز است ، چراغ به صورت خودکار قرمز شده و زمان آن به مسیر شلوغ تر داده می شود که ضمن صرفه جویی در وقت تأثیر به سزایی در کاهش مصرف سوخت دارد. در این خصوص می توان مثالی به شرح ذیل را عنوان نمود.

اگر فرض شود هر خودرو به علت غیر هوشمند بودن چراغ راهنمایی به طور متوسط ۰/۰۴ لیتر (سوختی معادل حرکت برای ۴۰۰ متر) بیشتر مصرف نماید و روزانه تعداد ۵۰۰۰۰ خودرو در تقاطع فوق تردد نمایند آنگاه داریم:

$$۵۰۰۰۰ * ۰/۰۴ = ۲۰۰۰$$

• میزان سوخت هدر رفته در یک روز (لیتر)

$$۲۰۰۰ * ۷۰۰ = ۱۴۰۰۰۰۰$$

• هزینه سوخت هدر رفته در یک روز (تومان)

حال اگر این عدد را در ۳۶۵ ضرب کرده می توان این هدر رفتن سوخت و هزینه را برای یک سال محاسبه نمود:

$$۲۰۰۰ * ۳۶۵ = ۷۳۰۰۰۰$$

• میزان سوخت هدر رفته در یک سال (لیتر)

$$۷۳۰۰۰۰ * ۷۰۰ = ۵۱۱.۰۰۰.۰۰۰$$

• هزینه سوخت هدر رفته در یک سال (تومان)

و حال اگر در یک شهر بزرگ تنها ۲۰ تقاطع به صورت فوق وجود داشته باشد، داریم

$$۵۱۱۰۰۰۰۰۰ * ۲۰ = ۱۰۰.۲۲۰۰۰۰۰۰۰۰$$

- هزینه سوخت هدر رفته در یک سال برای یک شهر بزرگ (تومان)

### ۳-۹- پرداخت عوارض بدون توقف

در صورت عدم اجرای این فناوری، خودروها می بایست به صورت دستی عوارض خود را پرداخت کرده که مشکلات زیر برخی از تبعات آن است:

- Ø ایجاد طول صف در پشت گیت های ورودی به علت پرداخت دستی
- Ø خطر تصادف عقب به جلو در انتهای صف ها
- Ø جا به جایی پول نقد برای پرداخت عوارض
- Ø افزایش میزان سوخت مصرفی ناشی از توقف و حرکت های مجدد و متوالی در صف های پشت گیت که برای این موضوع نیز می توان به یک نمونه واقعی اشاره نمود:

در حال حاضر از هر مسیر عبور<sup>۵</sup> آزادراه قم - تهران به طور متوسط در هر ساعت تعداد ۱۱۰۰ خودرو عبور می کند که این تعداد در ۲۴ ساعت یا یک شبانه روز برابر تعداد ۲۶۴۰۰ است حال اگر سیستم دستی پرداخت عوارض ورودی به آزادراه به سیستم پرداخت عوارض بدون توقف تغییر یابد و نیازی به توقف خودروها نباشد و با این تغییر تنها ۰/۰۵ لیتر برای هر خودرو صرفه جویی بوجود آید آنگاه برای نمونه واقعی خود داریم :

- میزان سوخت صرفه جویی شده در یک شبانه روز (لیتر)  $۲۶۴۰۰ * ۰.۰۵ = ۱۳۲۰$
- میزان سوخت صرفه جویی شده در یک سال برای یک لاین (لیتر)  $۱۳۲۰ * ۳۶۵ = ۴۸۱۸۰۰$
- میزان سوخت صرفه جویی شده برای آزاد راه قم-تهران (لیتر)  $۴۸۱۸۰۰ * ۲ = ۹۶۳۶۰۰$
- هزینه صرفه جویی شده در یک سال (ریال)  $۹۶۳۶۰۰ * ۷۰۰۰ = ۶.۷۴۵.۲۰۰.۰۰۰$

### ۳-۱۰- توزین در حال حرکت

در صورت عدم اجرای سیستم (WIM) می بایست خودروهای مشکوک به بار اضافی متوقف و ضمن اتلاف وقت راننده و بار تجاری در مصرف سوخت نیز افزایش زیادی بوجود می آید  
به عنوان مثال اگر برای توزین خودروهای مشکوک به بار اضافی و انتقال آنها به محل توزین ثابت تنها ۱ لیتر سوخت نفت و گاز به هدر رود و اگر در روز حدود ۱۰۰۰۰ کامیون در کل کشور برای توزین منتقل شوند ، آنگاه داریم : (میزان سوخت مصرفی کامیون های دیزلی به طور متوسط ۲۵٪ در نظر گرفته شده است)

- نفت و گاز هدر رفته در هر روز (لیتر)  $۱۰۰۰۰ * ۱ = ۱۰۰۰۰$
- نفت و گاز هدر رفته در یک سال (لیتر)  $۱۰۰۰۰ * ۳۶۵ = ۳۶۵۰۰۰۰$
- هزینه نفت و گاز هدر رفته (تومان)  $۳۶۵۰۰۰۰ * ۱۵۰ = ۵۴۷.۵۰۰.۰۰۰$

### ۴- چالش های پیش رو در بکارگیری ITS

در مراحل قبل به توصیف برخی از سیستم های حمل و نقل هوشمند که در کاهش مصرف سوخت تأثیر به سزایی داشتند پرداخته و اینکه اگر این سیستم های جدید پیاده سازی و اجرا نشوند چه پیامد هایی خواهد داشت را مورد بررسی قرار دادیم در این مرحله برای روبرو شدن با واقعیت های اجرای سیستم های فوق ، موارد گذشته را تحلیل و چالش های پیش رو که حین و بعد از اجرای سیستم ها گریبان گیر متولیان و استفاده کنندگان از راه می گردد را مورد بررسی و تحلیل قرار می دهیم.

در خصوص چالش های پیش رو برخی به صورت عمومی در اکثر سیستم ها مطرح می باشد به عنوان مثال آموزش افراد برای کار با سیستم های هوشمند حمل و نقل و همچنین اطلاع رسانی مناسب و کامل در مورد سیستم های پیاده شده در سطح شهر یکی از چالش هایی است که در بیشتر موارد مطرح می باشد و همچنین اختلاف نظر بین مسئولین و اینکه برخی مسئولین عقیده به استفاده از فناوری های روز دارند و برخی در مقابل آن استقامت نموده و پیرو سیستم های سنتی هستند مشکل عمده دیگری است .

<sup>5</sup> Lane

<sup>6</sup> Weigh In Motion

#### ۴-۱- کاهش ازدحام از طریق اخذ عوارض ورودی به مناطق پر ازدحام شهرها

در این روش به دلیل اینکه متقاضیان می بایست قبل از ورود به این مناطق از طریق تلفن همراه و یا اینترنت و یا مراکز مخصوص فروش، عوارض مربوطه را پرداخت نمایند در ابتدای اجرای طرح برای ساکنین شهر مورد نظر این امر مشکل بوده و پرداخت عوارض به طرق فوق برای هر مرتبه وارد شدن به محدوده پر ازدحام سخت و زمان بر است و با توجه به رفتار ترافیکی در شهرهای مختلف احتمال اینکه از پرداخت عوارض امتناع ورزند بسیار بالا می رود که ضمن ترویج قانون گریزی در صورت صدور قبض جریمه برای این افراد موجی از نارضایتی را به همراه دارد، از مشکلات دیگر سیستم همان عدم آشنایی افراد با سیستم های پرداخت فوق بوده که شهروندان می بایست در صورت ناآشنایی با روشهای پرداخت عوارض از راه دور به محل فروش عوارض مربوطه مراجعه نموده و زمان زیادی را برای این امر اختصاص دهند.

#### ۴-۲- ارائه اطلاعات در خصوص وضعیت ترافیک راه

دستیابی به اطلاعات راه ها قبل از سفر با توجه به حجم بالای متقاضیان سفر و اینکه تعداد معدودی از این افراد توانایی کار با اینترنت را دارند، شامل همین افراد خاص می شود مگر اینکه اطلاعات از طریق تلفن های گویا صورت پذیرد تا افراد بیشتری را تحت پوشش قرار دهد، از طرفی اخذ اطلاعات راه ها در منزل یا محل کار و سپس حرکت به سمت مسیر مربوطه ممکن است زمان بر بوده و شرایط ترافیکی مسیر تغییر پیدا کند و استفاده کنندگان به مرور زمان نسبت به سیستم نا مطمئن شده و کارایی خود را از دست دهد و همچنین ارائه اطلاعات در حین سفر در مواردی به غیر از بحث تابلو های VMS مستلزم زیر ساخت های بسیار هنگفتی است که از همه مهم تر مشارکت بین بخش دولتی و خصوصی و مالکان خودرو ها را می طلبد.

#### ۴-۳- اعلام توقف های ناگهانی توسط تابلو های VMS

این مورد اگر برای اطلاع از وضعیت تردد در بعد از قوس ها مورد استفاده قرار گیرد، به طور حتم در محل های کوهستانی و در خارج از شهر ها کاربرد دارد که در این مناطق علاوه بر بحث تأمین انرژی مورد نیاز مسائلی مانند محل قرار دادن سیستم پردازشگر و ارتباط بین شناسگرها و تابلوهای VMS مطرح است که ممکن است مورد سرقت و یا تخریب قرار گیرند و هزینه های نگهداری بالایی را به همراه داشته باشند.

#### ۴-۴- مسیر یابی پویا

در این روش به دلیل اینکه خودروهای موجود در کشور فاقد سیستم های هوشمند هستند و مستلزم نصب این سیستم توسط خود مالکان خودروها می باشد، ممکن است بیشتر افراد از نصب این سیستم ها خودداری نموده و هزینه های زیادی که جهت این امر صورت گرفته تنها شامل تعداد افراد معدودی شود و چندان تأثیری در بهبود وضعیت ترافیک شهرها نداشته باشد.

#### ۴-۵- خودکار سازی مسیر یابی درون خودرویی حین سفر

این سیستم ها نیز مستلزم نصب توسط خود مالکان خودروها هستند و علاوه بر مشکل کارکردن افراد با این سیستم ها، امتناع از نصب آن بر روی خودروهای موجود نیز مشکل بعدی خواهد بود در واقع می توان چالش اصلی در این سیستم را وضعیت ناوگان حمل و نقل کشور و وضعیت بیشتر خودروهای تولید داخل دانست که از استاندارد ها و فناوری های روز دنیا بسیار عقب مانده است و فاصله زیادی با آن گرفته است.

#### ۴-۶- پرداخت عوارض بدون توقف

در این سیستم چالش بزرگ مجهز شدن خودروها به برچسب های فرستنده و الکترونیکی است که می بایست کلیه خودروها نسبت به تهیه این برچسب ها اقدام نمایند و در صورت وجود خودرویی که فاقد برچسب باشد، قبض جریمه صادر می شود که ممکن است خودروی مذکور متعلق به یک شهر و یا استان دیگر باشد و نتواند برای کوتاه مدت به این سیستم مجهز شود از طرفی وجود گیت هایی برای این موارد ممکن است سرعت سیستم را برای همه گیر شدن برچسب های الکترونیکی کم کرده و همان روش سیستم دستی پرداخت عوارض برای سالها ادامه یابد، همچنین در صورت وجود هرگونه خرابی در سیستم گیرنده گیت ها، خودروهای دارای مجوز از آن عبور کرده و ممکن است به دلیل کم نشدن عوارض از حساب خودروهای خارج شده از گیت خراب، مورد جریمه قرار گیرند و یا با توجه به نقص فنی در سیستم گیرنده خودروها بدون پرداخت عوارض وارد مسیر شده و هزینه ای بابت استفاده از راه پرداخت ننمایند.



## ۵- ارزیابی اقتصادی اثرات اجرای سیستم پرداخت عوارض بدون توقف در کاهش مصرف سوخت

در این مرحله به ارزیابی بکارگیری یکی از سیستم های حمل و نقل هوشمند در ارتباط با کاهش مصرف سوخت می پردازیم ، با توجه به در دسترس بودن اطلاعات دقیق تردد در محور آزاد راه قم - تهران، محاسبات بر روی این اعداد و ارقام صورت می گیرد و بهمین دلیل نتیجه ای نزدیک به واقعیت را خواهیم داشت . مرحله ارزیابی را برای آزادراه فوق و در خصوص پرداخت عوارض بدون توقف انجام می دهیم ؛ در این مرحله پیشنهاد می گردد خودروها به برچسب های الکترونیکی مجهز شده و در گیت های ورودی به جای پرداخت عوارض به صورت دستی دستگاه های گیرنده نصب شود و دیگر نیاز به توقف خودروها و ایجاد طول صف در پشت گیت های ورودی نداشته باشیم.

قابل ذکر است با توجه به اینکه این مورد در ایران پیاده سازی نشده است قیمت دستگاه های مورد نیاز به صورت تقریبی بوده و بر اساس آن محاسبه انجام می شود ، البته به دلیل اینکه مرحله سرمایه گذاری اولیه تنها یک بار برای حداقل ۱۵ سال انجام می گیرد تأثیر چندانی در محاسبات نخواهد داشت.

جدول شماره (۲) : محاسبه نسبت هزینه به منفعت اجرای سیستم پرداخت عوارض بدون توقف

در ۱۵ سال (ریال)	سالیانه (ریال)	هزینه ها
۵/۰۰۰/۰۰۰/۰۰۰		هزینه ساخت مرکز کنترل نگهداری و مدیریت با عمر مفید ۱۵ سال
۳۲۰/۰۰۰/۰۰۰		هزینه خرید تجهیزات گیرنده با عمر مفید ۱۵ سال برای ۱۶ گیت ( ۸ گیت رفت و ۸ گیت برگشت )
۲/۰۰۰/۰۰۰/۰۰۰		هزینه ارتباط بین گیرنده و فرستنده و کامپیوتر مرکزی
۹/۰۰۰/۰۰۰/۰۰۰	۶۰۰/۰۰۰/۰۰۰	هزینه نگهداری تجهیزات شامل (حقوق دو نفر نیروی متخصص و آشنا به سخت افزار سیستم، و خرید قطعات مورد نیاز در زمان تعمیر ۶۰۰/۰۰۰/۰۰۰ ریال)
۱۹/۸۰۰/۰۰۰/۰۰۰	۱/۳۲۰/۰۰۰/۰۰۰	هزینه تأمین نیروی انسانی شامل یک نفر مدیر، ۵ نفر نیروی اداری و ۵ نفر اپراتور کنترل ( حقوق متوسط پرسنل برای هر ماه مبلغ ۱۰ میلیون ریال)
۱/۸۰۰/۰۰۰/۰۰۰	۱۲۰/۰۰۰/۰۰۰	هزینه تأمین انرژی (ده میلیون ریال برای هر ماه)
۳۷/۹۲۰/۰۰۰/۰۰۰		مجموع
منافع		
۹۳/۲۸۶/۴۴۶/۷۵۰	۶/۲۱۹/۰۹۶/۴۵۰	صرفه جویی ناشی از عدم توقف خودروها در پشت گیت های ورودی و حرکت مجدد*
۸۶/۴۰۰/۰۰۰/۰۰۰	۵/۷۶۰/۰۰۰/۰۰۰	صرفه جویی ناشی از آزاد سازی نیروهای فروش عوارض برای ۱۶ گیت و در سه شیفت با احتساب حقوق متوسط ماهیانه ده میلیون ریال برای این افراد
۱۷۹.۶۸۶.۴۴۶.۷۵۰		مجموع

\* با توجه به اینکه در آمار سال ۱۳۸۹ تعداد خودروی عبوری از تهران به سمت قم از آزادراه قم-تهران برابر ۸/۷۹۶/۲۳۱ و در مسیر بالعکس این تعداد خودرو بوده است<sup>۷</sup>، لذا محاسبه بر روی همین ارقام صورت گرفته و تعداد کل را محاسبه می نماییم.

$$\text{تعداد وسیله نقلیه استفاده کننده از آزادراه در یک سال} = ۱۷/۷۶۸/۸۴۷ = ۸/۷۹۶/۲۳۱ + ۸/۹۷۲/۶۱۶$$

حال اگر متوسط کاهش مصرف سوخت به دلیل عدم توقف در پشت گیت های ورودی را ۰/۰۵ لیتر (مقدار بنزین مورد نیاز برای طی مسافتی برابر با ۵۰۰ متر) در نظر بگیریم ، آنگاه داریم :

$$\text{میزان بنزین صرفه جویی شده در یک سال (لیتر)} = ۱۷/۷۶۸/۸۴۷ * ۰/۰۵ = ۸۸۸/۴۴۲$$

در صورتی که قیمت سوخت را بدون احتساب یارانه و به مبلغ واقعی ۷/۰۰۰ ریال برای سال ۱۳۸۹ در نظر بگیریم مبلغ صرفه جویی شده در یک سال به شرح ذیل به دست می آید

$$۸۸۸/۴۴۲ * ۷/۰۰۰ = ۶/۲۱۹/۰۹۶/۴۵۰$$

<sup>۷</sup> اطلاعات تردد از سامانه ترددشماري آن لاین راه ها (ستاره) متعلق به مرکز مدیریت راه های کشور استخراج شده است.

## ۶- نتیجه گیری

در این تحقیق سعی شد مزایا و چالش های سیستم های حمل و نقل هوشمند که در ارتباط با کاهش مصرف سوخت هستند به صورت خلاصه ارائه گردد و ملاحظه گردید که گرچه پیاده سازی سیستم های حمل و نقل هوشمند در ابتدای کار با مشکلاتی روبرو است اما امری ضروری و اجتناب ناپذیر می باشد و هرچه دیرتر مدیران و متولیان شبکه های حمل و نقلی به فکر اجرای این سیستم ها بیافتند، از فناوری های نوین امروزی فاصله بیشتری می گیرند. همچنین در یک ارزیابی اقتصادی مشخص گردید اجرای یکی از چند سیستم حمل و نقل هوشمند چه تأثیر به سزایی در کاهش مصرف سوخت دارد و ضرورت هرچه بیشتر اجرای این سیستم را بیشتر نمایان نمود. موارد ذیل نتایج گرفته شده از پژوهش حاضر بصورت طبقه بندی شده می باشد:

- با هوشمند سازی چراغ راهنمایی، ارائه راهنمای مسیر جایگزین، اخذ عوارض ورودی به مناطق پر ازدحام شهرها و کنترل دسترسی به مناطق پر ازدحام می توان به کاهش ازدحام در شبکه رسید که این مطلب کاهش بسیاری در مصرف سوخت وسایل نقلیه دارد.
- با اجرای سیستم اعلام توقف های ناگهانی از طریق تابلوهای VMS مشخص گردید سالیانه بیش از ۲/۵ میلیارد ریال هزینه بنزین صرفه جویی شده می باشد.
- محاسبه گردید که در یک شهر با ۲۰ تقاطع با کنترل کننده های غیر هوشمند بیش از ۱۰ میلیارد ریال هزینه سوخت هدر رفته می باشد.
- با مطالعه موردی و انجام ارزیابی اقتصادی اجرای سیستم پرداخت عوارض بدون توقف در محور آزادراه قم - تهران، مشاهده گردید با کاهش مصرف انرژی وسایل نقلیه، سالیانه حدود یک میلیون لیتر در سوخت صرفه جویی حاصل خواهد شد. همچنین با در نظر گرفتن یک سرمایه گذاری اولیه برای حداقل ۱۵ سال جهت بهره گیری از این سیستم، نسبت منافع به هزینه های اجرای این پروژه بیش از ۴/۷ برابر، برای این بازه زمانی خواهد بود.

## مراجع

- [1] دبیرخانه مجمع جهانی راه (پیپارک)، ۱۳۸۶، راهنمای سیستم های حمل و نقل هوشمند، پژوهشکده حمل و نقل
- [2] گروه IBI با همکاری Wardrop Engineering and Montufar & Associates، ۱۳۸۹، طرح راهبردی سیستم های حمل و نقل هوشمند، وزارت راه و ترابری - معاونت آموزش، تحقیقات و فناوری
- [3] [www.centrico.ten-t.com](http://www.centrico.ten-t.com)
- [4] [www.cclondon.com](http://www.cclondon.com)
- [5] [www.tfl.gov.uk](http://www.tfl.gov.uk)
- [6] [www.prisma-eu.net/deliverables/g5transport.pdf](http://www.prisma-eu.net/deliverables/g5transport.pdf)
- [7] [www.its-sti.gc.ca](http://www.its-sti.gc.ca)
- [8] [www.citylink.vic.gov.au](http://www.citylink.vic.gov.au)