فصلنامه علمی مهندسی ترافیک
| JOURNAL OF TRAFFIC ENGINEERING |

# استفاده از نسل سوم و چهارم اینترنت سلولی در ارتباطات خودرویی برای هشدار جلوگیری از تصادفات

فاطمه گلی وند درویشوند[۱]، مهدی قطعی[۲]، حمیدرضا افتخاری[۳]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده ریاضی و علوم کامپیوتر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۲- عضو هیئت‌علمی و استادیار دانشکده ریاضی و علوم کامپیوتر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

۳- دانشجوی دکتری، دانشکده ریاضی و علوم کامپیوتر، دانشگاه صنعتی امیرکبیر

## چکیده

نسل جدید سامانه‌های هشدار تصادف مبتنی بر ارسال داده‌های مکانی بین خودروها می‌باشند. راهکار کنونی این ارسال و دریافت استفاده از ارتباطات اختصاصی کوتاه برد است که با محدودیت‌هایی همراه است. گسترش فناوری ارتباطی سلولی و ناحیه تحت پوشش آن، زمینه جایگزینی و بهره‌گیری از این فناوری را در ارتباطات بین خودرویی فراهم نموده است. در این پژوهش ابتدا سناریوهای هشدار تصادف و نیازمندی‌های هر سناریو از جهت زمان تأخیر مورد بررسی قرار گرفته و نشان داده‌شده است که زمان تأخیر ۱۰۰ میلی‌ثانیه در همه سناریوهای ضروری نیست. سپس قابلیت استفاده از نسل سوم (3G) و چهارم شبکه ارتباطی تلفن همراه (LTE) برای جایگزینی در سناریوهای حساس به زمان مورد ارزیابی قرار گرفته است. نتایج آزمون‌ها نشان می‌دهد نسل چهارم تلفن همراه در کشور قابلیت جایگزینی ارتباطات اختصاصی کوتاه برد را دارد به‌طوری‌که تأخیر ارسال و دریافت در ۹۸،۱۴ درصد موارد کمتر ۱۰۰ میلی‌ثانیه هست. درحالی‌که نسل سوم شبکه ارتباطی تلفن همراه با متوسط تأخیر ۲۵۰ میلی‌ثانیه صرفاً در سناریوهایی قابل استفاده هست که سرعت خودروها کم و فاصله بین آن‌ها زیاد باشد.

**واژگان کلیدی:** نسل سوم و چهارم ارتباطات سلولی، خودروهای متصل، هشدار تصادف، تأخیر در شبکه‌های بین خودرویی

## ۱- مقدمه

در سال‌های اخیر موضوع خودروهای متصل[1] اهمیت زیادی یافته است، به‌گونه‌ای که بر اساس پیش‌بینی‌ها تا سال ۲۰۲۷ بیش از ۶۰ درصد خودروها مجهز به سامانه‌های ارتباط بین خودرویی خواهد بود[۱]. خودروهای متصل کاربردهای وسیع ایمنی و غیر ایمنی در سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند دارند. دریافت اطلاعات هواشناسی و آگاهی از وضعیت ترافیکی جاده‌ها ازجمله کاربردهای غیر ایمنی خودروهای متصل است که می‌تواند با برقراری ارتباط خودرو و زیرساخت[2] صورت گیرد. هم‌چنین هشدار موقعیت خطر مانند هشدار ترمز ناگهانی، هشدار ورود به تقاطع، هشدار تغییر خط عبوری و... نیز جزو کاربردهای ایمنی خودروهای متصل است. اطلاعاتی که به این منظور توسط ارتباط خودرو با خودرو[3] به اشتراک گذاشته می‌شود شامل سرعت، موقعیت مکانی، جهت حرکت خودرو و... است. تا به امروز روش‌های مختلفی برای برقراری ارتباط بین خودروها معرفی شده است، بیشتر این روش‌ها بر پایه به‌کارگیری حسگرها و استفاده از تجهیزات ارتباطی بر روی خودروهاست. علاوه بر هزینه بالای نصب این تجهیزات و حسگرها، عملیاتی شدن کاربردهای ایمنی خودروهای متصل نیاز به تجهیز گسترده ی خودروهای موجود با این تجهیزات دارد. به همین دلیل باوجود گذشت سال‌ها از مطرح‌شدن خودروهای متصل هنوز این امر در واقعیت اتفاق نیافتاده و تنها در بعضی نقاط جهان به‌صورت آزمایشی اجرا شده است. به همین دلیل ارائه ی یک راهکار کم‌هزینه و در دسترس بسیار ضروری است.

1 Connected vehicles
2 Vehicle to Infrastructure
3 Vehicle to Vehicle

یکی از این راهکارها استفاده از اینترنت سلولی تلفن همراه است. امروزه گوشی‌های هوشمند تلفن همراه که به‌طور گسترده در سراسر دنیا وجود دارد، با انواع حسگرها، موقعیت‌یاب‌های ماهواره‌ای، زیرساخت‌های ارتباطی و واسط کاربری مجهز می‌باشند و می‌توانند به‌عنوان جایگزینی در استقرار ارتباطات بین خودرویی مورداستفاده قرار بگیرند. اما نگرانی اساسی در استفاده از اینترنت سلولی تلفن همراه، میزان تأخیر و سرعت ارسال بسته‌ها در این نوع شبکه‌هاست. نسل چهارم ارتباطات از راه دور تلفن همراه[1] از زمان تأخیر بسیار پایین و سرعت ده برابری ارسال داده‌ها نسبت به نسل قبلی خود برخوردار است و از این حیث موردتوجه بسیاری از محققان قرار گرفته است.

در این پژوهش میزان تأخیر شبکه نسل سوم و چهارم اینترنت سلولی موجود در کشور را در خودرو در حال حرکت بررسی کرده و امکان استفاده از این فناوری را در کاربردهای ایمنی حمل‌ونقل هوشمند ارزیابی نمودیم. در بخش ۲ به بیان راهکارهای ارتباطی بین خودرویی و چالش هرکدام از این راهکارها می‌پردازیم. در بخش ۳ امکان استفاده از شبکه ارتباطی تلفن همراه در کاربردهای ایمنی حمل‌ونقل هوشمند را بررسی کرده و در بخش ۴ به بررسی انواع هشدارهای ایمنی و زمان تأخیر موردنیاز هرکدام می‌پردازیم. درنهایت نتایج و جمع‌بندی ارائه‌شده است.

## ۲- راه‌کارهای ارتباطی بین خودرویی

سازوکارهای مختلفی جهت ارسال داده‌های مکانی بین دو خودرو نزدیک به هم وجود دارد. هرکدام از این سازوکارها مزایا و معایب و ویژگی خاصی دارد. شناخت این ویژگی‌ها امکان ارزیابی استفاده از آن‌ها را در سامانه‌های ایمنی و هشدار تصادف بین خودرویی فراهم می‌نماید. در ادامه به بررسی هرکدام از سازوکارهای می‌پردازیم

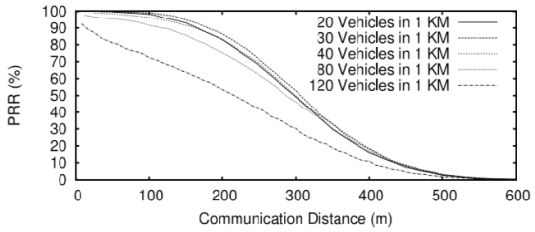
۱. بلوتوث کم‌مصرف[2]: این فناوری که با بلوتوث نسل قدیم متفاوت است و گاهی با عنوان بلوتوث هوشمند نیز دیده می‌شود، در باند فرکانس ۲.۴ گیگاهرتز فعال بوده و دارای نرخ ارسال داده تا ۱ مگابیت بر در ثانیه است. علاوه بر آن بیشینه انرژی مصرفی آن یک‌دهم بلوتوث نسل قدیم است. پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد تا سال ۲۰۱۸ تمام دستگاه‌هایی که با بلوتوث نسل قدیم کار می‌کنند امکان پشتیبانی از بلوتوث کم‌مصرف را نیز داشته باشند. پژوهش‌های بسیاری در خصوص امکان استفاده از بلوتوث کم‌مصرف به‌عنوان زیرساخت اصلی در خودروهای متصل انجام شده است[۲-۴]. چالش اساسی در استفاده از این فناوری، عدم امکان اتصال تعداد زیادی دستگاه در هرلحظه است. مشکل دیگر، ناکارا بودن بلوتوث هوشمند در فاصله‌های بیش از ۵۰ متر است به‌طوری در فاصله‌های ۸۰ متری عملاً ارتباطی برقرار نمی‌گردد.

۲. وای فای مستقیم[3]: این فناوری بر پایه استاندارد وای فای، امکان برقراری ارتباط بین دو دستگاه بدون دخالت نقطه دسترسی بیسیم[4] را فراهم می‌کند. ازآنجایی‌که وای فای مستقیم امروزه در بیشتر تلفن‌های هوشمند وجود دارد، این فناوری به‌عنوان یک فناوری قابل‌گسترش در خودروهای متصل مطرح است. در [۵, ۶] امکان استفاده از وای فای مستقیم در ارتباطات بین خودرویی مورد بررسی قرار گرفته است. از چالش‌های این فناوری عدم پشتیبانی بیشتر دستگاه‌ها از اتصال بیش از دو دستگاه در هرلحظه است.

۳. ارتباطات اختصاصی کوتاه برد[5]: در این روش خودروها با استفاده از شبکه موردی[6] به هم متصل می‌گردند. ارتباطات اختصاصی کوتاه برد یک فناوری ارتباطی مشابه وای- فای است که با هدف برقراری ارتباط محلی بی‌سیم با نرخ بالای انتقال داده ارائه‌شده است. این فناوری با استاندارد ۸۰۲.۱۱p برای کاربرد بی‌سیم در محیط‌های خودرویی توسط موسسه مهندسان برق و الکترونیک[7] تدوین شده است و در ۱۵ جولای سال ۲۰۱۰ انتشار یافته است. مهم‌ترین مزیت آن زمان تأخیر بسیار پایین (زیر ۱۰ میلی‌ثانیه) در هنگام استفاده در شبکه با حجم پایین است ولی استفاده از آن با چالش‌های مختلفی نیز روبرو شده است. یکی از این چالش‌ها کار نبودن دی‌اس‌آرسی در زمانی که است که حجم زیادی از خودروها به هم متصل می‌شوند. به‌طور مثال آرانیتی و همکاران در [۷] آزمایش‌های مختلفی را برای ارزیابی کارایی دی‌اس‌آرسی انجام داده‌اند. دریکی از این آزمایش‌ها که به‌صورت شبیه‌سازی‌شده انجام شده

1 4th Generation mobile telecommunication
2 Bluetooth Low Energy
3 Wi-Fi direct
4 Wireless Access Point
5 Dedicated Short-Range Communication (DSRC)
6 Ad-Hoc
7 The Institude of Electrical and Electronics Engineers (IEEE)

است رابطه بین تعداد خودروها و فاصله بین آن‌ها با درصد بسته‌هایی که به مقصد می‌رسند بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش تعداد خودروها و هم‌چنین فاصله بین آن‌ها درصد بسته‌هایی که با موفقیت به مقصد می‌رسند به طرز چشم‌گیری کاهش می‌یابد (شکل ۱).




شکل ۱: رابطه فاصله و تعداد خودروها به درصد بسته‌های دریافت شده در شبکه دی‌اس‌آرسی

به‌طور مثال در صورتی که تعداد ۸۰ خودرو در یک کیلومتر داشته باشیم و فاصله ی ارتباطی ما ۱۵۰ متر باشد حدوداً ۸۷ درصد بسته‌ها به مقصد می‌رسند، حال اگر در همین بازه ی ارتباطی تعداد خودروها را به میزان ۱۲۰ خودرو در یک کیلومتر برسانیم این مقدار به حدود ۶۰ درصد خواهد رسید. هم‌چنین حمید میر در [۸]، دی‌اس‌آرسی را از نظر میزان تأثیر تعداد و سرعت خودروها بر روی ضریب نفوذ، زمان تأخیر و میزان بسته‌های دریافت شده در مقصد، بررسی کرده‌اند. بر اساس نتایج به دست آمده دی‌اس‌آرسی تنها زمانی کارایی مناسب دارد که شبکه به صورت پراکنده باشد (میزان خودروها کم باشد). ژنگ و همکاران در [۹] نشان داده‌اند که استفاده از دی‌اس‌آرسی به دلیل تجهیزات کم کنار جاده‌ای، ازدحام کانال ارتباطی، لینک‌های نا متعادل و اولویت دهی در انتخاب تجهیزات کنار جاده برای ارتباطات خودرو با زیرساخت نا مناسب است.

۴. نسل سوم ارتباطی تلفن همراه[1]: روشی برای انتقال اطلاعات در گوشی‌های تلفن همراه است که با رویکرد چندرسانه‌ای اطلاعات را قالب داده‌های دیجیتال و با سرعت نسبتاً بالا (۲۲ مگابیت در ثانیه) منتقل می‌کند. این فناوری اولین بار توسط اپراتور رایتل وارد ایران شد. از آن جایی که این ارتباط توسط گوشی تلفن همراه (با در اختیار داشتن سیم کارت) برقرار می‌گردد، امکان استفاده گسترده از آن در سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند وجود دارد ولی به علت سرعت پایین و زمان تأخیر زیاد استفاده از آن در کاربردهای ایمنی با چالش روبرو است. ژنگ در [۹] به بررسی استفاده از نسل سوم ارتباطات تلفن همراه در حمل‌ونقل هوشمند پرداخته است. زمان تأخیر به دست آمده طی آزمایش‌ها بین ۱۰۰ تا ۷۰۰ میلی‌ثانیه بوده است. به همین دلیل نویسنده مقاله استفاده از نسل سوم را تنها برای ارتباط خودرو با زیرساخت و کاربردهای غیر ایمنی مناسب می‌داند. به همین دلیل در بیشتر پژوهش‌های مربوط به نسل سوم، از آن به‌عنوان یک ارتباط کمکی در کنار سایر راه‌های ارتباطی مانند دی‌اس‌آرسی درمواقعی که دی‌اس‌آرسی برای برقراری ارتباط با مشکل مواجه می‌شود استفاده کرده‌اند[۱۰].

۵. نسل چهارم ارتباطاتی تلفن همراه: نسل چهارم با استاندارد تکامل بلند مدت[2] که سرعت بسیار بالاتری نسبت به نسل قبلی خود دارد (بین ۱۰۰ مگابیت تا ۱ گیگابیت در ثانیه) کاملاً مبتنی بر پروتکل اینترنت[3] است. مهم‌ترین ویژگی این فناوری پوشش دهی بالا و پشتیبانی از سرعت (دارا بودن سرعت در هنگام حرکت)، موجود بودن در بازار و ظرفیت بالای آن است[۷]. این فناوری اولین بار در سال ۲۰۰۷ در کره جنوبی مورد بهره برداری قرار گرفت و پس از آن به تدریج در سایر کشورها نیز گسترش پیدا کرد به‌طوری که هم اکنون بیشتر کشورهای جهان دارای پوشش دهی نسل چهارم می‌باشند. نسل چهارم از سال ۲۰۱۴ توسط اپراتور ایرانسل وارد کشور شده است[۱۱]. گسترش بالای این فناوری ارتباطی موجب شده است گرایش به استفاده از نسل چهارم در سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند نیز مطرح گردد. به‌عنوان مثال در [۱۲] یک کتابخانه اندروید برای طراحی سیستم‌های حمل‌ونقل هوشمند معرفی شده است. در [۱۳] روشی برای استفاده از گوشی‌های هوشمند بر پایه شبکه نسل چهارم برای محافظت از عابرین پیاده طراحی شده است.

یکی از تفاوت‌های اساسی بین شبکه‌های وانت[4] با شبکه سلولی، توپولوژی شبکه در این دو هست. شبکه‌های وانت موردی می‌باشند و از این رو هر خودرو در شبکه با تمامی اعضا ارسال پیام خواهد داشت و مشکل اشغال

1 3rd Generation mobile telecommunication

2 Long Term Evolution (LTE)

3 Internet Protocol (IP)

4 VANET (Vehicular ad-hoc network)

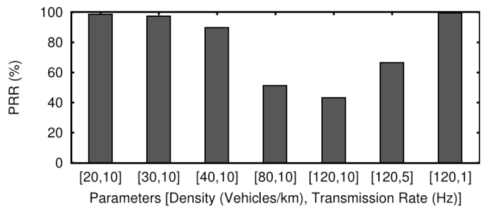
جدول ۱: خلاصه ویژگی‌های فناوری‌های ارتباطی

| نوع فناوری ارتباطی | زمان برقراری ارتباط اولیه | زمان تأخیر ارسال داده | پهنای کانال | نرخ داده | برد | پوشش دهی | پشتیبانی از سرعت | عرضه در بازار |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **بلوتوث کم‌مصرف** | ۳-۸ ثانیه | کمتر از چند میلی‌ثانیه در شرایط مطلوب[2] | ۲ مگاهرتز | ۱ مگابیت در ثانیه | تا ۵۰ متر | تا سال ۲۰۱۸ در همه دستگاه‌ها | کم | کم |
| **وای فای مستقیم** | ۶ ثانیه | کمتر از چند میلی‌ثانیه | ۲۰ مگاهرتز | ۶-۵۴ مگابیت در ثانیه | تا ۱۰۰ متر | بین خودرویی | کم | زیاد |
| **اختصاصی کوتاه برد** | کمتر از چند میلی‌ثانیه | زیر ۵ میلی‌ثانیه | ۱۰ مگاهرتز | ۳-۲۷ مگابیت در ثانیه | تا ۱ کیلومتر | بین خودرویی نیاز به تجهیزات | متوسط | کم |
| **نسل سوم** | ۲ تا ۲،۵ ثانیه | ۱۰۰ تا ۸۰ میلی‌ثانیه | ۵ مگاهرتز | ۲مگابیت‌در ثانیه | تا ۱۰ کیلومتر | همه‌جا(موبایل) | بالا | زیاد |
| **نسل چهارم** | ۱۰ میلی‌ثانیه | ۱۵ تا ۱۰۰ میلی‌ثانیه | ۱،۴،۳،۵،۱۰ مگاهرتز | ۱۰۰ تا ۱۰۰۰ مگابیت در ثانیه | تا ۳۰ کیلومتر | همه جا (موبایل) | تا ۳۵۰ کیلومتر بر ساعت | زیاد به صورت بالقوه |

دامنه مسیر دریافت از سرور[1] مطرح می‌گردد. درحالی‌که ساختار شبکه نسل چهارم مبتنی بر زیرساخت[2] است؛ از این رو تمام خودروها در یک سلول اطلاعات را به یک سرور مرکزی ارسال نموده و تمامی پردازش‌ها در سرور انجام می‌شود. سپس این سرور با توجه به اطلاعاتی که جمع آوری کرده است خودروهایی که در موقعیت خطر هستند شناسایی می‌کند و پیغام خطر را به آن‌ها ارسال می‌کند [۷]. البته بحث ارتباط مستقیم دو گوشی[3] با هم در نسل بعدی اینترنت سلولی در حال پیگیری است [۱۴-۱۶]. ولی در حال حاضر ارتباطات نسل چهارم امکان برقراری ارتباط مستقیم بین دو گوشی را نمی‌دهند و همین مساله نگرانی‌هایی را در رابطه با زمان تأخیر و امکان نرسیدن بسته‌ها به مقصد، به وجود آورده است. در آزمایش‌هایی که انجام شده، این نگرانی‌ها تا حد زیادی برطرف شده است. به‌عنوان مثال در مقاله [۱۲] میزان زمان تأخیر شبکه نسل چهارم با استفاده از ۶۰ هزار نمونه جمع آوری شده در حدود ۸۰ میلی‌ثانیه برآورد شده و هم‌چنین نرخ بسته‌های رسیده ۹۹.۷۲ درصد بسته‌ها در همان ارسال اولیه است.

1 Downlink
2 Infrastructure
3 D2D(Device to Device)

هم‌چنین طی تست‌های تجربی در صورتی که نرخ ارسال داده‌ها ۱۰ هرتز باشد حداکثر ۳۰ خودرو قابلیت شبکه شدن با هم را دارند و در غیر این صورت نرخ ارسال بسته‌ها پایین می‌آید. اما اگر نرخ ارسال بسته‌ها را به ۱ هرتز کاهش دهیم تا ۱۲۰ خودرو را می‌توانیم شبکه کنیم (شکل ۲).




شکل ۲: رابطه تعداد و فرکانس ارسال بسته‌ها به نرخ بسته‌های دریافت شده

در جدول ۱ فناوری‌های ذکر شده با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

## ۳- آزمایش زمان تأخیر نسل سوم و چهارم اینترنت سلولی

به منظور بررسی امکان استفاده از اینترنت سلولی نسل سوم و چهارم آزمایشی را طراحی و طی آن زمان ارسال پیام بین دو گوشی با استفاده از اینترنت سلولی نسل سوم و چهارم را اندازه گیری کردیم.

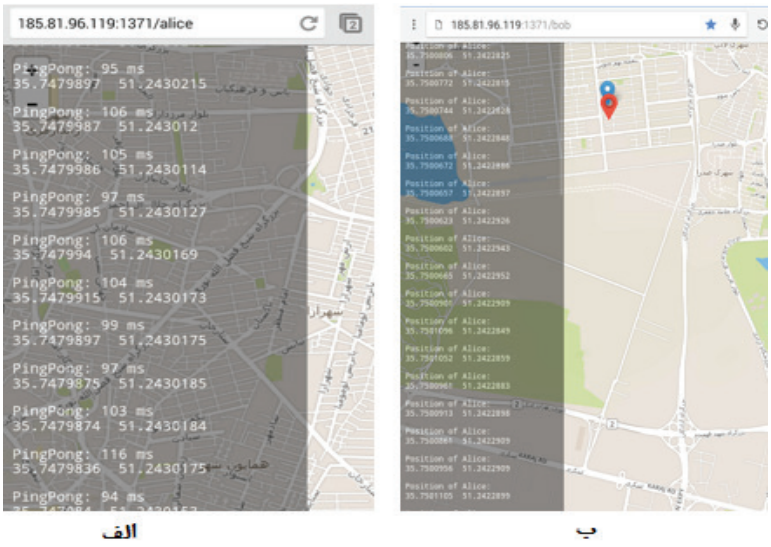
آزمایش با استفاده از دو گوشی تلفن همراه مجهز به سیم کارت نسل چهارم ارتباطات اپراتور ایرانسل و دو گوشی تلفن همراه مجهز به نسل سوم ارتباطات موبایل با دو اپراتور ایرانسل و رایتل که درون دو خودرو مجزا قرار داشتند انجام گرفت. در آزمایش‌های انجام‌گرفته دو سناریو پیاده سازی شدند.

۱. سناریو عبور از تقاطع بدون چراغ با سرعت‌های مختلف (شکل ۳)

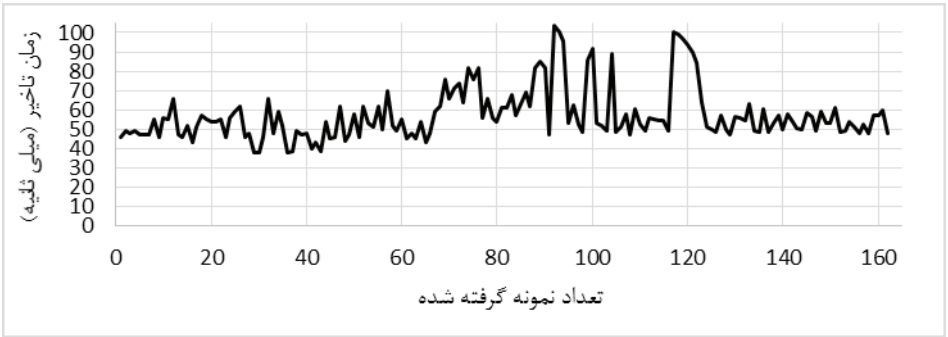
۲. سناریو حرکت در یک جهت در بزرگراه شامل سبقت، حرکت پشت سر هم با فاصله زیاد، حرکت پشت سر هم با فاصله کم و حرکت در کنار هم

شکل ۳ سناریو شماره ۱. تقاطع بدون چراغ

در شکل ۴ نمایی از برنامه کاربردی طراحی شده برای اندازه گیری این زمان را مشاهده می‌کنید. در این برنامه موقعیت مکانی دو گوشی در هرلحظه برای هم ارسال می‌گردد و زمان رفت و برگشت پیام به همراه موقعیت مکانی نمایش داده می‌شود (شکل ۳. الف).

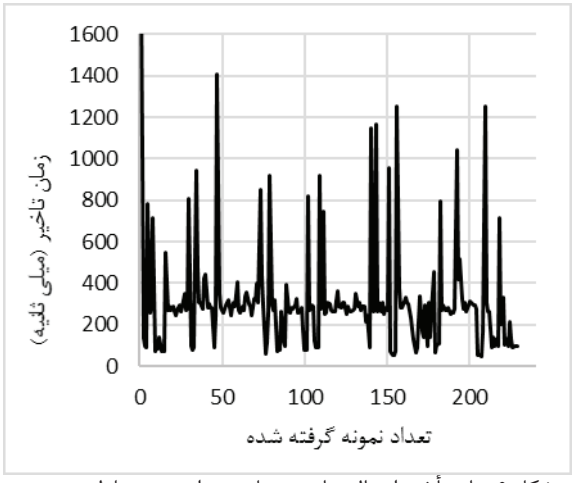



شکل ۴. برنامه کاربردی محاسبه زمان رفت و برگشت پیام در دو گوشی. با استفاده از ارتباطات سلولی نسل چهارم




شکل ۵ زمان تأخیر ارسال پیام در نسل چهارم اینترنت سلولی با استفاده از اپراتور ایرانسل

از آن جایی که این زمان، زمان رفت و برگشت پیام است، برای محاسبه زمان تأخیر ارسال پیام در شبکه باید زمان محاسبه شده را نصف کنیم. در شکل ۵ و ۶ نمودار تأخیر شبکه سلولی نسل سوم و چهارم را طی ۸۰ نمونه بررسی شده مشاهده می‌کنید.




شکل ۶ زمان تأخیر ارسال پیام در نسل سوم اینترنت سلولی. سمت راست: اپراتور رایتل. سمت چپ: اپراتور ایرانسل

شکل ۵، زمان تأخیر شبکه نسل چهارم را نشان می‌دهد که این زمان بین ۴۵ تا ۱۰۰ میلی‌ثانیه بوده است. هم‌چنین ذکر این نکته ضروری است که نمونه‌ها در نقاط مختلف شهر تهران گرفته شده است. به‌عنوان مثال نمونه‌های ۹۰ تا ۱۳۰ مربوط به یک محله مشخص می‌باشند که پوشش دهی نسل چهارم در آنجا ضعیف بوده و زمان تأخیر در این قسمت نوسانات زیادی داشته است و گاهی از ۱۰۰ میلی‌ثانیه نیز عبور نموده است. با این حال در نقاطی که از پوشش دهی قوی نسل چهارم برخوردار بوده است زمان تأخیر همواره زیر ۷۰ میلی‌ثانیه به دست آمده است.

هم‌چنین متوسط زمان تأخیر در استفاده از نسل سوم ۲۵۰ میلی‌ثانیه به دست آمده است. بسیاری از نمونه‌ها دارای زمان تأخیر زیر صد میلی‌ثانیه بوده‌اند، با این حال این زمان تأخیر پایدار نبوده و در بعضی نمونه‌ها حتی تا ۱۶۰۰ میلی‌ثانیه هم رسیده است.

در بخش بعدی به بررسی این نکته می‌پردازیم که باوجود زمان تأخیرهای بدست آمده، در چه کاربردهای ایمنی می‌توانیم از نسل سوم و چهارم ارتباطات موبایل، به‌عنوان زیرساخت ارتباطی بین خودرویی استفاده کنیم.

## ۴- انواع هشدارهای ایمنی و زمان موردنیاز

اداره ملی امنیت ترافیک بزرگراه‌های آمریکا[1] در سال ۲۰۰۵ گزارشی را تهیه کرد که طی آن تمامی برنامه‌های کاربردی (ایمنی یا غیر ایمنی) در زمینه حمل‌ونقل هوشمند که توسط ارتباطات خودرویی قابل پیاده سازی هستند معرفی کرده و پارامترهای موردنیاز برای دستیابی به هرکدام از آن‌ها را مشخص نمود[۱۷]. یکی از این پارامترها میزان تأخیر در ارسال پیام بین خودروهاست. در اکثر کاربردهای ایمنی این زمان تأخیر حداکثر ۱۰۰ میلی‌ثانیه در نظر گرفته شده است. در جدول ۲ چهار نمونه

جدول ۲ برنامه‌های کاربردی ایمنی به همراه توضیح و ذکر پارامترهای موردنیاز

| برنامه کاربردی | توضیح عملکرد برنامه | نوع ارتباط و نحوه ارسال پیام | فرکانس ارسال پیام | بیشینه زمان تأخیر |
|---|---|---|---|---|
| **هشدار ترمز ناگهانی** | هشدار درصورت کاهش سرعت ناگهانی خودرو جلویی | در هنگام رخداد ترمز ناگهانی به صورت پیوسته پیام ارسال می‌گردد | ۱۰ هرتز | ۱۰۰ میلی‌ثانیه |
| **هشدار تصادف با کاربران آسیب پذیر جاده** | هشدار درصورت احتمال تصادف با کاربر آسیب پذیر جاده | از طریق ارتباط خودرو با گوشی تلفن همراه | ۱ هرتز | ۱۰۰ میلی‌ثانیه |
| **هشدار رانندگی در مسیر اشتباه** | هشدار در صورت رانندگی در مسیر اشتباه | ارسال به‌صورت پیوسته هنگام قرارگیری در مسیر اشتباه | ۱۰ هرتز | ۱۰۰ میلی‌ثانیه |
| **هشدار خودروی ثابت** | هشدار در صورت وجود خودروی ثابت در جاده | ارسال به‌صورت پیوسته هنگام کشف وجود خودروی ثابت | ۱۰ هرتز | ۱۰۰ میلی‌ثانیه |

1 National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA)

از این برنامه‌های کاربردی در حوزه ایمنی بررسی شده است.

همان طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود کاربردهای ایمنی نیاز به زمان ۱۰۰ میلی‌ثانیه برای ارسال پیام در شبکه ارتباطی دارند؛ اما طی بررسی‌های انجام شده، مشخص شد که این زمان تنها در بعضی سناریوهای خاص، ضروری است. به بیان دیگر زمان ۱۰۰ میلی‌ثانیه مربوط به بدترین شرایط است که در آن فاصله خودروها کم و سرعت آن‌ها زیاد است. در محیط‌های شهری به دلیل حجم ترافیک و شرایط جاده‌ها، خودروها عملاً از سرعت کمتری نسبت به بزرگراه‌های برون شهری برخوردارند به همین دلیل در بیشتر سناریوهای درون شهری، می‌توان زمان تأخیر بیشتر از ۱۰۰ میلی‌ثانیه در ارتباطات خودرویی داشت.

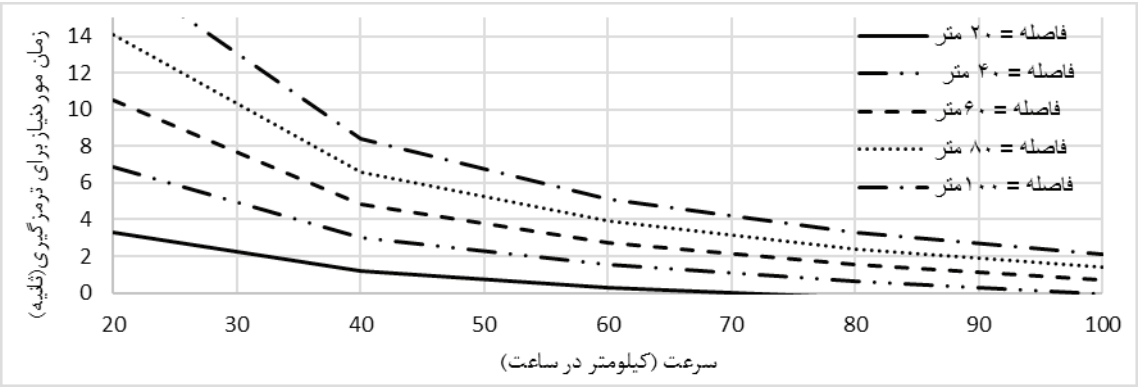
به دست آوردن حداکثر زمان تأخیر برای ترمزگیری، بستگی به متغیرهای مختلف و نوع مانور در حال اجراست. به‌عنوان مثال برای به دست آوردن حداکثر زمان تصادف تا یک خودروی ثابت باید فاصله تا خودرو ثابت، سرعت هنگام ترمزگیری و شتاب ترمز گیری را در نظر بگیریم. این زمان با در اختیار داشتن متغیرهای ذکر شده از معادله ۱ به دست می‌آید[۱۸].

$$t_{max} = \frac{D_{Loc} - \frac{v^2}{2a}}{V} \quad (1)$$

در این معادله $D_{Loc}$ فاصله تا خودرو ثابت، V سرعت خودرو در هنگام ترمز و a شتاب ترمزگیری است. $t_{max}$ حداکثر زمان موردنیاز تا گرفتن ترمز را بیان می‌کند که شامل تأخیر شبکه ارتباطی و زمان هشدار تا عملکرد راننده است. در برنامه‌های کاربردی که به صورت هشدار صدا عمل می‌کنند این زمان بین ۰،۲ تا ۲ ثانیه است. رانندگان به‌طور متوسط در زمان کمتر از ۱ ثانیه به صدای هشدار عکس العمل نشان می‌دهند[۱۹]. در شکل ۷ نمودار زمان موردنیاز برای گرفتن ترمز در سرعت‌های ۲۰ تا ۱۰۰ کیلومتر در ساعت برای فاصله‌های مختلف (۲۰ تا ۱۰۰ متر) نمایش داده شده است. شتاب ترمز ۹،۴ متر بر مجذور ثانیه در نظر گرفته شده است که شتاب میخ ترمز در خودروهای سمند ال ایکس و پراید سایپا ۱۳۱ اس ایکس است[۲۰].

به‌طور مثال، میزان زمان موردنیاز برای ترمزگیری در سرعت ۶۰ کیلومتر بر ساعت و در فاصله ۴۰ کیلومتری از خودرو ثابت حدوداً ۱،۸ ثانیه است. در صورتی که عملکرد راننده از زمان هشدار تا عکس العمل در زمان ۱،۵ ثانیه صورت بگیرد می‌توان تأخیر شبکه را حدوداً ۲۰۰ میلی‌ثانیه در نظر گرفت. با توجه به این موضوع در این شرایط می‌توان از نسل چهارم ارتباطات تلفن همراه استفاده کرد. حال اگر با همین سرعت، فاصله خودروها را به ۶۰ متر برسانیم می‌توانیم حتی از نسل سوم ارتباطات تلفن همراه نیز بهره مند شویم. با توجه به شکل ۷، سناریوهایی وجود دارد که دارای زمان بسیار اندکی برای ترمزگیری هستند. به‌عنوان مثال زمانی که سرعت خودرو بالای ۸۰ کیلومتر بر ساعت و فاصله تا خودروی ثابت زیر ۴۰ متر باشد، تنها حدود ۱۰۰ میلی‌ثانیه برای ترمزگیری زمان باقی است، حال اگر زمان هشدار تا عکس العمل راننده را هم در نظر بگیریم عملاً هشدار تصادف نمی‌تواند مؤثر واقع شود. در این شرایط حتی استفاده از ارتباطات اختصاصی کوتاه برد (دی‌اس‌آرسی) نیز نمی‌تواند مانع بروز تصادف شود.

در جدول ۳ امکان یا عدم امکان استفاده از دی‌اس‌آرسی، نسل سوم و چهارم به‌عنوان زیرساخت ارتباطی برای هشدار تصادف با خودروی ثابت، نشان داده شده است.




شکل ۷ رابطه حداکثر زمان موردنیاز برای ترمزگیری در سرعت‌های ۲۰ تا ۱۰۰ کیلومتر برای فاصله‌های ۲۰ تا ۱۰۰ متر و شتاب ترمزگیری $9.4\ m/s^2$

جدول ۳. امکان یا عدم امکان استفاده از نسل سوم و چهارم به‌عنوان زیرساخت ارتباطی برای هشدار با خودروی ثابت

| سرعت<br>فاصله | ۲۰< **kmph** | ۳۰-۲۰ **kmph** | ۵۰-۳۰ **kmph** | ۷۰-۵۰ **kmph** | **kmph** ۹۰-۷۰ | ۱۰۰-۹۰ **kmph** |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۲۰< متر | هرسه | دی‌اس‌آرسی، نسل چهارم | هیچ‌کدام | هیچ‌کدام | هیچ‌کدام | هیچ‌کدام |
| ۴۰-۲۰ متر | هرسه | هرسه | دی‌اس‌آرسی، نسل چهارم | هیچ‌کدام | هیچ‌کدام | هیچ‌کدام |
| ۶۰-۴۰ متر | هرسه | هرسه | هرسه | دی‌اس‌آرسی، نسل چهارم | هیچ‌کدام | هیچ‌کدام |
| ۸۰-۶۰ متر | هرسه | هرسه | هرسه | هرسه | دی‌اس‌آرسی، نسل چهارم | هیچ‌کدام |
| ۸۰ < متر | هرسه | هرسه | هرسه | هرسه | هرسه | دی‌اس‌آرسی، نسل چهارم |

جدول ۳ با توجه به زمان ۲ ثانیه عکس العمل راننده تهیه شده است. به همین دلیل در سناریوهایی که سرعت خودرو بالای ۹۰ کیلومتر بر ساعت و فاصله کمتر از ۶۰ متر است، استفاده از نسل چهارم به زمان عکس العمل راننده بستگی دارد و تنها در پنجاه درصد موارد می‌تواند به‌عنوان هشدار با خودرو ثابت مؤثر واقع شود؛ چراکه در این شرایط تنها ۱ ثانیه زمان برای گرفتن ترمز باقی است و راننده باید در زمان کمتر از ۱ ثانیه عکس العمل مناسب را نشان دهد.

## ۵- نتیجه‌گیری

ایجاد یک شبکه بین خودروها و به اشتراک گذاری داده‌های مکانی، امروزه به یکی از راه حل‌های مؤثر برای جلوگیری از تصادفات رانندگی تبدیل شده است. راهکار پیشنهادی برای این موضوع استفاده از شبکه اختصاصی کوتاه برد به‌عنوان زیرساخت اصلی ارتباطی بین خودروها بوده؛ ولی استفاده از آن با چالش‌های فراوانی روبرو شده است.

استفاده از اینترنت سلولی تلفن همراه، به دلیل گستردگی فراوان، پوشش دهی بالا و ظرفیت زیاد به‌عنوان جایگزین برای استفاده در شبکه‌های خودرویی موردتوجه بسیاری از پژوهشگران قرار گرفته است، خصوصاً نسل چهارم تلفن همراه که با زمان تأخیر زیر ۱۰۰ میلی‌ثانیه و سرعت ده برابری انتقال اطلاعات نسبت به نسل قبلی خود (نسل سوم ارتباطات از راه دور موبایل)، توانسته به‌عنوان رقیبی جدی برای ارتباطات اختصاصی کوتاه برد در دنیا معرفی شود. نسل بعدی این ارتباطات یعنی نسل پنجم ارتباطات از راه دور موبایل که در سال ۲۰۲۰ رونمایی می‌شود نسبت به نسل فعلی (نسل چهارم) سرعت چندین برابری و زمان تأخیر بسیار کمتری دارد و حتی ارتباطات دستگاه به دستگاه قرار است در این نسل ایجاد شود که باعث کاهش چندین برابری زمان تأخیر نیز خواهد شد.

اداره ملی امنیت ترافیک بزرگراه‌های آمریکا، برای طراحی سیستم‌های هشدار دهنده بر پایه ارتباطات بین خودرویی، حداکثر زمان ۱۰۰ میلی‌ثانیه را برای تأخیر شبکه در نظر گرفته است. در این پژوهش نشان دادیم که زمان تأخیر ۱۰۰ میلی‌ثانیه در سناریوهایی با سرعت کم و فاصلهٔ زیاد ضروری نیست.

هم‌چنین ضمن انجام آزمایش‌هایی از زمان تأخیر شبکه نسل سوم و چهارم اینترنت سلولی در دو اپراتور ایرانسل و رایتل، نشان دادیم که نسل چهارم اینترنت سلولی در ۹۸،۱۴ درصد نمونه‌ها دارای تأخیر زیر ۱۰۰ میلی‌ثانیه بوده است. هم‌چنین نسل سوم اینترنت سلولی در ۹۷ درصد مواقع تأخیر زیر ۱ ثانیه را ثبت کرده و متوسط تأخیر آن ۲۵۰ میلی‌ثانیه بوده است. به همین دلیل سناریوهای زیادی وجود دارد که از هر دو شبکه نسل سوم و چهارم اینترنت سلولی، بتوانیم به‌عنوان زیرساخت اصلی ارتباطات بین خودرویی به منظور هشدار تصادف استفاده کنیم.

در کارهای آتی قصد داریم استفاده از نسل سوم و چهارم اینترنت سلولی را در سیستم‌های فعال جلوگیری از وقوع تصادف بررسی کنیم. در این سیستم‌ها زمان هشدار تا عکس العمل راننده حذف شده و زمان بیشتری را می‌توانیم برای تأخیر شبکه‌های ارتباطی در نظر بگیریم.

## ۶– منابع

1. Bayless, S.H., Connected Vehicle Insights. 2011-2012.
2. Frank, R., et al. Bluetooth Low Energy: An alternative technology for VANET applications. in Wireless On-demand Network Systems and Services (WONS), 2014 11th Annual Conference on. 2014. IEEE.
3. Bronzi, W., et al. Bluetooth low energy for inter-vehicular communications. in Vehicular Networking Conference (VNC), 2014 IEEE. 2014. IEEE.
4. Gomez, C., J. Oller, and J. Paradells, Overview and evaluation of bluetooth low energy: An emerging low-power wireless technology. Sensors, 2012. 12(9): p. 11734-11753.
5. Satish, C., Inter-vehicular communication for collision avoidance using Wi-Fi Direct. 2014.
6. Su, K.-C., et al. Vehicle-to-vehicle communication system through wi-fi network using android smartphone. in Connected Vehicles and Expo (ICCVE), 2012 International Conference on. 2012. IEEE.
7. Araniti, G., et al., LTE for vehicular networking: a survey. Communications Magazine, IEEE, 2013. 51(5): p. 148-157.
8. Mir, Z.H. and F. Filali, LTE and IEEE 802.11 p for vehicular networking: a performance evaluation. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 2014. 2014(1): p. 1-15.
9. Zheng, K., et al., Heterogeneous Vehicular Networking: A Survey on Architecture, Challenges, and Solutions. Communications Surveys & Tutorials, IEEE, 2015. 17(4): p. 2377-2396.
10. Zhao, Q., et al., When 3G meets VANET: 3G-assisted data delivery in VANETs. Sensors Journal, IEEE, 2013. 13(10): p. 3575-3584.
11. Available from: www.irancell.ir.
12. Park, Y., et al., A feasibility study and development framework design for realizing smartphone-based vehicular networking systems. Mobile Computing, IEEE Transactions on, 2014. 13(11): p. 2431-2444.
13. Bagheri, M., M. Siekkinen, and J.K. Nurminen, Cellular-based Vehicle to Pedestrian (V2P) Adaptive Communication for Collision Avoidance.
14. Mumtaz, S., et al., Cognitive vehicular communication for 5G. Communications Magazine, IEEE, 2015. 53(7): p. 109-117.
15. Botsov, M., et al. Location-based Resource Allocation for mobile D2D communications in multicell deployments. in Communication Workshop (ICCW), 2015 IEEE International Conference on. 2015. IEEE.
16. Phunchongharn, P., E. Hossain, and D.I. Kim, Resource allocation for device-to-device communications underlaying LTE-advanced networks. Wireless Communications, IEEE, 2013. 20(4): p. 91-100.
17. The CAMP Vehicle Safety Communications Consortium consisting of BMW and F. DaimlerChrysler, GM, Nissan, Toyota, and VW., Vehicle Safety Communications Project Task 3 Final Report Identify Intelligent Vehicle Safety Applications Enabled by DSRC. 2005.
18. Najm, W., et al., Synthesis report: Examination of target vehicular crashes and potential ITS countermeasures. 1995.
19. Scott, J. and R. Gray, A comparison of tactile, visual, and auditory warnings for rear-end collision prevention in simulated driving. Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, 2008. 50(2): p. 264-275.
20. Hossein, R. A practical test of vehicle's braking system. 2014; Available in 2016: http://www.pedal.ir/

## Using 3G and 4G/LTE for collision warning systems in vehicular network

**Fateme Golivand Darvishvand[1], Mehdi Ghatee[2], Hamidreza Eftekhari[3]**

1-M.Sc. student of Mathematics and Computer Science faculty, AmirKabir university of Technology,
3-Assistant Professor of Mathematics and Computer Science faculty, Amirkabir University of Technology,
2-Phd. Student of Mathematics and Computer Science faculty, AmirKabir University of Technology,

**Abstract**

Nowadays collison warning systems are based on sharing position data between vehicles. The most common solution is using Dedicated Short Range Communication(DSRC). But this technology has met a lot of limitations.

The spread of cellular network technology and it's wide area coverage can make cellular network a proper alternative for DSRC. In this paper,first the collision senarios have been reviewed and their use cases are specified. It has been showed that 100 msec time delay is not essential in all collision senarios.

Then 3G and 4G/LTE are evaluated for using as the main network in connected vehicles. The results show that 4G/LTE has the proper potential for using in vehicular network instead of DSRC. The time delay in 4G/LTE was below 100 msec in 98.14 per cent of samples. Also 3G had the mean time delay of 250 msec and can only be used in senarios that the vehicle's speed are low and the distance between vehicles is high.

**Keywords**: 3G and 4G/LTE cellular network, connected vehicles, collision warning, time delay in vehicular network