ارزیابی میزان تأثیر تفکیک خودروهای سبک و سنگین بر شاخص های ایمنی جایگزین در شرایط تعقیب خودرو

سید صابر ناصرعلوی، استادیار، دانشکدهٔ مهندسی عمران، دانشگاه شهید باهنر کرمان
حامد نظری*، کارشناس ارشد برنامه‌ریزی حمل و نقل، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه غیرانتفاعی شمال، آمل، ایران
امیر ایزدی، استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه غیرانتفاعی شمال، آمل، ایران
*h68_nazari@yahoo.com

تاریخ دریافت مقاله: شهریور ۹۲ تاریخ پذیرش: اردیبهشت۹۳

چکیده

شاخص های ایمنی جایگزین به عنوان یکی از روش های تداخل ترافیک، با استفاده از داده های خط سیر خودروها و بدون نیاز به اطلاعات تصادفات به ارزیابی وضعیت ایمنی می پردازد. تعیین لحظه ناایمن در فرآیند تعقیب خودرو با استفاده از آستانه ی تعریف شده برای شاخص های ایمنی جایگزین صورت می گیرد. از این رو تعیین آستانه مناسب برای شاخص ها به منظور تشخیص صحیح لحظه های ناایمن از اهمیت بالایی برخوردار است. شاخص های سرفاصله زمانی (THDW) و زمان تا برخورد (TTC)، به عنوان دو شاخص پرکاربرد در ارزیابی ایمنی، تنها با استفاده از روابط دینامیکی و عموماً براساس پارامترهایی نظیر سرعت، شتاب و فاصله بین دو خودرو به ارزیابی وضعیت ایمنی می پردازند؛ در صورتی که بسیاری از پارامترهای دیگر نظیر نوع خودرو می توانند در تعیین آستانه ایمنی و نحوه توزیع این شاخص ها تأثیرگذار باشند. تحقیق حاضر به منظور بررسی اثر نوع خودرو بر نحوه ی توزیع زمانی و آستانه ایمنی دو شاخص مذکور به تفکیک داده های تعقیبی پرداخته است. بدین منظور داده های تردد ثبت شده توسط شناساگرها در محور بزرگراهی اراک به سلفچگان به ۴ دسته؛ سواری - سواری، سنگین - سواری، سواری- سنگین و سنگین - سنگین دسته‌بندی شده و مقادیر میانگین و ۸۵ درصدی برای هر دسته از تعقیب ها محاسبه شده است. نتایج آزمون زوجی t با سطح معنی دار ۰,۰۵ نشان داد که میانگین شاخص ها در دسته های تعقیبی مختلف به صورت معنی داری با یکدیگر تفاوت دارند. همچنین تحلیل آماری و توزیع داده های تعقیبی محور موردنظر تأثیر نوع زوج خودروهای فرآیند تعقیب در نحوه توزیع و تعیین آستانه ایمنی شاخص ها را به خوبی نشان می دهد.

کلید واژه: شاخص ایمنی جایگزین، سرفاصله زمانی، زمان تا برخورد، تعقیب خودرو

۱- مقدمه

حوادث ناشی از رانندگی هر ساله خسارات جانی و مالی سنگینی به کشورهای مختلف جهان وارد می کند. از نظر تعداد قربانیان، متأسفانه ایران با میانگین بیش از ۲۴۰۰۰ کشته در سال های اخیر یکی از بالاترین رتبه ها را به خود اختصاص داده است [۱]. در این میان تصادفات جلو به عقب یکی از رایج ترین نوع تصادفات است که براساس آمار اداره ملی ایمنی راه های امریکا[1] حدود ۲۳ درصد از تصادفات را شامل می شود [۲]. به منظورکاهش میزان این دسته از تصادفات از روش های گوناگون برای ارزیابی وضعیت ایمنی استفاده می شود. این روش ها از نظر زمان بررسی به دو دسته پیش از برخورد و بعد از برخورد[2] دسته بندی می شوند. مطالعات پیش از برخورد عمدتاً بر پایه مدل‌سازی و تحلیل های آماری بر داده های تصادفات صورت می گیرد. این دسته از مطالعات به دلیل وابسته بودن به آمار تصادفات، پرهزینه، زمان بر بوده و با دقت پایین صورت می گیرند.

اما روش های مطالعه ایمنی پیش از برخورد نظیر تکنیک تداخل ترافیک، بدون وابستگی به داده های تصادف به ارزیابی وضعیت ایمنی می پردازد. شاخص های ایمنی جایگزین[3] که در تجهیزات هوشمند ایمنی از آن استفاده فراوانی شده است دسته‌ای از تکنیک های تداخل ترافیکی است که با استفاده از داده های خط سیرخوردها[4] به شناسایی لحظه های ناایمن در شرایط تعقیب خودرو می پردازد. مهم‌ترین مورد در استفاده از این شاخص ها تعیین آستانه مناسب برای تفکیک وضعیت ایمن و ناایمن در شرایط تعقیب خودرو است. لحظه ناایمن در شاخص های ایمنی جایگزین با توجه به آستانه تعیین شده برای هر شاخص تشخیص داده می شود. مطالعات مختلف تعاریف متفاوتی برای آستانه ایمن شاخص ها اعلام کرده‌اند. برای مثال آستانه سرفاصله زمانی با احتمال برخورد در آلمان ۰,۹ ثانیه و در کشور سوئد ۱ ثانیه در نظر گرفته شده است[۳]. یعنی در کشور آلمان زوج خودروهای موجود در فرآیند تعقیب با سرفاصله زمانی کمتر از

1. National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA)
2. traffic safety before and after study
3. surrogate safety index
4. vehicel trajectories data

۰,۹ ثانیه در وضعیت تعقیبی ناایمن قرار دارند. تشخیص آستانه در شاخص های ایمنی جایگزین عموماً با استفاده از توزیع زمانی و برپایه محاسبه پارامترهای فیزیکی نظیر سرعت، شتاب و فاصله بین دو خودرو صورت می پذیرد. در صورتی که عوامل بسیاری در نحوه توزیع زمانی شاخص ها تأثیرگذارند. نوع خودروهای درگیر در فرآیند تعقیب می تواند یکی از این پارامترهای تأثیرگذار باشد. اعمال اثر نوع خودرو باعث جامع تر شدن سناریوی شاخص ها و افزایش دقت و عملکرد آن ها در تشخیص صحیح لحظه ی ناایمن در فرآیند تعقیب می شود.

با توجه به ثبت نوع خودرو در داده های ترافیکی، تفکیک و اعمال تأثیرات آن در نحوه توزیع زمانی و تشخیص آستانه شاخص های ایمنی جایگزین برای هر دسته امکان پذیر است. از این رو به منظور نشان دادن تأثیر نوع خودرو در آستانه شاخص های ایمنی جایگزین، دو شاخص سرفاصله زمانی و زمان تا برخورد که در تجهیزات و روش های ارزیابی ایمنی از کاربرد و اهمیت بالایی برخوردارند، انتخاب شده اند. انتخاب این دو شاخص به دلیل در نظرگیری میزان تأثیر نوع خودرو در هر دو حالت تداخلات بالقوه (احتمال برخورد کم) و حتمی (احتمال برخورد زیاد) صورت گرفته است. vogel در مطالعات خود شاخص سرفاصله زمانی را به عنوان شاخص ارزیاب وضعیت تداخل بالقوه و ورودی بسیاری از مدل‌های شبیه ساز و شاخص زمان تا برخورد را به عنوان شاخص ارزیاب وضعیت تداخل حتمی معرفی کرده است [۳]. تحقیق حاضر به منظور نشان دادن تأثیر نوع خودرو در نحوه توزیع و تعیین آستانه شاخص های سرفاصله زمانی و زمان تا برخورد، به تفکیک داده های تعقیبی براساس نوع خودرو (سبک و سنگین) و توزیع زمانی این شاخص برای دسته های مختلف پرداخته است. در پایان مقدار آستانه مناسب برای هر یک از دسته معرفی و مقایسه گردیده است.

۲- ادبیات تحقیق

مطالعات ایمنی با استفاده از شاخص ایمنی جایگزین تا حدود زیادی به نوع سناریوی تعریف شده برای شاخص مورد نظر بستگی دارد. در سناریوی بسیاری از شاخص ها از جمله دو شاخص زمان تا برخورد و سرفاصله زمانی، تأثیر عامل نوع خودروی درگیر در فرآیند تعقیب مورد ارزیابی قرار نگرفته است.

۲-۱- سرفاصله زمانی[5] (THDW)

سرفاصله زمانی به عنوان یکی از مهم‌ترین خصوصیات جریان ترافیک، کاربرد بسیاری در مطالعات ترافیکی از جمله مدل‌سازی و شبیه سازی های ایمنی، اندازه گیری ظرفیت، اندازه گیری سطح خدمت و کنترل عملکرد رانندگان در مسیرها دارد. همچنین در مدل‌های پیشرفته تر نظیر مدل‌های صف و شبیه سازی های پویا نیز به کار می رود [۴، ۵]. سرفاصله زمانی مطابق معادله (۱) مدت زمان سپری شده از لحظه عبور خودروی جلویی (t_1) تا لحظه عبور خودروی تعقیب کننده (t_f) از یک مقطع مشخص تعریف می شود.

$$Headway=t_f-t_1 \quad \text{(رابطه ۱)}$$

برای آستانه سرفاصله زمانی مقادیر متفاوتی پیشنهاد شده است. این مقادیر برای سرفاصله زمانی با احتمال برخورد بالقوه برای حالت ترافیک ترکیبی در کشور آلمان ۱ ثانیه و در سوئد مقدار ۰,۹ ثانیه معرفی شده است [۳]. استفاده از این آستانه ها در فرآیند تعقیب خودرو به منظور تعیین حداقل فاصله زمانی لازم برای توقف وسایل نقلیه از اهمیت بالایی برخوردار است [۶]. از آن جا که خصوصیات وسایل نقلیه می تواند تأثیر به سزایی در حداقل فاصله زمانی برای توقف وسایل نقلیه داشته باشد، تفکیک سرفاصله زمانی براساس نوع وسایل نقلیه اهمیت بالایی دارد. پارامترهای زیادی وجود دارند که با توجه به آن ها می توان سرفاصله های زمانی را تفکیک و توزیع کرد. برای مثال در مدل سازی های ترافیکی به منظور توزیع سرفاصله زمانی وابسته به جریان ترافیک دسته بندی های مختلفی صورت گرفته است. این دسته بندی شامل توزیع سرفاصله به جریان کم (تردد تصادفی خودروها)، جریان متوسط و جریان زیاد می شود که عموماً به ترتیب با توزیع نمایی منفی، توزیع پیرسون نوع ۳ (گاما، ارلانگ، نمایی منفی جابه جا شده) و توزیع نرمال مدل‌سازی می شوند [۷]. اکثر مطالعات توزیع سرفاصله زمانی در جریان ترافیک مختلط با نادیده گرفتن نوع خودرو همراه است. در صورتی که تأثیر خودروهای سنگین بر عملکرد و ایمنی سیستم ترافیک، غیر قابل انکار است. در سال های اخیر مطالعاتی بر روی توزیع سرفاصله زمانی بر اساس نوع وسایل نقلیه نیز انجام شده است. Bovy در مطالعات خود وسایل نقلیه را به سه دسته خودروی شخصی، کامیون سبک و کامیون سنگین تقسیم‌بندی کرد و برای شرایط ترافیکی متراکم و غیرمتراکم نشان داد که خودروهای سواری نسبت به کامیون‌های سبک و سنگین با سرفاصله کمتری به تعقیب خودروها می پردازد [۸]. Ye و Zhang با استفاده از داده‌های یک شبانه روز از آزادراه IH-35 ، با بررسی سرفاصله زمانی برای ترکیبات مختلف جفت خودرو های جلویی و تعقیب کننده چهارگروه سرفاصله زمانی، سواری در تعقیب سنگین، سنگین در تعقیب سواری، سواری در تعقیب سواری و سنگین در تعقیب سنگین را استخراج و در سطوح مختلف جریان ترافیک مقایسه نمود [۹].

۲-۲-شاخص زمان تا برخورد[6] (TTC)

شاخص زمان تا برخورد TTC برای اولین بار توسط Hayward به عنوان زمان باقی مانده تا برخورد بین دو خودرو که دریک مسیر مستقیم حرکت می کنند و با فرض این که تا زمان برخورد اختلاف سرعت آن‌ها ثابت باقی بماند، ارائه شده است[۱۰]. این شاخص تنها زمانی قابل تعریف است که سرعت خودروی تعقیب کننده بیش از سرعت خودروی جلویی باشد [۱۱]. همچنین شاخص TTC به عنوان یکی از پرکاربردترین شاخص ها در سیستم های پرهیز از تصادف معرفی شده است [۱۲] که در بسیاری از تجهیزات ایمنی مانند سیستم های هشداردهنده تصادف CAS،

5. Headway

6. Time to collision

بدون در نظرگیری نوع خودروی تعقیب کننده و خودروی جلویی، به ارزیابی وضعیت ایمنی می پردازد [۱۳]. معادله (۲) نحوه ی محاسبه TTC را نشان می دهد.

(رابطه ۲)

$$TTC = \frac{X_L(t) - X_f(t) - l_l}{V_f(t) - V_l(t)} = \frac{\text{Clearance}}{\text{Relative velocity}} \qquad \forall\, V_f(t) > V_l(t)$$

در معادله (۲)، TTC زمان تا برخورد، $X_L(t)$ مکان خودروی جلویی در برخورد، $X_F(t)$ مکان خودروی عقبی در لحظه t و V_f سرعت خودروی عقبی در لحظه t، V_l سرعت خودروی جلویی در لحظه t و L_l طول وسیله نقلیه جلویی را نمایش می دهد. مقدار آستانه بحرانی برای شاخص TTC در شرایط تعقیب خودرو هیچ گاه نمی تواند از مقدار ۱۰ ثانیه تجاوز کند. همچنین زمانی که TTC از آستانه مجاز ۱,۵ ثانیه کمتر باشد، دو وسیله نقلیه روی یک مسیر در معرض برخورد حتمی قرار دارند[۱۴].Janssen در مطالعات سیستم های دستیار راننده [۷] برای تعیین مناسب ترین ترکیب شاخص ها در سیستم های هشدار دهنده [۸] CAS ، استفاده از TTC با آستانه مجاز ۴ ثانیه را مناسب ترین آستانه جهت تشخیص وضعیت تعقیب ناایمن در این سیستم ها معرفی کرده است [۱۵]. تمامی آستانه های تعیین شده برای شاخص های ایمنی جایگزین در جریان ترکیبی ترافیک و بدون توجه به نوع خودرو به دست آمده اند. در صورتی که پیش بینی می شود نوع خودرو در نحوه توزیع و تعیین مقدار آستانه این شاخص ها تأثیر به سزایی داشته باشد. اعمال اثر نوع خودرو باعث نزدیک تر شدن سناریوی شاخص ها به شرایط واقعی جریان ترافیک می شود. هرچه سناریوی شاخص موردنظر جامع و به جریان واقعی ترافیک نزدیک‌تر باشد. توانایی و عملکرد شاخص در تشخیص درست لحظه ناایمن افزایش یافته و به دنبال آن با به کارگیری این شاخص ها در تجهیزات ایمنی نظیر سیستم های هشداردهنده CAS، عملکرد دقیق تر آن ها را به دنبال دارد. از این رو اعمال اثر نوع خودرو در تعیین آستانه (مرز ایمنی) باعث افزایش دقت شاخص در تشخیص صحیح لحظه ی ناایمن می شود.

۳- روش تحقیق

۳-۱- روش و ابزار گرد آوری اطلاعات

به منظور کاربردی شدن موضوع تأثیر تفکیک خودرو بر آستانه شاخص های ایمنی جایگزین برای کشورمان، داده های محور بزرگراهی اراک به سلفچگان در ۲۴ ساعت شبانه روز در تاریخ ۱۱ مهر ۱۳۸۷ به وسیله شناساگرهای حلقه ای [۹] ثبت و مورد استفاده قرار گرفته است. محور مورد نظر شامل دو خط عبور در هر جهت که خط عبور یک خط کندرو و خط عبور ۲ خط تندرو و دارای رفوژ میانی می باشد. میزان تردد وسایل نقلیه تعداد ۸۷۸۱ خودرو از خط عبوری ۱ و تعداد ۱۰۰۳۱ خودرو از خط عبور ۲ ثبت شده است. جدول (۱) تمامی اطلاعات ثبت شده توسط شناساگر حلقه ای را نمایش می دهد. همچنین با محاسبه اختلاف زمانی لحظه عبور دو خودرو از یک ایستگاه مقدار سرفاصله زمانی به دست می آید.

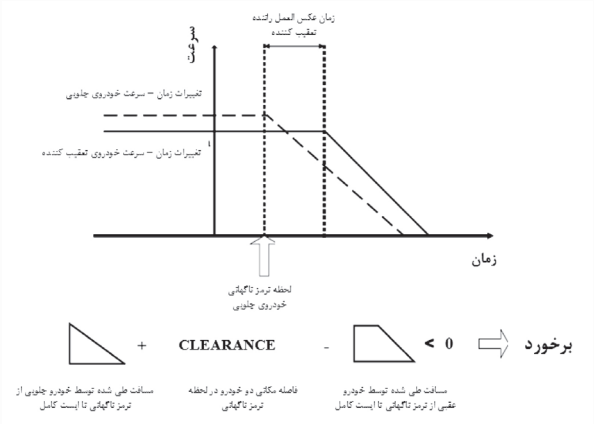
جدول۱ - پارامترهای برداشت شده از بزرگراه اراک به سلفچگان

شماره ستون	نام ستون
۱	شماره خودرو
۲	زمان عبور از شناساگر
۳	طول خودرو
۴	عرض خودرو
۵	نوع خودرو (سبک و سنگین)
۶	سرعت خودرو
۷	شماره خط
۸	فاصله طولی بین خودرو

۳-۲- روش توزیع داده ها

از آن جاکه تحقیق حاضر به بررسی توزیع شاخص‌های مجاور ایمنی در مطالعات ایمنی ترافیک و در حالت تعقیب خودرو می‌پردازد، باید داده هایی مورد ارزیابی قرار گیرد که شرایط تعقیب در آن اعمال شده باشد. شرایط تعقیب خودرو زمانی به وجود می آید که دو خودروی در حال حرکت پشت سرهم درحالت تأثیرگذاری بر یکدیگر باشند. در جریان ترافیک بسیاری از خودروهایی که پشت سرهم حرکت می کنند، با فاصله زیاد نسبت به هم در حال حرکتند. بنابراین شرایط تعقیبی نداشته و در حرکت آزادانه به سر می برند. به منظور تعیین شرایط تعقیب، آستانه های متعددی برای شاخص هایی نظیر سرفاصله زمانی پیشنهاد شده است. HCM مقدار سرفاصله زمانی ۳ ثانیه را به عنوان آستانه تعقیب معرفی کرده است [۱۷،۱۶]. اما هیچ توجیهی برای مقدار سرفاصله زمانی تعقیب انتخاب شده ارائه نمی دهد. علاوه براین تحقیق حاضر به منظور ارزیابی میزان اثرگذاری پارامتر نوع خودرو بر آستانه ایمنی دو شاخص TTC و THDW، به داده‌های تعقیبی دارای احتمال برخورد نیاز دارد. از این رو برای تفکیک بین خودروهای در حالت تعقیب و خودروهای با حرکت آزاد از شاخص پتانسیل برخورد با فرض اعمال شتاب منفی ناگهانی (PICUD[۱۰]) استفاده شده است. این شاخص در سال ۲۰۰۱ توسط Uno به عنوان شاخصی برای درنظرگیری تعقیب های با احتمال برخورد معرفی شده است[۱۸]. در سناریوی این شاخص اگر وسیله نقلیه جلویی با بیشینه شتاب منفی اقدام به ترمز ناگهانی نماید و راننده تعقیب کننده بعد از Δt ثانیه (زمان عکس العمل راننده) عکس العمل نشان داده و اقدام به ترمزگیری نماید، آن گاه PICUD فاصله ی بین دو وسیله نقلیه زمانی که به طور کامل بایستند، درنظرگرفته می-شود. بنابراین اگر مقدار شاخص PICUD منفی به دست آید. بدین معناست که دو خودرو با احتمال برخورد در شرایط تعقیب قرار دارند. از این رو برای تفکیک تعقیب های با احتمال برخورد از شاخص PICUD استفاده شده است[۱۹]. شکل (۱) مفهوم شاخص پتانسیل برخورد با فرض اعمال شتاب منفی ناگهانی (PICUD) را نمایش می دهد.

7. Advanced Driver Assistance System (ADAS)
8. collision avoidance systems (CAS)
9. Loop detector
10. Potential Index for Collision with Urgent Deceleration



شکل ۱ – سناریوی وقوع برخورد در شاخص PICUD

مسافت طی شده توسط خودرو عقبی - مسافت طی شده توسط خودرو جلوی + فاصله ی مکانی بین دو خودرو =PICUD (رابطه ۳)

$$PICUD=clearance+\frac{V_L^2}{2a}-\left(\frac{V_F^2}{2a}+V_f.\Delta t\right)==\frac{V_L^2-V_F^2}{2a}+clearance-V_f.\Delta t$$

در معادله (۳)، V_F (t) سرعت خوردوی تعقیب کننده در لحظه t ، V_1 (t) سرعت خوردوی جلویی در لحظه t ، Clearance فاصله بین دو خودرو در فرآیند تعقیب، Δt زمان عکس العمل راننده در خودروی تعقیب کننده که مقدار ۲ ثانیه فرض شده است و a مقدار بیشینه شتاب منفی تا ایست که براساس آشتوو برای هر دو خودرو مقدار ۳,۴۱- در نظرگرفته شده است [۲۰]. از بین ۱۸۸۱۲ زوج خودروی که در حال حرکت پشت سرهم ثبت شده‌اند، تعداد ۸۷۸۱ زوج خودرو مربوط به خط عبوری ۱ و ۱۰۰۳۱ زوج خودرو مربوط به خط عبور ۲ می باشد که تعداد ۴۴۵۲ تعقیب با توجه به سناریوی برخورد در شاخص PICUD شامل وضعیت تعقیب خطرناک یعنی PICUD های کوچکتر از صفر می‌شود. به این ترتیب برای داده‌های محور اراک به سلفچگان تعداد ۴۴۵۲ تعقیب با احتمال برخورد وجود دارد. در ادامه این ۴۴۵۲ تعقیب براساس نوع وسیله نقلیه به چهار گروه سواری در تعقیب سواری، سنگین در تعقیب سواری، سواری در تعقیب سنگین و سنگین در تعقیب سنگین دسته بندی و مقادیر متوسط و واریانس هر ۴ گروه محاسبه می شود. همچنین از آزمون t زوجی جهت مقایسه تفاوت میانگین شاخص ها در دسته های تعقیبی مختلف استفاده شده است. برای انجام این آزمون ابتدا فرض می شود (فرض صفر) که میانگین دو گروه مشخص سرفاصله زمانی با یکدیگر برابر است. سپس، براساس مشاهدات دو گروه سعی میشود با احتمال خطای معلوم (سطح معنی داری ۵ درصد)، فرض صفر رد شود. رد شدن فرض صفر تفاوت در میانگین دسته ها و تأثیر نوع خودرو در دسته های تعقیبی مختلف را اثبات می کند.

۴- تحلیل و نتایج

۴-۱- تحلیل استنباطی داده‌های گروه های مختلف با آزمون t

بررسی تفاوت آماری شاخص های ایمنی جایگزین بین ۴ گروه با آزمون t-test (آزمون مقایسه ای زوجی t) انجام شده و نتایج نشان می دهد که به جز در حالت مقایسه ای سواری در تعقیب سواری با کل داده ها در شاخص زمان تا برخورد، تفاوت در میانگین گروه‌های مختلف برای هر دو شاخص THDW و TTC در سطح معنی داری ۰/۰۵ از لحاظ آماری معنی دار است. عدم معنی داری تفاوت میانگین بین دو حالت سواری در تعقیب سواری با کل داده های تفکیکی شاخص زمان تا برخورد را می‌توان به سهم بالای حالت سواری در تعقیب سواری نسبت به کل (۸۶ درصد) دانست. جدول (۲) مقایسه نتایج آزمون t زوجی برای گروه‌های مختلف دو شاخص THDW و TTC را ارائه می دهد. در این جدول گروه‌های مختلف با t-test در سطح معنی داری ۰/۰۵ با یکدیگر مقایسه شده‌اند. بنابراین تحلیل مقایسه معنی دار شاخص های ایمنی در گروه‌های مختلف بیان می کند که در سطح جریان ترافیک محور اراک به سلفچگان نیاز به دسته‌بندی شاخص های ایمنی جایگزین به منظور تعیین آستانه های TTC و THDW مجزا

جدول ۲ – نتایج t-test جهت بررسی اختلاف آماری گروه‌های مختلف مبتنی بر نوع زوج خودرو برای دو شاخص TTC و THDW

حالت اول	حالت دوم	سرفاصله زمانی			شاخص زمان تا برخورد		
		سطح معنی داری	فاصله اطمینان تفاوت دو حالت		سطح معنی داری	فاصله اطمینان تفاوت دو حالت	
سواری- سواری	سواری در تعقیب سنگین	۰/۰۰۰	۲/۴۳۳	۲/۷۶۸	۰/۰۰۰	۳/۴۲۷	۵/۲۴۲
	سنگین در تعقیب سواری	۰/۰۰۰	۱/۷۲۲۳	۱/۷۹۴	۰/۰۰۰	۲/۱۶۹	۳/۳۰۸
	سنگین - سنگین	۰/۰۰۰	۱/۷۰۷	۲/۱۹۸	۰/۰۰۰	۱/۴۲۷	۳/۰۹۰
	کل	۰/۰۰۰	-۰/۰۵۴۵	-۰/۰۱۶	۰/۷۹۵	-	-
سواری در تعقیب سنگین	سنگین در تعقیب سواری	۰/۰۰۰	-۱/۳۲۲	-۰/۹۸۶	۰/۰۰۰	-۳/۵۴۰	-۱/۳۶۳
	سنگین در تعقیب سنگین	۰/۰۰۰	-۰/۹۵۱	-۰/۴۹۰	۰/۰۰۰	-۳/۱۲۵	-۰/۸۷۸
	کل	۰/۰۰۰	۰/۷۱۵	/۱۳۳۴	۰/۰۱۰	-۵/۲۴۲	-۳/۴۲۷
سنگین در تعقیب سواری	سنگین در تعقیب سنگین	۰/۰۰۰	۰/۲۸۵	۰/۷۸۳	۰/۰۴۰	-۰/۶۵۷	۱/۳۸۶
	کل	۰/۰۰۰	-۱/۲۶۲	۰/۸۱۲	۰/۰۰۰	-۳/۳۰۸	-۲/۱۶۹
سنگین - سنگین	کل	۰/۰۰۰	۰/۴۹۰	۰/۹۵۱	۰/۰۰۰	-۳/۰۹۰	-۱/۴۲۷

برای گروه های مختلف و مبتنی بر نوع زوج خودرو وجود دارد.

۴-۲- تحلیل توصیفی و استنباطی توزیع سرفاصله زمانی گروه‌های مختلف

برای تحلیل ۴ گروه سرفاصله زمانی براساس ترکیبات مختلف نوع خودروی جلویی و نوع خودروی تعقیب کننده جدول (۳) تشکیل و نتایج آمار توصیفی این ۴ گروه مبتنی بر نوع خودرو در این جدول نشان داده شده است.

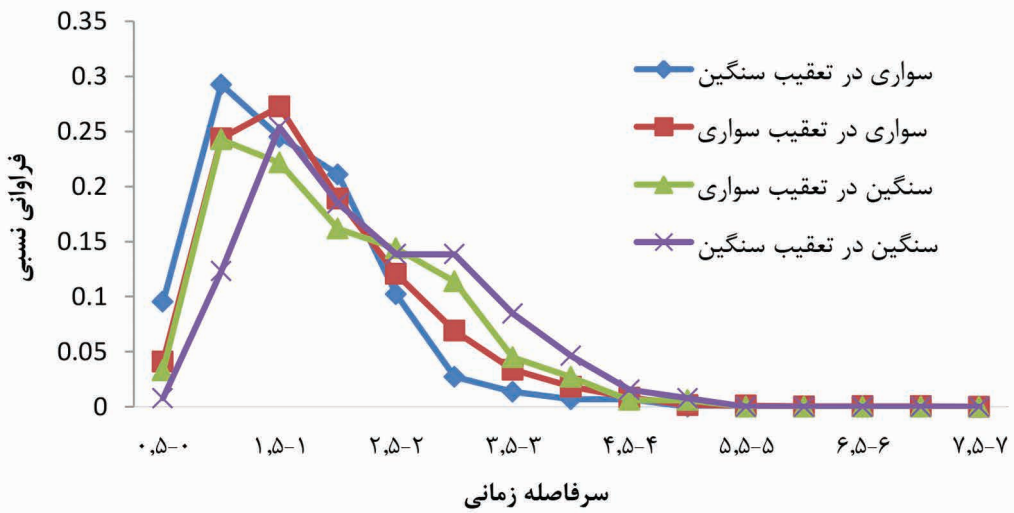
براساس جدول (۳) با حضور سواری در فرآیند تعقیب، نرخ موقعیت های خطرناک افزایش و مقدار میانگین سرفاصله زمانی کاهش می یابد. در میان گروه‌های مختلف زمانی که خودروی سواری تعقیب کننده است، سرفاصله ها به مقدار قابل توجهی کاهش می-یابد. همچنین گروه‌های شامل وسیله نقلیه سنگین به عنوان تعقیب کننده نسبت به سایر گروه‌ها از مقادیر سرفاصله بزرگ‌تری برخوردار است. مقادیر متفاوت میانگین و سرفاصله ۸۵ درصدی در گروه‌های مختلف نشان دهنده تأثیر به سزای نوع خودرو در نحوه توزیع داده های سرفاصله زمانی در شرایط تعقیب است. نمودارهای منحنی فراوانی نسبی توزیع سرفاصله زمانی در شکل (۲)، رفتار متفاوت تعقیب خودرو با توجه به نوع خودرو جلویی و تعقیب کننده را به نمایش می گذارد.

با استناد به نتایج به دست آمده، مقادیر میانگین ۸۵ درصدی سرفاصله زمانی در گروه‌های مختلف (سواری در تعقیب سواری ۰,۸ ثانیه، سنگین در تعقیب سواری ۰,۹ ثانیه، سواری در تعقیب سنگین ۰,۷ ثانیه و سنگین در تعقیب سنگین ۱,۲ ثانیه) به عنوان آستانه درنظرگیری تعقیب های با احتمال بالقوه برخورد پیشنهاد می شود. همچنین مقدار آستانه ۸۵ درصدی برای کل داده‌ها (حالت ترکیبی) که مقدار ۰,۸۵۳ به دست آمده، با مطالعات اخیر که مقدار آستانه سرفاصله زمانی ناایمن در ترافیک ترکیبی برای کشور آلمان را ۰,۹ ثانیه معرفی کرده است [۳]، تطابق دارد. براساس ادبیات تحقیق، سناریوی شاخص سرفاصله

جدول ۳ - نتایج تحلیل آمار توصیفی گروه‌های مختلف شاخص سرفاصله زمانی محور بزرگراهی اراک به سلفچگان

ردیف	گروه سرفاصله زمانی	تعداد عبوری	تعداد PICUD منفی	نرخ موقعیت خطرناک	میانگین (ثانیه)	سرفاصله ٪ ۸۵	انحراف معیار (ثانیه)	کمینه (ثانیه)	بیشینه (ثانیه)	ضریب تغییر (cv)
۱	سواری در تعقیب سواری	۱۵۷۰۵	۳۸۴۱	۰/۲۴۵	۱/۶	۰/۸	۰/۸۶۳	۰/۳	۶/۹	۰/۵۲۳
۲	سنگین در تعقیب سواری	۱۶۵۹	۳۳۴	۰/۲۰۱	۱/۷	۰/۹	۰/۸۷۷	۰/۳	۵	۰/۵۱۶
۳	سواری در تعقیب سنگین	۵۶۴	۱۴۷	۰/۲۶۱	۱/۳۸	۰/۷	۰/۷۴	/۲	۴/۴	۰/۵۳۶
۴	سنگین در تعقیب سنگین	۸۸۴	۱۳۰	۰/۱۴۷	۲/۱	۱/۲	۱/۱۵	۰/۴	۱۰/۱	۰/۵۴۸
۵	کل	۱۸۸۱۲	۴۴۵۲	۰/۲۳۷	۱/۶۲	۰/۸	۰/۸۵۳	۰/۲	۱۰/۱	۰/۵۲۷

شکل ۲ - فراوانی نسبی مقایسه‌ای سرفاصله زمانی گروه‌های مختلف مبتنی بر نوع زوج خودرو



زمانی برمبنای تعقیب های داری تداخلات بالقوه (احتمال برخورد کم) و شاخص زمان تا برخورد برای درنظرگیری تداخلات حتمی (احتمال برخورد زیاد) تعریف شده‌اند. از این رو متفاوت بودن توزیع سرفاصله زمانی تأثیر نوع خودرو در تعقیب های با احتمال برخورد بالقوه را به نمایش می گذارد. همچنین توصیف مشاهدات سرفاصله زمانی در گروه‌های مختلف با استفاده از برازش توزیع چند جمله ای، نمایی منفی و نمایی منفی جا به جاشده، نرمال و نرمال معکوس بر مشاهدات صورت گرفت که نتایج خوبی برازش نشان داد که برای همه گروه‌ها توزیع چندجمله ای بهترین برازش کننده است. این نتیجه با یافته های اخیر که بهترین توزیع برازش کننده سرفاصله زمانی را توزیع نرمال معرفی می کند[۷]. تناقض دارد.

۴-۳- تحلیل توصیفی و استنباطی توزیع شاخص زمان تا برخورد در گروه‌های مختلف

شاخص زمان تا برخورد پرکاربردترین شاخص در ارزیابی وضعیت ایمنی خودروها در شرایط تعقیب است. با توجه به این که مقدار آستانه بحرانی برای شاخص TTC در شرایط تعقیب خودرو هیچ گاه نمی تواند از مقدار ۱۰ ثانیه تجاوز کند، مقادیر شاخص زمان تا برخورد بین ۰ تا ۱۰ ثانیه به عنوان معیار محاسبات تداخل برای این شاخص در نظرگرفته شده است. بنابراین مقادیر داده های توزیع آماری شاخص زمان تا برخورد از ۴۴۵۲ به ۱۱۸۹ حالت تعقیبی می رسد. نتایج تحلیل آمار توصیفی گروه های مختلف برای شاخص زمان تا برخورد، در جدول (۴) نشان داده شده است.

با توجه به جدول (۴)، در تعقیب هایی که در آن ها سواری تعقیب کننده است، میزان خطر بیش تر و تعقیب سواری به دنبال وسیله نقلیه سنگین خطرناک‌ترین نوع تعقیب معرفی شده است. این امر می تواند ناشی از اقدام به سبقت گیری خودرو سواری در زمان تعقیب خودروی سنگین باشد. رانندگان خودرو های سواری به واسطه سرعت و شتاب بالاتر این خودروها نسبت به خودروهای سنگین، همواره تمایل به سبقت گرفتن از خودروهای سنگین دارند. کاهش فاصله با خودرو جلویی و افزایش سرعت که همواره با کاهش TTC همراه است، دو پارامترالزامی برای سبقت به شمار می آید. بنابراین پیش‌بینی می‌شود کمتر بودن مقدار TTC در حالت سواری در تعقیب سنگین به دلیل تمایل سبقت گیری خودروی تعقیب کننده است. همچنین رانندگان خودروهای سنگین به دلیل خصوصیات فیزیکی و دینامیکی این وسایل نقلیه، فاصله و سرعت نسبی خود را با خودروی جلویی بیش تر حفظ می کنند. از این رو در حالت هایی با حضور خودروی سنگین به عنوان خودروی تعقیب کننده مقدار شاخص TTC افزایش می یابد. در میان دسته های مختلف مقدار CV بالا در تعقیب سواری به دنبال سنگین، نشان دهنده میزان پراکندگی داده ها در این دسته نسبت به سایر دسته هاست. با استناد به نتایج به دست آمده در تحقیق حاضر، مقادیر میانگین ۸۵ درصدی زمان تا برخورد در گروه‌های مختلف (سواری در تعقیب سواری ۲,۳۷ ثانیه، سنگین در تعقیب سواری ۲,۹۱ ثانیه، سواری در تعقیب سنگین ۱,۱۶ ثانیه و سنگین در تعقیب سنگین ۳,۹ ثانیه) به عنوان آستانه درنظرگیری تعقیب های با احتمال برخورد حتمی پیشنهاد می شود.

جدول ۴ - نتایج تحلیل آمار توصیفی گروه‌های مختلف شاخص زمان تا برخورد برای محور بزرگراهی اراک به سلفچگان

ردیف	گروه سرفاصله زمانی	تعداد عبوری	تعداد PICUD منفی	تعداد TTC زیر ۱۰ ثانیه	نرخ TTC زیر ۱۰ ثانیه	میانگین TTC زیر ۱۰ ثانیه	TTC ۸۵٪	انحراف معیار (ثانیه)	ضریب تغییر (CV)
۱	سواری در تعقیب سواری	۱۵۷۰۵	۳۸۴۱	۱۰۲۳	۰/۰۶۵	۵/۹	۲/۳۷	۲/۵۶	۰/۴۳
۲	سنگین در تعقیب سواری	۱۶۵۹	۳۳۴	۸۹	۰/۰۵۴	۵/۷۴	۲/۹۱	۲/۴۷	۰/۴۳
۳	سواری در تعقیب سنگین	۵۶۴	۱۴۷	۳۸	۰/۰۶۷	۴/۴۱	۱/۱۶	۲/۴۳	۰/۵۵
۴	سنگین در تعقیب سنگین	۸۸۴	۱۳۰	۳۹	۰/۰۴۴	۶/۵	۳/۹	۲/۲	۰/۳۴
۵	کل	۱۸۸۱۲	۴۴۵۲	۱۱۸۹	۰/۰۶۳	۵/۸۵	۲/۷۳	۲/۵۵	۰/۴۴

۵- نتیجه گیری

تحقیق حاضر به منظور بیان تأثیر نوع خودرو در نحوه ی توزیع زمانی و تعیین آستانه ایمنی (مرز بین لحظه ایمن و ناایمن) دو شاخص سرفاصله زمانی (THDW) و شاخص زمان تا برخورد (TTC)، به تفکیک ترکیبات مختلف زوج خودرو در جریان ترافیک محور اراک به سلفچگان پرداخته است. با بررسی به عمل آمده بر روی داده های مربوط به تاریخ ۱۱ مهر ۱۳۸۷ این محور، ۴۴۵۲ حالت تعقیب در این محور شناسایی و مورد ارزیابی آماری قرار گرفت. این داده ها براساس نوع خودروهای موجود در فرآیند تعقیب به ۴ دسته سواری در تعقیب سنگین، سنگین در تعقیب سواری، سواری در تعقیب سواری و سنگین در تعقیب سنگین تفکیک شده است. نتایج به دست آمده از تحلیل‌های آماری و توزیع زمانی برای ۴ گروه مختلف زوج خودروهای موجود در فرآیند تعقیب بر روی دو شاخص TTC و THDW تأثیر به سزای نوع خودرو در نحوه توزیع زمانی این دو شاخص را به نمایش می گذارد. نتایج تحقیق حاضر در تجهیزات هوشمند ایمنی نظیر سیستم های هشداردهنده برخورد جلو به عقب به منظور تشخیص دقیق تر لحظه ناایمن به وسیله ی شاخص ها و همچنین در مطالعات شبیه‌سازی خرد و اعتبارسنجی دقیق تر مدل های تعقیب خودرو کاربرد بالقوه‌ای دارد. در ادامه به منظور جلوگیری از پراکندگی، عمده نتایج حاصل از تحقیق حاضر در بندهای زیر ارائه شده است:

۱- از نتایج آزمون مقایسه‌ای زوجی t بر روی دسته های تعقیبی مختلف معلوم شد این ۴ گروه به طور معنی داری با یکدیگر تفاوت دارند. بنابراین مدل‌سازی های شاخص ها برای جریان ترافیک ترکیبی از صحت مناسبی برخوردار نبوده و بنابراین در تحلیل-های مربوط به این شاخص ها بهتر است نوع خودروی جلویی و تعقیب کننده در نظرگرفته شود.

۲- نتایج تحلیل آماری و توزیع زمانی دسته تعقیب های مختلف روی دو شاخص TTC و THDW به عنوان شاخص های ارزیابی وضعیت تداخل حتمی و بالقوه، شان دهنده تأثیر به سزای نوع خودرو بر نحوه توزیع و آستانه ی میانگین و ۸۵ درصدی این دسته-هاست. در واقع در هر دو حالت تعقیب با احتمال بالقوه برخورد (شاخص THDW) و با احتمال حتمی برخورد (شاخص TTC)، نوع خودرو در دقت ارزیابی ایمنی تأثیرگذار است.

۳- با توجه به تأثیر به سزای نوع خودرو در نحوه توزیع و آستانه شاخص ها، استفاده از یک آستانه برای جریان ترافیک ترکیبی از مقبولیت و صحت لازم برخوردار نیست. ازاین رو با استناد به نتایج به دست آمده، مقادیر میانگین ۸۵ درصدی سرفاصله زمانی در گروه‌های مختلف (سواری در تعقیب سواری ۰,۸ ثانیه، سنگین در تعقیب سواری ۰,۹ ثانیه، سواری در تعقیب سنگین ۰,۷ ثانیه و سنگین در تعقیب سنگین ۱,۲ ثانیه) به عنوان آستانه درنظرگیری تعقیب های با احتمال بالقوه برخورد و مقادیر میانگین ۸۵ درصدی شاخص زمان تا برخورد در گروه‌های مختلف (سواری در تعقیب سواری ۲,۳۷ ثانیه، سنگین در تعقیب سواری ۲,۹۱ ثانیه، سواری در تعقیب سنگین ۱,۱۶ ثانیه و سنگین در تعقیب سنگین ۳,۹ ثانیه) به عنوان آستانه درنظرگیری تعقیب های با احتمال برخورد حتمی پیشنهاد می شود.

۴- دسته های شامل وسیله نقلیه سنگین به عنوان تعقیب شونده و دسته‌های شامل خودروی سبک به عنوان تعقیب کننده بیش ترین احتمال برخورد را دارند. این نوع توزیع داده‌ها نشان دهنده تمایل رانندگان سواری برای انجام مانور سبقت و عبور از خوردروهای سنگین است که در مرحله اول سبقت به کاهش سرفاصله و ایجاد تعقیب خطرناک منجر می شود.

۵- مقادیر پایین تر شاخص TTC برای گروه‌های تعقیب سواری در تعقیب سنگین نسبت به تعقیب سواری در تعقیب سواری و سنگین در تعقیب سواری نسبت به سنگین در تعقیب سنگین نشان دهنده افزایش احتمال برخورد با وجود ترافیک ترکیبی خودروهای سبک و سنگین است.

۶- قدردانی

در پایان از شرکت مهندسین مشاور اندیشه‌نگاران کیا و جناب مهندس دیباج به خاطر دراختیار قرار دادن اطلاعات ارزشمند مربوط به داده‌های سرفاصله زمانی محور بزرگراهی اراک به سلفچگان تشکر ویژه به عمل می آید.

۷- منابع و مراجع

1. The World Health Organization (2000), World report on road traffic injury prevention.

2. Kathy L.M. Broughton, Fred Switzer, Don Scott (2007), Car following decisions under three visibility conditions and two speeds tested with a driving simulator, Accident Analysis and Prevention 39 ,pp. 106–116.

3. Vogel K., (2003) «A comparison of headway and time to collision as safety indicators,»Accident Analysis and Prevention, vol. 35, pp. 427-433.

4. Luttinen T.(1996) Statistical analysis of vehicle time headways. Otaniemi, Finland.

5. Brackstone, M., Waterson, B. and McDonald, M. (2009) "Determinants of following headway in congested traffic", Transportation Research Part F- Traffic Psychology and Behavior, pp.131-142.

6. May, A. D. (1990) "Traffic flow fundamentals", New Jersey: Prentice Hal.

7. Fact sheet Headway times and road safety. SWOV, Leidschendam, the Netherlands, September 2007.

8. Hoogendoorn, S P and Bovy, L., (2000) "A Closer Examination of Overtaking Prohibitions for Trucks". Control in Transportation Systems 2000, A Proceedings volume from 9th IFAC Symposium Braunschweig, Germany, 13-15 June 2000, Vol.1, pp.256-263.

9. Ye, F and Zhang, Y., (2009) "Vehicle-Type-Specific Headway Analysis Using Freeway Traffic Data". CD-ROM, TRB 2009 Annual Meeting, Washington, D.C., USA.

10. Hayward J.C., (1972) «Near miss determination through use of a scale of danger,» in Highway Research Board (traffic records 384) Washington, DC.

11. Ozbay, K., H. Yang, B. Bartin and S. Mudigonda (2008). Derivation and validation of newsimulation-based surrogate safety measure. In Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board No.2083, Transportation Research Board of the National Academies, Washington, D.C., pp.105-113.

12. Oh, C., Park, S., and Ritchie, S. G. (2006) «A method for identifying rear-end collision risks using inductive loop detectors,» Accident Analysis and Prevention, vol. 38, pp. 295-301.

13. Jeffrey J., and Gray R., (2005) «Comparison of driver brake reaction times to multimodal rearend collision warninig,» in Proceedings of the fourth International driving Symposium on human factors in driver assessment, Training and Vehicle design.

14. Saccomanno F. F, Cunto F, Guido G., and Vitale A., (2009) «Comparing Safety at Signalized Intersections and Roundabouts Using Simulated Rear-End Conflicts,» Transportation Research Record, pp. 90-95.

15. Janssen, W.H. & Thomas, H. (1993). Collision avoidance support under conditions of adverse visibility. Report IZF 1993 C-.., TNO Institute for Human Factors, Soesterberg (in preparation).

16. Two lane highways, Highway Capacity Manual (HCM 2000), Chapter 20.

17. Ozbay, K., Yang, H., and Bartin., B. (2010) «Application of simulation based traffic conflict analysis for highway safety evaluation», 12th WCTR(World Conference on Transport Research Society), July 11-15, 2010 – Lisbon, Portugal.

18. Uno, N., Iida, Y., Itsubo, S., and S. Yasuhara (2002). A microscopic analysis of traffic conflict caused by lane-changing vehicle at weaving section. In Proceedings of the 13th Mini-EURO Conference-Handling Uncertainty in the Analysis of Traffic and Transportation Systems, Bari, Italy, June 10-13.

19. Amerixan Association OF State Highway and Transportion Official (AASHTO) (2001), Guide for development of new bicycle facilitie, AASHTO, Washington,DC.