

# بهینه‌سازی سرعت با استفاده از میزان هزینه های اجتماعی ناشی از تصادفات و زمان سفر

منصور حاجی حسینلو<sup>۱</sup>، سلمان عقیدی خیرآبادی<sup>۲</sup>، سید علی قائمی<sup>۳</sup>

۱- استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین

۲- کارشناس ارشد راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی

۳- کارشناس ارشد راه و ترابری، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیر الدین طوسی

## چکیده

از مهم‌ترین دلایل ورود وسایل نقلیه به زندگی انسان کاهش زمان سفر بوده است. افزایش سرعت وسایل نقلیه علی‌رغم اینکه باعث کاهش زمان سفر می‌گردد ولی تاثیر بسزایی در ازدیاد احتمال تصادفات و شدت آن دارد. لذا برای مدیریت سرعت شبکه‌های ترافیکی و بهینه‌سازی سرعت می‌توان از رابطه میزان هزینه‌های اجتماعی با سرعت بهره برد. هدف از این مقاله تعیین هزینه‌های اجتماعی ناشی از تصادفات و هزینه اجتماعی زمان سفر بر اساس سرعت‌های مختلف جهت پی بردن به میزان سرعت بهینه و ارائه مدلی و رویکردی جدید در جهت تعیین محدودیت سرعت می‌باشد. برای مطالعه موردی این پژوهش محور شیراز- مرودشت در استان فارس مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. در این مقاله میانگین زمان سفر در محدودیت سرعت‌های متفاوت با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی ترافیکی Aimsun تخمین و با استفاده از مدل‌سازی آماری روابط و مدل هزینه‌های اجتماعی زمان سفر و تصادفات وابسته به سرعت محاسبه و ارائه گردیده است. از دیگر نتایج این مقاله می‌توان به افزایش هزینه‌های زمان سفر در جریان ترافیک‌هایی که داری میانگین سرعت کمتری بوده‌اند، اشاره نمود. همچنین با در نظر گرفتن همزمان پارامترهای مجموع زمان سفر و میزان تعداد تصادفات، سرعت بهینه ۷۲ کیلومتر بر ساعت محاسبه گردید.

**کلید واژه:** هزینه اجتماعی، هزینه تصادفات، بهینه‌سازی سرعت، هزینه زمان سفر.

## ۱- مقدمه

به گفته نادر فرحی زمان سفر در شبکه ترافیکی راه‌ها تصادفی، بسیار متغیر و وابسته به پارامترهای مختلف می‌باشد [۵] و همچنین انواع مختلفی از معیارهای چگونگی عملکرد جریان ترافیک نیز با استفاده از تغییرات در پارامتر زمان سفر بیان می‌شود [۶]. می‌توان گفت پس از چند دهه مطالعه هنوز درک از ارزش زمان سفر ناقص باقی مانده و نیاز است که نظریه‌ها و تجربیات بیشتری مورد پژوهش قرار گیرد [۶]. در پژوهش صورت گرفته توسط کامرون<sup>۱</sup> نیز بیان می‌شود که اگر محدودیت سرعت براساس سرعت بهینه با در نظر گرفتن خودروهای سواری، وسیله نقلیه سنگین و طبقه بندی نوع راه به طور مناسب در نظر گرفته شود منجر به کاهش ۳۴ درصدی در هزینه تصادفات و ۳/۴ درصدی در کل هزینه اجتماعی در راه‌های بین شهری خواهد شد [۷]. شایان ذکر است میزان هزینه تصادفات در اقتصاد کشورها به حدی است که الویک با مطالعه‌ای که بر روی ۲۱ کشور انجام داد نشان داد که "به طور متوسط کل هزینه‌های تصادفات جاده‌ای با احتساب ارزیابی اقتصادی از کیفیت دست رفته زندگی، حدود ۲/۵ درصد از تولید ناخالص ملی می‌باشد" [۸].

یکی از مهم‌ترین دلایل ورود وسایل نقلیه به زندگی انسان، کاهش زمان سفر بوده است. اهمیت این مطلب زمانی مشخص می‌شود که استفاده‌کنندگان ایمنی خود و اطرافیانشان را به ویژه در راه‌های برون‌شهری در معرض خطر قرار می‌دهند [۱]. یکی از مهم‌ترین عواملی که بر ایمنی شبکه‌های ترافیکی تأثیر می‌گذارد سرعت خودرو است [۲]. «مزیت اصلی بالا بودن سرعت جریان ترافیک این است که هزینه‌های منسوب به زمان سفر کاهش می‌یابد» [۳]. در این پژوهش تعادل بین هزینه تصادفات و هزینه‌های زمان سفر مورد بررسی قرار گرفته است. تئوری محدودیت سرعت بهینه به نظر می‌رسد یک روش ایده‌آل برای سنجیدن اهداف سیاست‌های مختلف برای تعیین محدودیت سرعت می‌باشد. تمایل برای کوتاه‌ترین زمان سفر تا حد امکان در مقابل نیاز به ایمنی و با هدف به حداقل رساندن اثرات منفی زیست‌محیطی می‌باشد [۴]. همچنین به گفته بعضی از پژوهشگران کلید اصلی برای کارایی و راحتی سفر در شبکه ترافیکی زمان سفر می‌باشد که کاربران راه برای تکمیل سفر خود تجربه می‌کنند.

1-Cameron

1-Mansour@kntu.ac.ir

2-Fcskype@gmail.com

3-Ghaemiali66@yahoo.com

## ۲- تعریف مسأله و اهداف تحقیق

(دلار) ارزش‌گذاری شده است. در این مطالعه مدلی ساده برای محاسبه هزینه‌های اجتماعی سفر که تابعی از سرعت می‌باشد ارائه و با توجه به مدل ارائه شده سرعت بهینه تعیین می‌شود. با استفاده از شبیه‌سازی جریان ترافیک برون‌شهری محور شیراز- مرودشت بصورت موردی ارزیابی شده است. در این مقاله بر روی داده‌های میدانی تحلیل آماری صورت پذیرفته است. از نرم‌افزار شبیه‌ساز مزوسکوپیک Aimsun برای شبیه‌سازی جریان ترافیک استفاده شده است. در مقاله پیش رو پس از بررسی مطالعات صورت‌گرفته در این زمینه، رابطه بین هزینه سرعت و هزینه اجتماعی تصادفات و زمان سفر بررسی می‌گردد. در ادامه نیز تخمین صورت گرفته از هزینه اجتماعی تصادفات و زمان سفر در سرعت‌های مختلف آورده شده سپس سرعت بهینه تخمین زده شده است.

## ۳-۱- رابطه بین سرعت و هزینه اجتماعی تصادفات

رابطه ۱ بیانگر ارتباط میان هزینه اجتماعی تصادفات در اثر عبور وسایل نقلیه در مسیر مورد مطالعه می‌باشد [۱۰]. الویک دریافت که "رابطه آماری قوی بین سرعت و ایمنی جاده وجود دارد" [۱۱]. همچنین نیلسون مدل پاور را برای تاثیر سرعت بر ایمنی جاده‌ها پیشنهاد کرد [۱۲] و الویک بیان نمود "در حالی که مدل نیلسون برای راه‌های بین شهری و بزرگراه‌های درون‌شهری رضایت بخش بوده ولی به نظر نمی‌رسد که مبانی این مدل با سرعت متوسط جریان ترافیک در خیابان‌های شریانی درون‌شهری به طور مستقیم وابسته باشد." [۱۳]. بدین ترتیب الویک دوباره مدل پاور - نیلسون را مورد تجزیه و تحلیل قرارداد و مجموعه‌ای جدید از توان‌ها را برای آن پیشنهاد کرد [۱۴، ۱۵].

به دلیل عدم مدیریت هزینه تصادفات در کشورهای در حال توسعه، میزان تصادفات منجر به جرح و فوت در این کشورها قابل توجه بوده و همچنین هزینه‌های اجتماعی ناشی از آن بسیار زیاد می‌باشد. همانطور که مشخص است افزایش سرعت وسایل نقلیه تاثیر بسزایی در ازدیاد احتمال تصادفات و شدت آن دارد و کاهش سرعت نیز افزایش هزینه‌های زمان سفر را به دنبال دارد. لذا یافتن سرعت بهینه که کمترین هزینه اقتصادی را برای جامعه در بر داشته باشد، می‌تواند متخصصان را برای مدیریت هر چه بهتر سرعت یاری رساند. میزان تغییرات زمان سفر و میزان تصادفات برای محدودیت سرعت‌های مختلف در این مطالعه مورد ارزیابی قرار گرفته است. هدف اصلی این مقاله تعیین هزینه‌های اجتماعی ناشی از تصادفات و بررسی هزینه‌های زمان سفر در محدودیت سرعت‌های مختلف می‌باشد. این پژوهش به دنبال شناسایی عوامل، ارائه مدل و روند مناسب و در نهایت یافتن سرعت بهینه براساس فاکتورهای زمان سفر و ایمنی جریان ترافیک می‌باشد.

## ۳- روش تحقیق

روش تحقیق به این صورت بوده که پس از جمع‌آوری داده‌ها رابطه سرعت با تعداد تصادفات و زمان سفر تعیین می‌گردد. در این مطالعه محور شیراز- مرودشت در استان فارس به عنوان یکی از پرترددترین بزرگراه‌های کشور مورد مطالعه قرار گرفته است [۹]. این بزرگراه دارای سه خط عبور در هر طرف می‌باشد. جریان ترافیک به وسیله موانع فیزیکی از هم جدا شده است. برای ورودی راه‌های فرعی نیز از تقاطع‌های غیرهمسطح نیز در این مسیر استفاده شده است. برای تعیین رابطه سرعت با عوامل یادشده از داده‌های شبیه‌سازی و میدانی استفاده شده است. تمام هزینه‌های تصادفات و ارزش زمان تلف‌شده بر اساس واحد پول

$$E(AC) = \left( \left( \left( \frac{V}{V_{before}} \right)^{\text{exponent}_1} \text{fatal accidents}_{before} \right) * W_{fa} \right. \\ \left. + \left( \left( \frac{V}{V_{before}} \right)^{\text{exponent}_2} \text{Injured accidents}_{before} \right) * W_{ia} \right. \\ \left. + \left( \left( \frac{V}{V_{before}} \right)^{\text{exponent}_3} \text{PDO accidents}_{before} \right) * W_{da} \right) \quad -1$$

#### ۴- تجزیه و تحلیل داده‌ها

یکی از مهمترین دلایل ورود وسایل نقلیه به زندگی انسان، کاهش زمان سفر بوده است. اهمیت این مطلب زمانی مشخص می‌شود که استفاده‌کنندگان ایمنی خود و اطرافیان‌شان را به ویژه در راه‌های برون‌شهری در معرض خطر قرار می‌دهند [۱]. یکی از مهم‌ترین عواملی که بر ایمنی شبکه‌های ترافیکی تأثیر می‌گذارد سرعت خودرو است [۲]. «مزیت اصلی بالا بودن سرعت جریان ترافیک این است که هزینه‌های منسوب به زمان سفر کاهش می‌یابد» [۳]. در این پژوهش تعادل بین هزینه تصادفات و هزینه‌های زمان سفر مورد بررسی قرار گرفته است. تئوری محدودیت سرعت بهینه به نظر می‌رسد یک روش ایده‌آل برای سنجیدن اهداف سیاست‌های مختلف برای تعیین محدودیت سرعت می‌باشد. تمایل برای کوتاه‌ترین زمان سفر تا حد امکان در مقابل نیاز به ایمنی و با هدف به حداقل رساندن اثرات منفی زیست‌محیطی می‌باشد [۴]. همچنین به گفته بعضی از پژوهشگران کلید اصلی برای کارایی و راحتی سفر در شبکه ترافیکی زمان سفر می‌باشد که کاربران راه برای تکمیل سفر خود تجربه می‌کنند.

#### ۴-۱- تخمین هزینه اجتماعی تصادفات در سرعت‌های مختلف

پیش‌بینی تعداد تصادفات خسارتی، مجروحان و فوتی‌ها در محور شیراز- مرودشت بر اساس رابطه (۱) محاسبه می‌گردد. شکل ۱ نشان دهنده پیش‌بینی تعداد تصادفات وابسته به سرعت در محور مطالعاتی می‌باشد. همچنین با توجه به جدول ۱ که برآوردی از هزینه‌های اجتماعی تصادفات می‌باشد و توسط دکتر اسماعیل آیتی در کتاب هزینه تصادفات محاسبه شده است [۱۶]، می‌توان هزینه اجتماعی تصادفات وابسته به سرعت در سرعت‌های مختلف در محور مورد مطالعه را محاسبه نمود.

$E(CA)$ : کل هزینه اجتماعی تصادفات در اثر عبور وسیله نقلیه

در مسیر مورد مطالعه می‌باشد.

$W_{da}$ : هزینه یک تصادف خسارتی به طور متوسط در جامعه آماری مورد بررسی که شامل خسارت مالی خالص در یک حادثه متحمل می‌شود.

$W_{ia}W_{da}$ : هزینه یک تصادف جرحی به طور متوسط در جامعه آماری مورد بررسی که شامل خسارت مالی خالص و کلیه هزینه‌های جرحی یکی از افراد جامعه و اثرات آن می‌باشد که در یک حادثه متحمل می‌شود.

$W_{fa}W_{da}$ : هزینه یک تصادف فوتی به طور متوسط در جامعه آماری مورد بررسی که شامل خسارت مالی خالص و کلیه هزینه‌های فوت یکی از افراد جامعه و اثرات آن می‌باشد که در یک حادثه متحمل می‌شود.

exponent: توان‌ها در هر بخش نیاز است که بر اساس

مطالعه آماری تخمین زده شود.

$W_{fa}W_{da}$ : سرعت متوسط جریان ترافیک [۱۰].

#### ۳-۲- رابطه بین سرعت و هزینه اجتماعی زمان سفر

کل هزینه اجتماعی زمان سفر در اثر عبور وسیله نقلیه در مسیر مورد مطالعه را می‌توان با رابطه ۲ محاسبه نمود [۱۰]. وسیله نقلیه را که در مسیر مورد مطالعه حرکت می‌کند با حرف  $j$  نشان داده شده است. فرض بر این می‌باشد که وسایل نقلیه عبوری  $j$  مسافت  $d$  را طی می‌نماید. که خود نیز تابعی از سرعت وسایل نقلیه و ارزش زمان تلف شده برای کاربر راه، طول مسیر مورد بررسی و تعداد وسایل نقلیه عبوری می‌باشد. بنابراین می‌توان نوشت [۱۰]:

$$E(TTC) = \sum_{j=1}^n U * T(V) * d * x \quad -2$$

$E(TTC)$ : کل هزینه اجتماعی زمان سفر در اثر عبور وسیله نقلیه به اجتماع وارد می‌شود.

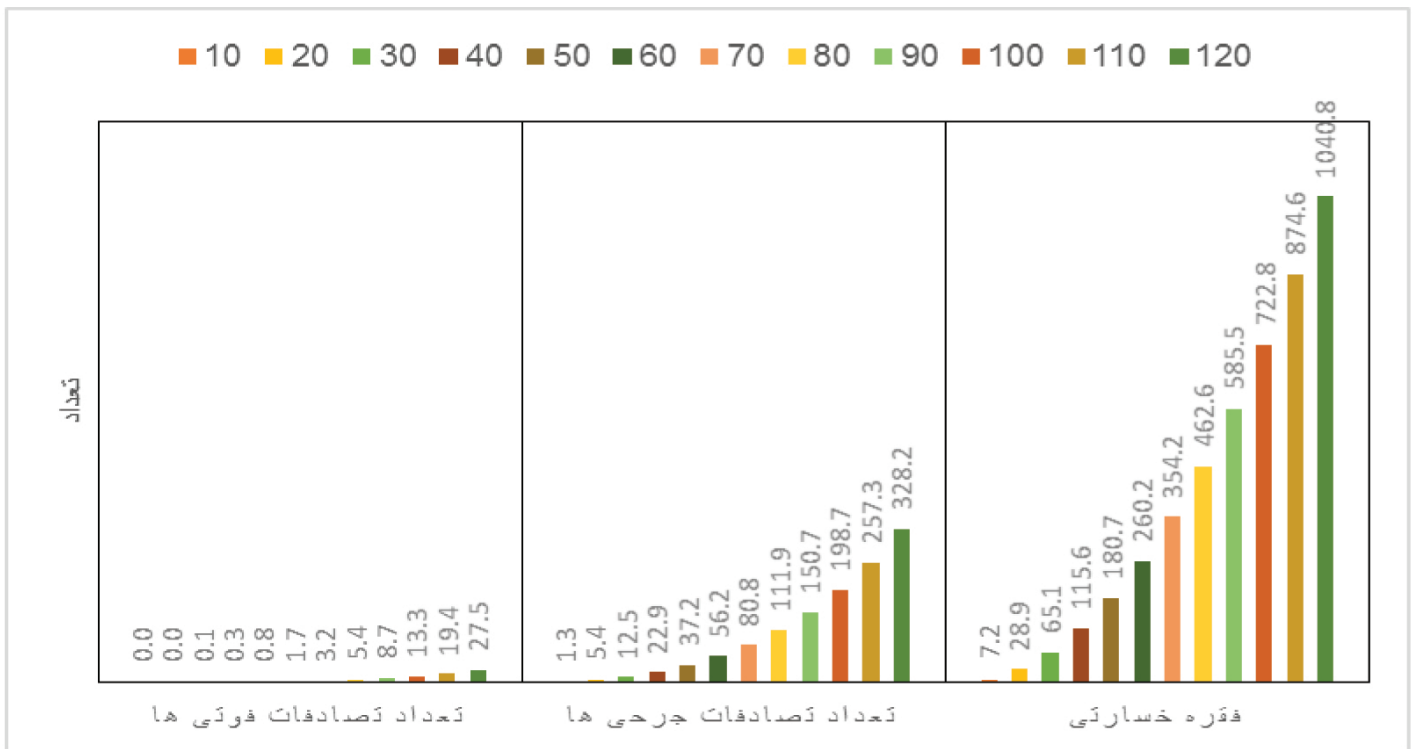
$X$ : تعداد سرنشین وسایل نقلیه عبوری که از راه مورد مطالعه عبور می‌کنند.

$n$ : تعداد وسایل نقلیه عبوری که از راه مورد مطالعه عبور می‌کنند.

$d$ : مسافت مورد بررسی که بر حسب واحد فاصله می‌باشد.

$T(V)$ : زمان سفر وسایل نقلیه که از مسیر مورد مطالعه عبور می‌کنند.

$U$ : ارزش متوسط زمان تلف شده برای کاربران راه می‌باشد.



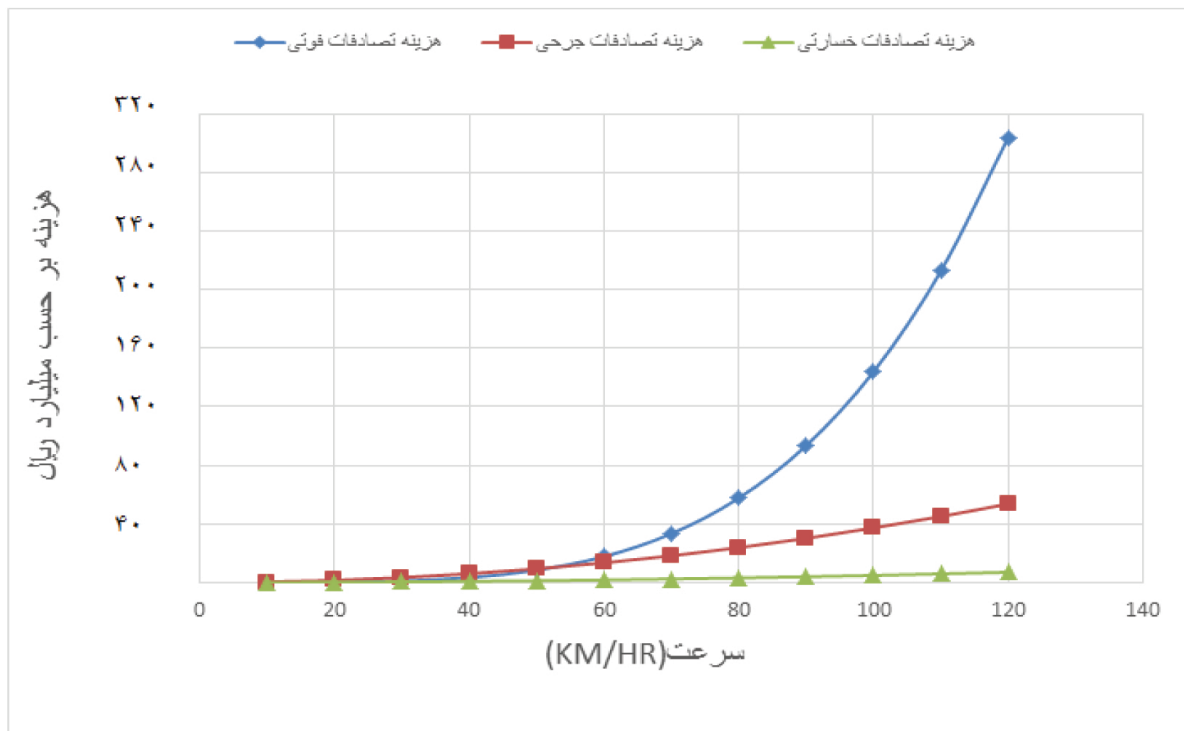
شکل ۱: تصادفات در سرعت‌های مختلف در محور شیراز- مرودشت.

عناصر هزینه	مبلغ به میلیون ریال
متوسط یک مجروح	۳/۶۷۷۸۹۰۹۷۴
متوسط یک فوت	۱۸۱۰/۶۷
متوسط آسیب به وسایل نقلیه سواری	۱۰/۷۴۲
متوسط آسیب به وسایل نقلیه سنگین	۷۰/۹۲۸
متوسط یک تصادف جرعی برون شهری	۴۵۰
متوسط یک تصادف فوتی برون شهری	۱۷۰۰۰

جدول ۱: عناصر هزینه در جاده‌های برون شهری [۱۶].

دلیل بالا بودن هزینه‌های ناشی از یک تصادفات فوتی بر اجتماع، هزینه تصادفات فوتی وابسته به سرعت بسیار بالا بدست آمده است. این هزینه با کاهش سرعت متوسط جریان ترافیک کاهش می‌یابد. هزینه‌های مربوط به تصادفات جرحی و خسارتی در سرعت ۱۲۰ نیز به ترتیب برابر با ۵۳/۹ و ۶ میلیارد ریال می‌باشد.

شکل ۲ نیز نشان دهنده همین مطلب بوده و بر اساس آن هزینه‌های ناشی از تصادفات فوتی بر اجتماع در سرعت ۷۰ کیلومتر بر ساعت برابر ۳۳/۹ میلیارد ریال می‌باشد که این هزینه در سرعت‌های ۱۰۰ و ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت، به ترتیب ۱۴۳/۷ و ۳۰۳/۴ میلیارد ریال می‌باشد. به رغم پایین‌تر بودن تعداد تصادفات فوتی‌ها نسبت به تصادفات جرحی و خسارتی ولی به



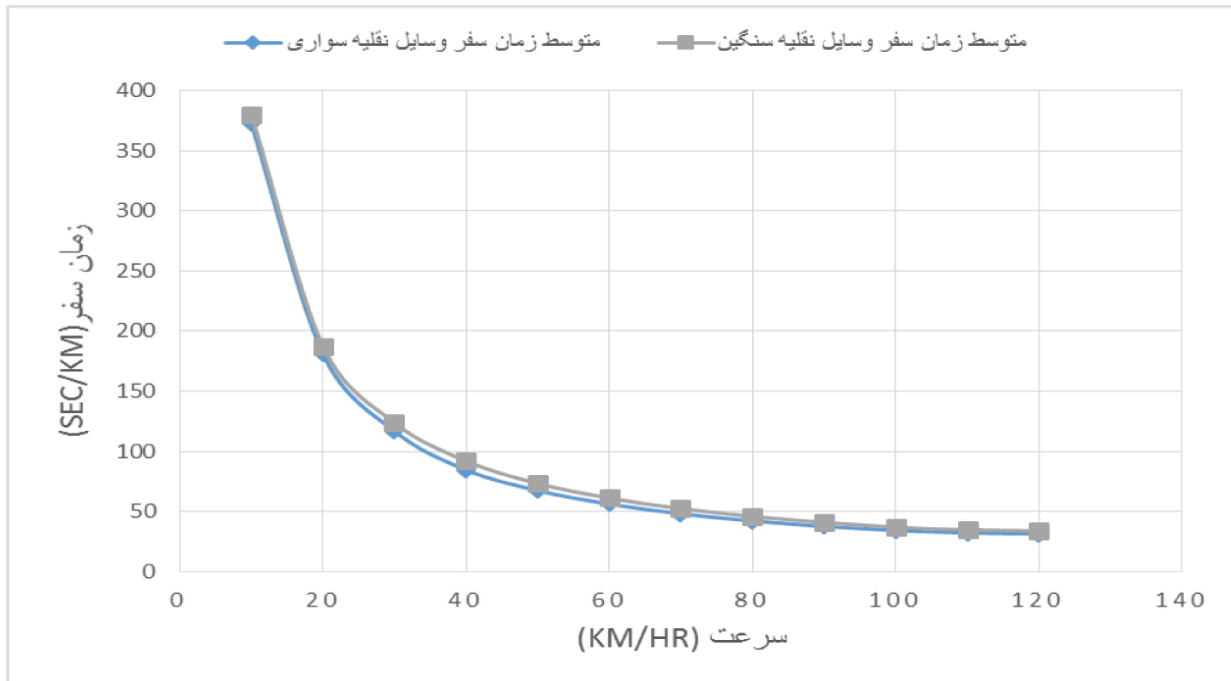
شکل ۲: هزینه تصادفات در سرعت‌های مختلف به تفکیک فوتی، جرحی، خسارتی در محور شیراز- مرودشت در طی یک سال.

چنانچه در شکل ۳ مشاهده می‌شود، زمان سفر در محدودیت‌های سرعت پایین به بینهایت میل می‌کند و در سرعت‌های بالا تغییرات زمان سفر ناچیز می‌باشد. از لحاظ تئوریک در سرعت نزدیک به صفر زمان سفر و هزینه زمان سفر به میل خواهد کرد و در سرعت بسیار بالا نزدیک زمان سفر و هزینه زمان سفر به صفر میل خواهد کرد. با تغییر محدودیت سرعت ۹۰ km/h به ۱۲۰ km/h متوسط زمان سفر کل جریان ترافیک ۶/۴۱ Sec/km افزایش می‌یابد و با تغییر محدودیت سرعت ۶۰ km/h به ۹۰ km/h متوسط زمان سفر کل جریان ۱۸/۸ Sec/km افزایش پیدا می‌کند. این مقایسه نشان می‌دهد که تغییر زمان سفر برای کل جریان ترافیک در محدودیت سرعت‌های پایین بیشتر از سرعت‌های بالا می‌باشد. به عبارت دیگر، تغییر محدودیت سرعت در راه‌هایی که متوسط سرعت جریان ترافیک بیشتری دارند بر زمان سفر کل جریان ترافیک اثر کمتری نسبت به راه‌هایی که متوسط سرعت جریان ترافیک

## ۴-۲- رابطه سرعت و زمان سفر

فرایند تعیین زمان سفر شامل دو مرحله اصلی می‌باشد. نخست، جمع‌آوری داده‌های جریان ترافیک و پس از آن تجزیه و تحلیل و برآورد مدل جریان ترافیک و ارائه زمان سفر می‌باشد [۱۷]. داده‌های تردد وسایل نقلیه سنگین و سواری و سرعت از طریق دستگاه تردد شمار مغناطیسی در محدوده مطالعاتی برداشت شده است. این تردد بصورت هر ۱۵ دقیقه به مرکز مدیریت راه‌ها ارسال می‌شوند. در نتیجه سرعت بدست آمده همان سرعت زمانی می‌باشد که بصورت میانگین‌گیری محاسبه شده است. محاسبه زمان سفر تا حد زیادی وابسته به شرایط دینامیکی ترافیک می‌باشد. اطلاعات خام برای تعیین زمان سفر باید با رفتار سیستم حمل‌ونقل به وسیله تجزیه و تحلیل مستمر سازگار گردد [۱۸]. میانگین زمان سفر برای محدودیت سرعت‌های متفاوت با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی ترافیک Aimsun تخمین زده شده است.

کمتری دارند، دارد. همچنین از دیگر نتایج شکل ۳ این است که متوسط زمان سفر وسایل نقلیه سنگین از متوسط زمان سفر سواری در محدودیت سرعت‌های مختلف بیشتر می‌باشد.

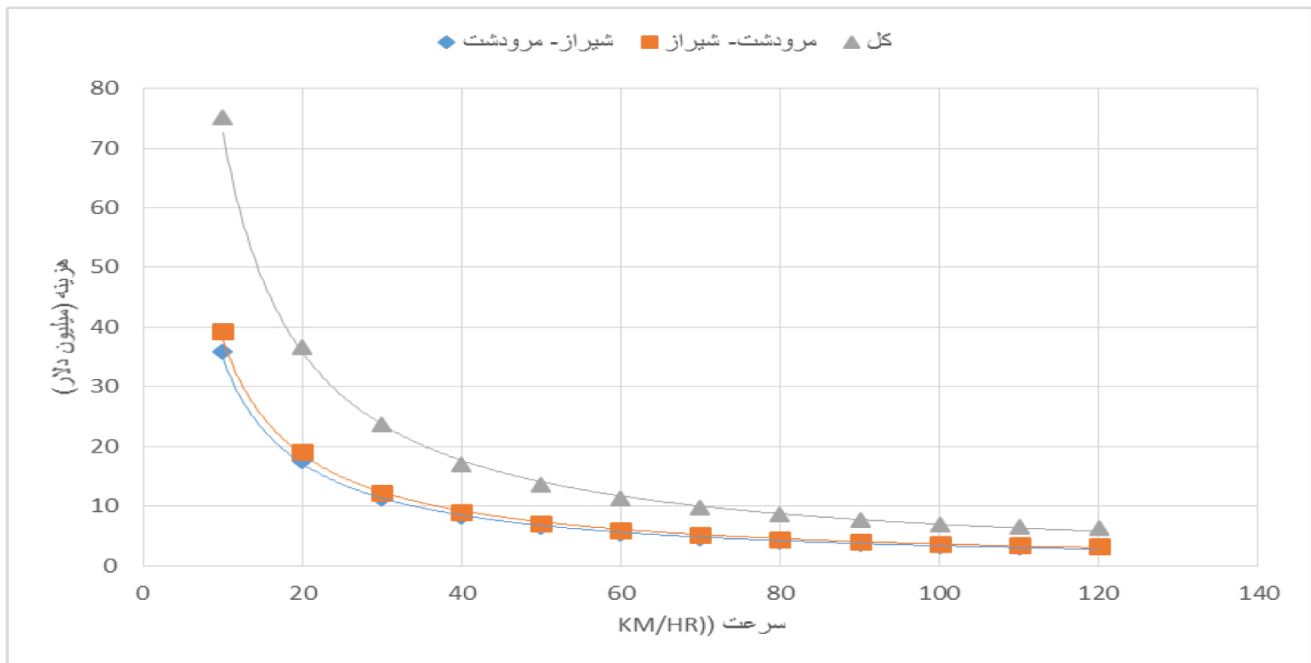


شکل ۳: زمان سفر برای محدودیت‌های سرعت مختلف در محور شیراز- مرودشت.

#### ۳-۴- هزینه اجتماعی زمان سفر در محدودیت سرعت‌های مختلف

محدودیت سرعت مختلف به تفکیک مسیر در شکل ۴ ارائه شده است. برای برآزش روند، توابع توان دار<sup>۱</sup> استفاده شده و معادله‌های آن در جدول ۳ گزارش شده است. که  $V$  سرعت بر حسب km/hr و  $y$  هزینه اجتماعی بر حسب میلیون دلار می‌باشد

برای محاسبه هزینه اجتماعی زمان سفر در محدودیت‌های سرعت مختلف از رابطه ۲ استفاده شده است. ارزش متوسط یک ساعت وقت تلف‌شده برابر ۲۲۲۶ ریال برای هر ساعت (۲۵۴۶/۰ دلار برای هر ساعت) در همان سال در نظر گرفته می‌شود [۱۶]. طول بزرگراه شیراز- مرودشت ۴۵ کیلومتر بوده و تعداد سواری‌های عبوری در این مسیر در سال ۱۳۹۰ برابر با ۹۵۰۱۰۵۸ و تعداد سواری‌های عبوری در این محور در سال ۱۳۹۰ برابر با ۱۰۳۳۶۲۶۷ می‌باشد. تعداد متوسط سرنشین‌های خودروهای سواری ۳/۲ فرض شده که فقط براساس نمونه گیری تصادفی از ۲۰۰ وسیله‌نقلیه عبوری می‌باشد و می‌تواند در پژوهش‌های آتی مورد بررسی قرار گیرد. حال می‌توان هزینه زمان سفر در سرعت‌های مختلف را محاسبه نمود. هزینه زمان تلف‌شده در.

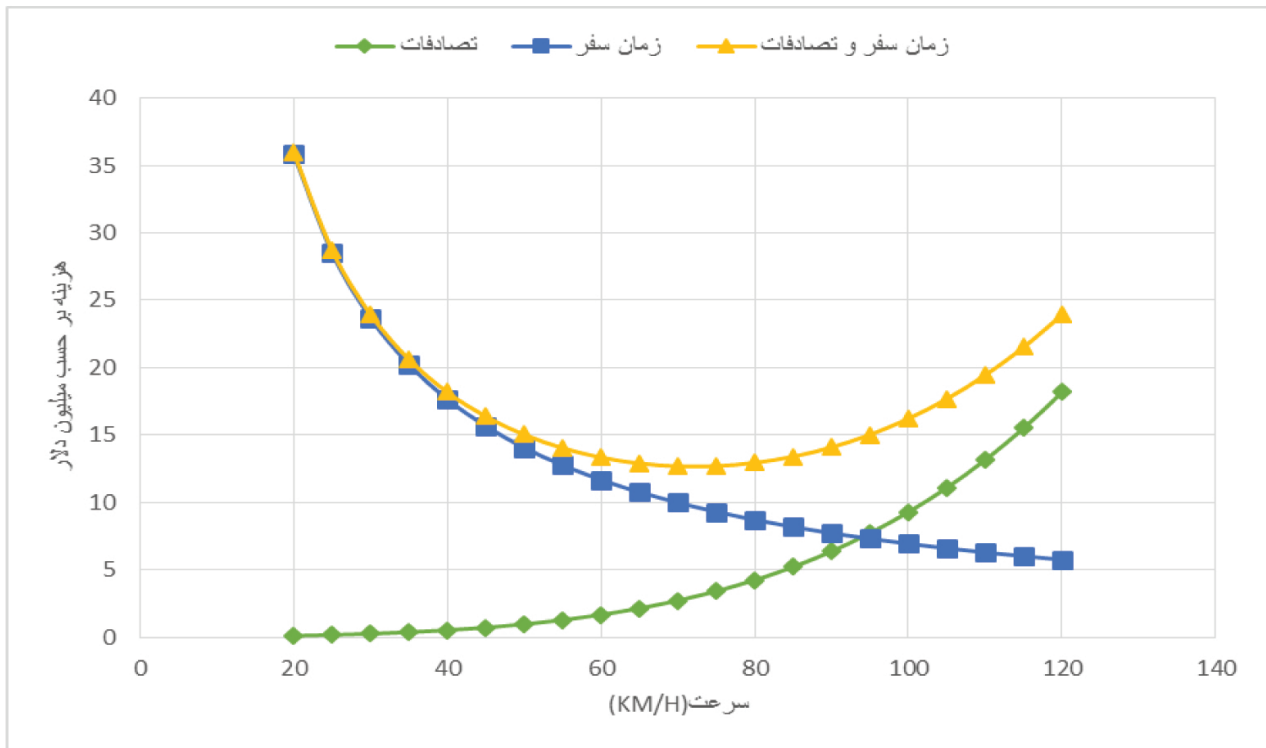


شکل ۴: هزینه اجتماعی زمان سفر برای محدودیت‌های سرعت مختلف.

#### ۴-۴- کل هزینه‌های اجتماعی سفر در محور شیراز- مرودشت

کل هزینه‌های اجتماعی شامل زمان سفر و هزینه تصادفات در طی یک سال و برای محدودیت سرعت‌های مختلف در شکل ۵ ارائه شده است. از این نمودار چنین برداشت می‌شود که در سرعت‌های پایین اثر گذاری هزینه اجتماعی زمان سفر بیشتر از هزینه اجتماعی تصادفات می‌باشد. این در حالی است که در سرعت‌های بالا اثر گذاری هزینه اجتماعی تصادفات بیشتر می‌باشد.

«سود اصلی از سرعت جریان ترافیک بالا این است که هزینه‌های منسوب به زمان سفر کاهش می‌یابد» [۳]، اما این سود در جریان ترافیک‌هایی که سرعت کمتری دارند بیشتر می‌باشد. برای مثال با افزایش جریان ترافیک از ۲۰ به ۴۰ کیلومتر بر ساعت ۱۹/۵ میلیون دلار سود حاصل می‌شود اما با افزایش جریان ترافیک از ۱۰۰ به ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت فقط ۰/۵۹ میلیون دلار سود آید اجتماع مورد مطالعه می‌شود. که این مطلب افزایش سرعت در معابر درون شهری و سود حاصل از آن که می‌تواند صرف ایمن‌سازی همان مسیر برای بالا بردن سرعت جریان ترافیک شود را بیش از پیش مشخص می‌کند. در طرف دیگر در معابر برون شهری کاهش سرعت جریان ترافیک با توجه به تصادفات با شدت بالا که هزینه‌های سنگینی را به اجتماع وارد می‌سازد را نشان می‌دهد.



شکل ۵: هزینه‌های اجتماعی شامل زمان سفر، هزینه تصادفات، هزینه آلاینده‌ها و هزینه مصرف سوخت در محدودیت سرعت‌های مختلف.

سرعت بهینه بوسیله نرم‌افزار محاسباتی ۱۵ Maple محاسبه شده است که سرعت بهینه براساس کمترین هزینه اجتماعی تصادفات در کمترین سرعت ممکنه می‌باشد و سرعت بهینه براساس کمترین هزینه اجتماعی زمان سفر در بیشترین سرعت ممکنه می‌باشد. سرعت بهینه براساس در نظرگیری مجموع زمان سفر و تصادفات ۷۲ کیلومتر بر ساعت محاسبه گردید. این بدین معنی است که در صورتی که متوسط سرعت جریان ترافیک در محور مورد مطالعه با سرعت ۷۲ کیلومتر بر ساعت حرکت کند، کمترین هزینه اجتماعی زمان سفر و تصادفات را در بر خواهد داشت. در جدول ۳ برازش داده آورده شده است که در آن  $V$  سرعت بر حسب  $km/hr$  و  $y$  هزینه اجتماعی بر حسب دلار می‌باشد.

هزینه	معادله	بهینه
تصادفات	$y = 0.04540927014 V^{4/1} + 186/2741057 V^2 + 219/8848497 V^{1/5}$	کمترین سرعت
زمان سفر	$y = 761613330/629499 V^{-1/0.2047}$	بیشترین سرعت
کل	$y = 761613330/629499 V^{-1/0.2047} + 0.04540927014 V^{4/1} + 186/2741057 V^2 + 219/8848497 V^{1/5}$	۷۲ km/hr

جدول ۳: رابطه هزینه اجتماعی با محدودیت سرعت‌های مختلف در محور شیراز- مرودشت در طی یک سال.

در نظرگیری مجموع زمان سفر و تصادفات ۷۲ کیلومتر بر ساعت محاسبه گردید. این بدین معنی است که در صورتی که متوسط سرعت جریان ترافیک در محور مورد مطالعه با سرعت ۷۲ کیلومتر بر ساعت حرکت کند، کمترین هزینه اجتماعی زمان سفر و تصادفات را در بر خواهد داشت.

## ۵- نتیجه‌گیری

در این مقاله سرعت وسایل نقلیه به عنوان یکی از اصلی‌ترین علل بروز تصادفات در راه‌ها به خصوص راه‌های برون‌شهری مورد مطالعه قرار گرفت. به عنوان مطالعه موردی محور شیراز- مرودشت که یکی از جاده‌های پر تردد استان و کشور است بررسی گردید. بر اساس نتایج این مقاله هزینه‌های ناشی از تصادفات فوتی بر اجتماع در سرعت ۷۰ کیلومتر بر ساعت برابر ۳۳/۹ میلیارد ریال می‌باشد، که این هزینه در سرعت‌های ۱۰۰ و ۱۲۰ کیلومتر بر ساعت به ترتیب ۳۴۱/۷ و ۳۰۳/۴ میلیارد ریال محاسبه شد. تغییر کل زمان سفر برای جریان ترافیک در محدودیت سرعت‌های پایین بیشتر از سرعت‌های بالا بدست آمد. به عبارت دیگر، تغییر محدودیت سرعت در راه‌هایی که متوسط سرعت جریان ترافیک بیشتری دارند بر زمان سفر کل جریان ترافیک اثر کمتری نسبت به راه‌هایی که متوسط سرعت جریان ترافیک کمتری دارند، خواهد داشت. از دیگر نتایج این پژوهش این است که متوسط زمان سفر وسایل نقلیه سنگین از متوسط زمان سفر سواری در محدودیت سرعت‌های مختلف بیشتر می‌باشد. همچنین هزینه‌های زمان سفر در جریان ترافیک‌هایی که سرعت کمتری دارند بیشتر می‌باشد. که این مطلب افزایش سرعت در معابر درون‌شهری و سود حاصل از آن که می‌تواند صرف ایمن‌سازی همان مسیر برای بالا بردن سرعت جریان ترافیک شود را بیش از پیش مشخص می‌کند. از طرف دیگر در معابر برون‌شهری کاهش سرعت جریان ترافیک با توجه به شدت بالای تصادفات که موجب وارد ساختن هزینه‌های سنگینی را به اجتماع می‌شود را نشان می‌دهد. سرعت بهینه براساس

## ۶- مراجع

- 12- "Traffic Safety Dimensions and the Power Model to Describe the Effect of Speed on Safety [Report]", 2004, Doctoral thesis. - [s.l.] : Lund Institute of Technology, Department of Technology and Society, Traffic Engineering, G. Nilsson.
- 13- Accident Analysis & Prevention, 2010, "Nilsson's Power Model connecting speed and road trauma: Applicability by road type and alternative models for urban roads", M.H. Cameron and R. Elvik, Vol.42, Issue 6, Pages 1908-1915.
- 14- "The Power Model of the relationship between speed and road safety. Update and new analyses", 2009, The Institute of Transport Economics (TOI), R. Elvik, 1034/2009.
- 15- Accident Analysis & Prevention, 2013, "A re-parameterisation of the Power Model of the relationship between the speed of traffic and the number of accidents and accident victims", Vol. 50, Pages 854-860.
- ۱۶- ا. آیتی, "هزینه تصادفات", تهران: وزارت شهرسازی- پژوهشکده حمل و نقل, ۱۳۸۸.
- 17- Oxford United Kingdom: Elsevier Science, 1997, "Fundamentals of Transportation and Traffic Operations," Daganzo, C. F.
- 18- Transportation Research Part C, 2012, "Floating car based travel times for city logistics", Ehmke, J. F. and et.al, vol. 21, no. 1, p. 338-352.
- ۱- س. عقیدی خیرآبادی, "تعیین محدودیت سرعت بهینه براساس معیارهای ایمنی ترافیک و محیط زیست", دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی, پایان نامه, ۱۳۹۱.
- 2- "Summary Report of Speed Management Practices", 2004, H. Rothenberg and et.al, University of Massachusetts, MassSAFE, Amherst, MA 01003.
- 3- Accident Analysis and Prevention, 1999, "Speed, speed limits and road traffic accidents under free flow", Aljanahi and et.al, vol. 31, no. 1-2, p. 161-168.
- 4- Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 2002, "Optimal Speed Limits, Limits of Optimality Models", R. Elvik, vol.1818. pp. 32-38.
- 5- Transportation Research Procedia, 2014, "Upper Bounds for the Travel Time on Traffic Systems", Nadir Farhi and et.al, Vol.3, Pages 349-358.
- 6- Economics of Transportation, 2012, "Valuation of travel time", Kenneth A. Small, , Volume 1, Issues 1-2, Pages 2-14.
- 7- Journal of the Australasian College of Road Safety, 2012, "Optimum speeds on rural roads based on 'willingness to pay' values of road trauma", M.H. Cameron, Vol.23, No.3.
- 8- Accident Analysis and Prevention, 2000, "How much do road accidents cost the national economy", R. Elvik, vol. 32, Issue 6, Pages 849-851.
- 9- disaster relief operations," Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, vol. 43, pp. 660-672, 2007.
- ۹- مرکز مدیریت راه های استان فارس, اداره کل حمل و نقل و پایانیهای استان فارس, ۱۳۹۱.
- 10- IATSS Research, 2014, "Determining optimal speed limits in traffic networks", M. Hadjihosseini, S. Aghidi Kheyraadi, A. Zolfaghari, In Press Corrected Proof.
- 11- "Speed and road accidents-An evaluation of the Power Model", 2004, The Institute of Transport Economics (TOI), R. Elvik, P. Christensen, A. Amundsen, 740/2004.