

ارایه مدل سرعت موج شوک در امواج گلوگاهی

مقاله پژوهشی

سید فرزین فائزی*، استادیار، گروه عمران، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

فاطمه شاه حسینی، دانش آموخته کارشناسی ارشد، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

*پست الکترونیکی نویسنده مسئول: farzin_faezi@yahoo.com

دریافت: ۹۷/۰۹/۰۲ - پذیرش: ۹۸/۰۲/۰۵

صفحه ۲۸-۲۱

چکیده

وقوع تصادفات و یا حوادث دیگر در جریان ترافیک یکی از عواملی است که روند ترافیک را برهم زده و مختل می‌کند. با به وجود آمدن یک حادثه، شوک و یا آشفتگی به صورت یک موج به جریان جاری ترافیک منتقل و باعث تغییر سرعت، چگالی و در نهایت ایجاد تاخیر می‌شود. هدف از این تحقیق، بررسی رفتار جریان تردد ترافیک و تغییرات آن در اثر ایجاد یک شوک و یا آشفتگی می‌باشد. در این تحقیق سه حادثه در بزرگراه صدر در محل تقاطع با شریعتی به صورت کامل فیلم برداری شده و پارامترهای حجم، طول صف، رشد صف، سرعت، تاخیر و چگالی برای هر سه محل محاسبه شدند. نتایج نشان داد نسبت تغییرات جریان تردد به تغییرات چگالی به عنوان پارامتر مستقل در مدل سرعت موج، تاثیرگذار هستند. در این تحقیق چهار مدل ارائه شد. بررسی مقادیر سطح معنی‌داری نشان داد که به جز مدل معکوس بقیه مدل‌ها دارای مقادیر مطلوبی می‌باشند. از سه مدل باقیمانده، مدل خطی به دلیل سادگی و بالاتر بودن ضریب F به عنوان مدل نهایی سرعت موج انتخاب شد. با استفاده از نتایج، اگر مشخصات یک مسیر معلوم باشد و آنگاه حادثه‌ای رخ دهد می‌توان پیش‌بینی نمود که حادثه تا چه نقطه‌ای اثر می‌گذارد. همچنین می‌توان جریان جاری به سمت محل حادثه را به مسیرهای دیگر هدایت نمود و از بار ترافیکی مسیر کم کرد.

واژه‌های کلیدی: سرعت موج، شوک، گلوگاه، مدل خطی، جریان ترافیک

۱-مقدمه

جریان ترافیک گشته که این آشفتگی به ادامه آن نیز سرایت کرده و باعث تغییر سرعت، چگالی و در نهایت ایجاد تاخیر می‌شود که تاثیر آن در مسیرهای اصلی بیش از پیش محسوس می‌باشد [Kang, 2014, Walter, et al. 2011]. از آنجایی که افزایش کارایی یک سیستم حمل‌ونقل با کاهش زمان تاخیر در آن سیستم می‌باشد و با توجه به اینکه علت تاخیر می‌تواند وقوع برخی از حوادث همچون تصادفات باشد، لذا بررسی علل، چگونگی و میزان تاخیر بسیار مفید خواهد بود. با بررسی‌های انجام شده مشخص شد که میزان تحقیقات در این زمینه بسیار کم می‌باشد و این مساله به طور شایسته تحت تجزیه و تحلیل قرار نگرفته است [عبدی و همکاران، ۱۳۹۶].

حمل‌ونقل زمینی به ویژه حمل‌ونقل جاده‌ای بیشترین میزان استفاده‌کننده در مقایسه با تسهیلات حمل‌ونقلی دیگر دارد. به همین دلیل رعایت اصولی به منظور ایجاد امنیت خاطر استفاده‌کنندگان از جاده‌ها، کاهش تصادفات و به تبع آن کاهش مرگ و میر، جراحت و هزینه افراد از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یکی از عوامل مهم در کاهش ایمنی جاده‌ای و افزایش تاخیر در جابجایی مسافر و کالا، بروز صف در ترافیک وسایل نقلیه است [صبغزاده، ۱۳۷۸]. وقوع تصادف و یا حوادث دیگر در هر یک از رده‌های عملکردی شبکه خیابان‌ها عامل مهمی جهت به هم خوردن روند عادی ترافیک و مختل شدن آن می‌باشد. بروز یک تصادف باعث ایجاد آشفتگی در

کل، زمانی است که وسایل متوقف هستند و هیچ حرکتی نمی‌کنند اما در موج شوک، صف یک حرکت واقعی دارد و تاخیر محاسبه شده نیز بیشتر از آن مقداری است که در عمل حس می‌شود. اگر تاخیر به عنوان اختلاف زمان عبور عادی و زمان عبور به همراه زمان تلف شده باشد، آنگاه از مقدار به دست آمده از موج شوک باید مقدار زمان عبور عادی کاسته شود [Arnott, 2015]. عامل دیگر، تغییر حالت جریان می‌باشد. در آنالیز خطی موج شوک یک نکته بسیار مهم نادیده گرفته می‌شود و آن زمانی است که جریان تغییر حالت می‌دهد. تبدیل و تغییر در حالت جریان شامل پیچیدگی‌هایی می‌باشد که آنالیز موج شوک قادر به خطی کردن آن‌ها نمی‌باشد [Wirasinghe, 2011]. پژوهشگری تحقیقاتی در مورد صف و انحرافات عادی در زمانی که بعضی از خطوط آزادراه به مدت کوتاهی مسدود می‌شوند انجام داد. در این تحقیق تاثیر انحراف‌های عادی در وضعیت ترافیک خطوط مسدود شده در آزادراه‌های شهری با حجم زیاد در تگزاس بررسی شده است. اصل تحقیق، بررسی تاثیر تغییرات ترافیک در حجم ترافیک رمپ‌های خروجی و ورودی و همچنین ارتباط بین حریم راه و آزادراه در زمان مسدود بودن خط می‌باشد. از نتایجی که وی مشخص نمود این است که در هر محلی بعد از یک ساعت، رشد صف حاصل از انسداد خط به صورت قابل توجهی کاهش می‌یابد و همچنین در جایی که انتهای بالادست به یک حالت ایستا می‌رسد، صف نیز به یک حالت تعادل می‌رسد. همچنین با استفاده از تئوری موج شوک در جریان ترافیک مشخص شد که تغییر در حجم رمپ و اثرات ناشی از آن بر روی نرخ جریان آزادراه در صف با فرآیند ایستایی نرخ جریان آزادراه در صف که در هر نقطه مشاهده می‌شود سازگار است [Ullman, 2014]. محققینی یک روش جدید برای تخمین تراکم ناشی از تصادفات در آزادراه‌های شهری را بررسی کردند. آن‌ها با تعیین یک دامنه زمان-مکان برای هر تصادف مرزهای تراکم ناشی از یک تصادف را بررسی کردند، همچنین تصادفات را به صورت منفرد و ترکیبی مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها با تبدیل بخش مورد مطالعه به قسمت‌های کوچک‌تر و محاسبه تاخیر ناشی از تصادف در هر قسمت، تاخیر کل ناشی از تصادف‌های منفرد و ترکیبی را محاسبه کردند. در پایان آن‌ها نتیجه گرفتند که در محدوده مطالعه شده حداکثر طول صف برابر ۷/۱ کیلومتر و حداکثر مدت تاخیر در

از طرف دیگر چون در کشور عزیزمان ایران همانند بسیاری از کشورها، فرهنگ ترافیک، قوانین و اجرای قوانین ترافیکی متفاوت هستند لزوم بررسی این موضوع و مقایسه آن با تئوری‌های موج مشاهده می‌شود. در این مطالعه هدف آن است که جریان ترافیک در زمان وقوع یک راه‌بندان یا یک حادثه در مسیر بررسی شود و از چند جهت مورد ارزیابی قرار گیرد. ابتدا اینکه عکس‌العمل رانندگان در چنین لحظاتی چگونه است و آیا در چنین زمانی رانندگان تغییر خط می‌دهند و نظم خطوط دیگر را برهم می‌زنند. سپس به بررسی راهکارهایی برای اطلاع‌رسانی مناسب به رانندگان برای جلوگیری از صف‌های طولانی و بروز تصادفات احتمالی پرداخته می‌شود. در کنار این بررسی‌ها، تئوری صف نیز به اجمال مورد مقایسه قرار می‌گیرد.

۲- پیشینه تحقیق

تئوری صف خصوصیات شکل‌گیری و پراکندگی صف در ترافیک را به واسطه فرمول‌های ریاضی مشخص می‌کند. هدف از مدل‌های صف ترافیک تهیه یک مفهوم جهت تخمین اندازه‌های مهم در عملکرد بزرگراه‌ها می‌باشد که شامل تاخیر و طول صف ترافیک است [Elefteriadou, Roess, and Mcshan, 2011]. این تخمین‌ها جهت کنترل عملکرد ترافیک و طرح هندسی تقاطع لازم می‌باشند. مدل‌های صف بر اساس فرضیاتی مربوط به نوع ورود، خصوصیات خروجی و نظم صف تهیه شده‌اند [Mannering, Washburn, 2016]. در بررسی صف و مدل‌های آن، منحنی‌های ورود و خروج وسایل نیز از جمله مسایل بسیار مهم و با اهمیت می‌باشد [Pipes Edie, Foote, 2011].

در مطالعه‌ای گلوگاه‌های موجود در آزادراهی بررسی و آنالیز شدند و دو راه برای آنالیز مشکل و مساله جریان ترافیک درون گلوگاه بیان شد؛ یکی به صورت مدلی ساده از یک گلوگاه به همراه یک صف استاندارد و دیگری مدل موج شوک که هر دو روش بررسی و با هم مقایسه شده‌اند. نتایج نشان داد در آنالیز موج شوک، جریان بالادست مقطع آزادراه در گلوگاه به وسیله یک تابع ریاضی با سرعت مرتبط است و همچنین سرعت ترافیک به وسیله یک تابع پیوسته با چگالی مرتبط است [Richard, 2009 & Chin, 2015]. پارامتر دیگری که بین این روش‌ها اختلاف ایجاد می‌کند تاخیر می‌باشد. این پارامتر مشخصه بارز بین این دو روش می‌باشد. در تئوری صف تاخیر

طول مسیر مورد بررسی بستگی دارند و دسته دوم آماری که به طول مسیر وابسته نمی‌باشند. در دسته اول پارامترهایی همچون سرعت، چگالی و محل انتهایی صف وجود دارد. این گروه از آمار به واسطه تطابق فیلم ضبط شده و بررسی‌ها و اندازه‌گیری‌های محلی استخراج شده است. به عبارت دیگر آمار مثلاً سرعت در یک محدوده از مسیر مشخص در فیلم به صورت زمانی برداشت شده است و بعداً با حضور در محل، فاصله‌ها با توجه به خطوط خط‌کشی شده و دماغه‌ها و پایه‌های چراغ‌های روشنایی خیابانی که در فیلم مشخص شده برداشت شده است. گروه دوم آمار پارامترهایی همچون خروجی وسایل نقلیه از مقطع تصادف و همچنین ورودی وسایل نقلیه به محدوده تصادف که نیاز به پارامتر فاصله ندارند را در برمی‌گیرد. این پارامترها که شامل جریان ورودی و خروجی می‌باشد که به راحتی از فیلم‌ها استخراج شده‌اند.

۳-۱- استخراج و برداشت پارامترها

در این تحقیق سه حادثه به صورت ویدئویی ضبط شده و مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته است. جهت برداشت تعداد وسایل نقلیه واردشونده و خارج‌شونده، دو محل ابتدا و انتهایی محل حادثه باید تحت نظر قرار بگیرند که با توجه به تغییر محل انتهایی صف وسایل نقلیه ورودی و عدم توانایی دوربین در پوشش کامل محدوده، محل فیلم‌برداری متغیر است. به عبارت دیگر با توجه به این نکته که فقط از یک دوربین می‌توان استفاده کرد و ممکن است طول کل صف در دید نباشد بنابراین نیاز به حرکت دوربین در زمان‌های متناوب می‌باشد که باعث افزایش دقت آمارگیری گردیده و با تکرار شمارش و شمارش به صورت خط‌های مجزا، میزان خطا کاهش یافته است. برداشت‌ها به صورت دو یا سه دقیقه‌ای می‌باشد که در نهایت جهت ترسیم منحنی‌های ورودی-خروجی به برداشت‌های پنج دقیقه‌ای تبدیل شده است. جهت بررسی میزان تغییرات سرعت وسایل نقلیه درون صف به دو پارامتر نیاز می‌باشد: زمان و فاصله قابل ذکر است که سرعت به صورت متوسط تعیین می‌شود. نحوه تعیین سرعت به این گونه است که وسایل نقلیه شاخص درون محل حادثه انتخاب می‌شوند و از زمان ورود تا زمان خروج بررسی می‌شوند. از تقسیم دو پارامتر اختلاف زمان ورود و خروج به عنوان پارامتر زمان و فاصله بین دو محل که بعداً در محل برداشت می‌شود به عنوان پارامتر مکان، سرعت محاسبه می‌شود. قابل توجه است که وجود وسایل نقلیه شاخص مثلاً وسایلی با رنگهایی که در صف نادر هستند و یا وسایل نقلیه با مدل‌های نادر در تعیین این

حدود ۵۵ دقیقه بوده است. همچنین تاخیر ناشی از حوادث به مدت حادثه بسیار حساس می‌باشد [Radwan, Al-Deek, 2008]. در تحقیقی چهار گلوگاه در آزادراه مطالعه شد و مشاهده شد که جریان در پایین دست گلوگاه‌ها کاهش یافته است. پس از بررسی و آنالیز مشخص شد که این امر ناشی از ناپایداری سرعت می‌باشد. کاهش جریان نیز به دلیل افزایش زمان عبور خودرو می‌باشد. روش مطالعه او شامل مقایسه نوارهای ویدیویی جریان ترافیک با تحلیل‌های جزئی اطلاعات ۳۰ ثانیه‌ای از دستگاه‌های بازرسی‌کننده بود. مهم‌ترین تحلیل وی شامل مقایسه جریان‌ها به طور متوسط در طول مدت زمان‌های ۱۲ دقیقه‌ای قبل و بعد از تشکیل صف و مقایسه توزیع در خطوط در فواصل ۳۰ ثانیه‌ای بود. در مطالعه وی مشخص شد که در زمان مسدود شدن و یا تشکیل صف، باند سریع شلوغ‌ترین خط قبل و بعد از تشکیل صف بوده است [Banks, 2013, Gazis, 2014]. در تحقیقی دیگر به بررسی استفاده از دیاگرام‌های ورودی-خروجی جهت تعیین افزایش مکانی-زمانی صف در بالادست یک گلوگاه پرداخته شد. آن‌ها اقدام به تهیه نمودارهایی نمودند که نشان می‌دهد هر وسیله در چه زمانی به صف می‌رسد و تعداد کل وسایلی که در زمان مشخصی به صف می‌رسند چه مقدار است [Lawson, Lovell, Daganzo, 2007]. در تحقیقی دیگر به بررسی جریان در گلوگاه‌ها پرداخته شد. تحقیقات نشان داد که متوسط نرخ خروج وسایل نقلیه از صف می‌تواند حدود ده درصد کمتر از جریان قبل از تشکیل صف باشد [Cassidy, Bertini, 2013 & Newell, 2012]. در پژوهشی تغییرات جریان ترافیک در زمان وقوع حادثه در دو بزرگراه تهران مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که در جریان ترافیک با چگالی بالا روابط بین شاخص‌های ترافیک در ایران بسیار نزدیک به مدل گرینشیلدز مناسب‌تر می‌باشد و برای جریان‌های با چگالی پایین مدل گرینشیلدز مناسب‌تر می‌باشد و در حالت کلی نیز مدل گرینشیلدز مناسب‌تر می‌باشد [Greenberg, 2012]. محمدی، ۱۳۷۸، محمدیان، ۱۳۷۲].

۳-روش تحقیق

برای رسیدن به نتایجی قابل قبول در این تحقیق، از مشاهدات میدانی صورت گرفته شده استفاده شده است. آمار استخراج شده شامل دو دسته می‌باشند: دسته اول آماری هستند که به

جهت خارج شده‌اند. جهت تعیین چگالی ابتدا یک کیلومتر از طول مسیر با استفاده از پایه‌های چراغ برق در ابتدا و انتها مشخص گردید. اما در مورد وسایل نقلیه، چون امکان اشتباه در شمارش و یا خستگی چشم و ... وجود داشت برداشت آمار در هر بازدید انجام گردید، یعنی چگالی هر خط جداگانه تعیین شده است و قابل ذکر است که وسایلی که به صورت مشخص در بین خطوط قرار گرفته‌اند به صورتی شمارش شده‌اند که به سمت خطی باشند که سطح بیشتری از آن را اشغال کرده باشند.

۴- بحث

در این تحقیق سه حادثه در بزرگراه صدر در محل تقاطع با شریعتی به صورت کامل ضبط شده و آمار آن استخراج گردیده است. اطلاعاتی که از فیلمبرداری استخراج شده است شامل تغییرات طول صف و در نتیجه سرعت موج شوک می‌باشد که برای هر سه حادثه ۱ تا ۳ اندازه‌گیری شدند. جداول ۱ تا ۳ بیان‌کننده طول صف‌ها در زمان‌های مختلف از محل حادثه شماره یک می‌باشد.

پارامتر بسیار مفید می‌باشند چرا که در حالت عادی دوربین، تشخیص وسایل در فاصله‌ای تقریباً دور از دقت پایینی برخوردار است. در هر دوره پنج دقیقه‌ای بین ۱۰ تا ۲۰ درصد وسایل نقلیه به صورت اتفاقی انتخاب شده و مورد بررسی واقع شده‌اند. با توجه به محدودیت تردد وسایل نقلیه سنگین (کامیون) در ساعات آمارگیری، در نمونه جمع‌آوری شده وسایل نقلیه سنگین دیده نشده است.

جهت تعیین تاخیر همان‌گونه که ذکر شده حدوداً ۲۰ درصد وسایل نقلیه به صورت اتفاقی در زمان‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته‌اند. بدین منظور برداشت‌ها به صورت فواصل زمانی پنج دقیقه‌ای انجام شد. تاخیر بدین گونه محاسبه شده است که زمان عبور یک وسیله در حالت عادی از یک طول مشخص با زمان عبور همان نوع وسایل نقلیه در صف و در همان طول مشخص، مقایسه و میزان اختلاف آن‌ها محاسبه شده است. این مقدار در تعداد وسایل نقلیه موجود در پنج دقیقه مورد نظر ضرب شده تا تاخیر کل وسایل نقلیه در مدت زمانی مشخص شود. واحد تاخیر بر حسب دو پارامتر وسیله‌نقلیه-ساعت، وسیله‌نقلیه-دقیقه مشخص شده است. قابل ذکر است که جهت محاسبه تاخیر در هر دوره زمانی وسایلی انتخاب شده‌اند که در فاصله زمانی همان دوره وارد صف و از آن

جدول ۱. حجم تجمعی ورود و خروج وسایل نقلیه به و از محل حادثه شماره ۱

زمان (دقیقه)	حجم تجمعی ورود	حجم تجمعی خروج
۰	۰	۰
۵	۴۷۵	۲۲۵
۱۰	۶۹۳	۴۹۱
۱۵	۹۳۳	۷۶۵
۲۰	۱۲۲۳	۱۰۹۵
۲۵	۱۵۵۲	۱۵۵۲

جدول ۲. طول صف و رشد صف ناشی از حادثه شماره ۱

زمان (دقیقه)	طول صف (متر)	رشد صف (متر/ثانیه)
۰	۰	۰
۵	۵۱۶	-۱/۷۲
۱۰	۴۷۶	۰/۱۳۳
۱۵	۳۵۸	۰/۳۹۳
۲۰	۳۰۴	۰/۱۸
۲۵	۰	۱/۰۱۳

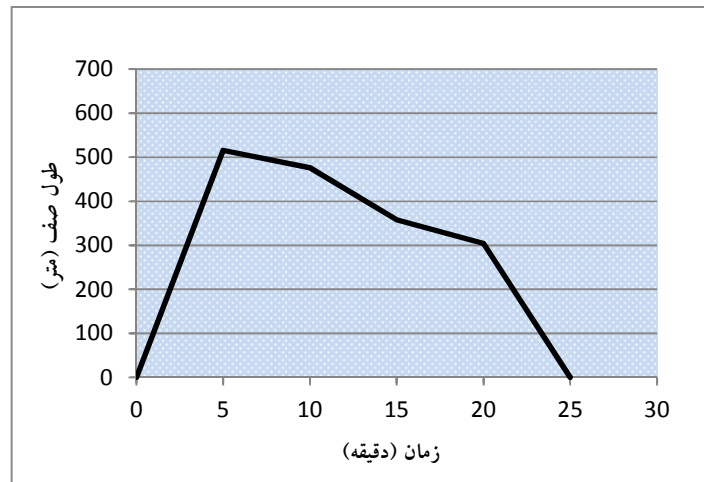
جدول ۳. مقدار تاخیر وارد بر وسایل نقلیه در حادثه شماره ۱

زمان (دقیقه)	تأخیر وارد بر وسایل نقلیه (ثانیه)	تأخیر کل وارد بر وسایل نقلیه (دقیقه)
۰	۰	۰
۵	۱۱۹	۹۴۲,۰۸
۱۰	۱۱۲	۴۰۶,۹۳
۱۵	۱۰۹	۴۳۶
۲۰	۷۶	۳۶۷,۳۳
۲۵	۴۷	۲۵۷,۷۲

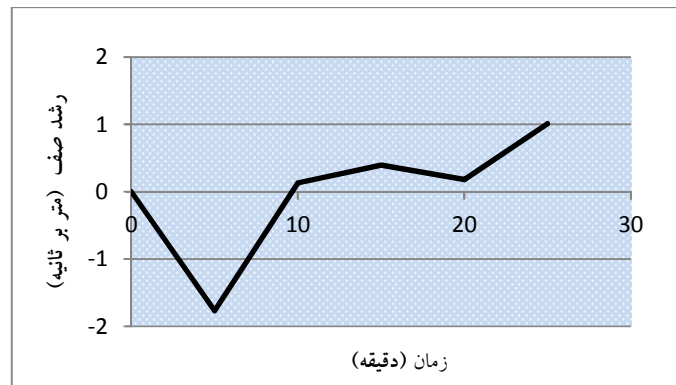
۴-۱- سرعت موج شوک و طول صف

می‌باشند. در این تحقیق تغییرات طول صف و تغییرات رشد صف برای سه حادثه اندازه‌گیری شدند. شکل‌های ۱ و ۲ تغییرات طول صف و تغییرات رشد صف در حادثه شماره ۱ را نشان می‌دهند.

سرعت موج را می‌توان به صورت نسبت افزایش طول به افزایش زمان یا به عبارتی نسبت تغییرات طول به تغییرات زمان تعیین نمود. سرعت موج مثبت نشان می‌دهد که طول صف در حال کاهش است و اعداد منفی نشان‌دهنده رشد صف



شکل ۱. نمودار تغییرات طول صف در حادثه شماره ۱



شکل ۲. نمودار سرعت رشد صف در حادثه شماره ۱

۴-۲- ارائه مدل پیشنهادی سرعت موج

در برازش مدل، اگر ضریب آزمون فیشر (F) مقادیر بزرگتری داشته باشد مدل نیز از مطلوبیت بیشتری برخوردار است. بنابراین در بررسی دو مدل که دارای سطح معنی داری (Sigf) یکسان هستند، مدلی ارجحیت دارد که F بزرگتری داشته باشد. مقدار ضریب تعیین (R^2) دارای مقادیر بین ۰ و ۱ می باشد که هر چه به یک نزدیک تر باشد مدل مطلوب تر است. جدول ۴ نشان دهنده نتایج کلی مدل های ارائه شده می باشد که در آن نوع برازش مدل ارائه شده است.

برای ارائه مدل سرعت موج، نسبت تغییرات جریان تردد به تغییرات چگالی به عنوان پارامتر مستقل تعریف گردید که طبق تعاریف ذکر شده سرعت موج به نسبت $\frac{\Delta q}{\Delta k}$ وابسته می باشد (رابطه ۱). با توجه به اینکه شرایط جریان ترافیک در دوره های پنج دقیقه ای متفاوت می باشد، لذا Δk و Δq بیانگر تغییرات یک دوره نسبت به دوره قبل از آن است. پس از وارد کردن اطلاعات موجود در جدول ورودی نرم افزار SPSS، برازش های مختلفی جهت تهیه مدل سرعت موج انجام شد.

$$U_w = \frac{\Delta q}{\Delta k} \quad (1)$$

جدول ۴. خلاصه مدل های تهیه شده و ضرایب اطمینان و تشخیص آن ها

نوع برازش	مدل به دست آمده	Sigf	F	D.F	R^2
خطی	$U_w = 0.8786 \frac{\Delta q}{\Delta k} - 0.0564$	۰/۰۰	۲۷۹/۹۳	۲۳	۰/۹۲۴
درجه دوم	$U_w = -0.0157 \left(\frac{\Delta q}{\Delta k}\right)^2 - 0.9263 \frac{\Delta q}{\Delta k} - 0.0162$	۰/۰۰	۱۳۶/۸۶	۲۲	۰/۹۲۶
درجه سوم	$U_w = -0.0125 \left(\frac{\Delta q}{\Delta k}\right)^3 - 0.0599 \left(\frac{\Delta q}{\Delta k}\right)^2 + 0.08405 \frac{\Delta q}{\Delta k} + 0.0083$	۰/۰۰	۹۲/۰۳	۲۱	۰/۹۲۹
معکوس	$U_w = -0.0892 - \left(\frac{\Delta k}{\Delta q}\right) \cdot 0.021$	۰/۸۷۱	۰/۰۳	۲۳	۰/۰۰۱

Δq : تغییرات جریان تردد بر حسب وسیله نقلیه در ساعت
 ΔK : تغییرات چگالی بر حسب وسیله نقلیه در یک کیلومتر در یک خط است.

۵- نتیجه گیری

بررسی رفتار ترافیک در گلوگاه ها یکی از مهم ترین کاربردهای آنالیز موج در ترافیک می باشد. گلوگاه محلی است که ظرفیت در آن محل کمتر از ظرفیت پائین دست و بالادست می باشد. تا زمانی که جریان ورودی به گلوگاه کمتر از ظرفیت گلوگاه باشد جریان حالت عادی خود را طی می کند اما زمانی که جریان ورودی بیشتر از ظرفیت مقطع می شود آنگاه به علت افزایش تراکم سرعت جریان کاهش می یابد به حدی که ممکن است بعضی از وسایل نقلیه کاهش سرعت شان تا سرعت صفر

بررسی مقادیر Sigf در جدول فوق مشخص می کند که به جز مدل معکوس بقیه مدل ها دارای مقادیر مطلوبی می باشند. بنابراین در این مرحله مدل معکوس از بین پیشنهادها حذف می شود. در مرحله بعد در بین ستون F مشخص می شود که مدل خطی مقدار مطلوب تری دارد. در ستون های D.F و R.sq، سه مدل بالا تقریباً شرایط یکسانی دارند که اگر سادگی مدل را نیز به شرایط انتخاب مدل اضافه کنیم آنگاه می توان گفت که مدل خطی دارای شرایط بهتری می باشد. با توجه به مدل های تهیه شده مدل سرعت موج به صورت رابطه ۲ پیشنهاد می شود:

$$U_w = 0.8786 \frac{\Delta q}{\Delta k} - 0.0564 \quad (2)$$

که در آن:

U_w : سرعت موج شوک بر حسب کیلومتر بر ساعت

-Arnott R. (2015), "Property of Dynamic Traffic Equilibrium Involving Bottlenecks, Including a Paradox and Metering", *Transportation Science*, Vol. 27, No.2, pp.148-160.

-Banks, J.H. (2013), "The Two-Capacity phenomenon; Some Theoretical Issues", *Transportation Research Record [T.R.B]*, No.1320, pp. 234-241.

-Gazis, D. (2014), "The Moving and Phantom Bottlenecks *Transportation Science*", Vol.26, No.3, pp.223-229.

-Cassidy, M.J., Bertini R.L. (2013), "Some Traffic Features at FreeWay Bottlenecks", *Transportation Research, Part B*, No.89, pp.25-42.

-Chin, H.C. (2015), "Reexamination of The Analysis of FreeWay Bottlenecks", *ITE Journal*, pp.30-35.

-Edie, L.C., Foote R.S. (2011), "Effect of Shockwaves on Tunnel Traffic Flow", *Proceeding Research Record, HRB, National Research Record Council, Washington D.C.*, Vol.45, pp.492-505.

-Elefteriadou, L., Roess R.P., and R.Mcshan W. (2011), "Probabilistic Nature of Breakdown at FreeWay Merg Junction", *Transportation Research Record [T.R.B]*, No.1484, pp.80-89.

-Greenberg, H. (2011), "An Analysis of Traffic Flow", *Operation Research*, Vol.7, No.4, pp.79-85.

-Kang, Y. (2014), "Delay, stop and queue estimation for uniform and random traffic arrivals at fixed-time signalized intersections", Blacksburg, Virginia.

-Lawson, T.W., Lovell D.J., and Daganzo C.F. (2007), "Using input-Output Diagram to Determine Spatial and Temporal Extents of a Queue Upstream of a Bottleneck", *Transportation Research Record [T.R.B]*, No.1572, pp.140-147.

-Mannering, F.L, Washburn, S.S, (2016), "Principles of Highway Engineering and Traffic Analysis", 6th Edition, Jon Wily and Son, NewYork.

-Newell G. F. (2012), "A Moving Bottleneck", *Transportation Research, Part B*. Vol.32, No8, pp.531-537.

-Pipes L.A. (2015), "Car Following Models and The Fundamental Diagram of Road Traffic", *Transportation Research*, Vol.44, No.3, pp.21-29.

-Radwan A.E., Al-Deek H., and Garib A, (2008), "New Method for Estimating FreeWay incident

نیز برسد. با افزایش جریان ورودی سرعت موج ایجاد شده کاهش می‌یابد، زمانی که جریان افزایش می‌یابد سرعت موجی که به گلوگاه می‌رسد کاهش یافته و به صفر می‌رسد، در این زمان موج به صورت پس‌گرا به بالادست حرکت می‌کند و پس از گذشت مدتی که جریان ترافیک به سمت جلو مجدداً شروع به حرکت می‌کند و گلوگاه به تعادل نزدیک می‌شود موج شوک همچنان ادامه خواهد داشت تا جریان به حالت عادی و طرح برسد. با استفاده از آنالیز شوک در ترافیک علاوه بر تعیین سرعت موج می‌توان طول صف ناشی از شوک و میزان تاخیر را تعیین و محاسبه نمود. اگر مشخصات یک مسیر معلوم باشد و آنگاه حادثه‌ای رخ دهد می‌توان پیش‌بینی نمود که حادثه تا چه نقطه‌ای اثر می‌گذارد و آیا بر نقاط حساس مجاور خود اثر خواهد گذاشت یا خیر. با دانستن این مطلب می‌توان جریان جاری به سمت محل حادثه را به مسیرهای دیگر هدایت نمود و از بار ترافیکی مسیر کم کرد. از طرف دیگر می‌توان زمان خاتمه حادثه را پیش‌بینی نمود و جریان منحرف شده به مسیرهای دیگر را دوباره به مسیر اصلی بازگرداند. استفاده از این موضوع در تحلیل‌های تئوری همانند میزان تاخیر نیز قابل تامل می‌باشد.

۶- مراجع

-عبدی، ع.، صالحی کلام، ا.، صفارزاده، م.، مهدیزاده، غ.، (۱۳۹۶)، "تحلیل ترافیک حرکت- توقف در زنجیره وسایل نقلیه عبوری مبتنی بر تئوری نامتقارنی"، نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، جلد ۴۷، شماره ۱، ص. ۵۹-۷۱.

-صباغ‌زاده، م.، (۱۳۸۷)، "بررسی عملکرد جریان ترافیک در زمان ایجاد موج شوک"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد راه و ترابری، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف.

-محمدی، م.، (۱۳۸۷)، "تحلیل ظرفیت و بررسی عملکرد ترافیک در حالات ویژه آزادراه‌ها"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد حمل‌ونقل، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف.

-محمدیان، ا.، (۱۳۷۲)، "بررسی روابط بین سرعت، چگالی و جریان تردد ترافیک در آزادراه‌ها"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد حمل‌ونقل، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی شریف.

FreeWay Bottlenecks”, Transportation Research Record [T.R.B]. No. 1360, pp.38-41.

-Wirasinghe, S.C. 2011, ”Determination of Traffic Delays Fram Shockwave Analysis”, Transportation Research, Vol.67, pp.343-348.

Congestion”, Transportation Research Record [T.R.B], No.1494, pp.30-39.

-Richard, P, I. (2009), “Shock wave on The Highway”, Operation Research, Vol.51, No.2, pp.42-51.

-Ullman, G.L. (2014), “Queuing and Natural Diversion at Short Term FreeWay Work Zone lane Closures”, Transportation Research Record [T.R.B], No. 1529, pp.19-26.

-Walter C.H., M. Poe C., and A. Skowronek D. (2011), “Recapturing Capacity by Removing