تخمین فاصله عبور بحرانی و زمان دنباله‌روی برای حرکت U-Turn در بریدگی‌ها با استفاده از رگرسیون خطی و چند متغیره

ایرج برگ‌گل، استاد و عضو هیئت‌علمی دانشگاه گیلان، دانشکده فنی
علی جان‌نثار طلوع*، دانشجوی کارشناسی ارشد راه و ترابری، دانشگاه گیلان
تاریخ ارسال مقاله: خرداد ۹۳ تاریخ پذیرش: تیر ۹۳
alijannesartolou@yahoo.com*

چکیده

فاصله عبور و زمان دنباله‌روی دو پارامتر کلیدی برای محاسبه ظرفیت حرکت‌های گردشی در تقاطع‌های بدون چراغ می‌باشند. در خیابان‌ها و محورهای مهم شهری به دلیل حجم و سرعت بالای جریان آمد و شد متداخل، وسایل نقلیه‌ای که قصد انجام حرکت U-Turn را دارند، نیازمند فاصله عبور و زمان دنباله‌روی مناسب برای انجام حرکت گردشی خود می‌باشند. از این رو، اجرای U-Turn از لحاظ ایمنی و کارایی با مشکلاتی رو به رو خواهد بود. تاکنون روش‌های زیادی برای محاسبه فاصله عبور بحرانی ارائه شده که از جمله آن‌ها می‌توان به روش‌های لوجیت، راف، حداکثر درست‌نمایی (MLE) و روش کتاب راهنمای ظرفیت راه‌ها (HCM)، اشاره کرد. در این مقاله، با جمع‌آوری اطلاعات از ۴ بریدگی، واقع در راه‌های شریانی شهر رشت و با استفاده از رگرسیون خطی و چند متغیره، مدلی برای محاسبه زمان دنباله‌روی و فاصله عبور بحرانی ارائه شده است. بر اساس مدل به دست آمده، نشان داده شده که با افزایش زمان تلفشده برای وسایل نقلیه در حرکت U-Turn، فاصله عبور بحرانی کاهش و با افزایش سرعت وسایل نقلیه در مسیر آمد و شد متداخل، فاصله عبور بحرانی افزایش پیدا خواهد کرد. همچنین، بر اساس نتایج به‌دست آمده، افزایش نسبت زمان دنباله‌روی به فاصله عبور بحرانی باعث کاهش ظرفیت در بریدگی خواهد شد.

کلید واژه: U-Turn، فاصله عبور بحرانی، زمان دنباله‌روی، رگرسیون خطی، رگرسیون چند متغیره.

۱- مقدمه

فاصله عبور بحرانی و زمان دنباله‌روی دو پارامتر اساسی در مدل فاصله عبور قابل قبول برای محاسبه و برآورد ظرفیت مسیرهای فرعی می‌باشند. بر اساس تعریف ارائه‌شده در کتاب راهنمای ظرفیت راه‌ها (HCM)، ویرایش سال ۲۰۱۰، فاصله عبور بحرانی، عبارت است از حداقل وقفه زمانی[1] در جریان آمد و شد مسیر اصلی که به وسایل نقلیه مسیر فرعی X، اجازه ورود به تقاطع را می‌دهد. همچنین در این کتاب زمان دنباله‌روی بدین صورت تعریف شده است: زمان دنباله‌روی، برای حرکت X، برابر حداقل زمان متوسط قابل قبول برای خودرو دومی است که در صف خیابان فرعی قرار دارد و می‌تواند از فاصله عبوری که برای عبور دو یا چند خودرو کافی است، استفاده نماید. این شاخص، مشابه نرخ جریان اشباع[2] در تقاطع‌های چراغدار است [۱].

تخمین فاصله عبور بحرانی برای الگوی جریان آمد و شد مشاهده شده یکی از مشکل‌ترین داده‌های خروجی در مهندسی ترافیک می‌باشد. امروزه نزدیک به ۲۰ الی ۳۰ روش مختلف برای محاسبه فاصله عبور بحرانی معرفی شده است که هر یک نتایج نتایج متفاوتی دارند. از جمله این روش‌ها می‌توان به روش‌های حداکثر درستنمایی[1] (MLE)، اشوارتز[2]، راف[3]، هاردر[4]، هیویت[5]، مدل لوجیت[6]، زیک‌لاخ[7] و ... اشاره کرد. همچنین برای محاسبه زمان دنباله‌روی می‌توان از روش‌های مشاهده میدانی، مدل زیک‌لاخ و رگرسیون خطی استفاده نمود.

با توجه به این که در اکثر مقالات ارائه شده توسط محققین مختلف، از روش‌های نام‌برده در بالا برای برآورد فاصله عبور بحرانی استفاده شده، از این رو، در پژوهش حاضر سعی شده تا با جمع‌آوری داده‌های میدانی از بریدگی‌های شهر رشت و با استفاده از تحلیل‌های آماری، مدل‌های خطی و چند متغیره برای فاصله عبور بحرانی و زمان دنباله‌روی، با توجه پارمترهای ترافیکی اثرگذار ارائه شود.

1. Interval Time
2. Saturation Flow Rate

1. Maximum Likelihood Method
2. Ashworth
3. Raff
4. Harder
5. Hewitt
6. Logit Model
7. Siegloch

۲- مروری بر مطالعات پیشین

پن لیو[1] ، برای تخمین ظرفیت U-Turn، از داده‌های مربوط به ۶ بریدگی در شهر «تامپا[2]» استفاده کرده است. این محقق با تقسیم‌بندی میانه‌ها به دو دسته باریک و عریض، محاسبات خود را انجام داده است. این محقق برای محاسبه فاصله عبور بحرانی از روش حداکثر درست‌نمایی (MLE)، استفاده نموده که بر این اساس، مقدار فاصله عبور بحرانی برای میانه‌های عریض و باریک به ترتیب برابر؛ ۶/۴ و ۶/۹ ثانیه، بوده است [۱].

عبدالخالق الطائی[3]، برای تخمین ظرفیت U-Turn، از داده‌های مربوط به ۸ بریدگی شهر دهوک[4] در کردستان استفاده کرده است. در مطالعه انجام‌شده توسط این محقق، مقدار فاصله عبور بحرانی برای بریدگی‌ها برابر ۳/۵ ثانیه بوده که این مقدار برای بریدگی‌های متراکم‌تر کمتر است [۲].

یانگ و همکاران[5]، برای تخمین ظرفیت U-Turn، از داده‌های مربوط به ۱۰ بریدگی در شهر تامپا استفاده کرده‌اند. این محقق برای برآورد فاصله عبور بحرانی از مدل‌های راف و لوجیت، بهره برده است. بر اساس نتایج این محقق، فاصله عبور بحرانی مقداری متفاوت بین ۵/۸ تا ۷/۴ ثانیه خواهد داشت. یانگ با انجام این مطالعه نشان داده که نتایج مدل‌های راف و لوجیت تفاوت زیادی با یکدیگر ندارند [۳].

۳- تعریف مسئله و اهداف تحقیق

روش‌هایی که تاکنون ارائه شده‌اند، علاوه بر این که محدود به نوع توزیع فاصله عبور بحرانی در مسیر آمد و شد اصلی می‌باشد تنها مقدار نهایی فاصله عبور بحرانی را به عنوان خروجی می‌دهد و چگونگی اثرگذاری سایر پارمترهای ترافیکی بر فاصله عبور بحرانی را مشخص نمی‌نماید. از این رو در مقاله حاضر سعی شده تا با استفاده از رگرسیون چند متغیره، مدلی برای فاصله عبور بحرانی ارائه شود که در آن پارامترهای ترافیکی مؤثر بر فاصله عبور بحرانی شناسایی شده‌اند. یکی دیگر از اهداف این مقاله تعیین زمان دنباله‌روی برای حرکت U-Turn می‌باشد که برای این امر، از روش رگرسیون خطی استفاده شده است.

۴- برداشت و پردازش داده

۴-۱- مکان‌های برداشت داده

در این مقاله ۴ بریدگی، واقع در راه‌های شریانی ۶ خطه شهر رشت، مورد مطالعه قرار گرفته‌اند. بریدگی اول در بزرگراه شهید بهشتی واقع شده است. این بریدگی که پس از پل روگذر و بین میدان گاز و میدان مصلا قرار گرفته است، از این پس به این بریدگی، بریدگی شماره (۱) گفته خواهد شد. بریدگی دوم در بزرگراه خرمشهر، بین میدان مصلا (توشیبا) و شهدا (جانبازان)، قرار گرفته و از این پس به این بریدگی نیز بریدگی (۲) گفته خواهد شد. بریدگی سوم در بزرگراه شهید قلی‌پور و بین میدان‌های جهاد و بهارستان قرار گرفته که از این پس به آن، بریدگی شماره (۳)، گفته خواهد شد. بریدگی چهارم در خیابان شهید انصاری و بین میدان‌های ولی عصر(ع) (فرزانه) و گل‌باغ نماز، قرار گرفته که از این پس به آن بریدگی شماره (۴) گفته خواهد شد. مشخصات هندسی بریدگی‌های نام‌برده در جدول ۱ نشان داده شده است. قابل به ذکر می‌باشد، تمام بریدگی‌هایی که در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته‌اند داری خط مخصوص گردش به چپ می‌باشند.

۴-۲- روش‌های برداشت و پردازش داده‌ها

داده‌ها با استفاده ازفیلم‌برداری و در سه بازه، اوج صبح (۸:۳۰-۷:۳۰)، اوج ظهر (۱۳:۳۰-۱۲:۳۰) و اوج عصر (۱۹-۱۸) انجام شده است. داده‌های ورودی مورد نیاز برای این مقاله شامل فواصل عبور، زمان تأخیر، سرعت آمد و شد متداخل و زمان تخلیه صف (وسایل نقلیه گردشی) می‌باشند.

نام بریدگی	ویژگی‌های هندسی			مشخصات لچکی		
	طول دهانه بریدگی (متر)	عرض میانه (متر)	تعداد خط درهرجهت	عرض خط(متر)	طول جابجایی (متر)	طول خط کاهش سرعت(متر)
۱	۱۵	۳/۵	۳	۱۰/۵	۱۲	۲۰
۲	۳۰	۴/۱	۴	۱۰/۵	۳۰	۲۴
۳	۱۷	۳/۵	۳	۱۰/۵	۱۰	۱۳
۴	۱۶	۳	۳	جنوب‌به‌شمال=۹/۵، شمال به جنوب=۱۱	۷	۲۶

جدول ۱- مشخصات هندسی بریدگی‌های مورد مطالعه

1. Pan Liu
2. Tampa
3. Abdul Khalik Al-Taei
4. Duhok
5. Yang et al

فاصله عبور وسایل نقلیه در مسیر اصلی، فاصله زمانی بین دو وسیله نقلیه متوالی از یک نقطه مرجع بوده که توسط زمان‌سنج ثبت شده است. چنانچه این فواصل عبور توسط وسایل نقلیه ای که قصد انجام حرکت U-Turn دارند، پذیرفته شود، به آن فاصله عبور پذیرفته‌شده[1] گفته و در غیر این صورت به آن فاصله عبور رد شده[2] گفته می شود. در جدول ۲ شاخص‌های آماری مربوط به فواصل عبور برداشت شده از بریدگی‌های مورد مطالعه نشان داده شده‌اند. همان‌طور که در جدول ۲ دیده می‌شود، تعداد فواصل عبور پذیرفته‌شده برای بریدگی (۱) در اوج صبح برابر ۲۷۰ داده و برای فواصل عبور رد شده برابر ۱۰۹ داده است. این تفاوت در تعداد داده‌های فواصل عبور پذیرفته و رد شده بدین سبب می‌باشد که یک وسیله نقلیه برای انجام حرکت U-Turn با ایمنی کافی نیازمند انتخاب یک فاصله عبور مناسب از بین چندین فاصله عبور در مسیر آمد و شد اصلی می‌باشد. با توجه به جدول ۲، مقدار حداقل و حداکثر فواصل عبور پذیرفته‌شده به ترتیب در بازه ۱/۵ الی ۳/۵ و ۸ الی ۲۰ قرار دارند. همچنین مقدار حداقل و حداکثر فواصل عبور رد شده به ترتیب در بازه ۱ الی ۱/۵ و ۴/۵ الی ۱۵ قرار دارند.

برای برآورد زمان تخلیه صف، زمان شروع حرکت U-Turn توسط اولین وسیله نقلیه در صف تا پایان حرکت U-Turn توسط آخرین وسیله نقلیه در صف، به وسیله زمان‌سنج ثبت شده است. هر صف حداقل بیش از یک وسیله نقلیه تشکیل شده است. با توجه به این که بعضی مواقع بیش از یک صف در برای انجام حرکت گردشی ایجاد می‌شود، فاصله عبور و زمان تخلیه برای هر یک از این صف‌ها به‌طور جداگانه محاسبه شده است. یکی دیگر از پارامترهایی که به عنوان داده ورودی مورد استفاده قرار گرفته است، سرعت وسایل نقلیه در مسیر آمد و شد متداخل می‌باشد که نشان‌دهنده میزان سرعت وسایل نقلیه در بریدگی تحت تأثیر حرکت U-Turn وسایل نقلیه گردشی است.

نام بریدگی	شاخص آماری	فاصله عبور پذیرفته‌شده (ثانیه)			فاصله عبور رد شده (ثانیه)		
		اوج صبح	اوج ظهر	اوج عصر	اوج صبح	اوج ظهر	اوج عصر
۱	میانگین	۶/۰	۶/۰	۵/۱	۲/۰	۲/۰	۱/۷
	کمینه	۲/۵	۳/۰	۳/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰
	بیشینه	۱۶/۰	۱۶/۰	۸/۰	۷/۵	۵/۰	۴/۵
	مجموع	۱۶۲۰/۲۰	۶۴۸/۰	۴۴۲/۵	۱۹۴۴/۵	۵۶۱/۵	۶۳۶/۵
	تعداد داده	۲۷۰/۰	۱۰۹/۰	۸۷/۰	۹۶۳/۰	۲۷۷/۰	۳۷۰/۰
۲	میانگین	۵/۰	۶/۱	۶/۵	۲/۶	۱/۸	۱/۷
	کمینه	۲/۵	۲/۵	۳/۰	۱/۰	۱/۰	۱/۰
	بیشینه	۱۰/۰	۱۵/۵	۱۳/۰	۱۵/۰	۶/۵	۵/۵
	مجموع	۸۱۵/۵	۱۶۷۴/۰	۱۲۶۳/۰	۲۴۸۵/۵	۱۶۵۸/۰	۱۰۷۴/۵
	تعداد داده	۱۶۳/۰	۲۷۳/۰	۱۹۵/۰	۹۵۰/۰	۹۵۰/۰	۶۱۹/۰
۳	میانگین	۶/۵	۵/۵	۵/۳	۲/۳	۱/۸	۱/۷
	کمینه	۳/۵	۲/۵	۲/۰	۱/۵	۱/۰	۱/۰
	بیشینه	۱۲/۵	۱۱/۵	۱۱/۵	۶/۰	۵/۵	۵/۰
	مجموع	۱۵۳۴/۵	۱۲۹۶/۵	۱۰۰۸/۵	۱۱۴۶/۰	۱۰۸۹/۰	۹۴۵/۵
	تعداد داده	۲۳۸/۰	۲۳۸/۰	۱۹۲/۰	۵۰۸/۰	۶۱۶/۰	۵۶۰/۰
۴	میانگین	۹/۱	۸/۱	۷/۵	۲/۶	۲/۱	۲/۲
	کمینه	۳/۵	۲/۵	۱/۵	۱/۵	۱/۰	۱/۰
	بیشینه	۱۹/۰	۱۸/۰	۲۰/۰	۱۱/۵	۱۱/۰	۱۱/۵
	مجموع	۱۹۸۲/۵	۱۷۶۴/۵	۱۹۰۸/۰	۱۱۹۳/۵	۹۳۶/۵	۱۳۸۹/۵
	تعداد داده	۲۷۸/۰	۲۱۸/۰	۲۵۵/۰	۴۶۰/۰	۴۶۰/۰	۶۳۴/۰

جدول ۲- شاخص آماری فواصل عبور برداشت شده از بریدگی‌های مورد مطالعه

1. Accepted-Gap
2. Rejected-Gap

زمان تأخیر برای وسایل نقلیه ای که قصد U-Turn دارند، از زمان کاهش سرعت تا زمانی که شروع به حرکت U-Turn می‌کنند، با استفاده از زمان‌سنج ثبت شده است. در جدول ۳، شاخص‌های آماری زمان تأخیر و سرعت آمد و شد متداخل نشان داده شده است. مقادیر حداقل و حداکثر برای زمان تأخیر به ترتیب در بازه ۱ تا ۴ (ثانیه بر وسیله نقلیه) و ۲۲ تا ۳۸ (ثانیه بر وسیله نقلیه)، قرار دارند. همچنین با توجه به جدول ۳، مقادیر حداقل و حداکثر برای سرعت آمد و شد متداخل به ترتیب در بازه ۹ تا ۲۹ (ثانیه بر وسیله نقلیه) و ۴۲ تا ۶۳ (ثانیه بر وسیله نقلیه)، قرار دارند. با توجه به این که در محل اکثر بریدگی‌ها از سرعت‌گیر برای کاهش تصادفات، استفاده شده است، لذا برداشت سرعت‌های کم، مثل ۹ کیلومتر در ساعت دور از ذهن نیست.

۴-۳- تخمین فاصله عبور بحرانی

پس از تعیین نیازها ، خدمات کاربر سیستم‌های هوشمند مرتبط با هر نیاز مشخص می شود. تعیین خدمات کاربر در واقع گام اصلی و ابتدایی جهت ساخت معماری منطقه‌ای می‌باشد. خدمات کاربر مشخص کننده آن است که چه سیستم هوشمندی جهت برآورده کردن نیاز می‌بایست استفاده شود و چگونگی فعالیت آن را بیان نمی‌کند[۸].

نام بریدگی	شاخص آماری	زمان تأخیر (ثانیه بر وسیله نقلیه)			سرعت آمد و شد متداخل (کیلومتر بر ساعت)		
		اوج صبح	اوج ظهر	اوج عصر	اوج صبح	اوج ظهر	اوج عصر
۱	میانگین	۱۳/۰	۳۰/۰	۱۰/۰	۲۹/۰	۲۸/۰	۲۴/۰
	کمینه	۲/۰	۲/۰	۲/۰	۱۷/۰	۱۳/۰	۹/۰
	بیشینه	۳۳/۰	۳۰/۰	۳۰/۰	۵۴/۰	۵۴/۰	۵۰/۰
	مجموع	۱۳۲۵/۰	۸۵۸/۰	۸۵۰/۰	۳۴۷۴/۰	۳۲۸۰/۰	۲۸۴۵/۰
۲	میانگین	۱۰/۰	۱۱/۰	۱۰/۰	۴۵/۰	۳۸/۰	۴۱/۰
	کمینه	۱/۰	۲/۰	۲/۰	۲۹/۰	۲۰/۰	۲۰/۰
	بیشینه	۳۰/۰	۳۱/۰	۲۵/۰	۶۹/۰	۶۵/۰	۶۳/۰
	مجموع	۷۹۸/۰	۸۷۶/۰	۶۱۷/۰	۴۹۴۰/۰	۴۴۹۱/۰	۴۸۴۸/۰
۳	میانگین	۸/۰	۹/۰	۸/۰	۳۳/۰	۲۹/۰	۳۰/۰
	کمینه	۱/۰	۲/۰	۲/۰	۱۸/۰	۱۵/۰	۱۸/۰
	بیشینه	۲۲/۰	۲۲/۰	۲۷/۰	۴۷/۰	۴۴/۰	۴۲/۰
	مجموع	۶۱۹/۰	۶۳۹/۰	۵۲۸/۰	۳۸۸۹/۰	۳۴۴۳/۰	۳۵۸۴/۰
۴	میانگین	۹/۰	۱۰/۰	۱۲/۰	۳۰/۰	۲۶/۰	۳۳/۰
	کمینه	۲/۰	۳/۰	۴/۰	۱۸/۰	۱۴/۰	۱۸/۰
	بیشینه	۳۷/۰	۳۸/۰	۳۳/۰	۶۳/۰	۵۸/۰	۵۱/۰
	مجموع	۷۰۶/۰	۷۷۹/۰	۷۹۰/۰	۴۱۲۹/۰	۳۵۷۰/۰	۳۸۷۳/۰

جدول ۳- شاخص آماری زمان تأخیر و سرعت آمد و شد برداشت شده از بریدگی‌های مورد مطالعه

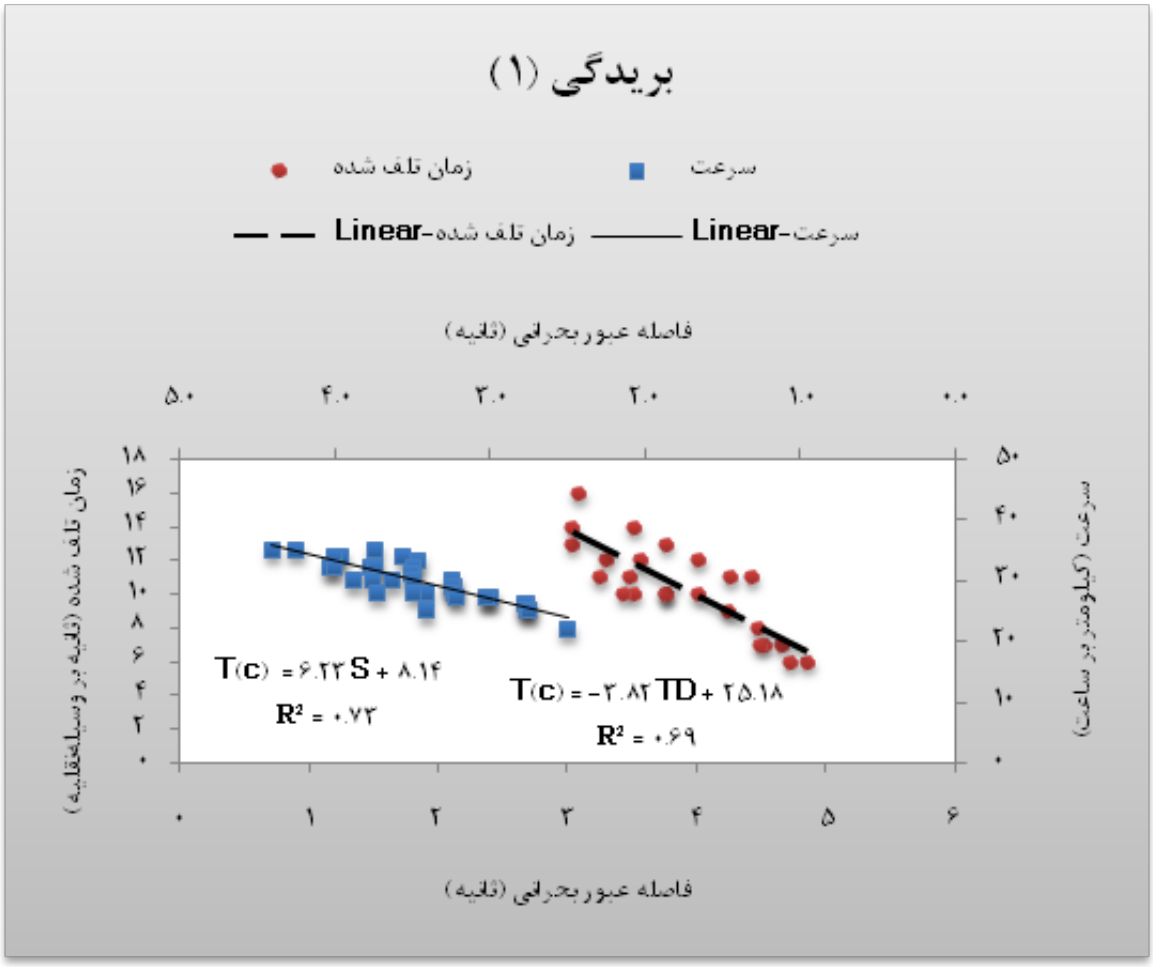
برای تخمین این گونه موارد دو تکنیک آماری معروف وجود دارد که عبارتند از تحلیل تمایزات[1] و رگرسیون لجستیک[2] . در این مقاله برای محاسبه فاصله عبور بحرانی از رگرسیون لجستیک استفاده خواهد شد که نسبت به تحلیل تمایزات ابزاری قوی‌تر است. قابل ذکر است با استفاده از این روش فقط مقدار فاصله عبور بحرانی به دست خواهد آمد که در نهایت با استفاده از رگرسیون چند متغیره مدلی برای برآورد فاصله عبور بحرانی ارائه خواهد شد.

رگرسیون لجستیک، شبیه رگرسیون معمولی است با این تفاوت که روش تخمین ضرایب یکسان نمی‌باشد. در رگرسیون لجستیک به‌جای حداقل کردن مجذور خطاها (که در رگرسیون معمولی انجام می‌گیرد)، احتمالی را که یک واقعه رخ می‌دهد، حداکثر می‌کند و در آن از مفهومی به نام نسبت برتری[3] استفاده شده و لگاریتم نسبت برتری بر اساس رابطه (۱) محاسبه می‌شود. این مدل به مدل لوجیت معروف است [۴].

$$\ln\left(\frac{p_i}{1-p_i}\right) = \beta_0 + \beta_1 t_g \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

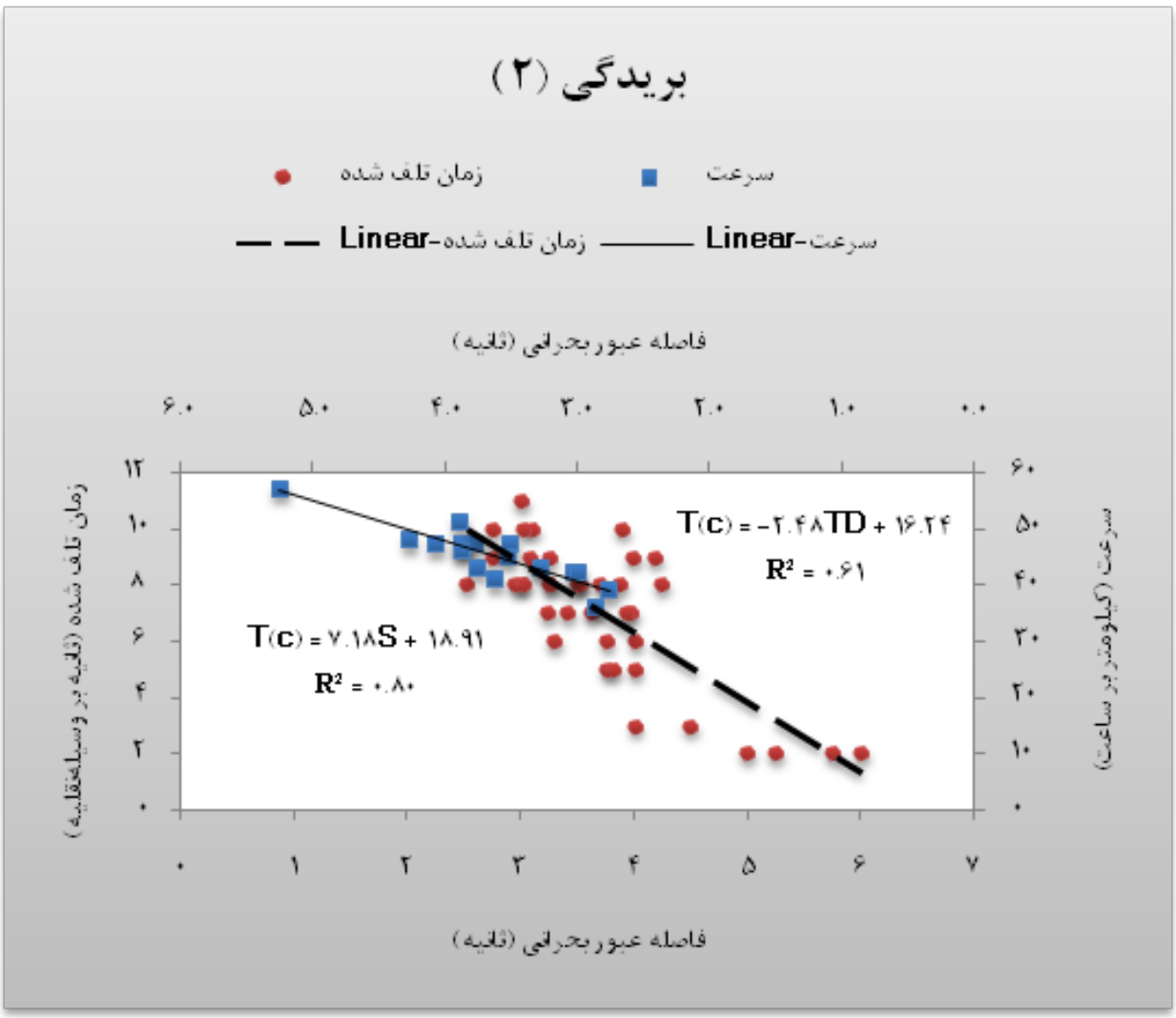
که در آن p_i ؛ احتمال پذیرفتن فاصله عبور، t_g ؛ فواصل عبور در مسیر اصلی (ثانیه)، β_0 و β_1 ؛ضرایبی که با استفاده از نرم‌افزار به دست می‌آیند. با توجه به شکل‌های ۱ الی ۴، می‌توان معادله چندمتغیره زیر را با توجه به پارامترهای زمان تلف‌شده و سرعت آمد و شد متداخل، برای برآورد فاصله عبور بحرانی در نظر گرفت.

$$t_c = C + a \cdot S - b \cdot t_d \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

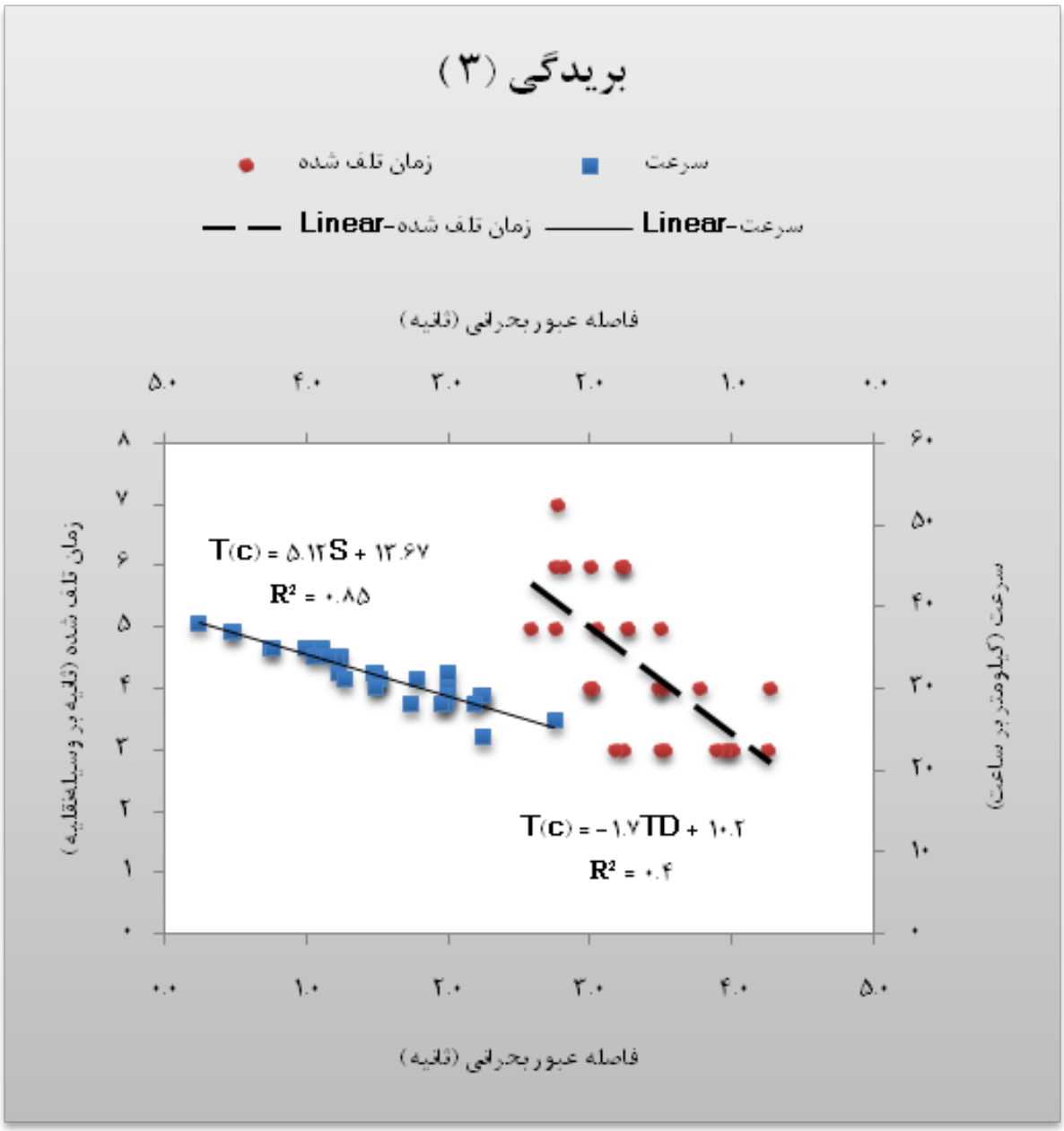


شکل ۱- چگونگی تغییرات فاصله عبور بحرانی با توجه به تغییرات زمان تلف‌شده و سرعت آمد و شد متداخل برای بریدگی (۱)

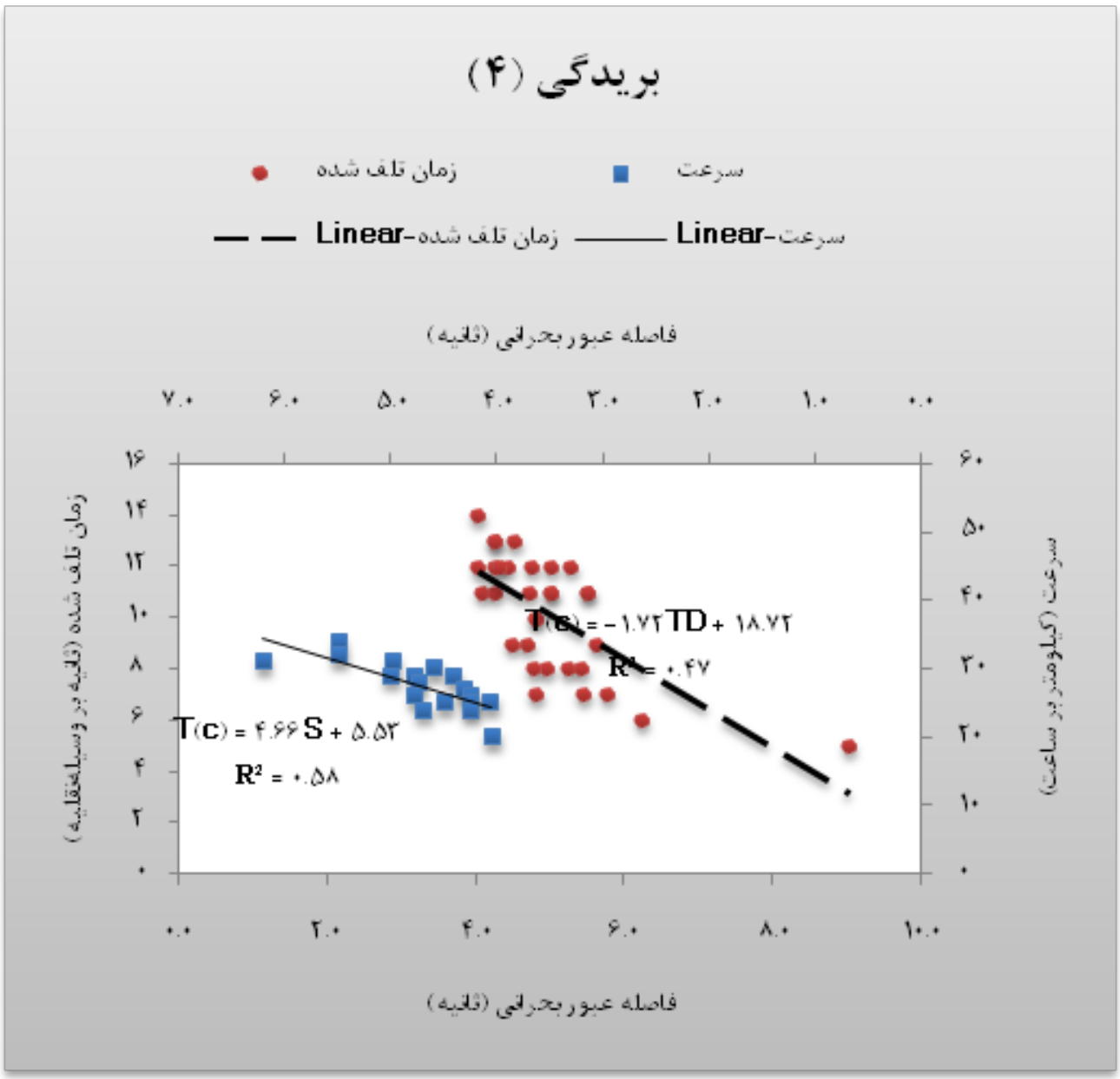
1. Discriminant Analysis
2. Logistic Regression
3. Odd Ratio



شکل ۲- چگونگی تغییرات فاصله عبور بحرانی با توجه به تغییرات زمان تلف‌شده و سرعت آمد و شد متداخل برای بریدگی (۲)



شکل ۳- چگونگی تغییرات فاصله عبور بحرانی با توجه به تغییرات زمان تلف‌شده و سرعت آمد و شد متداخل برای بریدگی (۳)



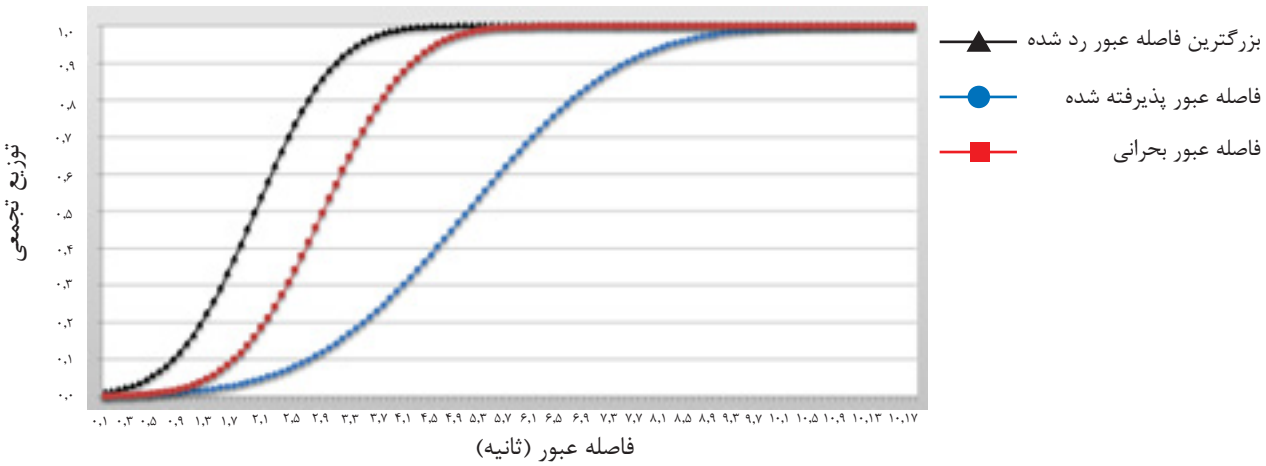
شکل ۴- چگونگی تغییرات فاصله عبور بحرانی با توجه به تغییرات زمان تلفشده و سرعت آمد و شد متداخل برای بریدگی (۴)

که در رابطه (۲)، t_c؛ فاصله عبور بحرانی (ثانیه)، S؛ سرعت آمد و شد در مسیر متداخل (کیلومتر بر ساعت)، ؛ t_{dz}؛ تلف شده (ثانیه بر وسیله نقلیه)، C؛ مقدار ثابت معادله می‌باشد که برای بریدگی‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ به ترتیب برابر ۱، ۲/۵، ۰/۵ و ۲ اختیار شده است. پارامترهای a و b نیز با استفاده از نرم افزار تعیین می‌شود. خروجی به دست آمده از نرم‌افزار آماری در جدول (۴) نشان داده شده است.

با توجه به مطالعات صورت گرفته در این مقاله، نشان داده شده که رانندگان فاصله عبور کوچک تر از فاصله عبور بحرانی را رد می‌کنند و فاصله عبور مطابق شکل ۵ بیشتر از فاصله عبور بحرانی را برای عبور از مسیر آمد و شد متداخل خواهند پذیرفت. برای نمونه نتایج به دست آمده برای بریدگی (۱) درجدول ۴ نشان داده شده است. این نتیجه مطابق با مطالعات انجام شده توسط محققین مختلف است.

نام بریدگی	Parameter	Estimate	Std. Error	%95 Confidence Interval		R squared
				Lower Bound	Upper Bound	
۱	a	۰/۰۹۰	۰/۰۰۳	۰/۰۸۳	۰/۰۹۶	۰/۷۰۷
	b	۰/۰۲۲	۰/۰۱۰	۰/۰۰۱	۰/۰۴۳	
۲	a	۰/۰۷۱	۰/۰۰۵	۰/۰۶۰	۰/۰۸۱	۰/۷۳۰
	b	۰/۰۸۸	۰/۰۲۶	۰/۰۳۴	۰/۰۱۴۲	
۳	a	۰/۱۴۰	۰/۰۱۰	۰/۱۱۹	۰/۱۶۲	۰/۶۱۲
	b	۰/۶۷۰	۰/۰۴۸	-۰/۳۱۵۰	۰/۱۶۹	
۴	a	۰/۱۱۲	۰/۰۰۹	۰/۰۹۳	۰/۰۱۳	۰/۶۱۲
	b	۰/۳۷۰	۰/۰۲۴	-۰/۱۴۰	۰/۰۸۸	

جدول ۴- خروجی نرم‌افزار برای تخمین فاصله عبور بحرانی بر اساس رابطه غیرخطی (۳)



شکل ۵- منحنی فاصله عبور قابل‌قبول برای حرکت U-Turn (بریدگی ۱)

۴-۴- تخمین زمان دنباله‌روی

علاوه بر فاصله عبور بحرانی، زمان دنباله‌روی نیز یکی از پارامترهای مهم برای محاسبه ظرفیت در تقاطع‌های بدون‌چراغ می‌باشد. علاوه بر این که مقدار زمان دنباله‌روی برای رانندگان مختلف مقادیری متفاوت را نتیجه می‌دهد، به عوامل دیگری از جمله نوع تقاطع، نوع حرکت گردشی (گردش به راست، گردش به چپ و U-Turn) و شرایط ترافیکی، بستگی دارد [۵].

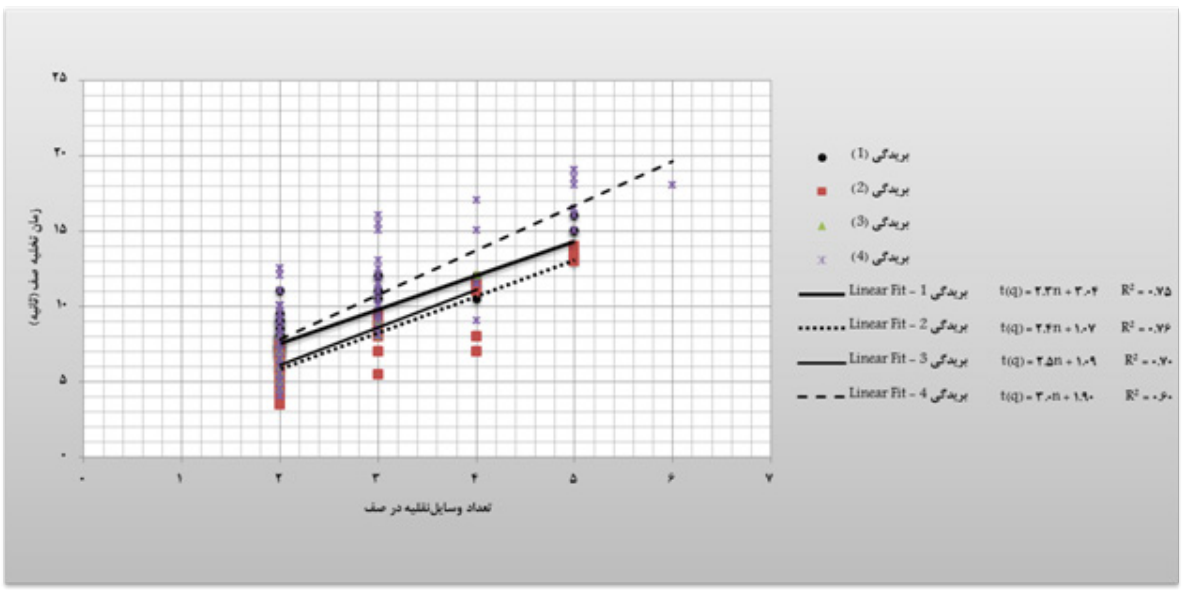
در این مقاله برای برآورد زمان دنباله‌روی از مدل رگرسیون خطی استفاده شده است. در مدل رگرسیون خطی از داده‌های زمان تخلیه صف وسایل نقلیه در حرکت U-Turn و تعداد وسایل نقلیه در هر صف، به‌ترتیب به‌عنوان متغیر وابسته و مستقل استفاده شده است. نمونه کامل از مدل رگرسیون در رابطه (۳) نشان داده شده است.

$$t_q = \alpha + \beta \cdot n + \varepsilon \qquad \text{(رابطه ۳)}$$

که در رابطه (۳)، t_q ؛ زمان تخلیه صف برای وسایل نقلیه‌ای که به‌طور پیوسته حرکت U-Turn را در فاصله عبور همسان انجام می‌دهند (ثانیه)، α ؛ زمان از دست رفته در زمان شروع حرکت[1] اولین وسیله نقلیه به اضافه زمان پایان حرکت U-Turn برای آخرین وسیله نقلیه در یک صف (ثانیه)، β ؛ زمان دنباله‌روی (سرفاصله زمانی اشباع) (ثانیه) و ε ؛ مقدار خطا، می‌باشد.

تنها وسایل نقلیه‌ای که وارد خط ذخیره گردش به چپ قبل از شروع حرکت اولین وسیله نقلیه شده‌اند، در محاسبه تعداد وسایل نقلیه قرارگرفته در یک صف محسوب می‌شوند و وسایل نقلیه‌ای که پس از حرکت اولین وسیله نقلیه صف وارد خط ذخیره گردش به‌چپ می‌شوند، از شمار تعداد وسایل نقلیه قرارگرفته در یک صف خارج خواهند شد. همچنین قابل به ذکر می‌باشد که هر صف حداقل از دو وسیله نقلیه تشکیل شده است.

در نتیجه، مدل‌های به دست آمده برای تخلیه صف حرکت U-Turn در شکل (۶)، نشان داده شده است. بر اساس معادلات به‌دست آمده از رگرسیون خطی، زمان دنباله‌روی برای بریدگی‌های ۱ الی ۴ به‌ترتیب برابر؛ ۲/۳، ۲/۴، ۲/۵ و ۳ ثانیه خواهد بود.



شکل ۶- مدل تخلیه صف برای حرکت U-Turn

1. Start-up Lost Time

۴-۵- نسبت زمان دنباله‌روی به فاصله عبور بحرانی

بر اساس مطالعات انجام‌شده توسط محققین مختلف و کتاب HCM (ویرایش سال ۱۹۸۵)، نشان داده شده که نسبت زمان دنباله‌روی به فاصله عبور بحرانی برای حرکات گردش به‌چپ و گردش به راست، مقداری ثابت و برابر ۰/۶ می‌باشد [۶] .

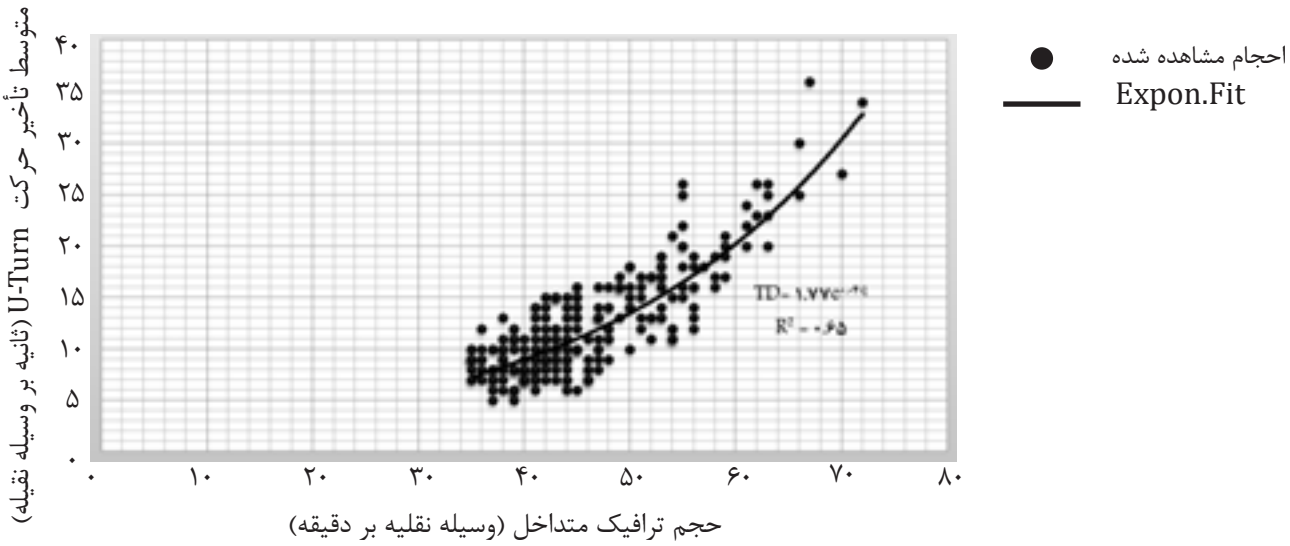
حرکت گردشی U-Turn نسبت به سایر حرکات گردشی، دور از ذهن نمی‌باشد. اما در بریدگی ۳ مقدار این نسبت به سایر بریدگی‌ها کمتر و حداکثر برابر ۰/۶ است. با افزایش زمان دنباله‌روی و کاهش فاصله عبور بحرانی نسبت این دو پارامتربه یکدیگر افزایش خواهد یافت. از طرفی با کاهش فاصله عبور

نام بریدگی	فاصله عبور بحرانی (ثانیه)			زمان دنباله‌روی (ثانیه)	نسبت		
	اوج صبح	اوج ظهر	اوج عصر		اوج صبح	اوج ظهر	اوج عصر
۱	۳/۳	۲/۹	۲/۹	۲/۳	۰/۷	۰/۸	۰/۸
۲	۳/۳	۲/۷	۳/۰	۲/۴	۰/۷	۰/۹	۰/۸
۳	۵/۱	۴/۵	۴/۷	۲/۵	۰/۵	۰/۶	۰/۵
۴	۴/۰	۳/۵	۴/۳	۳/۰	۰/۸	۰/۶	۰/۷

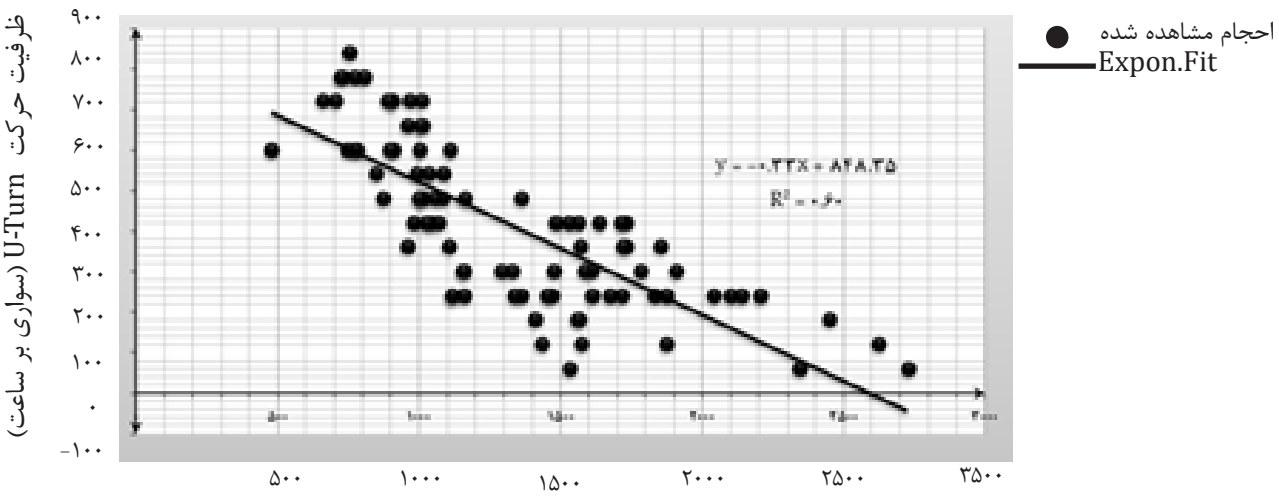
جدول ۵- نسبت زمان دنباله‌روی به فاصله عبور بحرانی برای بریدگی‌های مورد مطالعه

اما در این مقاله مقدار این نسبت برای حرکت گردشی U-Turn محاسبه شده که در جدول ۵ برای هر کدام از بریدگی‌ها نشان داده شده است.

همان‌طور که در جدول ۵ دیده می‌شود، مقدار نسبت زمان دنباله‌روی به فاصله عبور بحرانی برای بریدگی‌های ۱، ۲ و ۴ بیشتر از ۰/۶ می‌باشد که با توجه به پیچیدگی نوع بحرانی، با توجه به مطالب گفته‌شده می‌توان نتیجه گرفت که زمان تلف‌شده افزایش پیدا خواهد کرد. همان‌طور که در شکل ۷ دیده می‌شود با افزایش زمان تلف‌شده (TD)، ظرفیت آمد و شد وسایل نقلیه در مسیر اصلی (q) افزایش خواهد یافت. لذا، با توجه به شکل ۸ ، ظرفیت U-Turn در بریدگی کم خواهد شد.



شکل ۷- حجم آمد و شد متداخل بر زمان تلف‌شده برای حرکت U-Turn در بریدگی



شکل ۸- تأثیر نسبت زمان دنباله‌روی به فاصله عبور بحرانی بر ظرفیت حرکت U-Turn

۵- نتیجه‌گیری

نتایج به دست آمده از این مقاله عبارتند از:

۱- فاصله عبور بحرانی از تابع چندجمله‌ای پیروی می‌نماید که وابسته به پارامترهای زمان تلف‌شده (برای وسایل نقلیه گردشی) و سرعت آمد و شد متداخل می‌باشد.

۲- با توجه به مطالعات صورت گرفته در این مقاله، نشان داده شده که رانندگان فاصله عبور کوچکتر از فاصله عبور بحرانی را رد می‌کنند و فاصله عبور بیشتر از فاصله عبور بحرانی را برای عبور از مسیر آمد و شد متداخل خواهند پذیرفت.

۳- افزایش سرعت آمد و شد متداخل و کاهش زمان تلف‌شده باعث افزایش فاصله عبور بحرانی خواهد شد.

۴- زمان دنباله‌روی با زمان تخلیه صف حرکت U-Turn رابطه مستقیم و تعداد وسایل نقلیه صف U-Turn، رابطه عکس دارد. به عبارتی با افزایش زمان تخلیه صف حرکت U-Turn، زمان دنباله‌روی افزایش و با افزایش تعداد وسایل نقلیه صف U-Turn، زمان دنباله‌روی کاهش می‌یابد.

۵- بر اساس نتایج به دست آمده، فاصله عبور بحرانی زمان دنباله‌روی برای بریدگی‌های مورد مطالعه، به ترتیب در بازه‌های ۵/۱-۲/۷ ثانیه و ۳-۲/۳ ثانیه، قرار دارد.

۶- ساعات اوج ظهر دارای کمترین فاصله عبور بحرانی می‌باشد.

۷- نسبت فاصله عبور بحرانی به زمان دنباله‌روی در بازه ۰/۹-۰/۵ قرار دارد.

۸- با افزایش نسبت فاصله عبور بحرانی به زمان دنباله‌روی، ظرفیت حرکت U-Turn در بریدگی کاهش خواهد یافت.

۹- سه بریدگی که با قفل شدن‌های بیش از حد آمد و شد در مسیر اصلی به دلیل حرکت U-Turn روبرو هستند، دارای نسبت بالای فاصله عبور بحرانی به زمان دنباله‌روی می‌باشند.

۶- مراجع

1. Transportation Research Board, Highway Capacity Manual, 2010, Published by the National Research Council, Washington DC.

2. Zong Z. Tian, R. Troutbeck, M. Kyte, W. Brilon, A Further Investigation on Critical Gap and Follow-Up Time. Transportation Research Circular E-C018: 4th International Symposium on Highway Capacity. 397-408.

3. Al-Taei, Abdul Khalik, Gap Acceptance, and Traffic Safety Analysis On U-Turn Median OpeningsOf Arterial Roads. 2010, University of Duhok.

۴. تحلیل‌های آماری با استفاده از SPSS، ۱۳۹۱، مؤمنی، م. ، قیومی، ع.ف. ، انتشارات گنج شایگان، ۱-۲۹۷.

۵. پژوهش نامه حمل و نقل، ۱۳۸۹، تحلیل ایمنی دور برگردان‌های اجراشده در شهر تهران، سال هفتم، شماره دوم.

6. W. Brilon, R. Koenig, Rod J. Troutbeck, 1999, Useful estimation procedures for critical gaps. Transportation Research, 161-186.