

## محاسبه هزینه‌های خارجی ناشی از تراکم ترافیک اقتصاد حمل و نقل

اسماعیل آیتی<sup>۱</sup>، سعیده سبزی علی جماعت<sup>۲</sup>

۱- استاد تمام، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

۲- کارشناس ارشد راه و ترابری، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد

### چکیده

تراکم ترافیک به دلیل رقابت بین استفاده کنندگان از ظرفیت محدود سیستم حمل و نقل بوجود می‌آید. این پدیده اجتماعی با بروز مشکلاتی چون اتلاف وقت، آلودگی هوا و صوت، هدر رفتن سرمایه‌های ملی مانند انواع سوخت‌های لازم، مشکلات روحی و روانی، ناراحتی‌های عصبی و ... همراه است. به همین دلیل امروزه شناسایی و برآورد هزینه‌های خارجی ناشی از تراکم ترافیک اهمیت فراوانی یافته است و توجه محققان جامعه را به خود جلب نموده است. در این مقاله با مروری بر مطالعات انجام شده پارامترهای تاثیرگذار بر این هزینه‌ها شناسایی شده است. این پارامترها شامل هزینه‌های ناشی از تراکم ترافیک که شامل هزینه‌های عملکردی خودرو، آلودگی هوا، زمان سفر و تصادفات می‌باشد. سپس به بررسی روش‌های مختلف جهت محاسبه هر یک از این هزینه‌ها پرداخته شده است و بر اساس روش‌های داده‌برداری موجود روش محاسبه هر پارامتر ارائه گردیده است. محاسبه هزینه‌های خارجی تراکم با این تعداد پارامترهای موثر بر آن و با استفاده از داده‌های بومی ویژگی خاص و نوآوری این مقاله بوده است. البته بدیهی است در صورت افزایش کیفیت داده‌برداری امکان بهبود روش‌های ارائه شده موجود می‌باشد. نتیجه حاصل از این مقاله ارائه یک روش جامع و عملی جهت محاسبه هزینه‌های خارجی تراکم بزرگراه‌ها می‌باشد که با استفاده از این اطلاعات امکان ارائه راهکارهای مناسب جهت سرمایه‌گذاری صحیح جهت رفع این معضل میسر می‌گردد.

**کلید واژه:** هزینه خارجی، تراکم ترافیک، تصادفات ترافیکی، آلودگی هوا، هزینه عملکردی

### ۱. مقدمه

پرداخت شود". بنابراین بر اساس این نظریه‌ها باید این هزینه در حمل و نقل به طور کامل شناسایی و به واحدهای پولی تبدیل گردند تا بتوان راهکارهای مناسب برای کاهش یا درونی نمودن این هزینه‌ها را ارائه نمود [۱].

از سوی دیگر با رشد سریع شهرنشینی در دهه‌های اخیر، حمل و نقل شهری به یکی از مسائل عمده شهری تبدیل شده است. هنگامی که انسان برای رفع نیازهای گسترده زندگی خود مجبور است از فن‌آوری و دستاورد صنعتی به نام اتومبیل استفاده کند، حذف این وسیله از زندگی اجتماعی روزانه به معنای نابود شدن تلقی می‌گردد (همانند حذف آب و اکسیژن). این دستاورد صنعتی نخستین پیامدی را که به جامعه انسانی عرضه می‌کند، معضلی به نام تردد خودروها و عدم تناسب اتومبیل‌ها با امکانات توسعه عمران شهری در مسئله حمل و نقل است. به عبارت دیگر این مشکل اجتماعی، تراکم ترافیک نامیده می‌شود. این

در کنار مزایای مهم صنعت حمل و نقل، آثار جانبی مانند جراحت و مرگ، آلودگی‌های زیست محیطی، زمان سفر طولانی و ناکارای، هدر رفتن انرژی، موجب خسارت‌های محیطی فراوانی شده و مسائل اجتماعی و اقتصادی فراوانی را ایجاد می‌نماید. این موارد هر کدام دارای هزینه‌های بالایی هستند که با توجه به نظریه رفاه اقتصادی باید توسط افرادی که آن را ایجاد کرده‌اند پرداخت شود. بخشی از این هزینه‌ها توسط عاملین آن پرداخت می‌شود، اما بخش زیادی از این هزینه‌ها که هزینه‌های خارجی می‌شوند توسط جامعه و دولت پرداخت می‌گردند. مشکل اصلی هزینه‌های خارجی از آن‌جا ناشی می‌شود که توسط افرادی که آن‌ها را به وجود می‌آورند، پرداخت نمی‌شود و این در تناقض با نظریه‌های اقتصادی است که بیان می‌کنند "هر هزینه‌ای که ایجاد می‌شود باید توسط عاملین ایجاد کننده آن

## ۲. تئوری

همان گونه که در بخش‌های قبلی اشاره شد در مطالعات مختلف پارامترهای گوناگونی به عنوان عوامل موثر بر هزینه‌های خارجی تراکم در نظر گرفته می‌شود. اکثر مطالعات انجام شده در این زمینه در خصوص پارامترهای، هزینه افزایش زمان سفر، هزینه‌های عملکردی خودروها و آلودگی هوا توافق دارند. اما تغییرات هزینه تصادف بحث برانگیزترین پارامتر موثر بر هزینه‌های خارجی تراکم می‌باشد چرا که در نگاه نخست به نظر می‌رسد با کاهش سرعت و افزایش تراکم شدت و نرخ تصادفات کاهش یافته و لذا تراکم، هزینه‌های تصادفات را کاهش خواهد داد. این در حالی است که مطالعات انجام شده نشان می‌دهد سرعت مجاز ۶۰ کیلومتر بر ساعت بیشترین کاهش تصادفات را در بر خواهد داشت و این به معنی افزایش هزینه‌های تصادف برای سرعت‌های کمتر از ۶۰ کیلومتر بر ساعت نسبت به این سرعت بهینه خواهد بود [۶]. از دیگر پارامترهای موثر بر این هزینه‌ها افزایش سطح استرس و تنش‌های عصبی تحمیل شده بر افرادی است که زمان خود را در تراکم ترافیک از دست داده‌اند.

در این بخش از مطالعه به بررسی مدل‌ها و روش‌های برآورد هزینه‌های هر یک از پارامترهای عنوان شده در فوق پرداخته شده است. سپس با تجزیه و تحلیل روش‌های یاد شده، روش پیشنهادی برای محاسبه این پارامترها با توجه به آمار و اطلاعات موجود ارائه گردیده است.

### ۲,۱. هزینه تاخیرات

#### ۲,۱,۱. روش‌های ارزش‌گذاری زمان سفر

ارزش‌گذاری زمان سفر عموماً از طریق مقایسه بین دو نوع وسیله حمل و نقل یا دو مسیر و یا از طریق مقایسه سفر با یک فعالیت اقتصادی انجام می‌شود. در ادبیات ارزش‌گذاری زمان سفر دو روش طرح تبادلی و روش نرخ دستمزد به صورت عمده استفاده می‌شود که در این مطالعه از روش نرخ دستمزد استفاده گردیده است. در مرحله اول می‌بایست ارزش هر ساعت زمان سفر تعیین شود و سپس بر اساس ارزش هر ساعت زمان سفر، مقدار هزینه زمان سفر مورد محاسبه قرار گیرد که در ادامه این بخش به ارائه مدل مربوطه پرداخته شده است.

#### ۲,۱,۲. مدل ارزش زمان سفر

بر اساس نوع اطلاعاتی که مرکز آمار ایران و یا بانک مرکزی ایران

پدیده اجتماعی با بروز مشکلاتی چون اتلاف وقت، هدر دادن فرصت‌های مناسب زندگی، آلودگی هوا، هدر رفتن سرمایه‌های ملی مانند انواع سوخت‌های لازم، مشکلات روحی و روانی، ناراحتی‌های عصبی و... همراه است. تراکم به دلیل رقابت بین استفاده‌کنندگان از ظرفیت محدود سیستم حمل و نقل بوجود می‌آید و به عنوان یکی از مهم‌ترین و پرهزینه‌ترین اثرات خارجی صنعت حمل و نقل جاده‌ای شناخته می‌شود [۲].

### ۱. تجربیات گذشته

در خصوص هزینه‌های خارجی در ایران مطالعاتی صورت پذیرفته است که از جمله آن می‌توان به کتاب "شناسایی و بررسی‌های محاسبه هزینه‌های خارجی حمل و نقل زمینی در ایران" اشاره نمود [۱]. اما مطالعات انجام شده در این زمینه بر هزینه‌های تصادفات و آلودگی هوا تمرکز بیشتری داشته و عموماً هزینه‌های خارجی ناشی از تراکم و روش‌های محاسبه آن مغفول مانده است.

در مقاله ای هزینه‌های خارجی ناشی از تراکم برای سه آزادراه مهم کشور مورد محاسبه و بررسی قرار گرفته است که در نتیجه این مطالعه بیشترین هزینه تراکم سالیانه مربوط به آزادراه تهران-قم به میزان ۱۳۰/۴ میلیارد ریال و کمترین مربوط به محور اصلی کرج-چالوس به میزان ۲۰/۷ میلیارد ریال می‌باشد [۲].

موضوع هزینه‌های خارجی حمل و نقل از سال ۱۹۶۰ به بعد در اروپا مطرح شد. سال ۱۹۷۱ کمیسیون اروپا اولین طرح خود را در رابطه با ایجاد یک سیستم اخذ کرایه برای استفاده از زیرساخت‌ها تصویب کرد. این طرح قیمت‌گذاری نهایی اجتماعی و تعادل بودجه‌ای را مطرح ساخت و در آن هزینه‌های نگهداری، آلودگی صوتی، آلودگی هوا و تصادفات لحاظ شده بود اما این طرح به مرحله اجرا در نیامد [۳].

در پروژه INFRAS/IWW به بررسی هزینه‌های خارجی از جمله هزینه تصادفات، آلودگی هوا، تراکم و غیره پرداخته شده است. مجموع هزینه‌های خارجی حمل و نقل در سال ۱۹۹۵، ۵۳۰ میلیارد یورو یعنی چیزی در حدود ۸ درصد تولید ناخالص ملی کشورهای اروپایی است [۴]. نتایج این پروژه در سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۸ در حال تغییر و بازنگری بوده که بر اساس مطالعات سال ۲۰۰۴ هزینه‌های خارجی ناشی از تراکم در سال ۲۰۰۰، ۶۳ میلیارد یورو یعنی چیزی در حدود ۰/۷ تا ۸/۴ درصد تولید ناخالص ملی کشورهای اروپایی محاسبه شده است [۵].

زمان سفر می‌توان از رابطه ارائه شده در زیر هزینه تاخیرات ناشی از تراکم را محاسبه نمود:

$$C_{Delay}^E = \frac{VOT_T \times T_{CS} \times (T_{CS} \times \beta p \times V_{CS})}{L_{CS}} \quad (3)$$

که در آن:

$C_{Delay}^E$ : هزینه تاخیرات ناشی از تراکم (ریال بر کیلومتر)

$VOT_T$ : ارزش زمان کلیه سفرها برای هر ساعت فرد (ریال بر ساعت)

$\beta p$ : ضریب سرنشین سواری (نفر بر وسیله نقلیه)

$T_{CS}$ : زمان تاخیر نسبت به سطح سرویس  $D$  (ساعت)

$L_{CS}$ : کل مسافت محدوده مورد مطالعه (کیلومتر)

$V_{CS}$ : متوسط حجم تردد وسیله در محدوده مورد مطالعه (وسیله نقلیه بر ساعت)

## ۲.۲. هزینه عملکردی

### ۲.۲.۱. کلیات محاسبه هزینه عملکردی خودرو

یکی از کامل‌ترین و جامع‌ترین مدل‌های ارائه شده در زمینه هزینه‌های مازاد عملکردی ناشی از تراکم در گزارش شماره ۴۵۶، NCHRP ارائه گردیده است. این سیستم که معروف به سیستم نیازهای اقتصادی بزرگراه می‌باشد در سال ۱۹۹۹ به سفارش FHWA تهیه شده و شامل نرم‌افزاری است که مطالعات اقتصادی بزرگراه را بر پایه روش فایده-هزینه و در یک دوره بهره‌برداری محاسبه می‌نماید [۷].

در مطالعه دیگری به جای محاسبه مستقیم هزینه‌های عملکردی یک خودرو به ارائه رابطه‌ای جهت محاسبه مصرف سوخت خودرو نسبت به سرعت پرداخته شده است. در این رابطه از مواردی از قبیل شیب جاده، لغزش چرخ، افت‌های سیستم انتقال قدرت و قوای محرکه، شرایط بهره‌برداری مانند استفاده یا عدم استفاده از سیستم تهویه و ... صرف نظر گردیده و تنها نیروهای مقاوم غلتشی، هوا و اینرسی در نظر گرفته شده که به شرح زیر می‌باشد [۸]:

$$FC = Fe_i \times b_e \times 0.000278 \times \left[ m \times (9.81 \times r_i + 1.05 \times bea) + \left(\frac{v}{3.6}\right) \times m \times g \times r_1 + \left(\frac{v}{3.6}\right)^2 \times 0.6 \times C_d \times A \right] \quad (4)$$

$$bea = 0.45 - 0.007 \times v + 0.00028 \times v^2 \quad (5)$$

$$b_e = 1339 \times v^{-0.305} \quad (6)$$

از ویژگی‌های جمعیتی، شغلی و درآمدی خانوار در هر سال ارائه می‌دهد، ارزش زمان سفر هر ساعت فرد شاغل به شرح رابطه زیر قابل محاسبه است.

$$VOT = \frac{S}{T \times 12 \times P \times D} \quad (1)$$

که در آن:

$VOT$ : ارزش زمان سفر کاری هر ساعت فرد شاغل (ریال بر ساعت)

$S$ : متوسط درآمد خانوار در سال (ریال)

$T$ : متوسط ساعت کاری در ماه

$P$ : متوسط درصد افراد شاغل در هر خانوار

$D$ : بعد خانوار (متوسط جمعیت هر خانوار)

## ۲.۱.۳،۲،۱ متوسط ارزش زمان سفر برای مجموع سفرهای کاری و شخصی

با توجه به آنکه سفرهای کاری در ساعات اوج صبح و عصر صورت می‌گیرد و از آنجا که به طور متوسط کیلومتر اوج طی شده در ساعت اوج درصدی از کیلومتر اوج طی شده در روز می‌باشد و اگر فرض شود که ارتباط مستقیمی بین زمان سفر و کیلومتر سفر برقرار باشد، می‌توان گفت که ارزش زمانی ساعات کاری، درصدی از ارزش زمانی سفرهای کل روز و به همین ترتیب ارزش زمانی سفرهای شخصی مابقی آن را پوشش می‌دهد که بر این اساس می‌توان ارزش زمانی سفر برای کلیه سفرها را مطابق با رابطه زیر تعیین نمود.

$$VOT_T = (VOT \times \alpha_W) \times I_W + (VOT \times \alpha_S) \times I_S \quad (2)$$

که در آن:

$VOT_T$ : ارزش زمان کلیه سفرها برای هر ساعت فرد (ریال بر ساعت)

$VOT$ : ارزش زمان سفر (ریال بر ساعت)

$\alpha_W$ : ضریب ۱/۳۳ برای سفرهای کاری به عنوان سربارهای کارفرما

$\alpha_S$ : ضریب ۰/۵ برای سفرهای غیرکاری

$I_W$ : ضریب سهم سفرهای کاری

$I_S$ : ضریب سهم سفرهای غیرکاری

## ۲.۱.۴ مدل تعیین هزینه تاخیرات ناشی از تراکم

به این ترتیب با توجه به محاسبات انجام شده در خصوص ارزش

نظر گرفته شده برای استفاده از رابطه ارائه شده در این مطالعه در دسته خودروهای با حجم موتور بین ۱/۴ تا ۲ لیتر می‌باشد در نتیجه این نتایج تطابق قابل قبولی نسبت به هم دارد. لذا در این مطالعه پیشنهاد شده در زمان‌هایی که اطلاعات خودرو در اختیار نمی‌باشد می‌توان از رابطه زیر که همان تابع میزان مصرف سوخت COPERT می‌باشد استفاده نمود. که در آن سرعت بر حسب کیلومتر بر ساعت و مصرف سوخت بر حسب گرم بر کیلومتر محاسبه می‌شود.

$$FC = \frac{a + c.v + e.v^2}{1 + b.v + d.v^2} \quad (7)$$

همان گونه که می‌توان مشاهده نمود دستیابی به ضرایب مورد نظر در این رابطه برای خودروهای داخلی پیچیدگی خاص خود را دارد لذا در این مطالعه نتایج حاصل از این روابط با رابطه مصرف سوخت COPERT مقایسه شده که مزیت آن محاسبه کلیه ضرایب بر اساس حجم موتور خودروها می‌باشد. نتایج این مقایسه در شکل زیر مشاهده می‌گردد [۸].

جدول ۱ شرح پارامترهای رابطه محاسبه میزان مصرف سوخت [۸]

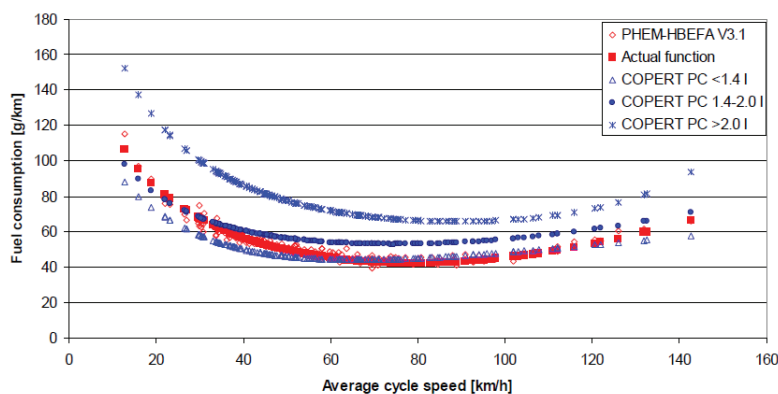
پارامتر	شرح	واحد
FC	میزان مصرف سوخت	Gr/km
Fe <sub>i</sub>	ضریب تصحیح استاندارد خودرو	
m	جرم خودرو با یک سرنشین راننده و ۲۰ کیلوگرم سوخت	kg
r <sub>0</sub> و r <sub>1</sub>	ضرایب مقاومت غلتشی	
C <sub>d</sub>	ضریب اصطکاک هوا	
A	سطح خودرو	m <sup>2</sup>
v	سرعت خودرو	m/s

چون ضرایب این روابط بر اساس خودروهای با استاندارد آلایندگی یورو ۵ محاسبه شده لذا ضریبی با عنوان ضریب تصحیح استاندارد خودرو در این رابطه در نظر گرفته شده است که از جدول زیر قابل محاسبه می‌باشد.

همان گونه که مشاهده می‌گردد با توجه به این که خودروی در

جدول ۲ ضریب تصحیح استاندارد خودرو [۸]

Euro ۵	Euro ۴	Euro ۳	Euro ۲	Euro ۱	Euro ۰
۱/۰۰	۱/۰۲	۱/۰۹	۱/۱۰	۱/۱۲	۱/۴۰



شکل ۱ مقایسه نتایج محاسبه مصرف سوخت نسبت به سرعت در روش‌های مختلف [۸]

جدول ۳ ضرایب رابطه COPERT [۸]

e	d	c	b	a	نوع وسیله نقلیه
۰/۰۳۱۲	۰/۰۰۰۲۲۸	-۱/۶۴۷۵۴	۰/۰۲۶	۱۳۶/۲۵۹۶	حجم موتور کمتر از ۱/۴ لیتر
۰/۰۰۸۷۴	-۰/۰۰۰۲۵	۰/۳۶۴۰۰۱	۰/۰۶۸۵	۱۷۳/۷۸۷۱	حجم موتور بین ۱/۴ و ۲ لیتر
۰	-۰/۰۰۰۴۲	-۰/۱۳۷۱۸	۰/۰۷۲۸	۲۸۵/۰۳۱	حجم موتور بیشتر از ۲ لیتر

ساعت و یا ترافیک‌های سنگین شهری) نصف نمودن زمان‌های سرویس دوره‌ای می‌باشد. به این ترتیب با محاسبه تعداد دفعات تعویض روغن و هزینه آن می‌توان هزینه اضافی روغن مصرفی در شرایط تراکم را به شرح زیر محاسبه نمود.

$$VOC_S^E = \frac{(U_S^{LOSF} * N_S^{LOSF} - U_S^{LOSD} * N_S^{LOSD})}{VO_a} \quad (9)$$

$VOC_S^E$ : هزینه خارجی عملکردی ناشی از افزایش دفعات سرویس دوره‌ای خودرو ناشی از تراکم (ریال در هر کیلومتر)

$U_S$ : قیمت یک بار سرویس دوره‌ای (ریال)

$N_S$ : تعداد دفعات سرویس دوره‌ای در سال

$VO_a$ : متوسط کارکرد خودرو در یک سال (۲۰۰۰۰ کیلومتر در سال)

### ۲,۲,۴. هزینه‌های تعمیرات

هزینه تعمیرات خودروها در سال حدود ۱/۵ الی ۳ درصد قیمت خودروی نو بوده و بهره‌برداری در شرایط سخت این هزینه‌ها را تا دو برابر افزایش خواهد داد. رابطه محاسبه هزینه تعمیرات ناشی از تراکم به شرح زیر می‌باشد:

$$VOC_M^E = \frac{(\hat{a}^{LOS F} * U_{veh}^{LOS F} - \hat{a}^{LOS D} * U_{veh}^{LOS D})}{VO_a} \quad (10)$$

$VOC_M^E$ : هزینه خارجی عملکردی ناشی از افزایش تعمیرات خودرو (ریال در هر کیلومتر)

$U_{veh}$ : قیمت خودرو (ریال)

$\beta$ : ضریب سهم تعمیرات از قیمت خودرو

$VO_a$ : متوسط کارکرد خودرو در یک سال (۲۰,۰۰۰ کیلومتر در سال)

### ۲,۲,۵. مدل نهایی هزینه عملکردی

بدین ترتیب مدل مورد استفاده برای تعیین هزینه عملکردی در این پروژه به این شرح می‌باشد:

$$VOC_{Total}^E = VOC_F^E + VOC_M^E + VOC_S^E \quad (11)$$

$VOC_{Total}^E$ : هزینه خارجی عملکردی خودرو ناشی از تراکم (ریال در هر کیلومتر)

$VOC_F^E$ : هزینه خارجی عملکردی ناشی از مصرف سوخت

بطور کلی هزینه‌های عملکردی به دو دسته هزینه‌های ثابت و متغیر تقسیم می‌شود که هزینه‌های ثابت مستقل از میزان کیلومتر طی شده توسط وسیله حمل و نقل می‌باشد، ولی هزینه‌های متغیر ارتباط مستقیمی با میزان کارکرد وسیله نقلیه دارد. هزینه‌های ثابت با افزایش تراکم تغییر نمی‌کند ولیکن هزینه‌های متغیر مانند: هزینه مصرف سوخت، هزینه سرویس دوره‌ای و هزینه تعمیرات از جمله هزینه‌هایی هستند که با افزایش تراکم ترافیک رابطه دارند لذا در این مطالعه از محاسبه هزینه‌های ثابت صرفه نظر گردیده است.

### ۲,۲,۲. هزینه سوخت

برای ارزیابی هزینه سوخت اضافی ناشی از تراکم، لازم است نسبت میزان مصرف سوخت خودروی طرح در حالت تراکم به میزان مصرف سوخت خودروی طرح در سرعت سطح سرویس  $D$  محاسبه شود. با توجه به موارد مطرح شده هزینه سوخت مصرفی مازاد ناشی از تراکم ترافیک از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$VOC_F^E = \frac{(FC_F^{LOSE,F} - FC_F^{LOSD}) * Fe_i * U_F^W}{\rho p * 3.78} * \alpha \quad (8)$$

$VOC_F^E$ : هزینه خارجی عملکردی ناشی از مصرف سوخت اضافی خودرو (ریال در هر کیلومتر)

$FC_F^{(LOSD)}$ : مصرف سوخت خودرو در سطح سرویس  $D$  با استفاده از رابطه COPERT (گرم بر کیلومتر)

$FC_F^{(LOSE,F)}$ : مصرف سوخت خودرو در سطح سرویس  $E, F$  با استفاده از رابطه COPERT (گرم بر کیلومتر)

$U_F^W$ : هزینه واحد جهانی سوخت (دلار در هر گالن)

$\alpha$ : نرخ تبدیل ارز مبادله‌ای

$\rho p$ : چگالی بنزین (گرم بر لیتر)

$Fe_i$ : ضریب تصحیح استاندارد خودرو بر اساس جدول ۶

### ۲,۲,۳. هزینه سرویس‌های دوره‌ای (روغن، فیلتر روغن، فیلتر هوا، لنت‌ها و ...)

مطابق بررسی‌های انجام شده، پیشنهاد نمایندگی‌های نگهداری و تعمیرات شرکت‌های خودروسازی داخلی در شرایط سخت کارکرد خودرو (برخورداری از میانگین سرعت زیر ۳۰ کیلومتر بر

توسعه یافته بیش از کشورهای در حال توسعه می باشد و با عنایت به آمار ارائه شده در این بخش، در این مطالعه سهم هزینه های خارجی تصادفات از کل هزینه تصادفات ۴۰ درصد در نظر گرفته شده است.

### ۲,۳,۲. تاثیر تراکم بر هزینه تصادفات

در یکی از مطالعاتی که بر روی پرترافیک ترین مسیرهای اصلی انگلستان در سال ۲۰۱۰ انجام گردید این نتیجه حاصل گردید که در سرعت های بالا امکان تصادفات تک خودرویی، بالاتر از تصادفات چند خودرویی می باشد و این در حالیست که در سرعت های پایین (سرعت های کمتر از نصف سرعت طرح) ۹۵ درصد تصادفات از نوع، چند خودرویی می باشند. با توجه به این مطالعات می توان نتیجه گرفت تاثیر تراکم ترافیک بر تصادفات خسارتی متفاوت از تصادفات فوتی یا جرحی می باشد. این مطالعه به بررسی رابطه بین تراکم ترافیک و تصادفات در دو شاخه تعداد تصادفات و شدت تصادفات پرداخته است. در خصوص تاثیر تراکم ترافیک بر شدت تصادفات بیان شده که برای حدود ۷۰ درصد از تصادفات تراکم ترافیک شدت تصادفات را کاهش و برای ۳۰ درصد افزایش می دهد [۱۱].

### ۲,۳,۳. ارائه مدل پیشنهادی جهت محاسبه هزینه تصادفات

با توجه به توضیحات ارائه شده رابطه ای که جهت محاسبه هزینه های خارجی تصادفات ناشی از تراکم ترافیک پیشنهاد می گردد به شرح زیر می باشد:

$$C_{acc}^E = \frac{MC_{acc}^{Iran} \times \alpha_{CS} \times \beta_{EC} \times \delta_C}{L_{CS}} \quad (12)$$

که در آن:

$C_{acc}^E$ : هزینه خارجی تصادفات ناشی از تراکم ترافیک (ریال بر کیلومتر)

$MC_{acc}^{Iran}$ : هزینه تصادفات درون شهری کل ایران (ریال)

$\alpha_{CS}$ : ضریب نسبت آمار تصادفات محدوده مورد مطالعه به کل ایران

اضافی خودرو (ریال در هر کیلومتر)

$VOC_S^E$ : هزینه خارجی عملکردی ناشی از افزایش دفعات سرویس دوره ای خودرو ناشی از تراکم (ریال در هر کیلومتر)

$VOC_M^E$ : هزینه خارجی عملکردی ناشی از افزایش تعمیرات خودرو (ریال در هر کیلومتر)

### ۲,۳. هزینه تصادفات

این امکان وجود دارد که در نگاه اول تراکم عاملی در جهت کاهش هزینه های تصادفات باشد، چرا که کاهش سرعت و کندی جریان حرکت، کنترل راننده برای جلوگیری از وقوع تصادف را سهل می نماید. این بحث در خصوص تصادفات فوتی و جرحی می تواند صادق باشد با این حال آمارهای تصادفات گویای افزایش تصادفات خسارتی در شرایط تراکم می باشد.

### ۲,۳,۱. سهم هزینه خارجی تصادفات به کل هزینه تصادفات

در این بخش با توجه به لزوم تعیین سهم هزینه های خارجی تصادفات، به بررسی مطالعات انجام شده در کشورهای دیگر پرداخته شده است. هزینه های تصادفات عمدتاً به دو دسته داخلی و خارجی تقسیم می گردند. هزینه های داخلی شامل هزینه هایی است که معادل فوت، مجروح شدن، معلولیت، دردهای ناشی از بیماری و افسردگی افراد تلقی می شود و توسط عامل به وجود آورنده آن پرداخت می گردند. هزینه های خارجی شامل هزینه هایی مانند بهره وری از دست رفته و پیشگیری از تصادف می شوند.

در مطالعه جامعی کشور شیلی، به این مطلب اشاره داشته است که، در کشور نروژ مقدار ۳۷ الی ۴۴ درصد از کل هزینه های تصادفات را به عنوان هزینه های خارجی تصادفات تخمین زده است. [۹].

در جدیدترین مطالعات انجام شده در کشور کانادا نیز تفکیک هزینه های تصادفات به شرح جدول زیر می باشد:

با توجه به این که حجم درونی سازی هزینه ها در کشورهای

جدول ۴ تفکیک هزینه تصادفات در مطالعات ویکتوریا (دلار بر وسیله نقلیه در سال) [۱۰]

مطالعات ویکتوریا	هزینه داخلی تصادفات	هزینه خارجی تصادفات	کل هزینه تصادفات	درصد هزینه خارجی به کل
۱۵۰۰	۷۷۳	۲۲۷۳	۳۴	

$\beta_{EC}$ : درصد سهم هزینه‌های خارجی تصادفات از کل هزینه تصادفات

$U_P^I$ : هزینه هر تن آلاینده منتشر شده در هوا در ایران (ریال بر تن)

هزینه هر تن آلاینده از رابطه زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$U_P^I = U_P^B \times \beta_{inflation} \times \frac{PPP_I}{PPP_B} \quad (15)$$

که در آن:

$U_P^I$ : هزینه هر تن آلاینده در کشور ایران

$U_P^B$ : هزینه هر تن آلاینده در کشور بلژیک

$PPP_I$ : برابری قدرت خرید کشور ایران در سال ۲۰۱۳

$PPP_B$ : برابری قدرت خرید کشور بلژیک در سال ۲۰۱۳

### ۲.۲.۵. هزینه تراکم

هزینه‌های مربوط به تراکم شامل هزینه‌های ناشی از تاخیرات و وسایل نقلیه، فشارهای عصبی وارد بر مسافران، هزینه‌های مازاد عملکردی وسایل نقلیه، تصادفات و آلودگی هوا می‌باشد [۱۳].

جزئیات محاسبات اجزای این رابطه در بخش‌های قبل ارائه گردیده است.

$$C_{Con}^E = \alpha_S (C_{acc}^E + C_{Delay}^E) + C_{AP}^E + VOC_{Total}^E \quad (16)$$

$C_{Con}^E$ : هزینه خارجی تراکم (ریال بر کیلومتر)

$\alpha_S$ : ضریب افزایش هزینه‌های استرس و فشارهای عصبی

$C_{acc}^E$ : هزینه خارجی تصادفات ناشی از تراکم ترافیک (ریال بر کیلومتر)

$C_{AP}^E$ : هزینه خارجی آلودگی هوا (ریال در هر کیلومتر)

$C_{Delay}^E$ : هزینه تاخیرات ناشی از تراکم (ریال بر کیلومتر)

$VOC_{Total}^E$ : هزینه خارجی عملکردی خودرو ناشی از تراکم (ریال در هر کیلومتر)

با توجه به این که مرجع اطلاعاتی مناسبی جهت بررسی میزان فشارهای عصبی و استرس وارد شده بر سرنشین در تراکم ترافیک وجود ندارد لذا این پارامتر به عنوان درصدی از مجموع هزینه‌های تاخیرات و تصادفات در نظر گرفته شده است.

$\delta_C$ : ضریب تاثیر تراکم بر روی تصادفات

$L_{CS}$ : طول مسیر محدوده مورد مطالعه (کیلومتر)

### ۲.۲.۴. هزینه آلودگی هوا

آلودگی هوا یک مسئله جهانی و مهمترین چالش زیستی در کشور است. بخش تولید انرژی و بخش حمل و نقل به ویژه حمل و نقل جاده‌ای مهمترین عوامل ایجاد آلودگی هوا هستند.

### ۲.۲.۴.۱. مطالعات آلودگی هوا در کشور هلند

روشی که در مطالعات کشور هلند به منظور برآورد هزینه آلودگی هوا استفاده شده است، از مطالعات اتحادیه اروپا در سال ۲۰۰۱ به نام EternE استخراج گردیده است. این مطالعات بر پایه رویکرد محاسبه هزینه آلودگی بر اساس تاثیرات آن انجام گردیده و در سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۰۷ بازنگری شده است [۱۲].

در این مطالعه هزینه آلودگی هوا با استفاده از رابطه زیر برآورد گردیده است:

$$C_p = A_p \times IV_p \quad (13)$$

که در آن:

$C_p$ : هزینه آلودگی هوا

$A_p$ : مقدار آلاینده

$IV_p$ : ضریب هزینه‌ای به ازای هر آلاینده

### ۲.۲.۴.۲. ارائه مدل پیشنهادی جهت محاسبه هزینه آلودگی هوا

جهت محاسبه هزینه‌های آلودگی هوا ناشی از تراکم ترافیک کافی است مقایسه‌ای بین هزینه‌ها در سطح سرویس D و حالت‌های تراکم صورت پذیرد. به این ترتیب رابطه زیر نشان دهنده هزینه اضافی آلودگی هوا ناشی از تراکم می‌باشد:

$$C_{AP}^E = 10^{-9} * (C_{AP}^{LOSE,F} - C_{AP}^{LOSD}) * P * U_P^I \quad (14)$$

که در آن:

$C_{AP}$ : هزینه خارجی آلودگی هوا (ریال در هر کیلومتر)

$P$ : ضرایب انتشار آلاینده‌ها در خودروهای سواری (میلی گرم در هر کیلومتر)

### ۳. نتیجه گیری

از جمله مسائل مهم و تاثیرگذار در زمینه تعیین هزینه‌ها، کامل و دقیق بودن آمار و ارقامی است که جهت محاسبه مورد استفاده قرار می‌گیرد، بنابراین می‌توان در آینده ضمن بهره‌گیری از روش‌های ارائه شده در این پژوهش، از طریق هماهنگی با ارگان‌هایی از جمله راهنمایی و رانندگی، پزشکی قانونی و معاونت حمل و نقل و ترافیک به نتایج دقیق‌تری دست یافت. البته در این پژوهش تلاش بسیاری جهت ارائه روابط بر اساس اطلاعات موجود در این ارگان‌ها صورت پذیرفته است اما هدف اصلی شناسایی و ارائه روش محاسبه پارامترهای موثر بر تراکم ترافیک بوده است. آن چه جزئیات هزینه‌های خارجی ناشی از تراکم ترافیک، نشان می‌دهد تاثیر بسیار زیاد هزینه تاخیرات در کل هزینه تراکم می‌باشد. این هزینه برای اقشار مختلف جامعه متفاوت می‌باشد اما در این مطالعه با استفاده از متوسط درآمد خانوار فقط سفرهای شغلی و غیر شغلی تفکیک گردیده است. پس از هزینه‌های تاخیرات، افزایش هزینه تصادفات و هزینه‌های استرس و فشارهای عصبی رانندگان قابل توجه می‌باشد. این بخش از مطالعات علاوه بر بار مالی که به جامعه تحمیل می‌نماید اثرات روان‌شناختی بسیاری نیز بر جامعه و رانندگان خواهد داشت که در پروژه‌ای مجزا قابل بررسی و ارائه می‌باشد.

تمام موارد مطرح شده تا این بخش از پروژه جهت نشان دادن اهمیت هزینه‌های خارجی ناشی از تراکم ترافیک و ارائه روش مناسبی جهت برآورد ارزش ریالی آن بوده است. بدیهی است این مطالعات بدون ارائه راهکارهای درونی سازی و یا کاهش آن ناقص و غیرکاربردی می‌باشد. لذا در ادامه مختصری در خصوص راهکارهای درونی سازی این هزینه‌ها ارائه می‌گردد که خود سر آغاز مطالعاتی گسترده می‌باشد و روش محاسبه هزینه خارجی تراکم بخش کوچکی از این مطالعات خواهد بود.

طبیعی‌ترین پاسخ به موضوع هزینه‌های خارجی ناشی از سیستم حمل و نقل این است که، در حالت ایده‌آل این هزینه‌ها توسط همان سیستم حمل و نقلی به وجود آورنده این هزینه‌ها جبران شود، که در عمل به این معنی است که شخص به وجود آورنده این هزینه‌ها باید هزینه‌های وارد شده به اجتماع را جبران نماید. در ادبیات اقتصاد در اصطلاح این امر را درونی کردن هزینه‌های خارجی می‌گویند. هدف از درونی کردن هزینه‌های خارجی ناشی از سیستم حمل و نقلی، در نظر گرفتن این هزینه‌ها در

تجزیه و تحلیل‌های بازار است که نتیجه آن استفاده بهتر از منابع می‌باشد. این امر از طریق آگاه کردن استفاده‌کنندگان سیستم حمل و نقل از تمامی هزینه‌هایی که ناشی از سفر آن‌ها است، امکان‌پذیر است. همچنین درونی کردن هزینه‌ها از طریق آگاه کردن کسانی که تحت تاثیر عوارض ناشی از حمل و نقل بوده و هزینه‌هایی را برای محافظت از خود در برابر این عوارض خرج می‌نمایند، می‌تواند انجام شود. [۱۴].

چند نمونه از راهکارهای درونی سازی هزینه‌های خارجی ناشی از تراکم ترافیک عبارتند از:

۱. توسعه ظرفیت بزرگراه‌ها و خیابان‌ها

۲. گسترش و توسعه طریق‌های دیگر حمل و نقلی (به خصوص حمل و نقل همگانی با کیفیت بالا و وسایل نقلیه با ظرفیت بالا)

۳. اصلاحات در قیمت‌گذاری‌های حمل و نقلی

۴. سیاست‌گذاری‌های توسعه هوشمندانه

در بین راهکارهای فوق توسعه ظرفیت بزرگراه‌ها و خیابان‌ها یک راهکار کوتاه مدت بوده و اثر آن طی کمتر از ۱۰ سال از بین می‌رود. لذا به طور کلی راهکار جامعی که برای حل معضل تراکم ترافیک ارائه می‌گردد یک برنامه‌ریزی جامع حمل و نقلی بر اساس توسعه هوشمندانه، راهکارهای قیمت‌گذاری، بعلاوه گسترش حمل و نقل همگانی (به همراه بالا بردن کیفیت آن) می‌باشد. بنابراین با قیمت‌گذاری مناسب و کارای تمام عواملی که در حمل و نقل دخالت دارند (مسیر، پارکینگ، سوخت و غیره) بعلاوه گسترش حمل و نقل همگانی و پیاده روی و دوچرخه سواری در شهر می‌توان انتظار داشت که تعداد زیادی از افراد وسایل نقلیه شخصی خود را کنار گذاشته و به طریق‌های جایگزین روی آورند.

### ۴. مراجع

- ۱- کریم زادگان، ح: هزینه‌های خارجی حمل و نقل زمینی (شناسایی و بررسی). چاپ اول. پژوهشکده حمل و نقل، وزارت راه و ترابری، ۱۳۸۹.
- ۲- زاهد، ف: هزینه خارجی تراکم در راههای کشور (مطالعه موردی: آزاد راه تهران- قم، آزاد راه تهران- کرج و جاده اصلی کرج - چالوس)، در: «یازدهمین کنفرانس بین‌المللی حمل و نقل و ترافیک»، ۱۳۹۰.

- cars and light commercial vehicles for modelling purposes. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Energy and Transport
- 9- Zegras, C. and Litman, T., (1997): An Analysis of the Full Costs and Impacts of Transportation in Santiago de Chile, International Institute for Energy Conservation.
- 10-Moore, T. Thorsnes, P. (1993): The Transportation/Land Use Connection, Report 448/449 American Planning Association ([www.planning.org](http://www.planning.org)).
- 11- Wang, C. (2010): The Relationship between Traffic Congestion and Road Accidents: An Econometric Approach Using GIS. A Doctoral Thesis Submitted in partial fulfilment of the requirements for the award of Doctor of Philosophy of Loughborough University.
- 12-Vermeulen, J.P.L. Boon, B.H. van Essen, H.P. den Boer, L.C. Dings, J.M.W. Bruinsma, F.R. and Koetse, M.J. (2004): "The Price of Transport: Overview of the Social Costs of Transport".
- 13-Hau, T. (1992): Economic Fundamentals of Road Pricing, Working Paper, World Bank ([www.worldbank.org](http://www.worldbank.org)); at [www.econ.hku.hk/~timhau/download.html](http://www.econ.hku.hk/~timhau/download.html).
- 14-Millard-Ball, A & Schipper, L, "Are We Reaching Peak Travel? Trends in Passenger Transport in Eight Industrialized Countries," Transport Reviews, Vol. 30. 2010.
- ۳- عامری، م؛ زاهد، ف: «برآورد هزینه خارجی گرمایش جهانی ناشی از بهره برداری آزادراه‌های کشور». محیط شناسی: سال سی و نهم، شماره ۳، صفحه ۲۰۱-۲۱۲، پاییز ۱۳۹۲.
- 4- Banfi S., Doll C., Maibach M., Rothengatter W., Schenkel P., Sieber N. & Zuber J. (2000). External Costs of Transport: Accident, Environmental and Congestion Costs of Transportin Western Europe. INFRAS Zürich/IWW.
- 5- Schreyer C., Schneider C., Maibach M., Rothengatter W., Doll C. and Schmedding D. (2004): External Costs of Transport. Update Study. INFRAS Zürich/IWW.
- ۶- افندی زاده زرگری، ش؛ سید حسینی، س؛ حداد، د: متدلوژی تعیین سرعت بیشینه مجاز در بزرگراه‌های شهری با هدف افزایش ایمنی و کاهش مصرف سوخت، پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد، دانشکده تحصیلات تکمیلی واحد تهران جنوب، ۱۳۹۰.
- 7- DAVID, J., FORKENBROCK, GLEN E., WEISBROD, "NCHRP REPORT 456: Guidebook for Assessing the Social and Economic Effects of Transportation Projects", 2001, TRANSPORTATION RESEARCH BOARD- NATIONAL RESEARCH COUNCIL, WASHINGTON, D.C.
- 8- Mellios, G., Hausberger, S., Keller, M., Samaras, C., Ntziachristos, L. (2011): Parameterisation of fuel consumption and CO2 emissions of passenger

## Calculating External Cost of Traffic Congestion

Esmael Ayati<sup>1</sup>, Saeideh Sabz Ali Jamaat<sup>2</sup>

1- Esmael Ayati, Professor, Civil Department, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

2- Saeideh Sabz Ali Jamaat, MSc Student, Civil Department, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

### Abstract

With the rapid growth of urbanization in recent decades, urban transportation has become one of the major issues, and urban traffic congestion is the issue of mismatch cars with the equipped development of urban transportation. Density is created due to the competition between users of the limited capacity of the transportation system. This social phenomenon associated with problems such as wasting time, wasting opportunities to live, air pollution, noise, waste of national resources such as fuel necessary, mental health problems, and neurological disorders. Therefore, the identification and estimation of external costs caused by traffic congestion is important to attract the attention of researchers and policy-makers.

In this paper, an overview of studies on all the parameters that affect the cost have been identified.

These parameters include the cost of traffic congestion, including vehicle operating costs, pollution, travel time and accidents. The different methods used to calculate any of these fees have been paid and the method of calculating each parameter vector is based on the data presented. Calculating the external costs of density with these number of parameters that influence on it, and the specific features and innovations of this paper is using the native data. It is clear that the increasing in the quality of data gathering (operation) may improve the presented methods which is available. The result of this paper is to provide a comprehensive and practical method for calculating the external costs of highway congestion, that with using this information, it is possible to provide the appropriate solutions to invest properly in order to solve this problem.

**Keywords:** external costs, traffic congestion, traffic accidents, air pollution, the cost functional.

## بررسی تأثیر عابرین پیاده بر ظرفیت میدان در ایران (مطالعه موردی میدان سبلان تهران)

علی منصورخاکی<sup>۱</sup>، بهزاد زینعلی<sup>۲</sup>

۱- دانشیار دانشکده عمران دانشگاه علم و صنعت ایران

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد راه و ترابری دانشگاه علم و صنعت ایران

### چکیده

ظرفیت میدان‌ها همانند سایر تقاطع‌های شهری از موضوعات مهم در طراحی آنها می‌باشد. عوامل گوناگونی می‌توانند بر این ظرفیت اثرگذار باشند که از مهمترین آنها می‌توان نرخ جریان گردش، نرخ جریان وسایل نقلیه سنگین، حضور عابر پیاده، رفتار رانندگان در مواجهه با میدان و همچنین مشخصات هندسی آن اشاره نمود. از این رو همواره متخصصان سعی بر این دارند که با تکیه بر علوم مختلف مهندسی، ریاضی و آمار روش‌هایی برای تعیین ظرفیت میدان‌ها با توجه به شرایط محلی مشخص نمایند. بیشتر مطالعات گذشته بر موضوع اثرات حجم وسایل نقلیه ورودی، حجم وسایل نقلیه گردش و هندسه میدان مانند تعداد خطوط و قطر میدان بر ظرفیت ورودی میدان متمرکز شده‌اند. تنها تعداد کمی از مطالعات به بحث اثرات جریان عابر پیاده بر ظرفیت ورودی میدان پرداخته‌اند. در این مقاله سعی شده است ضمن بحث در خصوص آنالیز و تعیین ظرفیت میدان‌های بدون چراغ و بررسی عوامل مؤثر بر آن، نقش عابر پیاده بر ظرفیت ورودی میدان تشریح گردد. برای این کار یک نمونه مطالعه موردی از میدان‌های سطح شهر تهران (میدان سبلان) انتخاب شده و پارامترهای مؤثر عابر پیاده نظیر حجم عابر، فاصله گذرگاه عابر پیاده تا میدان و حجم وسایل نقلیه گردش در نرم افزار شبیه سازی ایمنسان مدل سازی گردید تا تأثیر هر یک از متغیرها بر ظرفیت ورودی میدان آشکار شود.

**کلید واژه:** ظرفیت میدان، عابر پیاده، جریان گردش میدان، شبیه سازی ترافیکی میدان.

### ۱- مقدمه

عابر پیاده بر ظرفیت ورودی میدان تشریح گردد. برای این کار یک نمونه مطالعه موردی از میدان‌های سطح شهر تهران (میدان سبلان) انتخاب شده و پارامترهای مؤثر عابر پیاده نظیر حجم عابر، فاصله گذرگاه عابر پیاده تا میدان و حجم وسایل نقلیه گردش در نرم افزار شبیه سازی ایمنسان<sup>۱</sup> مدل سازی گردید.

### ۲- کاوش در متون

در سال ۲۰۱۰، کارلوس دوران<sup>۲</sup> در رساله خود تحت عنوان "اثرات عبور عابر پیاده بر ظرفیت میدان" در دانشگاه ال پاسو<sup>۳</sup> تگزاس به تحلیل اثر حجم عابر پیاده بر ظرفیت ورودی میدان پرداخته است و همچنین اثر محل عبور عابر و احجام مختلف عابر بر ظرفیت میدان بررسی شده است. در این مطالعه از پنج حجم عابر پیاده و چهار محل مختلف عبور عابر استفاده شده

ایجاد میدان یکی از روش‌های کنترل تقاطع هم سطح است. تعیین ظرفیت میدان‌ها و عوامل مؤثر بر آن از قبیل نرخ جریان گردش، رفتار رانندگان در پذیرش و رد فاصله زمانی عبور، زمان دنباله روی، تردد عابران پیاده و مشخصات هندسی نظیر شعاع جزیره داخلی، شعاع جزیره بیرونی، تعداد خط در دور میدان و در هر یک از ورودی‌ها، از اهمیت بسیار برخوردارند. بیشتر مطالعات گذشته بر موضوع اثرات حجم وسایل نقلیه ورودی، حجم وسایل نقلیه گردش و هندسه میدان مانند تعداد خطوط و قطر میدان بر ظرفیت ورودی میدان متمرکز شده‌اند. تنها تعداد کمی از مطالعات به بحث اثرات جریان عابر پیاده بر تأخیر وسایل نقلیه ورودی میدان و ظرفیت ورودی میدان پرداخته‌اند.

در این مقاله سعی شده است ضمن بحث در خصوص تعیین ظرفیت میدان‌های بدون چراغ و بررسی عوامل مؤثر بر آن، نقش

1 AIMSUN

2 CARLOS DURAN

3 EL PASO

"برآورد ظرفیت ورودی میدان تحت اثر عابرین پیاده با بکارگیری شبیه سازی میکروسکوپیکی" به برآورد تاثیر عابر پیاده با چندین فاکتور (مثل جهت عبور عابر، میزان شناخت عابرین پیاده توسط رانندگان و جزیره جداکننده میانی) پرداخته است. تاثیر این فاکتورهای موثر به وسیله شبیه سازی میکروسکوپیکی بررسی شده است. نتایج این شبیه سازی نشان می‌دهد که در شرایط بدون جزیره میانی، ظرفیت ورودی بیشتر از حالتی که اکثر عابرین پیاده در سمت دور مسیر عابر بودند کاهش می‌یابد. ظرفیت ورودی با احداث جزیره میانی افزایش یافت. نرم افزار بکار رفته جهت تحلیل شبیه سازی رفتار فاصله عبور قابل قبول، نرم افزار ویزیم می‌باشد. میدان آزوما- چوه واقع شده در شهری در کشور ژاپن برای مطالعه انتخاب شده است. میدان با پنج رویکرد و دارای قطر ۴۰ متر است. روش جمع آوری اطلاعات به صورت فیلم برداری به مدت ۱۲ ساعت بوده و در نهایت ماتریس مبدا - مقصد بدست آمده است. [۴]

در سال ۱۳۹۳ سیدحمزه حسینی تحت نظر دکتر ایرج برگ گل در رساله کارشناسی ارشد خود تحت عنوان "بررسی ظرفیت میدان‌های شهری و عوامل موثر بر آن" با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده نظیر حجم ورودی و گردش، فواصل عبور قابل قبول و غیر قابل قبول و همچنین نرخ تردد عابران پیاده از سه میدان سطح شهر رشت و با استفاده از تحلیل‌های ریاضی و رگرسیون روابطی برای تعیین ظرفیت این میدان‌ها با توجه به تأثیر حجم گردش، رفتار رانندگان و تردد عابران پیاده بر روی حجم ورودی آنها تعیین شده است. از نتایج این پژوهش می‌توان به بازه ۳/۰۳ تا ۳/۳۲ ثانیه برای فاصله عبور بحرانی میدان‌های شهری رشت اشاره نمود. همینطور حداکثر ظرفیت میدان‌های شهری در مدل‌های خرد نگر برابر با ۲۴۰۰ وسیله نقلیه بر ساعت و در مدل‌های کلان نگر برابر ۲۶۱۸ وسیله نقلیه بر ساعت می‌باشد. [۵]

### ۳- روش تحقیق

تحلیل ظرفیت خط ورودی میدان با وجود عابر پیاده، شامل ۵ مرحله اصلی است. روش تحقیقی که در این رساله بکار گرفته شده برای مدل شبیه سازی ترافیکی یک میدان در نظر گرفته شده است. مراحل روش تحقیق به قرار زیر است:

#### ۱- تعیین هدف

است. برای انجام این تحقیق از یک میدان با دو مسیر گردشی و ورودی دو خطه استفاده شده است. علاوه بر آن از نرم افزار شبیه ساز ویزیم کمک گرفته است. [۱]

در سال ۲۰۱۱، جورج<sup>۱</sup> و همکارانش در مقاله ای تحت عنوان "مطالعه شبیه سازی مدیریت دسترسی در میدان مدرن، رفتارهای عبور عرضی عابر پیاده" به شبیه سازی میدان و عابرین پیاده نابینا پرداخته است. این مطالعه عملکرد چهار برنامه چراغ عابر پیاده را که در میدان جاگذاری شده اند همراه با محل‌های مختلف عبور عابر پیاده، برنامه‌های نصب و شرایط عملکردی ارزیابی کرده است. دو میدان مدرن تازه ساخت در مادیسون برای جمع آوری اطلاعات واقعی ساعت اوج جهت استفاده به عنوان اطلاعات پایه انتخاب شدند. تاخیر وسایل نقلیه در مواقعی که حجم ترافیک به ظرفیت میدان نزدیک می‌شود، بیشترین مقدار است. نتیجه می‌شود که (۱) برنامه دو مرحله ای عبور عابر نسبت به عبور یک مرحله ای کارایی بهتری دارد. (۲) اختلاف زیادی بین سه جانمایی مختلف محل عبور عابر وقتی که برنامه عبور دو مرحله ای داشته باشیم وجود ندارد. هنگام اجرای عبور یک مرحله ای، محل دور گذرگاه عابر پیاده (با فاصله از میدان) نسبت به محل مرسوم عبور عابر پیاده (نزدیک میدان) می‌تواند تاخیر وسایل نقلیه و طول صف را کاهش دهد زیرا محل ذخیره صف را در خط خروجی افزایش داده است. [۲]

در سال ۲۰۱۱، کلادیو<sup>۲</sup> و همکارش در گزارشی تحت عنوان "ارزیابی اثر عبور عابر پیاده بر ظرفیت خط ورودی میدان" به برآورد تجربی ظرفیت خط ورودی میدان در حضور سطوح مختلف حجم عابر پیاده پرداخته است. میدان مورد مطالعه در این پژوهش یک میدان با چهار رویکرد و در یک ناحیه شهری است؛ که در قسمت مرکزی پادوا<sup>۳</sup> در ایتالیا واقع شده است. نحوه برداشت اطلاعات به صورت فیلم برداری و در ساعات اوج بوده است. رابطه خطی بین ظرفیت ورودی و جریان گردش برای درصدهای مختلفی از اشغال عابر پیاده بدست آمده است و در نهایت یک شاخص کاهش ظرفیت جهت تعیین ظرفیت رویکردها ارائه شد. همچنین یک منحنی تجربی برای کاربرد این روش حتی مواقعی که امکان مشاهدات مستقیم وجود ندارد بکار می‌رود. [۳]

در سال ۲۰۱۴، نان کانگ<sup>۴</sup> و همکارانش در مقاله ای تحت عنوان

- 1 GEORGE X.LU
- 2 CLAUDIO
- 3 PADOVA
- 4 NAN KANG

۲- مدل شبیه سازی ترافیکی اولیه

۳- کالیبره کردن مدل

۴- اعتبارسنجی مدل

۵- مدل عابر پیاده

در اولین مرحله، هدف پروژه تعیین می‌شود. در این مقاله هدف تحلیل اثرات عابر پیاده بر ظرفیت ورودی میدان است. اثرات عابر پیاده تحت دو عامل زیر تحلیل می‌شوند: حجم عابر پیاده و محل گذرگاه عابر. نرم افزار شبیه سازی ترافیکی ایسمان بر اساس توانایی مدل کردن هندسه معابر، الگوهای ترافیکی و رفتار عابر پیاده انتخاب شده است. میدان مورد مطالعه (میدان سبلان) نیز بر اساس دسترسی به اطلاعات جهت کالیبره و اعتبارسنجی از بین میدان‌های سطح شهر تهران برگزیده شد. میدان‌هایی که از لحاظ مکانی خیلی به هم نزدیک اند و میدان‌هایی که دارای چراغ راهنمایی هستند، انتخاب نشده اند.

در مرحله دوم، جمع آوری اطلاعات از میدان و مدل شبیه سازی اولیه میدان انجام می‌شود. اطلاعات باید شامل موارد زیر باشد: هندسه، احجام ترافیکی، حرکات ترافیکی، زمان سفر، سرعت و انتخاب خط. اطلاعات احجام ترافیکی وسایل نقلیه و حرکات گردشی در این میدان از سازمان ترافیک تهران تهیه شده است. اطلاعات بیشتر که مورد نیاز این تحقیق می‌باشند (شامل حجم عابر پیاده، محل گذرگاه عابر، اطلاعات هندسی میدان و اطلاعات لازم برای اعتبارسنجی شبیه سازی) توسط آمار بردار و به روش میدانی در ساعات اوج صبح و عصر برداشت شده است. اطلاعات در ساعت ۷:۰۰ تا ۱۰:۰۰ صبح به مدت سه ساعت و در نوبت عصر از ساعت ۱۶:۳۰ تا ۱۹:۳۰ به مدت سه ساعت در یک روز در مهرماه ۱۳۹۵ برداشت شده است. اما اطلاعات گرفته شده از سازمان ترافیک در یک روز فرد (یکشنبه) و یک روز زوج (دوشنبه) در اردیبهشت ماه ۱۳۹۵ برداشت شده است. وضعیت آب و هوایی در روزهای آماربرداری در شرایط معتدل و بدون بارش و مه انجام شده است.

در مراحل سوم و چهارم، کالیبره و اعتبارسنجی مدل است که شامل توسعه مدل شبیه سازی اولیه می‌شود. در طی مراحل کالیبره و اعتبارسنجی، پارامتری جهت مقایسه اطلاعات برداشت شده در محل و اطلاعات بدست آمده از نرم افزار شبیه سازی ایسمان انتخاب می‌شود که در اینجا از زمان سفر برای اعتبارسنجی استفاده شده است. برای سنجش میزان اختلاف

بین اطلاعات برداشت شده در محل و اطلاعات بدست آمده از نرم افزار ایسمان از آزمون t استفاده شده است.

در مرحله پنجم یک مدل جدید و معمول با همان مشخصات کالیبره شده ایجاد می‌شود. سناریوهای وجود عابر پیاده ایجاد می‌شوند و شبیه سازی اجرا می‌گردد. ذکر این نکته لازم است که رویکرد مورد مطالعه، ورودی خیابان جانبازان به میدان می‌باشد. به عنوان یک معیار کنترلی، یک مدل بدون عابر پیاده نیز اجرا شد. در نهایت نتایج در دو حالت: اثر حجم عابر پیاده و اثر محل گذرگاه عابر، بر کاهش ظرفیت ورودی میدان بررسی می‌شوند. هر کدام از ۵ حجم عابر پیاده در ترکیب با ۴ محل گذرگاه عابر و ۱۲ نرخ جریان گردشی میدان بررسی شده اند. همچنین در هر بار شبیه سازی، ۵ تکرار از نرم افزار گرفته شده و میانگین آنها در محاسبات اعمال شده است. پس در کل تعداد ۱۲۰۰ شبیه سازی صورت گرفته است.

#### ۴- جمع آوری اطلاعات

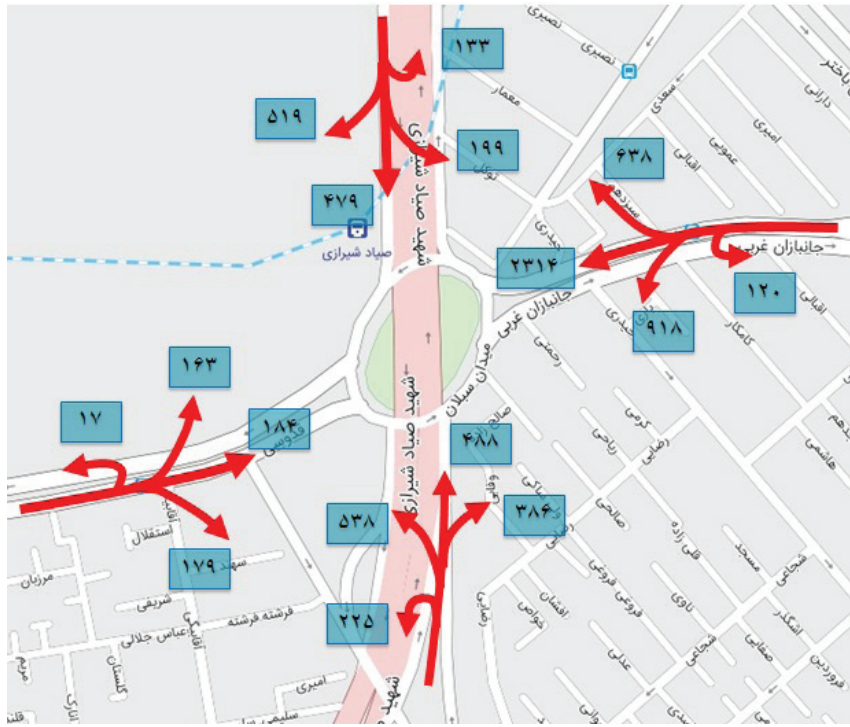
شمارش ترافیک اساسی ترین مطالعه ترافیکی و نخستین معیار سنجش تقاضا می‌باشد. بر این اساس ابتدا به معرفی میدان سبلان و سپس به بررسی حجم وسایل نقلیه میدان و همچنین عابرین پیاده خواهیم پرداخت.

#### ۴-۱- مشخصات میدان سبلان

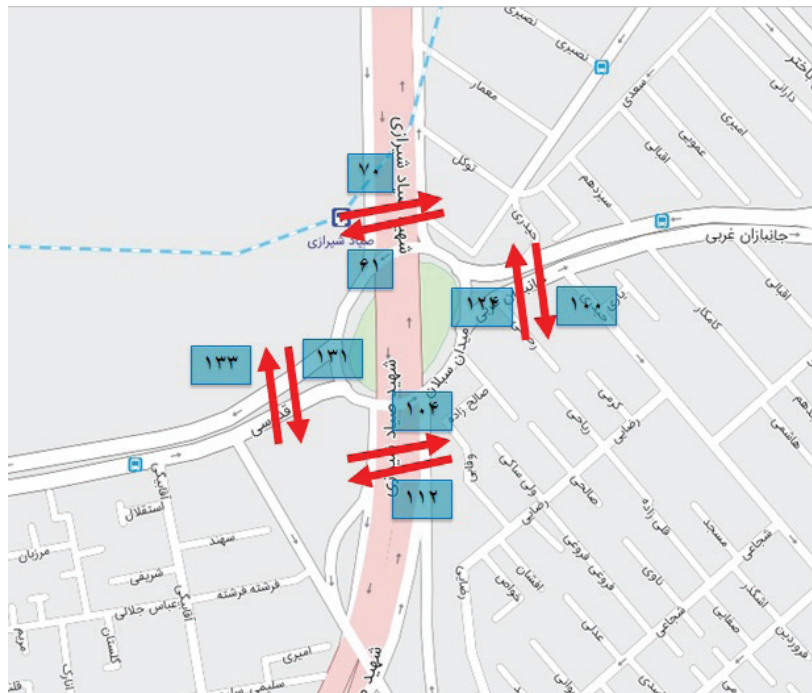
میدان سبلان نام یکی از میادین اصلی شرق تهران است که بین منطقه ۷ و ۸ شهرداری تهران قرار گرفته است. بزرگراه صیاد شیرازی پرتردد ترین مسیری است که از این میدان عبور می‌کند. سایر خیابان‌های این میدان شامل خیابان جانبازان در شرق، خیابان شهید قدوسی در غرب و خیابان سبلان در جنوب است. میدان سبلان یک میدان چهار خطه با چهار رویکرد است و فاقد چراغ راهنمایی می‌باشد. (شکل ۱)

خیابان جانبازان (رویکرد شرقی) و همچنین خیابان قدوسی (رویکرد غربی) در رده عملکردی شریانی درجه یک به شمار می‌آیند. در شمال و جنوب میدان سبلان نیز شاهد رمپ‌های ورود و خروج به بزرگراه صیاد شیرازی هستیم. همچنین تمامی معابر در محدوده میدان سبلان به صورت دو طرفه عمل می‌کنند. خیابان جانبازان دارای جهات رفت و برگشت است که با میانه ای به عرض ۲ متر از هم جدا شده اند. عرض مسیر غرب به شرق در این معبر (خروجی از میدان) ۱۱ متر است و دارای سه خط عبور





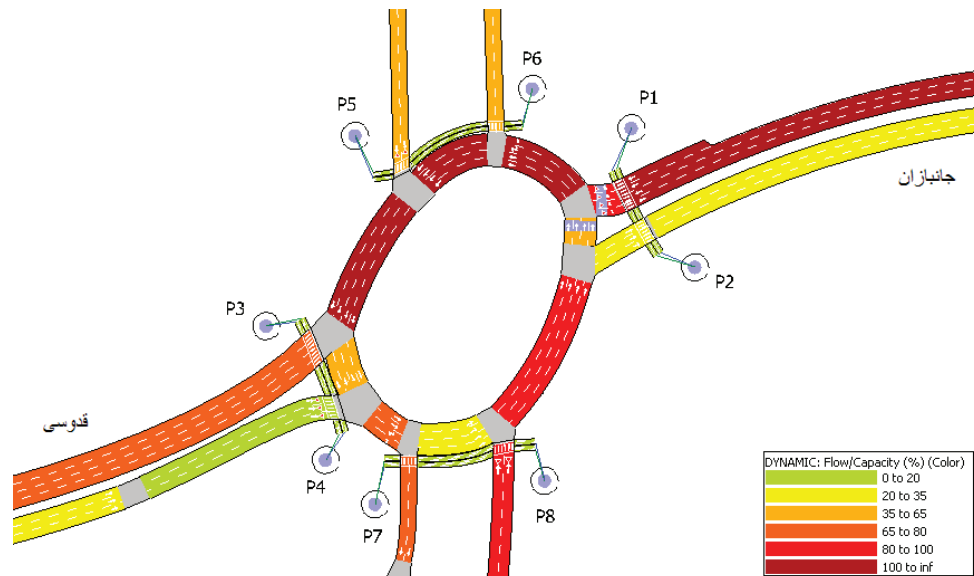
شکل ۳: احجام ساعت اوج وسایل نقلیه در میدان



شکل ۴: احجام ساعت اوج عابرین پیاده در میدان

جدول ۱: مشخصات عملکردی میدان در وضعیت موجود

ردیف	پارامتر	مقدار	واحد
۱	متوسط تاخیر	۱۴۲,۳۶	ثانیه بر کیلومتر
۲	چگالی	۳۱,۳۷	وسيله نقلیه بر کیلومتر
۳	نرخ جریان	۷۲۲۸	وسيله نقلیه بر ساعت
۴	سرعت	۲۴,۷۸	کیلومتر بر ساعت
۵	مجموع مسافت طی شده	۵۵۴۵,۸	کیلومتر
۶	مجموع زمان سفر	۲۹۰,۱۷	ساعت
۷	متوسط زمان سفر	۲۹۰,۵۸	ثانیه بر کیلومتر



شکل ۵: نمایش نسبت حجم به ظرفیت در وضعیت موجود

معادل، فاصله بین وسایل نقلیه، زمان راه دادن<sup>۱</sup>، زمان واکنش و زمان واکنش به ایست می‌باشند که مقادیر آنها از کتاب "کالیبره نمودن نرم افزارهای مهندسی ترافیک بر اساس شرایط ترافیکی شهر تهران" انتخاب شده‌اند. [۶]

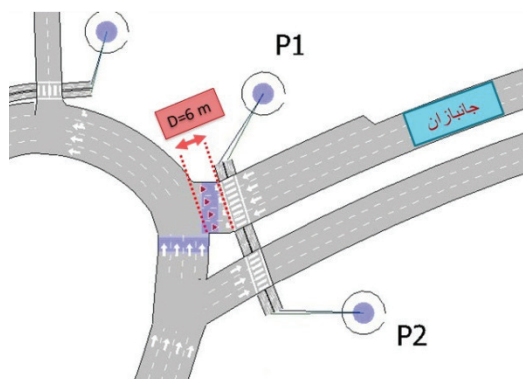
در اعتبارسنجی مدل ساخته شده زمان سفر خودروها در ساعت اوج صبح بین دو مقطع مشخص از خیابان جانبازان به فاصله ۲۰۰ متر از یکدیگر برداشت شد. مقطع اول در خیابان جانبازان و به فاصله ۲۰۰ متر از میدان سبلان (روبروی کوچه اقبالی) و مقطع دوم از خیابان جانبازان و در محل ورود وسایل نقلیه به میدان انتخاب شدند. دلیل انتخاب این رویکرد برای اعتبارسنجی زمان سفر، حجم زیاد ترافیک و تاخیر بیش از حد آن در ساعت

1 GIVE WAY TIME

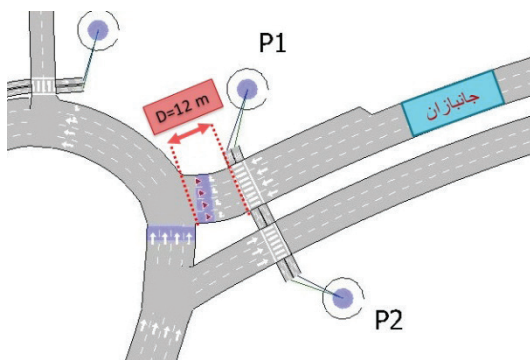
## ۵- شبیه سازی، کالیبراسیون و اعتبارسنجی

در این بخش مدل اولیه ای از میدان با توجه به اطلاعات بدست آمده در مراحل قبل خواهیم ساخت. مراحل ساخت مدل در نرم افزار ایسمان شامل ساخت هندسه میدان و معابر، اعمال جریان ترافیک وسایل نقلیه و عابرین پیاده به شبکه ساخته شده می‌باشد. در جدول (۱) مشخصات عملکردی میدان در وضعیت موجود نمایش داده شده است.

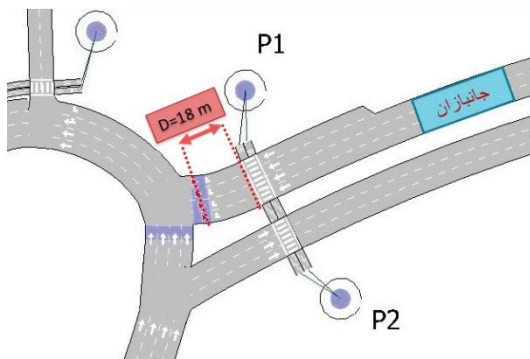
منظور از کالیبراسیون، تنظیم پارامترهای مدل است؛ به گونه ای که باعث بهبود توانایی مدل در شبیه سازی کردن خصوصیات محلی ترافیک و رفتار رانندگان شود. متغیرهایی که در این مقاله جهت کالیبراسیون انتخاب شده اند شامل پارامترهای خودروی



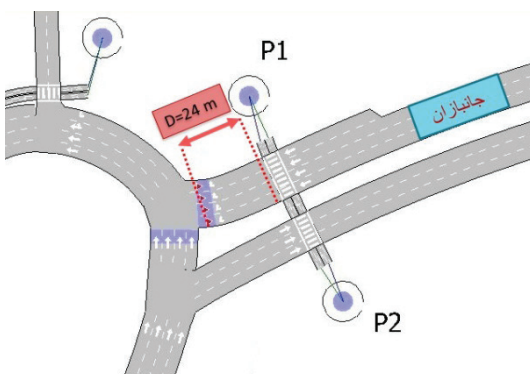
(آ) فاصله گذرگاه عابر تا میدان برابر ۶ متر



(ب) فاصله گذرگاه عابر تا میدان برابر ۱۲ متر



(ج) فاصله گذرگاه عابر تا میدان برابر ۱۸ متر



(د) فاصله گذرگاه عابر تا میدان برابر ۲۴ متر

شکل ۶: سناریوهای محل عبور عابر پیاپی

اوج صبح است. تعداد خودروی‌هایی که زمان سفر آنها برداشت شده است به عدد ۵۰ می‌رسد. طبق نتایج آزمون  $t$ ، مقدار زمان سفر ۹۲ ثانیه (خروجی نرم افزار ایمنسان) اختلاف معناداری با میانگین برداشت شده از محل (۸۶ ثانیه) ندارد. لذا می‌توان این زمان سفر را به جامعه نسبت داد. این امر بر واقعی بودن شبیه سازی انجام شده دلالت دارد.

#### ۶- سناریوهای عابر پیاپی

در ساخت سناریوهای عابر پیاپی سه متغیر حجم عابر، محل گذرگاه عابر و نرخ جریان گردش میدان در نظر گرفته شده است. همچنین از چهار رویکرد میدان خیابان جانبازان به دلیل حجم زیاد ترافیک در ساعت اوج صبح برای ساخت سناریوها مناسب شناخته شد.

#### ۶-۱- حجم عابر پیاپی

حجم عابر پیاپی به عنوان مهمترین ویژگی عابر پیاپی در کاهش ظرفیت میدان تلقی می‌شود. حجم عابر در خیابان جانبازان در شرایط واقعی برابر ۱۲۰ عابر در ساعت در هر جهت می‌باشد. احجام عابر پیاپی بکار رفته در سناریوها برابر ۰ و ۱۰۰ و ۲۰۰ و ۳۰۰ و ۴۰۰ عابر پیاپی در ساعت در هر جهت فرض شده است. مقادیر فوق با توجه به میزان تردد عابر پیاپی در وضعیت موجود انتخاب شده اند. در سناریوها حجم صفر نیز برای عابر وجود دارد تا سایر سناریوها نسبت به آن سنجیده شوند.

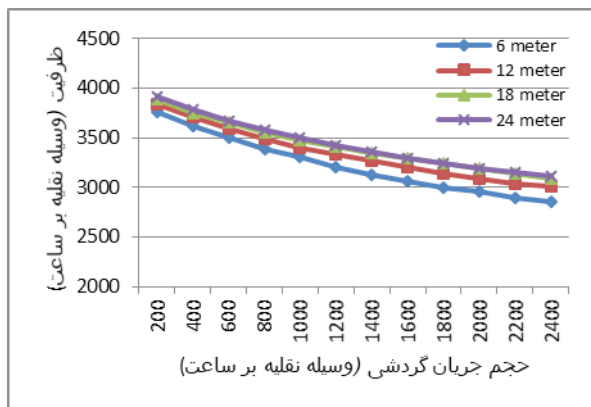
#### ۶-۲- محل گذرگاه عابر

تاثیر فاصله گذرگاه عابر تا میدان نیز بر ظرفیت ورودی میدان بررسی شده است. در شرایط واقعی محل عبور عابر ۱۲ متر تا ورودی میدان فاصله دارد. در سناریوها این مقدار برابر ۶ و ۱۲ و ۱۸ و ۲۴ متر انتخاب شده است. انتخاب این مقادیر بر این اساس است که ۱ و ۲ و ۳ و ۴ خودرو به ترتیب بتوانند بین خط کشی عابر و خط رعایت حق تقدم قرار بگیرند. همچنین مسیر عبور عابر پیاپی دوطرفه بوده و دارای عرض کل ۵ متر می‌باشد.

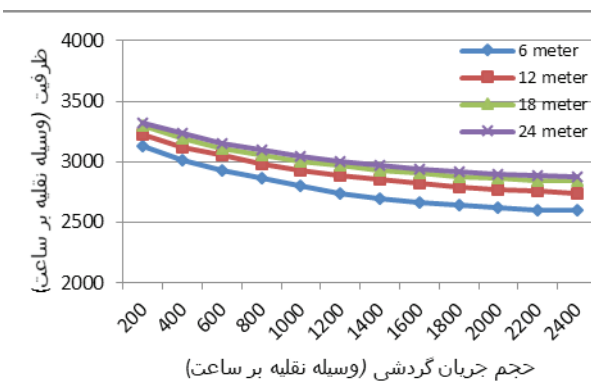


## ۷-۲- نتایج شبیه سازی بر اساس تغییرات محل عبور عابر

شکل (۸) ظرفیت رویکرد را در مقابل حجم جریان گردش نشان می‌دهد. هر نمودار تحت تاثیر حجم یکسانی از عابر پیاده بدست آمده است و هر منحنی نشان دهنده یک محل عبور عابر پیاده می‌باشد. همچنین هر نقطه از نمودار حاصل میانگین ۵ تکرار شبیه سازی است.



(د) حجم عابر پیاده برابر ۳۰۰ متر در ساعت



(ه) حجم عابر پیاده برابر ۴۰۰ متر در ساعت

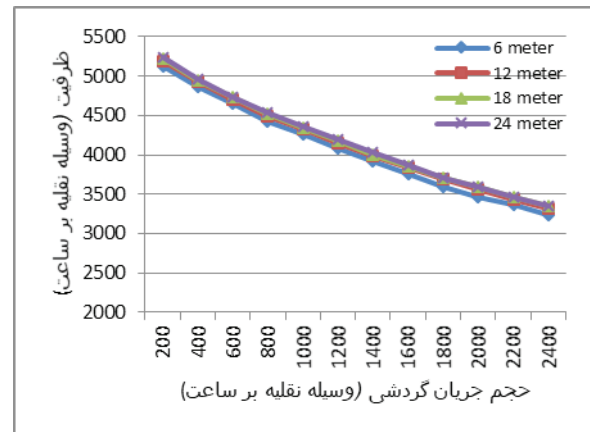
شکل ۸: نمودار ظرفیت رویکرد، حجم عابر پیاده برابر ۰ و ۱۰۰ و ۲۰۰ و ۳۰۰ و ۴۰۰ متر در ساعت

## ۸- تحلیل نتایج

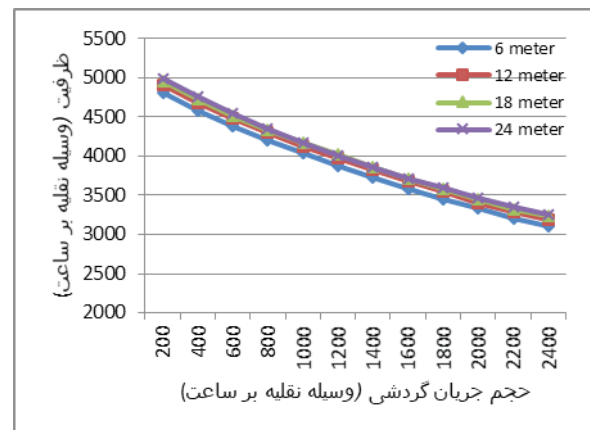
۱- با افزایش حجم جریان گردش، ظرفیت ورودی رویکرد کاهش می‌یابد. در ضمن این کاهش ظرفیت نرخ کاهشی دارد. بدین معنی که حساسیت ظرفیت در احجام گردش کم، بیشتر است و با افزایش جریان گردش این حساسیت کمتر می‌شود.

۲- در یک حجم جریان گردش ثابت، با افزایش حجم عابر پیاده ظرفیت رویکرد کاهش خواهد یافت. این کاهش ظرفیت در احجام گردش مختلف، متفاوت است. در احجام گردش کم، تاثیر عابر پیاده بر کاهش ظرفیت بیشتر است و با افزایش حجم جریان گردش تاثیر عابر پیاده کاهش می‌یابد.

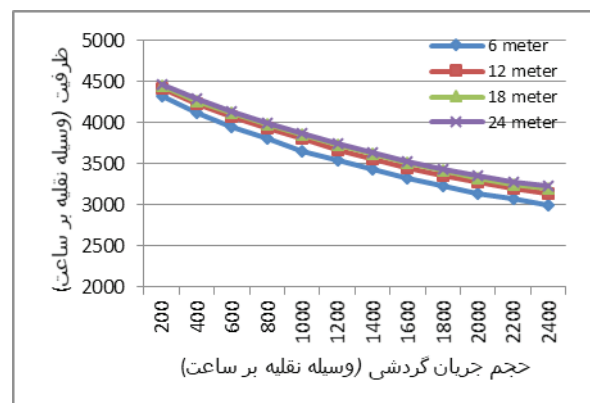
۳- با افزایش فاصله گذرگاه عابر تا میدان، یعنی زمانی که گذرگاه عابر از میدان فاصله زیادی دارد و جریان گردش بالاست، احجام مختلف عابر تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند.



(آ) حجم عابر پیاده برابر ۰ متر در ساعت



(ب) حجم عابر پیاده برابر ۱۰۰ متر در ساعت



(ج) حجم عابر پیاده برابر ۲۰۰ متر در ساعت

Roundabouts, treatments of Pedestrian Crosswalks, Journal of Transportation Research Board, No. 2265, Washington D.C., 2011

- 3- Claudio Meneguzzer, Riccardo Rossi: Evaluating the Impact of Pedestrian Crossing on roundabout entry Capacity, treatments of Pedestrian Crosswalks, Department of Structural and Transportation Engineering, University of Padova, Via Margolo 9, 35131 Padova, Italy, 2011
- 4- Nan Kang, Hideki Nakamura and Miho Asano: Estimation of Roundabout Entry Capacity Under the Impact of Pedestrians by Applying Microscopic Simulation, Journal of Transportation Research Board, No. 2461, Washington D.C., 2014

۵- سید حمزه حسینی، "بررسی ظرفیت میدان‌های شهری و عوامل موثر بر آن (مطالعه موردی شهر رشت)"، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه گیلان، بهمن ۱۳۹۳.

۶- کتاب "کالیبره نمودن نرم افزارهای مهندسی ترافیک بر اساس شرایط ترافیکی شهر تهران"، جلد پنجم، معاونت و سازمان حمل و نقل و ترافیک شهرداری تهران.

۴- وقتی که هیچ عابر پیاده ای وجود نداشته باشد، فواصل مختلف گذرگاه عابر تا میدان نیز بی معنی و بیهوده خواهد بود و انتظار می‌رود که تمام منحنی‌های ظرفیت روی یکدیگر قرار گیرند.

۵- در یک حجم جریان گردشی ثابت، با افزایش فاصله گذرگاه عابر تا میدان، ظرفیت رویکرد افزایش خواهد یافت. این افزایش ظرفیت در احجام گردشی مختلف، یکسان است. اما با افزایش فاصله گذرگاه عابر تا میدان، تاثیر فاصله بر افزایش ظرفیت میدان کمتر می‌شود.

۶- در احجام بالا از عابر پیاده تاثیر فاصله گذرگاه عابر تا میدان بر ظرفیت ورودی بیشتر است.

## ۹- مراجع

- 1- Carlos Duran: Effects of Pedestrian Crossing on Roundabout Capacity, Department of Civil Engineering, The University of Texas at EL Paso, 2010
- 2- George X. Lu, Fang Gang, David A. Noyce: Simulation Study of Access Management at Modern

## The Influence of Pedestrians on Roundabout Capacity in Iran

Ali Mansourkhaki <sup>1</sup>, Behzad Zeinali <sup>2</sup>

1- Associate Professor in university of science and technology

2- Master student in university of science and technology

### Abstract

Roundabout capacity as well as other city intersections are the most important issues in their design. A variety of factors can affect the capacity that the most important of them can be circulating flow rate, flow rate of heavy vehicles, the presence of pedestrian, driver behavior and geometrical characteristics. Therefore Experts have tried based on various sciences, engineering, mathematical and statistical methods to determine the capacity of roundabout according to local conditions.

Most previous studies focused on the effects of the volume of incoming vehicles, circulating vehicles and geometry of the roundabout, such as number of lines and the diameter of the roundabout on roundabout capacity. Only a handful of studies have examined the impact of the pedestrian on the entry capacity.

In this thesis has been tried to discuss of the analysis and the capacity roundabout without lights and the factors affecting it, the pedestrian influence on entry capacity. To do it, a case study in Tehran roundabouts (Sabalan square) is selected and Pedestrian parameters such as volume, distance the pedestrian crosswalk to the roundabout, the volume of circulating vehicles in simulation software AIMSUN was modeled.

Keywords: roundabout capacity , pedestrian , circulating flow rate , simulation