فصلنامه مهندسی ترافیک، سال بیست و دوم، شماره ۸۸، بهار ۱۴۰۱، ص. ۵۱-۳۹

# ارزیابی تاثیر حرکت گروهی عابران در سرویس‌دهی پیاده‌روهای شهری

مهدی محمدی، دانشجوی دکتری مهندسی عمران- راه و ترابری، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

غلامعلی شفابخش (مسئول مکاتبات)، دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

**E-mail: Shafabakhsh@semnan.ac.ir**

## چکیده

*حرکت گروهی افراد در پیاده‌روها به دلیل خصوصیات متفاوتی که با حرکت عابرین تنها دارد، می‌تواند تاثیر قابل ملاحظه‌ای در جریان حرکتی عابرین و درنتیجه سطح رضایتمندی آنها از پیاده‌رو داشته باشد. در این مقاله از یک روش جدید تحت عنوان میکروشبیه‌سازی برای ارزیابی سطح سرویس پیاده‌روها در کشور استفاده شده است. برای این کار شش سناریو مختلف شامل حضور ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصدی گروه دو نفره، ۱۰ و ۲۰ درصدی گروه سه نفره و حضور ترکیبی ۲۵ درصد گروه دو نفره و ۱۵درصد گروه سه نفره یکبار برای پیاده رو با عرض ۳ متر و یکبار برای پیاده رو با عرض ٤/٥ متر در نظر گرفته شد. علاوه بر این برای به‌دست آوردن پارامترهای ورودی نرم افزار، ۸ پیاده رو در ٤ منطقه از شهر تهران مورد مطالعه قرار گرفت. طبق نتایج تحقیق میانگین فضای حرکتی با افزایش ترافیک گروه‌های عابر پیاده کاهش می‌یابد. همچنین روند کاهش سطح سرویس در پیاده‌رو عریض‌تر با شیب ملایم‌تری نسبت به پیاده‌رو باریک‌تر اتفاق می‌افتد. نتایج این تحقیق، در کنار آیین‌نامه‌های موجود می‌تواند به عنوان راهنمایی مناسب برای مدیران و طراحان شهری برای بهبود روند طراحی های مسیرهای پیاده شهری، افزایش رضایتمندی شهروندان و صرفه‌جویی در هزینه انجام پروژه‌ها در کشور مورد استفاده قرار گیرد.*

**کلمات کلیدی:** طراحی پیاده‌رو، شهر، سرویس‌دهی، گروه عابران پیاده، فضای حرکتی

## ۱. مقدمه

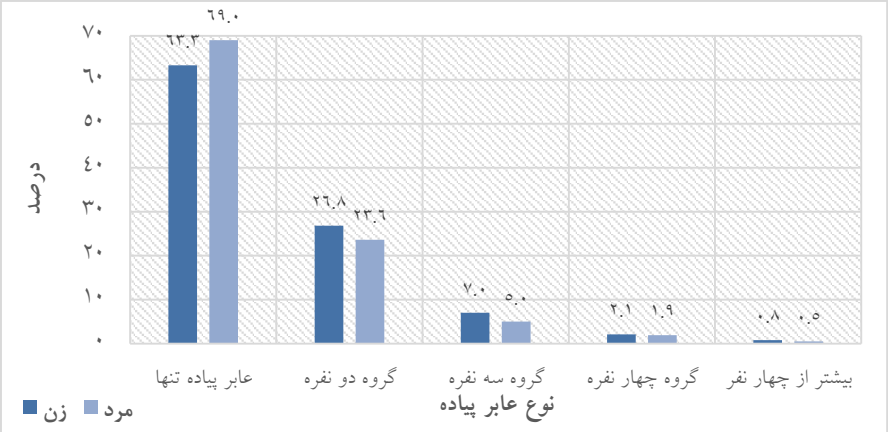
پیاده‌روی ساده‌ترین، قدیمی‌ترین، ارزان‌ترین و ضروری‌ترین نوع روش حمل و نقل می‌باشد که منجر به بهبود کیفیت زندگی شهری، افزایش نشاط اجتماعی و پویایی شهری، و ارتقای سطح سلامت عمومی می‌شود [Pakzad, 2004: 10]. افراد برای انجام ساده‌ترین نیازهای روزانه خود مانند خرید یا طی قسمتی از مسیر خود برای مثال فاصله ایستگاه مترو تا ایستگاه تاکسی پیاده‌روی می‌کنند. پیاده‌روها محل حضور عمومی همه شهروندان و مشارکت آنها در زندگی اجتماعی خود می‌باشد. مسیرهای پیاده‌روی در مقیاس همه شهر عمل کرده و پذیرای همه اقشار مختلف شهروندان می‌باشد و علاوه بر نقش ارتباطی و دسترسی مکانی امن و راحت برای ارتباط اجتماعی، گردش و تفریح را فراهم می آورد [Abbaszadeh and Tamari, 2012: 2]. توجه به مکان‌های پیاده‌روی در جوامع شهری موجب تشویق افراد به حضور در محیط شهر شده و شهروندان را به حضور داوطبانه در شهر فرا خواهد خواند. لذا توجه بیشتر مدیران شهری به فضاهای حرکتی شهری مانند پیاده رو یکی از اساسی‌ترین بخش‌های سیاست‌های شهری برای رسیدن به توسعه پایدار می‌باشد.

همواره بخشی از افراد حاضر در پیاده‌روها را گروه‌های دو یا چند نفره تشکیل می‌دهند. این در حالی است که در طراحی پیاده‌روها تاثیر این نوع از عابران پیاده در نظر گرفته نمی‌شود و محاسبات بر اساس عابران پیاده تنها انجام می‌شود. اما مشخصات حرکتی و ابعاد فیزیکی متفاوت گروه عابران پیاده مسلما روی سطح سرویس طراحی شده پیاده‌رو اثرگذار خواهد بود. لذا بررسی تاثیر حضور گروه‌های عابرین پیاده در پیاده‌روها می‌تواند به عنوان راهنمایی برای طراحان شهری و مهندسان شهرسازی در طراحی پیاده‌روها و نیز طرح‌های بهسازی مورد استفاده قرار گیرد.

## ۲. پیشینه تحقیق

رضایت عابرین از محیط پیاده‌روی تحت تاثیر عوامل مختلفی مانند تسهیلات موجود در پیاده‌رو [Mitchell and MacGregor, 2008: 2]، شرایط فیزیکی پیاده‌رو [Older, 1968: 2 and Robertson et al., 1994: 36]، نوع مسیر پیاده‌روی [Tanaboriboon and Guyano, 1991: 3 ]، خصوصیات عابرین پیاده[Smith, 1995: 5] و تراکم و تداخل موجود در پیاده‌رو[ Shafabakhsh et al., 2013: 6] می‌باشد. تراکم و تداخل در محیط پیاده‌روی می‌تواند ناشی از حضور و حرکت گروه‌های اجتماعی در پیاده‌رو باشد. حرکت گروهی افراد در پیاده‌روها به دلیل خصوصیات متفاوتی که با حرکت عابرین تنها دارد، می‌تواند تاثیر قابل ملاحظه‌ای در جریان حرکتی عابرین در پیاده‌رو داشته باشد. لذا توجه به این موضوع در طراحی پیاده‌روها برای ارتقای سطح رضایت‌مندی عابرین و جذب آنها به پیاده‌روی می‌تواند باعث بهبود شرایط حاکم بر پیاده‌روها شود.[Shafabakhsh et al., 2015: 3 ].

طبق گزارش فاز اول مطالعات سطح سرویس انجام شده در شهر نیویورک که بر روی ۸۸۷۱ عابر پیاده انجام شد ملاحظه گردید که ۵۸۹٤ نفر به صورت تنها، ۲۲۲۱ نفر به صورت گروه دو نفره، ۵۲٤ نفر به صورت گروه سه نفره، ۱۷۸ نفر به صورت گروه چهار نفره و ۵٤ نفر به صورت گروه‌های بیش از چهار نفر حرکت می‌کنند[ Bloomberg and Burden, 2006: 33]. در شکل ۱ جزئیات بیشتری از این تحقیق ارائه شده است.




**شکل ۱. درصد عابران پیاده بر اساس تعداد اعضای گروه و جنسیت** [Bloomberg and Burden, 2006: 33]

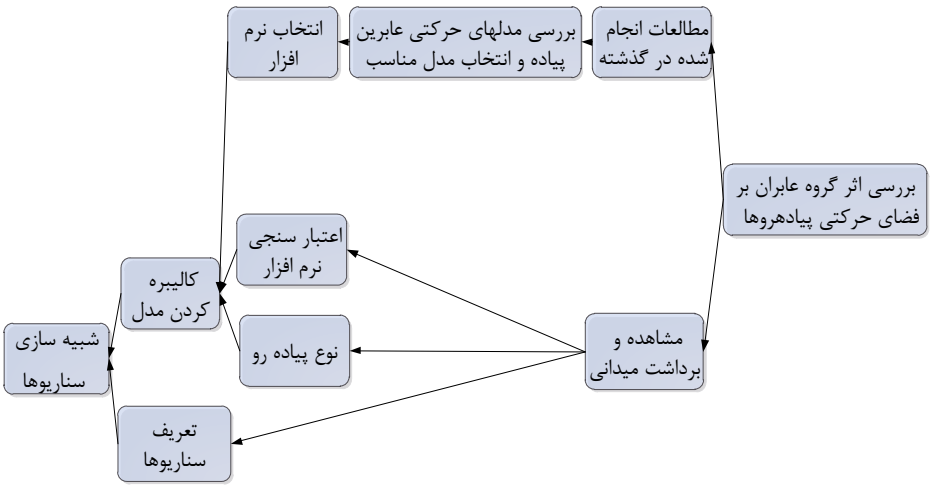
بطور کلی برنامه‌ریزی و طراحی مسیرهای پیاده‌روی بر اساس سطح سرویس انجام می‌شود. مبنای اساسی تعریف سطوح سرویس رابطه بین چگالی و سرعت عابران پیاده می‌باشد و عوامل مختلفی نظیر شکل و ابعاد بدن عابران پیاده روی تعیین سطح سرویس پیاده رو اثر گذار هستند. برای اولین بار فروین (۱۹۷۱) سطوح سرویس مخصوصی برای پیاده‌روها تعریف کرد. فروین از یک رویه ترکیبی کیفی-کمی برای ارزیابی سطح سرویس پیاده‌روها استفاده کرده است. به طور کلی طراحی پیاده‌رو می‌بایست برای زمان اوج ترافیک مسیر پیاده‌روی انجام گیرد. همچنین در طراحی پیاده‌رو باید به عوامل اثر گذار در کاهش سطح سرویس مانند تاثیر دستفروشان، کاربری تجاری اطراف پیاده‌رو و میزان حضور گروه‌های عابرین پیاده در پیاده‌روها توجه شود. یکی از پارامترهای اثرگذار در سطح سرویس پیاده‌روها، فضای حرکتی عابرین پیاده می‌باشد. فروین نشان داد که حدود ۷۰ تا ۷۵ ساتی متر فضای عرضی و ۲۴۰ تا ۳۰۰ ساتی متر فضای طولی برای حرکت راحت هر عابر مورد نیاز است. طبق نتایج همان تحقیق ۱/۸۵ تا ۲/۷۵ متر مربع فضای حرکتی برای هر عابر نیاز است. سپس فروین در مطالعه‌ای نشان داد که حداقل فضای حرکتی مورد نیاز برای هر عابر پیاده جهت حرکت راحت در مسیر پیاده روی ۳/۲۵ متر مربع می‌باشد[Fruin, 1971: 6].

درگذشته مهندسان ترافیک از مدل‌هایی که در مورد تحلیل‌های ترافیکی وسایل‌نقلیه به کار می‌برند، برای تعیین سطح سرویس جریان عابرین‌پیاده استفاده می‌کردند [HCM, 2000; Dixon, 1996: 5; Milazzo et al., 1999: 4]. نوع متداول این مدل‌سازی‌ها استفاده از رگرسیون خطی برای اندازه‌گیری جریان عبوری عابران پیاده بود [Fruin, 1971: 1 and ; Dixon, 1996: 1]. در حال حاضر سه روش عمده مطالعه میدانی، مصاحبه و شبیه سازی در زمینه مطالعه رفتار عابران پیاده مطرح است [Shafabakhsh, 2013: 3]. در این مقاله از یک روش جدید تحت عنوان میکرو شبیه‌سازی برای ارزیابی ظرفیت ترافیکی پیاده‌روها در کشور استفاده شده است. با توجه به اینکه این روش می‌تواند تعداد زیادی از فاکتورهای دخیل در تحلیل ظرفیت ترافیکی پیاده‌روها را شبیه‌سازی نماید، در سالهای اخیر استفاده از این روش به طور گسترده افزایش یافته است. متعاقباً با گسترش این روش، نرم‌افزارهای مختلفی نیز در سطح جهان برای استفاده از مدل‌های شبیه‌سازی میکرو پیاده‌روها سازماندهی شده است. نرم‌افزاری که در این مقاله برای ارزیابی تاثیر حضور گروه های عابران پیاده در فضای حرکتی پیاده‌روها استفاده می‌شود، Micro-PedSim [Teknono, 2002: 1] می‌باشد.

## ۳. متدولوژی تحقیق

روند کلی تحقیق در شکل ۲ ارائه شده‌است. برای بررسی تاثیر حضور گروه عابران پیاده، روی فضای حرکتی سایر عابرین‌پیاده در پیاده‌روها، از روش میکرو شبیه‌سازی استفاده شد. در مدل میکروشبیه‌سازی عابرین پیاده رفتار هر عابرپیاده به طور منحصر به فرد مدل‌سازی می‌شود. . مدل‌های شبیه‌سازی میکروسکوپیک عابرین پیاده بر اساس معیارهای درونی مدل به ۳ نوع مختلف "مدل‌هایی که اساس سلولی دارند"، " مدل‌هایی که بر اساس تئوری شبکه و صف‌بندی ایجاد شده‌اند." و " مدل‌هایی که براساس نیروهای فیزیکی شکل گرفتند. " تقسیم می‌شود. در راستای روش‌های مبتنی بر نیروهای فیزیکی، دو مدل نیروی مغناطیسی و نیروی اجتماعی ارائه شده‌اند. مدل نیروی مغناطیسی توسط اوکازاکی(۱۹۷۹) پیشنهاد شد و توسط اوکازاکی و ماتسوشیتا (۱۹۸۱) توسعه یافت. مدل نیروی اجتماعی توسط هلبینگ (۱۹۹۱) ارائه شد و توسط محققین دیگر [Helbing and Molnar, 1995:1 and Helbing and Vicsek, 1995:1] توسعه و بهبود یافت. از میان مدل‌های ارائه شده برای میکروشبیه‌سازی پیاده‌رو مدل نیروی‌اجتماعی به‌دلیل دارا بودن ماهیت ریاضی دقیق‌تر، مناسب‌ترین روش را برای توضیح رفتار حرکت عابرین ارائه می‌دهد [Shafabakhsh, 2013: 4].

نرم‌افزاری که در این مقاله به منظور شبیه‌سازی جریان حرکتی پیاده‌روها مورد استفاده قرار می‌گیرد، Micro-Pedsim می‌باشد. اساس کار این نرم‌افزار برای ارزیابی حرکت عابران در پیاده‌رو روش شبیه‌سازی میکرو و مدل نیروی‌اجتماعی است. این نرم‌افزار امکان مدل‌سازی تداخل و رفتار عابرین پیاده را به صورت میکروسکوپیک فراهم می‌سازد؛ همچنین بین رفتار میکروسکوپیک تک تک عابرین پیاده و رفتار ماکروسکوپیک ترافیک پیاده‌روها ارتباط برقرار می‌کند. نرم‌افزار می‌تواند حضور افراد در پیاده‌روها را به روش تصادفی یا منظم توزیع نماید. در این نرم‌افزار امکان مدل‌سازی حداکثر دو جهت در مسیر پیاده‌روی وجود دارد.




**شکل ۲. نموگرام روند تحقیق**

در این تحقیق ابتدا رفتار واقعی افراد از طریق فیلم‌های برداشت شده بررسی و داده‌های مربوط به فضای حرکتی استخراج گردید. سپس رفتار مشاهده‌شده از حرکت افراد در مقاطع مورد مطالعه در نرم‌افزار مدلسازی شد. در نهایت نتایج حاصل از مطالعه میدانی و مدلسازی جهت اعتبارسنجی نرم افزار با همدیگر مقایسه شدند.

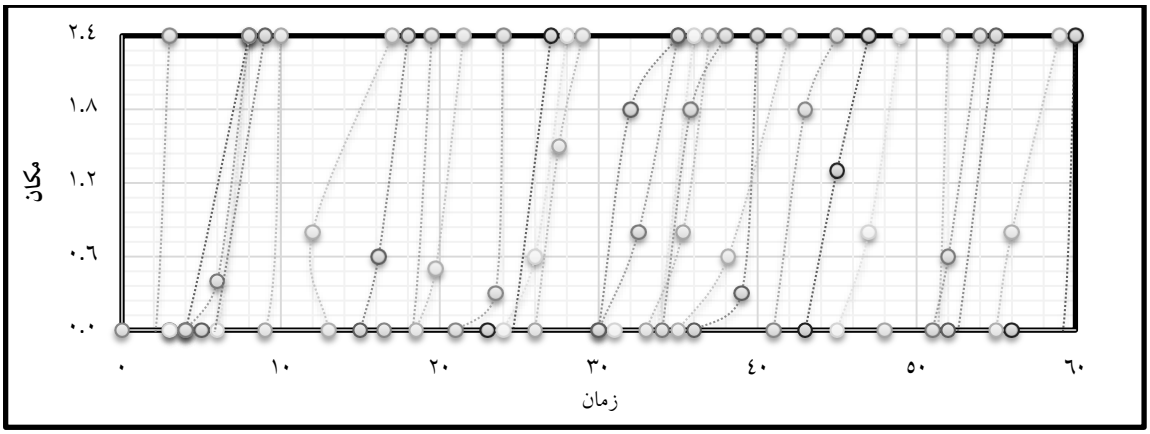
در این مطالعه ۲ نوع کلی پیاده‌رو با عرض ۳ و ٤/٥ متر شبیه‌سازی گردید. همچنین برای ساده‌تر کردن مدل‌ها، فرض

شد که مسیر عبوری افراد فقط در یک جهت باشد. برای کالیبره کردن مدل‌های ساخته‌شده خصوصیات همه عابران‌پیاده در نرم‌افزار وارد شد. نتایج با مقادیر حداکثر و حداقل مجاز میانگین فضای حرکتی ارائه شده در آیین نامه تسهیلات پیاده روی ایران [Iran's sidewalk facility code No. 144-3, 1997: 67] مقایسه گردید.

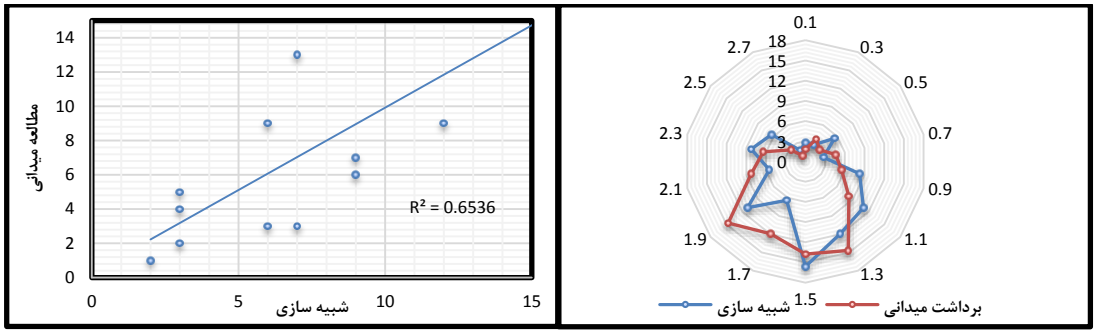
در ادامه برای بررسی تاثیر حضور گروه‌های عابرین دو و سه نفره در فضای حرکتی سایر عابرین پیاده ٦ سناریو مختلف شامل حضور ۱۰، ۲۰ و ۳۰ درصدی گروه دو نفره، ۱۰ و ۲۰ درصدی گروه سه نفره و حضور ترکیبی ۲۵ درصد گروه دو نفره و ۱۵ درصد گروه سه نفره یکبار برای پیاده رو با عرض ۳ متر(مدل ۱) و یکبار برای پیاده رو با عرض ٤/٥ متر (مدل ۲) شبیه‌سازی شدند. پس از شبیه‌سازی سناریوهای مختلف، میانگین فضای حرکتی به دست آمده از تحلیل شبیه‌سازی با نتایج حاصل از مدل کالیبره شده (۱۰۰ ٪ عابرین پیاده تنها فرض شدند) مقایسه شد.

## ٤. اعتبار سنجی نرم افزار Micro-PedSim

هیچ تضمین آماری وجود ندارد که پارامترهای تعریف شده در نرم‌افزار Micro-PedSim برای مناطق مورد مطالعه توسط نویسندگان معتبر باشند. به همین علت برای مقاصد عملی، نیاز به اعتبار سنجی پارامترهای موجود در نرم‌افزار با توجه به رفتار حرکتی جامعه آماری مورد مطالعه است. برای اعتبار سنجی نرم افزار مورد استفاده از ۸ پیاده‌رو با شرایط تقریباً یکسان از نظر عرض، شیب، کاربری اطراف و نوع روسازی در مناطق ٤ ، ۷، ۱۳ و ۲۰ شهر تهران در سه بازه ۱۰ دقیقه‌ای، صبح، ظهر و عصر در تاریخ ۳ تا ٦ اسفند ۱۳۹۲ تصویر برداری شد. در انتخاب مقاطع مورد مطالعه دو ویژگی یکسان بودن شرایط فیزیکی و امکان تصویربرداری نامحسوس از زاویه بالا می‌بایست رعایت می‌شد. از میان تمام تصاویر برداشت شده ۳ بازه زمانی ۱ دقیقه ای به صورت تصادفی انتخاب شد. هدف از این انتخاب، مقایسه میانگین فضای حرکتی عابران پیاده به دست‌آمده از مطالعه میدانی (حالت واقعی) و روش شبیه‌سازی جهت اعتبارسنجی نرم‌افزار بود. نمودار مکان- زمان مربوط به یکی از بازه‌های ٦۰ ثانیه‌ای حرکت عابرین در مقاطع مورد مطالعه در شکل۳ نشان داده شده است. نمودار درصد توزیع فراوانی حاصل از مشاهده میدانی و شبیه‌سازی در شکل ٤ الف و ب نشان داده شده است.




**شکل۳. نمودار مکان- زمان مربوط به یک بازه ٦۰ ثانیه‌ای از حرکت عابرین**




**الف. درصد توزیع فراوانی فضای حرکتی** **ب. نمودار اعتبار سنجی**

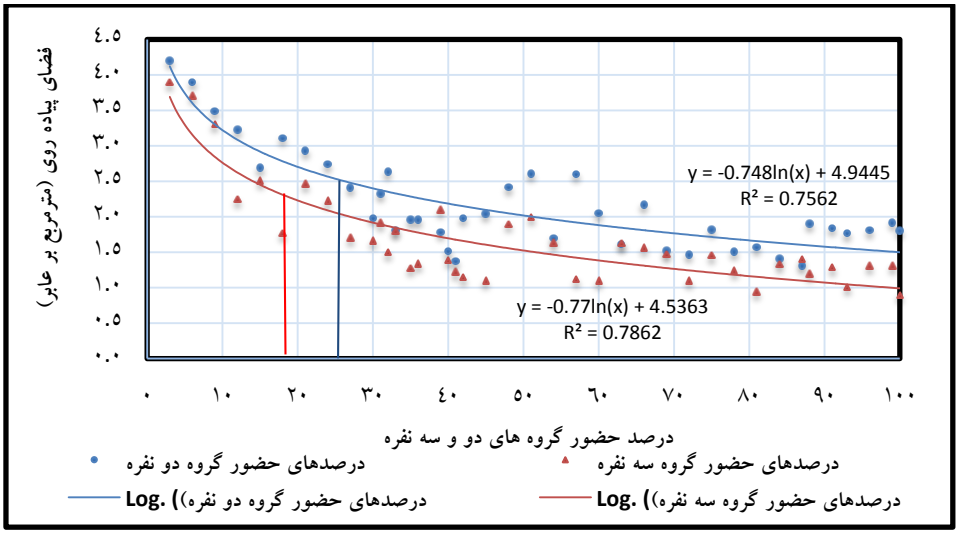
**شکل ٤. نمودار درصد توزیع فراوانی فضای حرکتی و نمودار اعتبار سنجی توزیع درصد فروانی فضای حرکتی در دو حالت شبیه‌سازی شده و برداشت میدانی**

## ۵. میکرو شبیه‌سازی تاثیر حضور گروه‌های عابران پیاده رو در فضای حرکتی سایر عابران

اثر پارامترهای مختلفی مانند گروه سنی و جنسیت در منابع مختلف [HCM, 2000; MUTCD, 2003; TCDH, 2001; Dewarr, 1999: 25] در کاهش فضای حرکتی عابرین‌پیاده در پیاده‌روها در نظر گرفته شده است. با این وجود اشاره مشخصی به تاثیر میزان حضور گروه‌های عابرین پیاده در کاهش فضای حرکتی در پیاده‌روها نشده است. به همین منظور نویسندگان با استفاده از میکروشبیه‌سازی عابرین تاثیر حضور درصدهای مختلف گروه‌های دو و سه نفره را در تغییرات فضای حرکتی متوسط کل پیاده رو به دست آوردند. به همین منظور با استناد با نشریه ١٤٤ معاونت راهبردی ریاست جمهوری [Iran's sidewalk facility code No. 144-3, 1997: 70] ابتدا یک مسیر پیاده‌روی در سطح سرویس C در نرم‌افزار شبیه‌سازی شد. همانطور که در شکل ۵ نشان داده شده است، متوسط فضای حرکتی عابران‌پیاده در پیاده‌روها با افزایش درصد حضور گروه‌های دو و سه نفره به‌صورت لگاریتمی کاهش می‌یابد. تغییرات شیب منحنی به دست آمده در حضور ۲۵٪ درصد گروه دو نفره و ۱۹٪ درصد گروه سه نفره در پیاده رو مشهود است.

اندازه بدن عابر مورد مطالعه و سرعت پیاده‌روی دو پارامتر قابل تنظیم در نرم‌افزار Micro-PedSim می‌باشد. نرخ تردد عابران‌پیاده (نفر بر دقیقه بر متر) به عنوان داده ورودی شبیه سازی مورد استفاده قرار گرفت. برای به دست‌آوردن سرعت‌حرکتی گروه عابران، در ٤ منطقه از شهر تهران مطالعات میدانی برروی ۸ پیاده رو توسط نویسندگان انجام شد. نتایج در جدول ۱ نشان داده شده است.

شبیه‌سازی عابران‌پیاده در نرم‌افزار به صورت سطح دایره‌ای انجام می‌گیرد. مطابق با پیشنهاد نشریه ١٤٤ معاونت راهبردی ریاست جمهوری [Iran's sidewalk facility code No. 144-2, 1996: 29] ضخامت و پهنای همه عابران تنها، به ترتیب ٤٣cm و ٧٠cm است. بنابر این با تبدیل سطح مستطیلی به سطح دایروی قطر دایره عابرین پیاده موردنیاز برای شبیه سازی مطابق جدول ۲ تعیین شد. البته با توجه به اینکه ابعاد حرکتی گروه سه نفره در نشریه ١٤٤ [Iran's sidewalk facility code No. 144-2, 1996: 29] ذکر نشده است، لذا در این مورد به گزارش NCHRP [Fitzpatrick, 2006: 10] مراجعه شد.




**شکل ۵. منحنی تغییرات متوسط فضای پیاده‌روی عابران‌پیاده در پیاده‌روها با افزایش درصد حضور گروه‌های دو و سه نفره**

**جدول ۱. نتایج حاصل از مطالعه میدانی**

| نوع عابرین پیاده | تعداد افراد مشاهده شده در پیاده‌رو | سرعت میانگین (متر بر ثانیه) | انحراف معیار |
|---|---|---|---|
| عابر پیاده تنها | ۳۸۳ | ۱/۲ | ۰/۱٦ |
| گروه دو نفره | ۱۳٤ | ۱/۰۷ | ۰/۱۲ |
| گروه سه نفره | ۳۱ | ۰/۹۸ | ۰/۲۳ |

**جدول ۲. قطر دایره مورد استفاده در نرم‌افزار (تمامی اعداد بر حسب سانتی‌متر می‌باشند.)**

| نوع عابر پیاده | پهنای عابران | ضخامت عابران | قطر دایره مورد استفاده در نرم افزار |
|---|---|---|---|
| عابر پیاده تنها | ۷۰ | ٤۳ | ٦۲ |
| گروه دو نفره | ۱٤۰ | ٤۳ | ۸۸ |
| گروه سه نفره | ۲٦۰ | ٤۳ | ۱۲۰ |

برای ساده‌تر کردن مدل‌ها، فرض شد که مسیر عبوری افراد فقط در یک جهت باشد. برای تخمین تاثیر حضور گروه‌های دو و سه نفره در پیاده‌روها، طول مشخصی از ۲ نوع مختلف پیاده‌رو در نظر گرفته شد. ۲ پیاده‌رو با عرض ۳ و ٤/۵ متر و با طول یکسان ۱۰ متر انتخاب شدند. نرخ تردد عابران‌پیاده مورد استفاده در مدل‌سازی‌ها، بصورت بازه‌های تعریف شده در جدول۳ می‌باشد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی نیز با متوسط بازه فضای حرکتی متناظر با میانگین نرخ تردد عابران پیاده مقایسه خواهند شد. برای استخراج این مقادیر از جدول ٤ استفاده می‌شود.

**جدول۳. معیارهای پیشنهادی برای سطح سرویس معابر پیاده در شرایط کشور ایران**

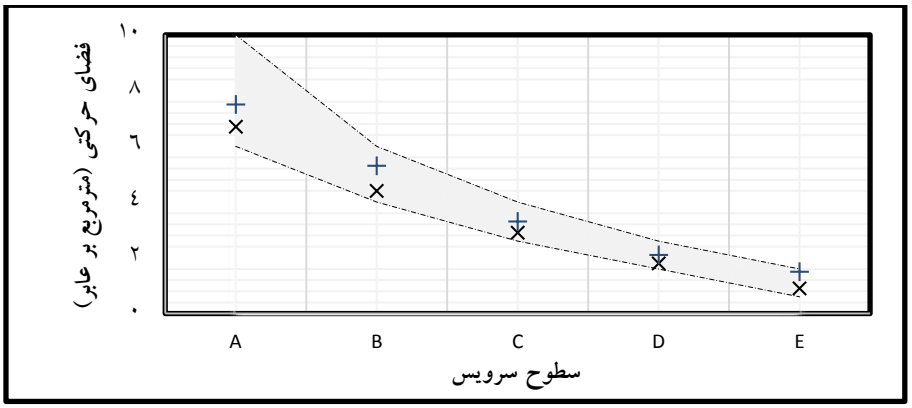
[**Iran's sidewalk facility code No. 144-3, 1997: 67**]

| سطح سرویس | فضای حرکت ($m^2$/ped) | نرخ تردد عابر (ped/m/min) |
|---|---|---|
| **A** | $\geq 6$ | $\leq 13$ |
| **B** | $\geq 4$ | $\leq 19$ |
| **C** | $\geq 2/6$ | $\leq 27$ |
| **D** | $\geq 1/6$ | $\leq 41$ |
| **E** | $\geq 0/6$ | $\leq 68$ |
| **F** | $< 0/6$ | متغیر |

**جدول٤. میانگین معیارهای نرخ تردد عابر مورد استفاده در شبیه‌سازی‌ها**

| | سطح سرویس A | سطح سرویس B | سطح سرویس C | سطح سرویس D | سطح سرویس E |
|---|---|---|---|---|---|
| **مقدار کمینه جدول۳** | ۰ | ١٤ | ٢٠ | ٢٨ | ٤٢ |
| **مدل۱** | ٦ | ١٦ | ٢٣ | ٣٤ | ٥٥ |
| **مدل۲** | ٦ | ١٦ | ٢٣ | ٣٤ | ٥٥ |
| **مقدار بیشینه جدول۳** | ١٣ | ١٩ | ٢٧ | ٤١ | ٦٨ |

برای کالیبره‌کردن مدل‌های ساخته شده (قبل از ساخت مدل‌های اصلی که شامل گروه های دو یا سه نفره نیز هستند) ابتدا خصوصیات همه عابران‌پیاده به‌صورت متوسط نرخ تردد عابر برای افراد معمولی در نرم‌افزار وارد شد. سپس نتایج با مقادیر حداکثر و حداقل میانگین فضای حرکتی ارائه شده در جدول۳، مقایسه گردید. شکل ٦ میانگین فضای حرکتی عابران پیاده را برای هر یک از سطوح سرویس حاصل از مدل کالیبره شده نشان می‌دهد.



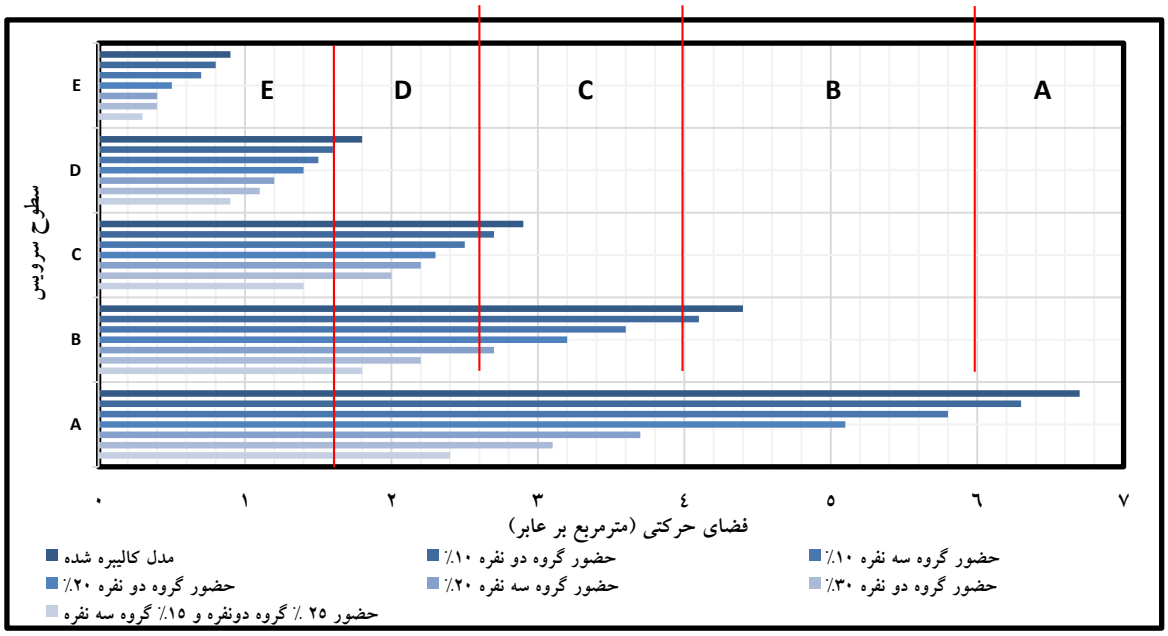

**شکل٦. میانگین فضای حرکتی عابرین‌پیاده در مدل‌های کالیبره شده در مقایسه با بازه‌های مجاز جدول۳ (مترمربع بر عابر)**

مطابق با شکل شماره ٦ ملاحظه می‌شود که میانگین فضای حرکتی حاصل از شبیه‌سازی در هر دو مدل ساخته‌شده در روند شبیه‌سازی بین مقادیر حداقل و حداکثر ارائه شده در نشریه ١٤٤ معاونت راهبردی ریاست جمهوری [Iran's sidewalk facility code No. 144-3, 1997: 67] قرار دارد. لذا شایستگی مدل‌های ساخته شده قابل تایید می‌باشد.

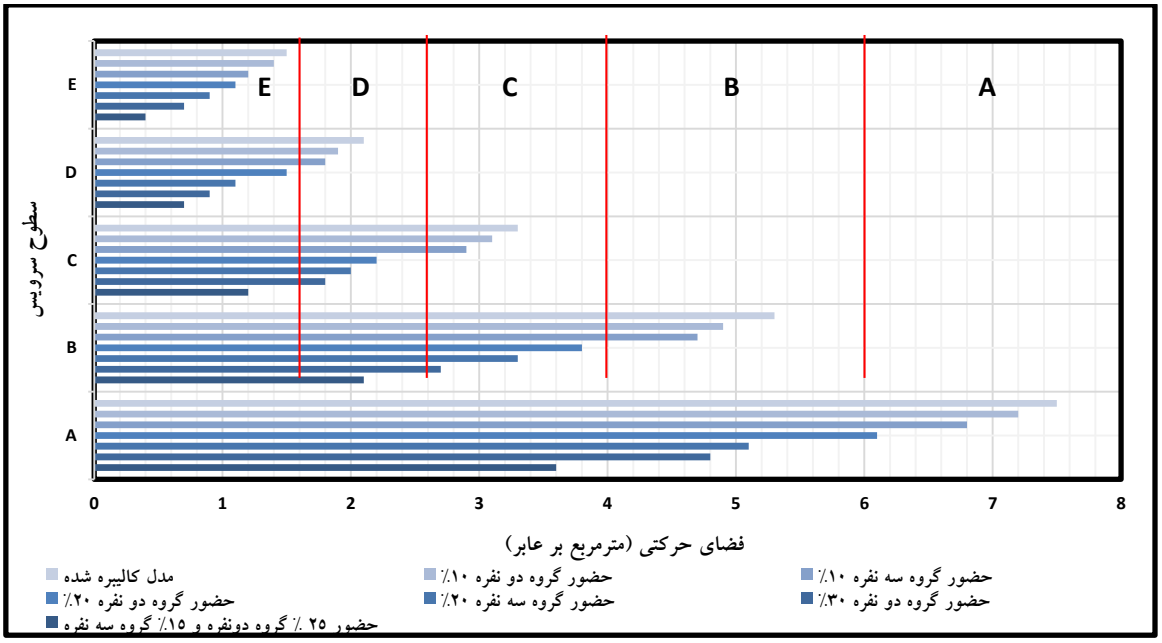
## ٦. نتایج

میانگین فضای حرکتی به دست آمده از تحلیل شبیه‌سازی مدل۱ با نتایج حاصل از مدل کالیبره شده مقایسه شد . شکل۷ تاثیر حضور گروه‌های عابر پیاده مختلف براساس سناریوهای تعریف شده، در کاهش نسبت میانگین فضای حرکتی عابران پیاده را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، میانگین فضای حرکتی متناظر با میانگین نرخ تردد عابران پیاده اعمالی، با افزایش ترافیک گروه‌های عابر پیاده کاهش یافته است. همچنین در مقایسه با تردد عابران پیاده کمتر، هرچه تعداد افراد حاضر در پیاده‌رو بیشتر باشد (سطوح سرویس پایین تر)، میانگین فضای حرکتی نیز بیشتر کاهش می‌یابد. برای مثال، در شرایط تردد کم (سطح سرویس A) در حضور ۱۰ درصدی گروه دو نفره حدود ۵/۹۷٪ کاهش در فضای حرکتی عابران پیاده پیش‌بینی می‌شود، در حالی که این کاهش برای تردد بیشتر (سطح سرویسE) در حضور ۱۰ درصدی گروه دو نفره حدود ۱۱/۱۱ ٪ است.

در مدل۲، مسیر پیاده‌روی پهن شده است (۴/۵ متر) و انتظار می‌رود در این حالت با پهن‌تر شدن مسیر جریان عبوری، امکان حرکت آزادتر برای افراد تنها و گروه بیشتر گردد و در نتیجه فضای حرکتی عابران نیز افزایش یابد. شکل ۸ جزئیات مربوط به کاهش فضای حرکتی عابران پیاده را در اثر حضور گروه‌های عابر پیاده مختلف براساس سناریوهای تعریف شده نشان می‌دهد. همانند مدل۱، با متراکم‌تر شدن تردد عبوری، میانگین فضای حرکتی نیز بیشتر کاهش می‌یابد. در این حالت نسبت به مدل۱ عرض پیاده‌رو بیشتر شده است و کاهش فضای حرکتی نسبت به حالت کالیبره شده کمتر تغییر کرده است. برای مثال، در شرایط تردد کم (سطح سرویس A) در حضور ۱۰ درصدی گروه دو نفره حدود ۴/۰۱٪ کاهش در فضای حرکتی عابران پیاده پیش‌بینی می‌شود، در حالی که این کاهش برای تردد بیشتر (سطح سرویسE) در حضور ۱۰ درصدی گروه دو نفره حدود ۶/۶۷٪ است.




**شکل ۷. میانگین فضای حرکتی با درصد های مختلف حضور گروه عابران در سطح سرویس‌های مختلف برای مدل ۱**




**شکل ۸. میانگین فضای حرکتی با درصد های مختلف حضور گروه عابران در سطح سرویس‌های مختلف برای مدل ۲**

## ۷. بحث

هدف از این تحقیق میکروشبیه‌سازی تاثیر حرکت گروهی عابران بر سطح سرویس پیاده‌روها و ارزیابی فضای حرکتی موجود در پیاده‌روها می‌باشد. طبق نشریه ۱٤٤ معاونت راهبردی ریاست جمهوری بیشتر پیاده‌روهای ایران در سطح سرویس‌های C و D ساخته می‌شوند. بر اساس نتایج تحقیق، حضور گروه‌های عابرین در پیاده‌روها منجر به کاهش سطح‌سرویس و در نتیجه تراکم و تداخل بین عابرین در پیاده‌روها می‌شود. برای مثال با فرض این‌که طبق آیین‌نامه تسهیلات پیاده‌روی ایران [Iran's sidewalk facility code No. 144-3, 1997: 67]، پیاده‌رو با عرض ۳ متر(شکل ۷) برای سطح‌سرویس C طراحی شده باشد، با حضور ۱۰ درصد گروه عابرین دو نفره همچنان در همان سطح سرویس باقی می‌ماند ولی در صورت حضور ۲۰ و ۳۰ درصد گروه عابرین دونفره و ۱۰ و ۲۰ درصد گروه عابرین سه نفره یک سطح از کیفیت سرویس‌دهی پیاده‌رو کاسته شده و سطح سرویس آن به D می‌رسد. این در حالی است که حضور ترکیبی ۲۵ درصد گروه عابرین دونفره و ۱۵ درصد گروه عابرین سه نفره منجر به کاهش دو پله‌ای سطح‌سرویس شده و سطح سرویس همان پیاده‌رو به E انتقال یافته است. همین روند در مورد مدل ۲ نیز صادق است ولی با توجه به اینکه عرض پیاده‌رو در مدل ۲ بیشتر از مدل ۱ است، لذا روند کاهش سطح سرویس با شیب ملایم‌تری نسبت به مدل ۱ اتفاق می‌افتد. علت این امر فضای حرکتی بیشتر عابران در پیاده‌رو عریض‌تر است.

## ۸. نتیجه گیری

نتایج این تحقیق، شکل‌های ۷ و ۸، در کنار آیین‌نامه‌های موجود می‌تواند به عنوان راهنمایی مناسب برای مدیران و طراحان شهری برای بهبود روند طراحی‌های مسیرهای پیاده کشور مورد استفاده قرار گیرد. برای مثال طبق شکل ۷ اگر طراحی پیاده‌روها برای سطح‌سرویس B انجام شود، در صورت حضور اجتناب‌ناپذیر گروه‌های عابرین پیاده، سطح‌سرویس پیاده‌رو در بدترین شرایط تعریف‌شده در این تحقیق (حضور ترکیبی ۲۵ درصد گروه عابرین دونفره و ۱۵ درصد گروه عابرین سه نفره)، در سطح‌سرویس D که همان سطح سرویس پیشنهادی آیین‌نامه‌های موجود نیز است، باقی خواهد ماند. این در حالی است که می‌توان طراحی همان پیاده‌رو را در سطح‌سرویس A

نیز انجام داد که در این صورت نتیجه همان خواهد بود اما از لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر نیست.

همانطور که بیان شد، هدف از این تحقیق میکروشبیه‌سازی تاثیر حرکت گروهی عابران بر سطح سرویس پیاده‌روها و ارزیابی فضای حرکتی موجود در پیاده‌روها می‌باشد. قصد نویسندگان از انجام تحقیق نشان‌دادن اهمیت بررسی‌های مهندسی قبل از اجرای پروژه‌های عمران شهری با هزینه‌های بالا می‌باشد. بسیاری از پروژه‌های عمران شهری نظیر پیاده‌روسازی‌ها و اصلاحات پیاده‌روها بدون انجام مطالعات مهندسی و بدون استفاده از متخصصان این زمینه انجام می‌شود. طبق نتایج این تحقیق در صورت استفاده از رویکرد مهندسی در این نوع پروژه‌ها، علاوه بر رضایتمندی شهروندان، می‌توان هزینه‌های انجام پروژه‌ها را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داد. واضح است هزینه احداث یا بهسازی یک پیاده رو در سطح سرویس C یا D به مراتب کمتر از هزینه دستیابی به سطوح سرویس A و B می‌باشد. لذا هدف اولیه تحقیق اثبات این ادعاست که می‌توان هزینه‌های پروژه‌های عمران شهری را با مطالعات مهندسی به مراتب کاهش داد و دید مهندسی را در اجرای این پروژه‌ها به کار گرفت. در کنار این مطلب تخمین درصد گروه‌های دو یا سه‌نفره و یا حتی تخمین حضور این نوع گروه‌ها در هر پیاده‌رو از شهر امری مشکل به نظر می‌رسد. با این وجود مطالعات مختلفی در سطح دنیا نظیر مطالعه‌ای که توسط Bloomberg and Burden در سال ۲۰۰۶ انجام گرفته و یا مطالعه میدانی انجام گرفته در این تحقیق به بررسی درصد حضور گروه‌های مختلف عابرین در پیاده‌روها پرداخته‌اند. به همین دلیل استفاده از مطالعات ترافیکی عابرین‌پیاده در پروژه‌های عمران شهری می‌تواند منجر به بهبود وضعیت موجود در مدیریت شهری، افزایش رضایتمندی شهروندان و صرفه‌جویی در هزینه‌های پروژه‌های مذکور گردد.

## ۹. مراجع


– پاکزاد، جهانشاه. (۱۳۸۳)، راهنمای طراحی فضاهای شهری در ایران، وزارت مسکن و شهرسازی، معاونت شهرسازی و معماری، دبیرخانه شورای عالی شهرسازی و معماری.

– شفابخش غلامعلی، محمدی مهدی. (۱۳۹۲)، شبیه سازی حرکت عابرین پیاده با استفاده از مدل نیروی اجتماعی. مدل سازی در مهندسی.۱۱ (۳٤) :٤۹-٦۲.

– عباس زاده، شهاب، تمری، سودا. (۱۳۹۱)، بررسی و تحلیل مولفه های تاثیرگذار بر بهبود کیفیات فضایی پیاده راهها به منظور افزایش سطح تعاملات اجتماعی مطالعه موردی؛ محورهای تربیت و ولیعصر تبریز. فصلنامه علمی پژوهشی مطالعات شهری، شماره چهارم.

– معاونت امور فنی سازمان برنامه و بودجه(۱۳۷۵)، تسهیلات پیاده روی – نشریه ۱٤٤ – جلد ۲ – انتشارات سازمان برنامه و بودجه.

– معاونت امور فنی سازمان برنامه و بودجه(۱۳۷٦)، تسهیلات پیاده روی – نشریه ۱٤٤ – جلد ۳ – انتشارات سازمان برنامه و بودجه.

- Bloomberg, M., Burden, A. (2006), New York City Pedestrian Level of Service Study Phase I.

- Dewarr, R.E. (1999), Chapter 2: Road Users. In Traffic Engineering Handbook (5th edition, J. Pline, ed.). Institute of Transportation Engineers, Washington, DC.

- Dixon, L. (1996), "Bicycle and Pedestrian Level-of-Service Performance Measures and Standards for Congestion Management Systems," Transportation Research Record 1538, Available from <www.trb.org>, pp. 1–9.

- Fitzpatrick, K., Turner, Sh., Brewer, M., Carlson, P., Ullman, B., Trout, N., Park, S, E., and Whitacre, J. (2006), Improving Pedestrian Safety at Un-signalized Crossings, NCHRP Report 562, Transportaton Research Board, Washington, DC.

- Fruin,J,J.(1971)." Designing For Pedestrian: A Level-Of-Service Concept. " Highw ResRec(35):1-15.

- Helbing, D., (1991), "A mathematical model for the behavior of pedestrians", Behavioral Science 36, pp. 298-310.

- Helbing, D., Molnar, P., (1995), "Social Force Model for pedestrian dynamics", Physical Review E 51, pp. 4282-4286.

- Helbing, D., Vicsek, T., (1995), "Optimal Self-Organization". New Journal of Physics 1, 13.1-13.17.

- Highway Capacity Manual (the fourth edition). (2000), Transportation Research Board, TRB, National Research Council, Washington, D.C.

- Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways (MUTCD). (2003), Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation.

- Milazzo, J., Allen, D., Hummer, J., Rouphail, N. (1999), “Quality of Service for Interrupted Pedestrian Facilities in the 2000 Highway Capacity Manual” Transportation Research Board Annual Meeting.

- Mitchell, D.H., and J. MacGregor Smith. (2001), Topological network design of pedestrian networks, Transp. Res. B. Methodol., 35(2): 107-135.Montgomery, D.C., 2008. Design and Analysis of Experiments. John Wiley and Sons Inc., New York.

- Okazaki, S., (1979) "A Study of Pedestrian Movement in Architectural Space, Part 1: Pedestrian Movement by the Application on of Magnetic Models", Trans. of A.I.J., No.283, pp.111-119.

- Okazaki, S., Matsushita, S. (1981), "A study of simulation model for pedestrian movement with evacuation and queuing", Proceeding of the International Conference on Engineering for Crowd Safety, pp.271-280.

- Older, S. (1968), Movement of pedestrians on footways in shopping streets. Traffic Eng. Cont., 10: 160-163.

- Robertson, H.D., J.E. Hummer and D.C. Nelson, (1994), Manual of Transportation Engineering Studies. Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J.

- Shafabakhsh, Gh., Mirzanamadi, R., Mohammadi, M., (2013), Micro Simulation of the Elderly Population’s Effect on Iran's Pedestrian's Walking Flow, Journal of Promet-Traffic and Transportation, 25(4), pp. 331–342.

- G. Shafabakhsh , R. Mirzanamadi and M. Mohammadi. (2015), "Pedestrians’ mental satisfaction's relationship with physical characteristics on sidewalks using analytical hierarchy process: case study of Tehran, Iran." Transportation Letters 2015; 7(3), 121-132.

- Smith, R. (1995), Density, velocity and flow relationships for closely packed crowds. Safety Sci., 18(4): 321-327.

- Tanaboriboon, Y.. J. Guyano, (1991), Analysis of pedestrian movements in Bangkok. TRR, (1294): 52-56.

- Teknomo, K. (2002), “Microscopic Pedestrian Flow Characteristics: Development of an Image Processing Data Collection and

Simulation Model," Department of Human Social Information Sciences, Tohoku, Tohoku University. PhD: 141.

-Traffic Control Devices Handbook (TCDH).

(2001), Institute of Transportation Engineers, Washington, D.C.