

شبیه سازی حرکت عابرین پیاده با استفاده از مدل نیروی اجتماعی

غلامعلی شفافبخش^{۱*} و مهدی محمدی^۲

اطلاعات مقاله	چکیده
<p>واژگان کلیدی: مدل سازی، عابر پیاده، نیروی اجتماعی، پیاده رو.</p>	<p>در این مطالعه سعی می شود با استفاده از مدل نیروی اجتماعی که یکی از مدل های ارائه شده برای مدل سازی میکروسکوپی عابرین پیاده است، رفتار عابرین پیاده مدل سازی شود. مدل نیروی اجتماعی به دلیل نزدیکی بیشتر به جهان واقعی نتایج واقع بینانه تری را ارائه می دهد. هدف از انجام این مطالعه ارزیابی مدل نیروی اجتماعی در شرایط موجود در پیاده روهای شهر تهران می باشد. روند به کار رفته در این مطالعه به این صورت است که ابتدا رفتار واقعی افراد از طریق فیلم های برداشت شده از ۶ منطقه ۱، ۴، ۱۳، ۱۶، ۱۹ و ۲۲ بررسی و داده های مربوط به سرعت و چگالی استخراج گردید. سپس رفتار مشاهده شده از حرکت افراد در مقاطع مورد مطالعه مدل سازی شد. طبق نتایج به دست آمده از تحلیل آماری داده ها، ضریب همبستگی بین داده های مطالعه میدانی و مدل سازی برای پارامتر سرعت و چگالی به ترتیب ۰/۹۱۶ و ۰/۹۰۷ می باشد که این مقادیر میزان قابل قبول همبستگی بین داده های مطالعه میدانی و مدل سازی را نشان می دهد. علاوه بر این طبق تحلیل رگرسیون خطی انجام یافته در نرم افزار SPSS ملاحظه شد که مقدار متغیر مستقل برای پارامتر سرعت برابر ۰/۹۵۶ و برای پارامتر چگالی برابر ۱/۰۳۰ می باشد. همچنین ضریب نکویی پارامتر سرعت برابر ۰/۸۳۹ و پارامتر چگالی برابر ۰/۸۷۰ به دست آمده است.</p>

۱- مقدمه

بهبود و مدیریت آن ها صورت گرفته است [۴]. به طوری که برخی از مطالعات انجام شده در گذشته توجه اصلی خود را به مدیریت و استفاده مناسب از فضاهای عمومی شهری اختصاص داده اند [۵]. در سال های اخیر مسئولین سلامت عمومی و طراحان شهری توجه بیشتری به فضای پیاده روها و بهبود کیفی محیط آن ها داشته اند، تا فضای مناسب و امنی را برای حرکت عابرین پیاده فراهم نمایند [۶ و ۷]. علاوه بر این روی پیاده روی و فعالیت های مشابه همانند دوچرخه سواری به عنوان ابزاری بسیار مناسب برای پویایی محیط اجتماعی و سلامت عمومی تاکید ویژه ای

پیاده روی علاوه بر ارتقای سلامت عمومی، موجب پویایی بیشتر محیط شهری می شود [۱]. همچنین حرکت پیاده افراد باعث جذب مشتری به مراکز تجاری و بهبود شرایط محیطی و افزایش ارتباط بین افراد می گردد [۲ و ۳]. بین فضاهای عمومی شهری پیاده رو عمومی ترین فضا محسوب می شود، لذا فعالیت های بسیاری در گذشته به منظور

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: shafabakhsh@semnan.ac.ir

۱. دانشیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

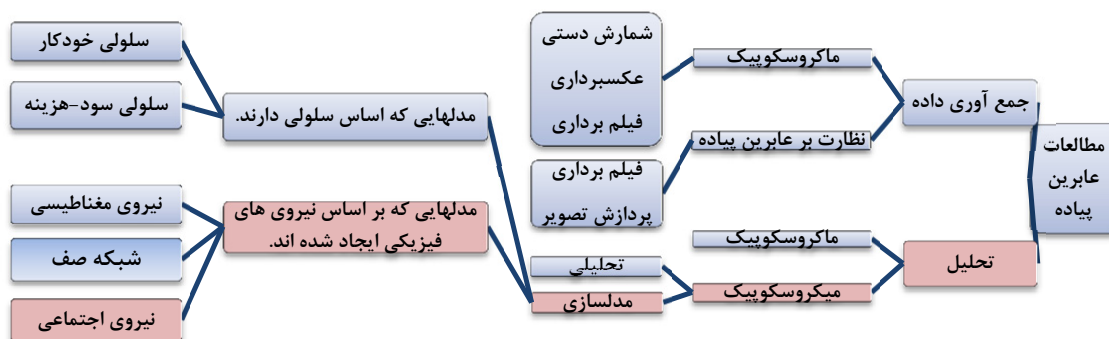
۲. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران- راه و ترابری، دانشگاه سمنان

مدل‌سازی به‌دلیل دارا بودن قابلیت بالا در تعریف انواع مختلف فاکتورهای تاثیرگذار در تحلیل ترافیک پیاده‌روها، سرعت بالای تحلیل، ایجاد شرایط مورد نظر و کم هزینه‌بودن نسبت به سایر روش‌ها می‌تواند به‌عنوان مناسب‌ترین روش برای مقاصد طراحی، بهسازی و ارزیابی شرایط موجود مورد استفاده قرار گیرد.

در شکل ۱ خلاصه‌ای از جنبه‌های مختلف مطالعات عابرین پیاده با تاکید بر مدل‌سازی و مدل‌های مورد استفاده در این روش ارائه شده است.

دارند [۸ و ۹]. ساختار جریان عابرین در پیاده‌روها از لحاظ آزادی در انتخاب سرعت و سبقت گرفتن از دیگران شبیه جریان حرکتی وسایل نقلیه در خیابان‌ها و جاده‌ها است؛ با این تفاوت که در جریان ترافیکی عابرین پیاده، قدرت مانورهای حرکتی و عبور از یکدیگر در مقایسه با وسایل نقلیه بسیار سریع‌تر و راحت‌تر است [۶].

مطالعه رفتار عابرین پیاده با روش‌های مختلفی امکان پذیر است. طبق مطالعات انجام شده، ۳ روش کلی در این زمینه مرسوم است. روش مشاهده و مطالعه میدانی [۱۰]، روش مصاحبه‌ای [۱۱] و روش مدل‌سازی [۱۲]. روش

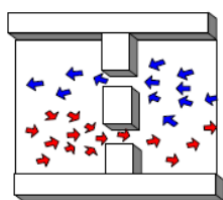


شکل ۱- نمای کلی از مطالعات انجام شده در زمینه عابرین پیاده با تاکید بر سطح میکروسکوپیک

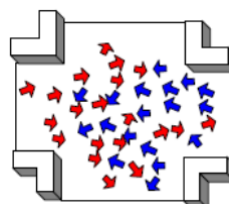
به‌صورت معادلات جریان-سرعت-چگالی و با استفاده از شبیه‌سازی ماکرو صورت می‌گرفته است [۱۳ و ۱۴]. همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده است، با استفاده از روش ماکرو همواره این نتیجه حاصل می‌شد که با افزایش تقاضای عبور بیشتر افراد به فضای حرکتی بیشتری نیز نیاز هست؛ درحالی‌که با ایجاد تغییرات مشخصی در مسیر حرکتی افراد، با وجود این‌که فضای کلی کم می‌شود، جریان عبوری بهبود می‌یابد.

۲- مدل‌سازی حرکت عابرین پیاده با استفاده از روش میکرو

در گذشته، اکثر مدل‌سازی‌های عابران پیاده با استفاده از روش ماکرو صورت می‌گرفت. یکی از مشکلات اساسی این روش استفاده از سرعت متوسط برای کل جریان عبوری افراد در پیاده‌رو بدون در نظر گرفتن جزئیات سرعت عابران پیاده بود. در مطالعات انجام شده در گذشته، رفتار عابرین



ب- پس از ایجاد تغییر و اعمال کنترل



الف- قبل از تغییر

شکل ۲- ایجاد تغییر در مسیر و کنترل جریان حرکتی عابرین پیاده برای بهبود جریان عبوری [۱۵]

یک عابر پیاده اشغال شود و امتیاز اختصاص داده شده به آن براساس نزدیکی به عابرین پیاده می‌باشد. میزان سود برای همه همسایگی‌های سلولی که عابر پیاده در آن وجود دارد، محاسبه می‌شود. عابر پیاده در هر مرحله به سلولی حرکت می‌کند که بیشترین امتیاز شبکه را دارا باشد [۱۶].

ویژگی عمده این مدل شبیه‌سازی سادگی آن است اما این مدل مشکلات زیادی در روش امتیازدهی سلول‌ها و عابرین پیاده دارد. روش امتیازدهی این مدل، کالیبراسیون مدل‌سازی با جهان واقعی را مشکل می‌کند.

۲-۲- مدل سلولی خودکار

مسیر پیاده‌رو به صورت شبکه سلولی و عابر پیاده به صورت یک دایره که سلول را اشغال می‌کند شبیه‌سازی می‌شود. اشغال سلول‌های جدید به محل همسایگی‌هایی که در هر لحظه به روزرسانی می‌شود بستگی دارد [۱۷].

استفاده از مدل سلولی خودکار باعث سهولت و گستردگی حرکت عابر پیاده و سرعت بالای به روز رسانی داده‌ها می‌شود. اما تاریخچه دقیقی از دستیابی به نقش به روز رسانی در نظر گرفته نشده است و علت این امر عدم انعکاس رفتار واقعی عابرین پیاده در این مدل می‌باشد.

۲-۳- مدل نیروی مغناطیسی

هر عابر پیاده یک قطب مثبت دارد. موانعی نظیر دیوارها و ستون‌ها دارای قطب مثبت هستند و قطب‌های منفی در محلی که به عنوان هدف عابرین پیاده در نظر گرفته شده است، فرض می‌شود [۱۸ و ۱۹].

ایده استفاده از نیروی اضافی برای ممانعت از برخورد، ایده مناسبی است و در مدل پیشنهاد شده مورد استفاده قرار گرفته است. اما این مدل نیز همانند مدل سلولی سود-گرفته دارای مشکل انتخاب اختیاری مقادیر شدت مغناطیسی نیروهاست. به علت تنظیم دلخواه و انتخاب

مدل شبیه‌سازی میکروسکوپی عابرین پیاده یک مدل شبیه‌سازی رایانه‌ای برای مدل‌سازی و تحلیل رفتار حرکتی عابرین پیاده می‌باشد. در این مدل هر عابر پیاده به طور منحصر به فرد رفتار می‌کند و رفتار تک تک عابرین پیاده مورد بررسی قرار می‌گیرد. مدل‌های شبیه‌سازی میکروسکوپی عابرین پیاده براساس معیارهای درونی مدل به ۳ نوع مختلف تقسیم می‌شود:

(الف) مدل‌هایی که اساس سلولی دارند.

(ب) مدل‌هایی که براساس نیروهای فیزیکی شکل گرفتند.

(پ) مدل‌هایی که براساس تئوری شبکه و صف‌بندی ایجاد شده‌اند.

در راستای گسترش مدل‌هایی که اساس سلولی دارند، دو نوع مدل مختلف ارائه شده است. گیپس و مارکسجو [۱۶] با استفاده از سلول‌های سود و هزینه مدل میکروسکوپی را توسعه دادند. بلو و آدلر [۱۷] مدل سلولی خودکار را برای شبیه‌سازی عابرین پیاده پیشنهاد کردند. همچنین در راستای روش‌های مبتنی بر نیروهای فیزیکی، دو مدل نیروی مغناطیسی و نیروی اجتماعی ارائه شدند. مدل نیروی مغناطیسی توسط اوکازاکی [۱۸] پیشنهاد شد و توسط اوکازاکی و ماتسوشیتا [۱۹] توسعه یافت. در عین حال مدل نیروی اجتماعی توسط هلبینگ [۲۰] ارائه شد و توسط محققین دیگر [۲۱ و ۲۲] توسعه و بهبود یافت. شبیه‌سازی میکروسکوپی عابرین پیاده برای مقاصد مختلف توسط محققین متعددی [۲۳ و ۲۴] مورد استفاده قرار گرفت و بدین ترتیب توسعه و گسترش فراوانی یافت. در ادامه هر یک از مدل‌های شبیه‌سازی میکروسکوپی عابرین پیاده که در بالا به آن‌ها اشاره شد، مختصراً مورد معرفی و بررسی قرار می‌گیرند.

۲-۱- مدل سلولی سود-هزینه

در این مدل عابر پیاده به عنوان یک جزء در یک سلول شبیه‌سازی می‌شود. مسیر پیاده‌روی به شبکه‌های مربعی تقسیم‌بندی می‌شود. هر سلول می‌تواند حداکثر توسط

می‌باشد. در این مدل رفتار عابرین به‌وضوح نمایش داده نمی‌شود و برخورد بین عابرین به درستی در نظر گرفته نمی‌شود.

اختیاری بار مغناطیسی نمی‌توان واقعیت‌های موجود را با استفاده از این مدل اعتبارسنجی کرد.

۲-۴- مدل شبکه صف

در این روش مسیر حرکتی افراد به‌صورت بخش‌های مجزا به روش شبیه‌سازی مونت کارلو مدل‌سازی می‌شوند. در این مدل‌سازی‌ها هر اتاق به‌صورت یک گره و راهرو بین اتاق‌ها به‌عنوان رابط تعریف می‌شوند. هر فرد از یک گره حرکت می‌کند، در صف رابط قرار می‌گیرد و به گره دیگری می‌رسد. هر عابر گره‌ی را به‌عنوان هدف خود در هر مرحله انتخاب می‌کند. با این وجود هدف نهایی تمام افراد، یافتن راه خروجی و خروج از ساختمان است [۲۳] و [۲۴].

زمان خروج افراد از ساختمان (زمان پراکندگی افراد) یکی از پرکاربردترین موارد استفاده مدل پیشنهادی شبکه صف

$$m \frac{dv_i(t)}{dt} = m \frac{v_0 e_i - v_i(t) + \xi_i(t)}{\tau} + \sum_{j(\neq i)} f_{ij}(x_i(t), x_j(t)) + f_b(x_i(t)) \quad (1)$$

$$e_i = \frac{x_i^o - x_i(t)}{\|x_i^o - x_i(t)\|} \quad (2)$$

سرعت مطلوب از تقسیم مسافت باقیمانده به زمان باقیمانده به‌دست می‌آید. مسافت باقیمانده طول فاصله بین محل عابر در لحظه مورد نظر و مقصد عابر می‌باشد. همچنین زمان باقیمانده تفاوت بین زمان هدف و زمان شبیه‌سازی می‌باشد. سرعت مطلوب از رابطه (۳) به‌دست می‌آید.

$$u = \frac{\|x_i^o - x_i(t)\|}{T_i - t} \quad (3)$$

سرعت مورد نظر برابر است با حاصل ضرب سرعت ایده‌آل در بردار واحد مسیر. همچنین جهت واقعی‌تر کردن سرعت حرکتی عابرین پیاده می‌توان سرعت را با تعیین مقادیر حداقل و حداکثر محدود کرد.

در این مدل دو نوع تداخل برای عابرین پیاده تعریف می‌شود:

(۱) تداخل بین عابرین پیاده

که در این رابطه:

$x_i(t)$: مکان عابر پیاده i در زمان t

$v_i(t)$: سرعت عابر پیاده i در زمان $t = dx_i(t)/dt$

m : جرم عابر پیاده

v_0 : سرعت مورد نظر در زمان عدم وجود تداخل

e_i : جهتی که عابر پیاده i در حال پیمودن است

$\xi_i(t)$: نوسان سرعت افراد

f_{ij} : تداخل بین عابر پیاده i -ام و j -ام

f_b : تداخل عابرین پیاده با مرزهای مشخص شده

مدل بر این اساس ساخته شده است که هر عابر پیاده می‌خواهد در زمان مشخص به مقصد مورد نظر برسد و تمام حرکات تولیدی هر عابر مستقیماً در جهت رسیدن به مقصدش است. جهت حرکت هر عابر یک بردار واحد از مکان فعلی به نقطه مقصد است. جهت حرکت از رابطه (۲) به‌دست می‌آید.

۳- متدولوژی تحقیق

متغیرهای مدل سلولی سود-هزینه بیشتر به صورت اختیاری و از پیش تعیین شده در نظر گرفته می‌شوند، درحالی‌که دو مدل نیروی مغناطیسی و نیروی اجتماعی متغیرهای متنوع‌تری را با در نظر گرفتن شرایط مختلف محیطی و فیزیکی پوشش می‌دهند. در مقایسه دو مدل اخیر، مدل نیروی مغناطیسی به‌عنوان یک روش ابداعی توسعه یافته است درحالی‌که مدل نیروی اجتماعی به دلیل دارا بودن ماهیت ریاضی دقیق‌تر، مناسب‌ترین روش را برای توضیح رفتار حرکت عابرین ارائه می‌دهد. نرم‌افزارهای مختلفی در سطح جهان برای مدل‌سازی حرکت عابرین در پیاده‌روها به وجود آمده است نرم‌افزاری که در این مقاله به منظور شبیه‌سازی جریان حرکتی پیاده‌روها معرفی می‌گردد، Micro-PedSim می‌باشد. اساس کار این نرم‌افزار برای ارزیابی حرکت عابران در پیاده‌رو روش شبیه‌سازی میکرو و مدل نیروی اجتماعی است. در این مطالعه ابتدا رفتار واقعی افراد از طریق فیلم‌های برداشت شده بررسی و داده‌های مربوط به سرعت و چگالی استخراج گردید. سپس رفتار مشاهده شده از حرکت افراد در مقاطع مورد مطالعه در نرم‌افزار مدل‌سازی شد. در نهایت نتایج حاصل از مطالعه میدانی و مدل‌سازی با همدیگر مقایسه شدند.

۴- معرفی نرم‌افزار Micro-PedSim

نرم‌افزار Micro-PedSim، ابزار نوآورانه‌ای برای تحقیق روی رفتار حرکتی عابرین پیاده به روش مدل‌سازی میکروسکوپی است. این نرم‌افزار امکان مدل‌سازی تداخل و رفتار عابرین پیاده‌روها را به صورت میکروسکوپی فراهم می‌سازد؛ همچنین بین رفتار میکروسکوپی تک تک عابرین پیاده و ماکروسکوپی ترافیک پیاده‌روها ارتباط برقرار می‌کند.

(۲) تداخل بین عابر پیاده و موانع

تداخل بین دو عابر پیاده از رابطه (۴) محاسبه می‌شود.

$$f_{ij}(x_i(t), x_j(t)) = -\nabla A(d_{ij} - D)^{-B} \quad (۴)$$

که در آن

B: مقدار ثابت

d_{ij}: فاصله بین عابر پیاده i و j

D: قطری که فضای اشغال شده توسط جز را نشان می‌دهد.

A: تابع یکنواخت کاهنده

تداخل بین عابر پیاده با مرزها نیز از رابطه (۵) محاسبه می‌شود.

$$f_b(x_i) = -\nabla A(d_{i\perp} - D/2)^{-B} \quad (۵)$$

$d_{i\perp}$ کوتاهترین فاصله از نزدیک‌ترین دیوار است.

مدل نیروی اجتماعی بین تمام مدل‌های میکروسکوپی که تاکنون توسعه یافته‌اند، بهترین و کامل‌ترین مدل می‌باشد. متغیرهای این مدل اختیاری نیستند و دارای ماهیت فیزیکی هستند که قابل اندازه‌گیری و محاسبه می‌باشند. همچنین نتایج این مدل پدیده سازماندهی خودکار را نمایش می‌دهد. با این حال دو انتقاد اصلی بر این مدل مطرح است:

الف- مدل تداخل تعریف شده، نمی‌تواند از روی هم قرار گرفتن عابرین پیاده جلوگیری کند. به این معنی که ممکن است دو عابر در لحظه‌ای روی هم قرار گیرند که این اتفاق هیچگاه در جهان واقعی رخ نمی‌دهد.

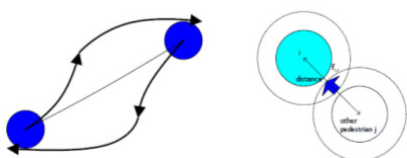
ب- این مدل با شرایط واقعی اعتبارسنجی نشده است. علت این امر این است که محققین بیشتر روی روابط و تداخل فیزیکی جهت توضیح و بررسی رفتار بیولوژی و فیزیکی تمرکز کرده اند و روی جریان ترافیکی واقعی عابرین پیاده تمرکز صورت نگرفته است.

خلاصه در بخش‌های قبل توضیح داده شد. پارامترهای این مدل جرم، آلفا، بتا و χ می‌باشد.

طبق تعریفی که در بخش‌های قبل از مدل نیروی اجتماعی ارائه شد، در این مدل ۳ نوع نیرو تعریف شده است.

نیروی پیش‌برنده باعث حرکت رو به جلوی عابرین می‌شود. در صورت عدم وجود این نیرو عابر پیاده نمی‌تواند مسیر خود را بپیماید و به هدف برسد. پارامترهای ورودی جرم و آلفا این نیرو را تحت تاثیر قرار می‌دهند.

نیروی دافعه منجر به فاصله گرفتن از سایر عابرین می‌شود. این نیرو زمانی کاربرد دارد که عابر، عابران دیگر را که در فاصله مشخصی از وی قرار دارند می‌بیند. پارامترهای ورودی جرم و χ در این نیرو دخیل هستند. زمانی که چگالی عابرین پیاده بالا باشد و تعداد زیادی عابر در محل مسیر پیاده روی قرار داشته باشند نیروی دافعه به تنهایی برای جلوگیری از برخورد عابرین کافی نمی‌باشد. به همین دلیل لازم است تا نیروی پرهیز از برخورد تعریف شود. پارامترهای ورودی جرم و بتا در این نیرو موثر هستند. شمای کلی این نیروها در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- نیروهای پرهیز از برخورد و دافعه

علاوه بر این، می‌توان سرعت مدل‌سازی را تنظیم کرد. تنظیم این مقدار تعداد حل معادلات عددی را مشخص می‌کند. تعداد زیاد انجام محاسبات عددی باعث افزایش دقت مدل‌سازی اما در مقابل سبب کند شدن روند مدل‌سازی می‌شود.

خروجی‌های نرم‌افزار به دو نوع تقسیم می‌شوند: متوسط لحظه ای و عملکرد سیستم. مقادیر مربوط به قسمت

در این نرم‌افزار، حضور افراد در پیاده‌رو می‌تواند هم به صورت دستی، از طریق فایل متنی و یا به صورت خودکار شبیه‌سازی شود. همچنین نرم‌افزار می‌تواند حضور افراد در پیاده‌روها را به روش تصادفی یا منظم توزیع نماید.

در این نرم‌افزار امکان مدل‌سازی حداکثر دو جهت در مسیر پیاده روی وجود دارد. به منظور تفکیک راحت‌تر عابرینی که در دو جهت مخالف حرکت می‌کنند، نرم‌افزار از دو رنگ متفاوت برای نشان دادن این عابرین استفاده می‌کند. ذکر این نکته مهم است که تیرگی رنگ‌های عابرین نشان دهنده احساس مطلوب هر عابر می‌باشد. منظور از حس مطلوب در این قسمت، نزدیکی سرعت حرکتی عابر پیاده مورد نظر با سرعت مطلوب و یا سرعت حداکثر می‌باشد.

در نرم‌افزار Micro-PedSim امکان تعریف سرفاصله زمانی برای ساخت عابرین پیاده وجود دارد و این کار می‌تواند به صورت توزیع‌های یکنواخت، نمایی و یا نرمال انجام گیرد.

پارامترهای ورودی مورد نیاز برای مدل‌سازی در این نرم‌افزار عبارتند از:

قطر عابر پیاده: با توجه به این‌که عابرین پیاده در این نرم‌افزار به صورت دایره شبیه‌سازی می‌شوند، لازم است تا قطر عابرین وارد نرم‌افزار شود.

قطر تاثیر: محدوده‌ای که عابر پیاده حین حرکت در آن احساس امنیت می‌کند، به عنوان قطر تاثیر معرفی می‌شود. تعریف این قطر باعث می‌شود تا حرکت عابرین پیاده و تداخل بین عابرین بدون برخورد و مشابه با جهان واقعی به خوبی نمایش داده شود.

مسافت دید: فاصله‌ای که عابرین پیاده سایر عابرین یا موانع مختلف را می‌بینند قابل تغییر است.

حداکثر شتاب: اگر عابرین پیاده به صورت خودکار ساخته شوند، این مقدار مورد استفاده قرار می‌گیرد.

پارامترهای داخلی مدل نیروی اجتماعی: این پارامترها اساس کار این نرم‌افزار است. این مدل به صورت

۵- مطالعه میدانی

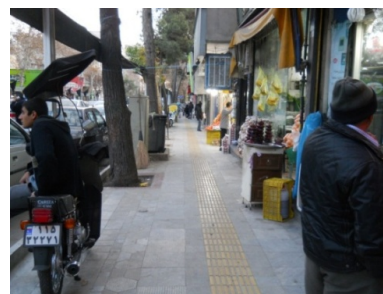
برای انجام مطالعه میدانی در این تحقیق پیاده‌روهای مناطق ۲۲ گانه شهر تهران مورد بررسی قرار گرفتند و در نهایت ۶ منطقه ۱، ۴، ۱۳، ۱۶، ۱۹ و ۲۲ به‌علت وجود شرایط مناسب فیلم‌برداری انتخاب شدند. در هر کدام از این مناطق از ۲ پیاده‌رو که دارای شرایط تقریباً یکسان با سایر پیاده‌روهای مورد بررسی بودند، فیلم‌برداری شد. در انتخاب پیاده‌روها، عرض ۲ تا ۲/۵، شیب حدود ۰/۵٪ تا ۰/۱٪، روسازی سنگ‌فرش، وجود درخت در یک طرف پیاده‌رو و وجود مکان‌های تجاری در یک طرف پیاده‌رو مورد توجه قرار گرفتند. مشخصات مقاطع پیاده‌روی مورد مطالعه در جدول ۱ خلاصه شده است. همچنین تصویری از مقطع شماره ۵ در شکل ۴ نشان داده شده است.

متوسط لحظه‌ای، میانگین اندازه‌گیری‌ها را در زمان‌های خاصی از مدل‌سازی ارائه می‌کند. برای مثال در صورتی که در زمان خاصی تعداد ۷ عابر پیاده در مسیر پیاده‌روی وجود داشته باشند، مقادیر موجود در این قسمت بیانگر میانگین این ۷ عابر خواهد بود. سرعت لحظه‌ای، تاخیر، نشانه نارضایتی به‌ترتیب سرعت، تاخیر و نارضایتی تمام عابریین موجود در مسیر پیاده‌روی را در این لحظه بیان می‌کنند. عملکرد سیستم متوسط زمانی پارامترهای بخش قبل را ارائه می‌کند. تنها در این قسمت پارامتر دیگری تحت عنوان زمان تلف شده وجود دارد که اختلاف زمانی بین ورود اولین عابر پیاده از خروج آخرین عابر پیاده از مسیر پیاده‌روی می‌باشد.

جدول ۱- مشخصات مقاطع پیاده‌روی مورد مطالعه

توضیحات	شرایط موجود دو طرف پیاده‌رو	نوع روسازی	شیب (%)	عرض (متر)	منطقه شهرداری	شماره مقطع
-	یک طرف مکان تجاری، یک طرف درخت	سنگ فرش	۱	۲/۵	۱	۱
-	یک طرف مکان تجاری، یک طرف درخت	سنگ فرش	۱	۲/۷	۱	۲
در طول مقطع مورد مطالعه عرض متغیر بود.	یک طرف مکان تجاری، یک طرف درخت	سنگ فرش	۱	۲-۲/۵ متغیر	۴	۳
در طول مقطع مورد مطالعه عرض متغیر بود.	یک طرف مکان تجاری، یک طرف درخت	سنگ فرش	۰/۹	۲-۲/۵ متغیر	۴	۴
-	یک طرف مکان تجاری، یک طرف درخت	آسفالت	۱	۲/۲	۱۳	۵
-	یک طرف مکان تجاری، یک طرف درخت	سنگ فرش	۱	۲/۴	۱۳	۶
-	یک طرف مکان تجاری، یک طرف درخت	سنگ فرش	۰/۷	۲/۱	۱۶	۷
-	یک طرف مکان تجاری، یک طرف درخت	سنگ فرش	۰/۸۵	۲/۶	۱۶	۸
-	یک طرف مکان تجاری، یک طرف درخت	آسفالت	۱	۲/۳۵	۱۹	۹
در طول مقطع مورد مطالعه عرض متغیر بود.	یک طرف مکان تجاری، یک طرف درخت	سنگ فرش	۰/۶۵	۲-۲/۵ متغیر	۱۹	۱۰
-	یک طرف مکان تجاری، یک طرف درخت	آسفالت	۰/۵	۲/۵	۲۲	۱۱
-	یک طرف مکان تجاری، یک طرف درخت	آسفالت	۰/۶	۲/۵	۲۲	۱۲

در ادامه از هر یک از مقاطع انتخاب شده، در سه بازه ۵ دقیقه‌ای، صبح، ظهر و عصر تصویر برداری شد. این فیلم برداری‌ها در تاریخ ۹ مهر تا ۱۴ مهر ۱۳۹۰ برداشت شد. مسئله مهم در تهیه فیلم‌ها این نکته بود که عابریین پیاده نباید از وجود دوربین و فیلم‌برداری آگاه می‌شدند. آگاهی عابریین از وجود دوربین و یا فیلم‌برداری علاوه‌بر بروز

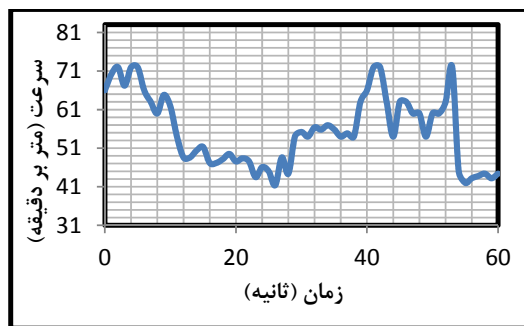


شکل ۴- نمایی از مقطع شماره ۵ در روند مطالعه میدانی

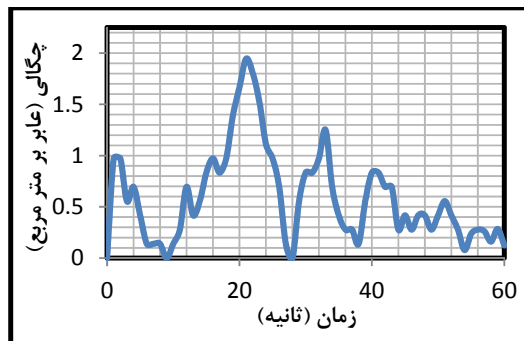
فیلم‌های برداشت شده از هر یک از مقاطع مورد مطالعه چند بار و توسط افراد مختلف مورد بازبینی قرار گرفت. برای به‌دست آوردن سرعت میانگین تک تک عابرین در هر دو جهت حرکتی، مسافت طی شده و زمان سپری شده از ورود عابرین تا خروج آن‌ها از مقاطع فیلم‌برداری شده استخراج شد. برای به‌دست آوردن چگالی عابرین از هر ثانیه فیلم‌های برداشت شده عکس گرفته شد. سپس با در نظر گرفتن مساحت مقطع پیاده‌رو و تعداد عابرین حاضر در هر عکس، میانگین چگالی عابرین یعنی تعداد عابرین در هر متر مربع پیاده‌رو محاسبه شد. در نهایت داده‌ها استخراج شده و وارد محیط نرم‌افزار اکسل شد. نتایج این محاسبات برای مقطع شماره ۵ در شکل‌های ۵ و ۶ ارائه شده است.

مشکل در روند فیلم‌برداری باعث تغییر در جریان عادی حرکتی افراد در پیاده‌روها می‌شد. به همین جهت دوربین‌ها در محل‌هایی نصب می‌شد که عابرین متوجه حضور دوربین نمی‌شدند.

برای به‌دست آوردن میانگین سرعت و چگالی واقعی افراد در هر کدام از ۱۲ پیاده‌رو به‌صورت جداگانه، از هر یک از ۳ برداشت متفاوت صبح، ظهر و عصر یک بازه زمانی ۶۰ ثانیه‌ای به‌صورت تصادفی انتخاب شد. یعنی در نهایت برای هر پیاده‌روی مورد مطالعه ۳ بازه یک دقیقه‌ای به‌دست آمد. با در نظر گرفتن این ۳ بازه زمانی، میانگین سرعت و چگالی برای هر کدام از ۱۲ مقطع مورد مطالعه به‌صورت جداگانه محاسبه شد. برای محاسبه و به‌دست آوردن پارامترهای مربوط به سرعت و چگالی، هر یک از



شکل ۵- اطلاعات سرعت حاصل از مطالعه میدانی در مقطع شماره ۵ در ۶۰



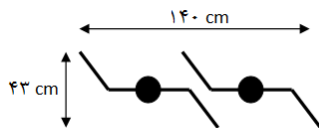
شکل ۶- اطلاعات چگالی حاصل از مطالعه میدانی در مقطع شماره ۵ در ۶۰

۶- شبیه‌سازی حرکت عابرین پیاده با استفاده از مدل نیروی اجتماعی

دو شاخص مهم تعبیه شده در نرم‌افزار Micro-PedSim امکان اعمال تغییر در اندازه بدن عابر مورد مطالعه و

با استخراج میانگین سرعت حرکتی عابرین و چگالی آن‌ها در هر کدام از ۱۲ پیاده‌رو مورد بررسی، اقدام به مدل‌سازی حرکت عابرین در نرم‌افزار Micro-PedSim شد.

D : قطر دایره شبیه‌سازی شده به‌عنوان عابر در نرم‌افزار (سانتی‌متر)



شکل ۷- ضخامت و پهنای بدن دو عابر پیاده [۲۵]

با ورود داده‌های مورد نیاز و تعریف محیط پیاده‌روی هر یک از مقاطع مورد مطالعه، مدل‌سازی هر یک از آنها انجام شد. سپس خروجی‌های مربوط به سرعت و چگالی عابرین پیاده در محیط پیاده روی استخراج گردید و توزیع فراوانی این دو پارامتر در هر یک از مقاطع به‌دست آمد. در ادامه مقادیر میانگین سرعت و چگالی حاصل از مطالعه میدانی برای هر کدام از پیاده‌روها با نتایج حاصل از مدل‌سازی همان پیاده‌رو مقایسه شدند. نمودار درصد توزیع فراوانی برای هر دو پارامتر سرعت و چگالی، حاصل از مشاهده میدانی و شبیه‌سازی برای کل مقاطع مورد مطالعه در شکل‌های ۸ و ۹ نشان داده شده است.

سرعت پیاده روی می‌باشد. توزیع سرعت پیاده روی برای عابران با استفاده از نشریه ۱۴۴ معاونت راهبردی ریاست جمهوری صورت می‌گیرد [۲۵].

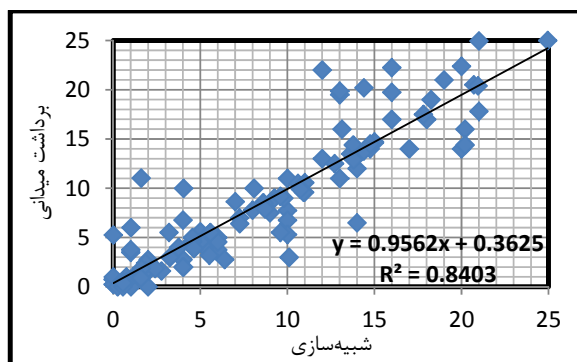
در مدل‌های دو بعدی ساخته شده در نرم‌افزار ضخامت و پهنای همه عابران با استناد به شکل ۷ پیشنهاد شده توسط نشریه ۱۴۴ معاونت راهبردی ریاست جمهوری به ترتیب ۴۳ cm و ۷۰ cm در نظر گرفته شد [۲۵]. با توجه به این‌که شبیه‌سازی عابران پیاده در نرم‌افزار به صورت سطح دایره‌ای انجام می‌گیرد، لذا با توجه به رابطه ۶، قطر این دایره ۶۲ سانتی متر در نظر گرفته می‌شوند.

$$A_1 = A_2 \rightarrow 43 \times 70 = \frac{\pi D^2}{4} \rightarrow D \approx 62 \text{ Cm} (6)$$

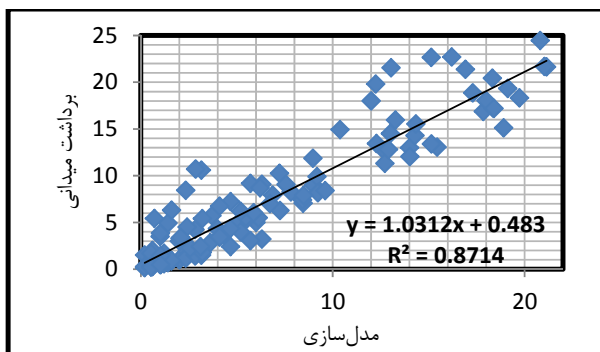
در این رابطه:

A_1 : سطح اشغال شده پیاده‌رو توسط یک عابر طبق پیشنهاد نشریه ۱۴۴ (سانتی‌متر مربع)

A_2 : سطح اشغال شده پیاده‌رو توسط یک عابر طبق فرضیات نرم‌افزار (سانتی‌متر مربع)



شکل ۸- نمودار توزیع درصد فراوانی پارامتر سرعت عابرین در دو حالت مدل‌سازی شده و مطالعه میدانی برای کل مقاطع مورد مطالعه



شکل ۹- نمودار توزیع درصد فراوانی پارامتر چگالی عابرین در دو حالت مدل‌سازی شده و مطالعه میدانی برای کل مقاطع مورد مطالعه

۷- تحلیل آماری نتایج حاصل از مطالعه

میدانی و مدل‌سازی

به‌منظور بررسی صحت و دقت مدل‌سازی انجام شده، در سه مرحله با استفاده از نرم‌افزار SPSS آنالیزهای آماری روی نتایج مطالعات میدانی و نتایج حاصل از مدل‌سازی انجام شد. در گام اول شاخص‌های مرکزی و متغیرهای پراکندگی نتایج مطالعات میدانی و مدل‌سازی برای هر دو پارامتر سرعت و چگالی به‌دست آمد. در گام دوم با استفاده از نتایج به‌دست آمده در روند مطالعه میدانی و شبیه‌سازی ضریب همبستگی بین این مقادیر حاصل شد. در گام سوم با استفاده از مدل رگرسیون خطی معنی‌داری متغیرها مورد بررسی قرار گرفت و ضریب و مقدار ثابت معادله خط نمودارهای توزیع درصد فراوانی پارامترهای سرعت و چگالی در دو حالت مدل‌سازی و مطالعه میدانی به‌دست آمد. علاوه‌بر این ضریب نکویی مدل‌ها نیز استخراج گردید.

۷-۱- شاخص‌های مرکزی و متغیرهای پراکندگی

در این گام مقادیر حاصل از مطالعات میدانی و مدل‌سازی برای هر دو پارامتر سرعت و چگالی به‌طور جداگانه وارد محیط نرم‌افزار SPSS شد و شاخص‌های مرکزی و متغیرهای پراکندگی این مقادیر به‌طور جداگانه محاسبه گردید. در بررسی شاخص‌های مرکزی، میانگین، میانه و مد داده‌ها و برای بررسی متغیرهای پراکندگی، انحراف از معیار و واریانس داده‌ها محاسبه گردید. نتایج حاصل از این محاسبات در جدول ۲ ارائه شده است. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود، مقادیر به‌دست آمده برای شاخص‌های مرکزی و متغیرهای پراکندگی در دو حالت مطالعه میدانی و مدل‌سازی برای هر دو پارامتر سرعت و چگالی بسیار به هم نزدیک می‌باشند.

جدول ۲- شاخص‌های مرکزی و پارامترهای پراکندگی در دو حالت مطالعه میدانی و مدل‌سازی برای پارامترهای سرعت و چگالی با استفاده از نرم‌افزار SPSS

پارامترهای پراکندگی	شاخص‌های مرکزی			میدانی	مدل‌سازی
	انحراف از معیار	مد	میانگین		
واریانس	۶/۴۳۱	۰/۵۶	۶/۲	۷/۹۶۶	میدانی
	۴۱/۳۵۹				مدل‌سازی
	۶/۷۰۸۱	۰/۵	۵/۷۸۵	۷/۹۷۹	میدانی
	۳۶/۴۴۲	۰/۸۱	۴/۶۶۵	۶/۷۰۵	مدل‌سازی
	۶/۶۶۲۷	۱	۵/۴۱۲	۷/۴۱۴	

۷-۲- ضریب همبستگی

با توجه به این‌که متغیرهای مورد استفاده (نتایج مطالعات میدانی در هر کدام از پارامترهای سرعت و چگالی) نرمال نبود، از همبستگی اسپیرمن استفاده گردید. در جدول ۳ ضرایب همبستگی نتایج مطالعات میدانی و مدل‌سازی برای هر دو پارامتر سرعت و چگالی ارائه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، میزان همبستگی بین نتایج مطالعه میدانی و مدل‌سازی انجام گرفته در این

برای تعیین رابطه بین دو متغیر نتایج مطالعه میدانی و نتایج مدل‌سازی در هر دو پارامتر سرعت و چگالی، ضرایب همبستگی مقادیر به‌دست آمده در روند تحقیق با استفاده از نرم‌افزار SPSS به‌دست آمد. برای این کار ابتدا مقادیر وارد نرم‌افزار SPSS شد و در ادامه جهت تعیین نوع همبستگی نرمال بودن متغیرها مورد بررسی قرار گرفت.

چگالی بیشتر از ۰/۰۵ است، لذا مقدار متغیر ثابت در سطح معناداری ۰/۹۵ قابل چشم‌پوشی می‌باشند. علاوه بر این چون معیار اهمیت متغیر مستقل در هر دو پارامتر سرعت و چگالی کمتر از ۰/۰۵ است، لذا همان‌طور که در جدول ۴ مشخص است، مقدار متغیر مستقل برای پارامتر سرعت برابر ۰/۹۵۶ و برای پارامتر چگالی برابر ۱/۰۳۰ به دست آمده است. بر همین اساس مدل خطی برازش شده برای داده‌های حاصل از مطالعه میدانی و مدل‌سازی برای هر دو پارامتر سرعت و چگالی به ترتیب به صورت روابط (۷) و (۸) به دست آمد.

$$Y = 0/956 * X_1 \quad (7)$$

$$Y = 1/03 * X_1 \quad (8)$$

که در این روابط Y داده‌های مربوط به مطالعه میدانی و X_1 داده‌های مربوط به مدل‌سازی است.

همچنین طبق تحلیل انجام گرفته توسط این نرم‌افزار، ضریب نکویی (مقدار مربع ضریب تعیین) پارامترهای سرعت و چگالی با در نظر گرفتن نتایج مطالعه میدانی و مدل‌سازی به ترتیب برابر ۰/۸۴ و ۰/۸۷ می‌باشد که با توجه به نزدیکی این مقادیر به ۱، دقت بالای مدل برازش شده برای هر دو پارامتر تایید می‌گردد.

تحقیق برای پارامتر سرعت ۰/۹۱۶ و برای پارامتر چگالی ۰/۹۰۷ می‌باشد. مقادیر ضریب همبستگی بسیار بالاتر از مقدار مورد قبول برای تایید همبستگی بین دو متغیر در حالت معمول (۰/۷) می‌باشد که این امر نشان‌دهنده همبستگی بالای نتایج مطالعه میدانی و مدل‌سازی می‌باشد.

جدول ۳- ضرایب همبستگی اسپیرمن برای پارامتر سرعت و چگالی با استفاده از نرم‌افزار SPSS

پارامتر	ضریب همبستگی اسپیرمن
سرعت	۰/۹۱۶
چگالی	۰/۹۰۷

۳-۷- تحلیل رگرسیون خطی

پس از تایید وجود رابطه مثبت بین داده‌های حاصل از مطالعه میدانی و مدل‌سازی برای هر دو پارامتر سرعت و چگالی در بررسی همبستگی، با استفاده از نرم‌افزار SPSS تحلیل رگرسیون خطی بر روی هر دو پارامتر به صورت جداگانه انجام شد. نتایج حاصل از این تحلیل در جدول ۴ آورده شده است. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد، با توجه به این که معیار اهمیت متغیر ثابت هر دو پارامتر سرعت و

جدول ۴- نتایج تحلیل رگرسیون خطی بر روی داده‌های حاصل از مطالعات میدانی و مدل‌سازی بر روی هر دو پارامتر سرعت و چگالی با استفاده از نرم‌افزار SPSS

پارامتر	ضرایب	مقادیر ضرایب	t	معیار اهمیت
} (a ₀)	پارامتر ثابت (a ₀)	۰/۳۶۲	۰/۹۲۴	۰/۳۵۷
	پارامتر مستقل (a ₁)	۰/۹۵۶	۲۴/۹۱۸	-
} (a ₀)	پارامتر ثابت (a ₀)	۰/۵۰۸	۱/۵۴۵	۰/۱۲۵
	پارامتر مستقل (a ₁)	۱/۰۳۰	۲۸/۲۰۷	-

استفاده کرد. علاوه بر این، می‌توان تاثیر تغییرات مختلف مورد نظر در پیاده‌روها را بدون انجام هرگونه عملیات اجرایی و تنها با شبیه‌سازی پیاده‌رو در شرایط مورد نظر ارزیابی کرد.

با توجه به تحلیل‌های ارائه شده در بند ۷، ملاحظه می‌شود که نتایج حاصل از شبیه‌سازی با استفاده از مدل نیروی اجتماعی تناسب بالایی با مشاهدات انجام یافته در جهان واقعی دارد. لذا می‌توان برای مقاصد طراحی، بهسازی و مدیریت پیاده‌روها از شبیه‌سازی با این مدل

۸- نتیجه گیری

روشی که امروزه برای مطالعه رفتار عابرین پیاده توسط محققین مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد، روش مدل‌سازی می‌باشد. رفتار هر عابر حین انجام فعالیت پیاده‌روی، منحصر به فرد و متفاوت از سایر عابرین می‌باشد. در این راستا مسلماً مدل‌سازی میکروسکوپی عابرین پیاده به دلیل در نظر گرفتن رفتار حرکتی تک تک عابرین به صورت مجزا می‌تواند نتایج بهتری نسبت به مدل‌سازی ماکروسکوپی ارائه کند. در بین تمام مدل‌هایی که تاکنون ارائه شده‌اند، مدل نیروی اجتماعی به دلیل نزدیکی بیشتر به جهان واقعی نتایج واقع بینانه‌تری را ارائه می‌دهد.

بر اساس نتایج تحقیق، تحلیل‌های آماری انجام یافته در محیط نرم‌افزار SPSS نشان داد که مقادیر شاخص‌های مرکزی و متغیرهای پراکندگی نتایج مطالعات میدانی و مدل‌سازی برای هر دو پارامتر سرعت و چگالی بسیار به هم نزدیک هستند. همچنین طبق نتایج به دست آمده از تحلیل آماری ضریب همبستگی بین نتایج مطالعه میدانی و مدل‌سازی برای پارامتر سرعت و چگالی به ترتیب ۰/۹۱۶

و ۰/۹۰۷ می‌باشد که این مقادیر میزان قابل قبول همبستگی بین نتایج مطالعه میدانی و مدل‌سازی را نشان می‌دهد. علاوه بر این طبق تحلیل رگرسیون خطی انجام یافته در نرم‌افزار SPSS ملاحظه شد که مقدار متغیر ثابت در هر دو پارامتر سرعت و چگالی در سطح معناداری ۰/۹۵ قابل چشم‌پوشی و مقدار متغیر مستقل برای پارامتر سرعت برابر ۰/۹۵۶ و برای پارامتر چگالی برابر ۱/۰۳۰ به دست آمده است. همچنین ضریب نکویی پارامتر سرعت برابر ۰/۸۳۹ و پارامتر چگالی برابر ۰/۸۷۰ به دست آمده است.

هدف از این تحقیق مطالعه جریان حرکتی عابرین پیاده با استفاده از مدل نیروی اجتماعی بود. نتایج به دست آمده از تحلیل آماری داده‌های حاصل از مطالعه میدانی و مدل‌سازی قدرت و دقت بالای این مدل را در بررسی رفتار حرکتی عابرین پیاده بیان می‌کند. در نتیجه می‌توان مدل نیروی اجتماعی را به عنوان یک مدل کارآمد برای مدل‌سازی و انجام مطالعات پیاده‌رو در شهر تهران مورد استفاده قرار داد.

۹- مراجع

- [1] Lund, H. (2002). "Pedestrian environments and sense of community". *Journal of Planning Education and Research*, Vol. 21, No. 3, pp. 301-312.
- [2] Whitehead, T. (2003). "The effect of urban quality improvements on business location". *University of Oxford, Transport Studies Unit*.
- [3] Campbell, B.J., Zegeer, C.V., Huang, H.H., Cynecki, M.J. (2004). "A review of pedestrian safety research in the United States and abroad". Publication No. FHWA-RD-03-042, US Department of Transportation.
- [4] Loukaitou-Sideris, A., Blumenberg, E., Ehrenfeucht, R. (2005). "Sidewalk democracy: municipalities and the regulation of public space. in *regulating place: standards and the shaping of urban America* (E. B. Joseph and T. Szold, eds.)". *Routledge, New York*, pp. 141-166.
- [5] Jacobs, J. (1961). "The death and life of great American cities". *Vintage Books, New York*.

- [6] Transportation Research Board. (2000). "Highway Capacity Manual 2000". National Research Council, Washington.
- [7] ITE. (1998). "Design and safety of pedestrian facilities, a recommended practice of the institute of transportation engineer". Traffic Engineering Council Committee TENC-5A- Institute of Transportation Engineers, Washington.
- [8] NHTSA, (2008). "Pedestrian and bike fact sheet".
- [9] Lee, I-Mi., Buchner, D.M. (2008). "The importance of walking to public health. medicine and science in sports and exercise". Vol. 40, No. 7, pp. s512-s518.
- [10] Chebat, J, Gelinat-Chebat, C, Therrien, K. (2005). "Lost in mall, the effects of gender, familiarity with the shopping mall and the shopping values on shoppers way finding processes". Journal of Business Research , Vol. 58, No. 11, pp. 1590-1598.
- [11] Seedata, M., Mackenize, S., Mohan, D. (2005). "The phenomenology of being a female pedestrian in an African and an Asian city: A qualitative investigation". Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, Vol. 9, No. 2, pp. 139-153.
- [12] Hoogendoorn, S.P., Daamen, W. (2006). "Microscopic parameter identification of pedestrian models and its implications for pedestrian flow modeling". Journal of the Transportation Research Board, Vol. 1982, No. 1, pp. 57-64.
- [13] TRB. (2000). "Highway Capacity Manual". Transportation Research Board, National Research Council, Washington, D.C.
- [14] Fruin, J.J. (1971). "Pedestrian planning and design, metropolitan association of urban designers and environmental planners". Inc., New York.
- [۱۵] شفابخش، غ.، میرزاندی، ر.، محمدی، م. (۱۳۹۱). "تخمین اثر جمعیت افراد سالخورده در جریان حرکتی سایر افراد در پیاده‌روها با استفاده از روش شبیه‌سازی میکرو". نهمین کنگره ملی مهندسی عمران.
- [16] Gipps, P.G., Marksjo, B. (1985). "A micro-simulation model for pedestrian flows". Mathematics and Computers in Simulation, Vol. 27, No. 2, pp. 95-105.
- [17] Blue, V.J., Adler, J.L. (1998). "Emergent fundamental pedestrian flows from cellular automata microsimulation". Transportation Research Record, Vol. 1644, No. 1, pp. 29-36.
- [18] 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.
- [19] 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.
- [20] Helbing, D. (1991). "A mathematical model for the behavior of pedestrians". Behavioral Science, Vol. 36, No. 4, pp. 298-310.
- [21] Helbing, D., Molnar, P. (1995). "Social force model for pedestrian dynamics". Physical Review E, Vol. 51, No. 5, pp. 4282-4286.
- [22] Helbing, D., Vicsek, T. (1999). "Optimal Self-Organization". New Journal of Physics, Vol. 1, No. 1, pp. 13.1-13.17.
- [23] Lovas, G.G. (1994). "Modeling and simulation of pedestrian traffic flow". Transportation Research, Vol. 28, No. 6, pp. 429-443.
- [24] Thompson, P.A., Marchant, E.W. (1995). "A Computer model the evacuation of large building populations". Fire Safety Journal, Vol. 24, pp. 131-148.

[۲۵] معاونت امور فنی سازمان برنامه و بودجه، (۱۳۷۶). "تسهیلات پیاده روی". نشریه ۱۴۴ - جلد ۳ - انتشارات سازمان برنامه و بودجه.