

خودسازمان‌دهی و شبیه‌سازی مسیرهای عابر پیاده در محیط‌های شهری با استفاده از مدل نیروی اجتماعی (نمونه مطالعاتی: بلوار ارم شهر همدان)

شیمای ربیع پور*، سمیره باقری**، نیره بی‌کینه***، لیلا شمالی بابا احمدی****

تاریخ دریافت مقاله: ۹۳/۷/۲۲

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۳/۹/۱

چکیده

پیاده‌روی علاوه بر ارتقاء سلامت عمومی موجب پویایی بیشتر محیط شهری می‌شود. بین فضاهای عمومی شهری، پیاده‌رو عمومی‌ترین فضا محسوب می‌شود؛ لذا فعالیت‌های بسیاری در گذشته به‌منظور بهبود و مدیریت آن‌ها صورت گرفته است. ساختار جریان عابرین در پیاده‌روها از لحاظ آزادی در انتخاب سرعت و سبقت گرفتن از دیگران شبیه جریان حرکتی وسایل نقلیه در خیابان‌ها و جاده‌هاست. 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. در این مقاله سعی شده است با استفاده از مدل نیروی اجتماعی که یکی از مدل‌های ارائه‌شده برای مدل‌سازی میکروسکوپی عابرین پیاده است، رفتار عابرین پیاده مدل‌سازی شود. مدل نیروی اجتماعی به دلیل نزدیکی بیشتر به جهان واقعی نتایج واقع‌بینانه‌تری را ارائه می‌دهد. هدف اصلی انجام این مقاله بررسی الگوهای رفتاری عابرین پیاده در محدوده مورد مطالعه با استفاده از مدل نیروی اجتماعی است، تا بتوان به تمایل درونی افراد در انتخاب مسیر و چگونگی واکنش آن‌ها پی برد. بدین منظور از نرم‌افزار Micro-pedsim استفاده شد. در این مطالعه ابتدا رفتار واقعی عابرین پیاده از طریق فیلم‌های برداشت‌شده از دو مقطع در بلوار ارم شهر همدان بررسی و داده‌های مربوط به سرعت، چگالی، شتاب، قطر تأثیر و مسافت دید، استخراج گردید. این داده‌ها وارد نرم‌افزار گردید، سپس رفتار مشاهده‌شده از حرکت افراد در مقاطع مورد مطالعه مدل‌سازی شد. نتایج حاصل از شبیه‌سازی، میزان رضایت و تمایل عابرین پیاده و همچنین نارضایتی آن‌ها را نشان داد. خروجی نرم‌افزار در مقاطع مورد مطالعه با رفتار عابرین پیاده در همان مقاطع کاملاً مطابقت دارد. در نتیجه این نرم‌افزار ابزاری با قابلیت و کارایی بالا برای شناخت الگوهای رفتاری عابرین است.

واژگان کلیدی

خودسازمان‌دهی، مسیر پیاده، مدل نیروی اجتماعی

مقدمه

یکی از مهم‌ترین جنبه‌های حضور انسانی در فضاهای شهری که سبب سرزندگی و پویایی این فضاها و نیز افزایش نقش اجتماعی آن‌ها می‌شود، حرکت پیاده است. در مسیرهای پیاده فعالیت‌های اجتماعی، تعامل، استراحت افراد و موقعیت تفریح فراهم می‌شود. زندگی شهری متنوع و غنی مستلزم وجود فضاهای عمومی شهری است. نواحی پیاده فضاها بهتر و بیشتری برای زندگی جمعی تأمین می‌کنند و محیط شهری ایمن‌تر، آرام‌تر و پرمنزلت‌تری فراهم می‌آورد. در محیط‌های در حال تغییر امروز سامانه‌های بی‌نظم در ارتباط با محیطشان همچون موجودات زنده عمل می‌کنند و برای رسیدن به موفقیت همواره باید خلاق و نوآور باشند؛ اما هنگامی که سیستم به تعادل سازگار نزدیک می‌شود برای حفظ پویایی نیاز به تغییرات اساسی درونی یا خودسازمان‌دهی دارد. این تغییرات موجب سازگاری پویا می‌شود که نتیجه آن دگرگونی روابط پایدار بین افراد، الگوهای رفتاری، نگرش‌ها و فرهنگ‌ها است. در چنین شرایطی است که تغییرات کوچک می‌تواند تغییرات عمده‌ای را در رفتار سیستم ایجاد کند (الوانی، ۱۳۷۸). خودسازمان‌دهی نه تنها یکی از ویژگی‌های تکامل شهری است بلکه در محیط‌های شهری کارایی دارد. در جمعیت‌های پیاده مشکلات بیشتر به دلیل وجود جریان‌های حرکتی مخالف، گلوگاه‌ها و تقاطع‌ها به وجود می‌آیند (Helbing et al, ۲۰۰۵).

امروزه در فضاهای شهری مشاهده می‌شود که بسیاری از مسیرهای طراحی شده برای عابرین پیاده، کارایی لازم را ندارد و عابران تمایلی به عبور از این مسیرها ندارند. لذا اگر این مکان‌ها بدون توجه به چگونگی رفتار عابرین پیاده و واکنش آن‌ها در برخورد با این شرایط سازمان‌دهی شود، عملی بهبود و ناکارآمد خواهد بود. در این تحقیق، سعی شده است با استفاده از مدل نیروی اجتماعی، در پیاده‌روهای بلوار ارم شهر همدان، الگوهای رفتاری عابرین پیاده، شبیه‌سازی شود تا در پی بردن به میل درونی عابرین پیاده در انتخاب مسیرها و چگونگی واکنش آن‌ها در حفظ حریم خود، گامی مؤثر برداشته شود.

ادبیات تحقیق

خودسازمان‌دهی فرآیندی است که طی آن سازمان‌یافتگی درونی یک سیستم به سمت پیچیدگی افزون‌تر تکامل پیدا می‌کند، بی‌آنکه توسط عوامل بیرونی هدایتی دریافت نموده باشد و یا اعمال مدیریتی روی آن صورت پذیرفته باشد. ظهور خودسازمان‌دهی را به آقای راس اشبی نسبت داده‌اند (www.selfstar.sbu.ac.ir). ایشان در ابتدا سازمان را چنین تعریف نمودند: سازمان یک سیستم عبارت است از وابستگی کارکردی وضعیت آینده آن به وضعیت حاضر و ورودی‌های خارجی. همچنین خودسازمان‌دهی را چنین تعریف نمودند: خودسازمان‌دهی تغییر سازمان سیستم توسط خود آن سیستم و بدون دخالت موجودیت‌های خارجی است. این تعریف با تعریف صحیح شناخته شده امروز کاملاً منطبق است. در یک تعریف کاری خودسازمان‌دهی چنین توصیف شده است: "خودسازمان‌دهی یک فرایند پویا و تطبیق‌پذیر است که در آن سامانه‌ها بدون کنترل خارجی ساختارهایی را به دست آورده و نگهداری می‌کنند". باوجوداینکه تعاریف ذکر شده سعی در روشن ساختن مفهوم خودسازمان‌دهی دارند، برای شناخت بیشتر سامانه‌های فوق نیازمند آشنایی با ویژگی‌های آن‌ها هستیم.

(www.selfstar.sbu.ac.ir)

مسیر پیاده معابری با بالاترین حد نقش اجتماعی‌اند که در آن‌ها تسلط کامل با عابر پیاده بوده و از وسایل نقلیه موتوری تنها به‌منظور سرویس‌دهی به زندگی جاری در معبر استفاده می‌شود و ابزاری برای بروز فعالیت جمعی می‌باشند. مسیر پیاده می‌تواند پاسخگوی بسیاری از نیازهای شهروندان به فضاهای عمومی شهری باشد و درعین‌حال هویت خاص خود را دارا است و به شهروندان احساس آرامش و امنیت می‌بخشد (پاکزاد، ۱۳۸۶). باید به این نکته توجه داشت که در فضاهای پیاده‌بر خلاف فضاهای حرکت سواره، حواس غیر بصری نیز در ادراک محیط نقش فعال دارند. وجود انواع صداها، بوها، امکان لمس سطوح و حجم‌ها و... در فضاهای پیاده موجب ادراک چند حسی و تأثیرات روانی و عاطفی متنوع می‌شود.

مدل نیروی اجتماعی: "هلبینگ" به همراهی "مولنار" و "وینک" مدلی را که با اصول و پایه مدل‌های سلولی سود - هزینه و نیروی مغناطیسی همخوانی داشت را توسعه دادند و به نام مدل نیروی اجتماعی ارائه کردند. طبق این مدل یک عابر پیاده تحت تأثیر نیروهای اجتماعی مجبور به حرکت می‌شود. مجموع نیروهای وارده به عابر باعث به وجود آمدن شتاب در وی می‌شود. مقدار این شتاب از رابطه زیر به دست می‌آید.

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

تصویر ۱- فرمول محاسبه شتاب

که در این رابطه:

$$\begin{aligned} X_i(t) &: \text{مکان عابر پیاده } i \text{ در زمان } t \\ V_i(t) &: \text{سرعت عابر پیاده } i \text{ در زمان } t = dx(t)/dt \\ m &: \text{جرم عابر پیاده} \\ V_0 &: \text{سرعت موردنظر در زمان عدم وجود تداخل} \\ e_i &: \text{جهتی که عابر پیاده } i \text{ ام در حال پیمودن است} \\ \xi_i(t) &: \text{نوسان سرعت افراد} \\ f_{ij} &: \text{تداخل بین عابر پیاده } i \text{ ام و } j \text{ ام} \\ f_b &: \text{تداخل عابر پیاده با مرزهای مشخص شده است} \end{aligned}$$

مدل بر این اساس ساخته شده است که هر عابر پیاده می‌خواهد در زمان مشخص به مقصد موردنظر 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 زیر به دست می‌آید:

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

تصویر ۲- فرمول محاسبه جهت حرکت

سرعت مطلوب از تقسیم مسافت باقیمانده به زمان باقیمانده به دست می‌آید. مسافت باقیمانده طول فاصله بین محل عابر در لحظه موردنظر و مقصد عابر می‌باشد. همچنین زمان باقیمانده تفاوت بین زمان هدف و زمان شبیه‌سازی می‌باشد. سرعت مطلوب از رابطه زیر به دست می‌آید:

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

تصویر ۳- فرمول محاسبه سرعت مطلوب

سرعت موردنظر برابر است با حاصل ضرب سرعت ایده آل در بردار واحد مسیر (شفابخش و محمدی، ۱۳۹۲).

هدف پژوهش: هدف اصلی انجام این مقاله بررسی الگوهای رفتاری عابری پیاده در محدوده مورد مطالعه با استفاده از مدل نیروی اجتماعی است تا بتوان به تمایل درونی افراد در انتخاب مسیر و چگونگی واکنش آن‌ها پی برد.

فرضیه پژوهش: به نظر می‌رسد که می‌توان از طریق مدل‌سازی به تمایل افراد در انتخاب مسیرها و واکنش آن‌ها در حفظ حریم خود پی برد. ابزارهایی کارا در شبیه‌سازی رفتار عابری پیاده، در پیاده‌رو Micro-pedsim چنین فرض می‌شود که مدل نیروی اجتماعی و نرم‌افزارها باشند.

پیشینه تحقیق

در سال ۱۳۹۲ مقاله‌ای با عنوان شبیه‌سازی حرکت عابری پیاده با استفاده از نیروی اجتماعی توسط غلامعلی شفابخش و مهدی محمدی نوشته شده است. در این مقاله با استفاده از مدل نیروی اجتماعی که یکی از مدل‌های ارائه شده برای مدل‌سازی میکروسکوپی عابری پیاده است رفتار عابری پیاده مدل‌سازی می‌شود. هدف از انجام مطالعه آن‌ها ارزیابی مدل نیروی اجتماعی در شرایط موجود در پیاده‌روهای ۶ منطقه از شهر تهران می‌باشد. آن‌ها ابتدا رفتار واقعی افراد از طریق فیلم‌های برداشت شده از ۶ منطقه ۱-۴-۱۳-۱۶-۱۹ و ۲۲ را بررسی کرده سپس داده‌های مربوط به سرعت و چگالی را استخراج کرده و سرانجام رفتار مشاهده شده افراد را مدل‌سازی کردند (شفابخش و محمدی، ۱۳۹۲).

در سال ۲۰۰۵ هلبینگ و آندرس جانسون و استفان لامر مقاله‌ای تحت عنوان خودسازمان‌دهی و بهینه‌سازی ترافیک پیاده و سواره در محیط‌های شهری با استفاده از مدل‌های نیروی اجتماعی و مدل ردپا را به ثبت رسانیدند. آن‌ها در این مقاله رفتار عابری پیاده و سواره را در نقاط تنگنا و تقاطع‌ها و جریان‌های حرکتی مخالف مورد بررسی قرار دادند. سپس با استفاده از مدل‌های فوق به خودسازمان‌دهی این نقاط پرداختند (Helbing et al, ۲۰۰۵). در سال ۲۰۰۱ مقاله‌ای تحت عنوان کدبندی حرکت طبیعی به‌عنوان یک سیستم‌عامل بر اساس رسیدگی به رفتار عابر پیاده در محیط ساخته شده توسط آلاستر ترنر و آلن پن در مجله محیط و برنامه‌ریزی به ثبت رسیده است. در این مقاله از نظریه و دیدگاه بوم‌شناختی گیبسون برای مدل‌های مبتنی بر عامل برای حرکت انسان استفاده شده است. در این نظریه این امکان

فراهم می‌شود که مدل‌های رفتاری را که در آن‌ها قوانین حرکتی که از اصل گیبسون نشأت گرفته‌اند را توسعه و گسترش داد، در انتها به این نتیجه رسیده که به‌واسطه تغییر پارامترهایی مانند انتخاب مقصد، میدان دید و اقدامات انجام‌شده بین نقاط تصمیم‌گیری، این امکان وجود دارد تا سطوح حرکت کلی یا جمعی را بسیار مشابه باکسانی که در یک زمینه واقعی ساخت به آن پی برده‌اند را تولید کنند.

(Alan Penn & Alasdair Turner, ۲۰۰۲)

در سال ۲۰۰۹ مقاله‌ای تحت عنوان مطالعه تجربی از مکانیسم رفتاری خودسازمان‌دهی در جمعیت انسانی توسط هلبینگ و سیمون گارنیر و آندرس جانسون به چاپ رسید. در این مقاله نویسندگان مجموعه‌ای از آزمایش‌های کنترل‌شده عبور و مرور عابران را به‌منظور تعیین قوانین حاکم بر رفتار آن‌ها در تعاملات انجام دادند. همچنین برای محاسبه نقشه رفتاری از سرعت و جهت یک عابر پیاده استفاده کردن. آن‌ها برای پیش‌بینی رفتاری از مدل تعامل باینری استفاده کردند و نتایج به‌دست‌آمده را با فیلم ضبط‌شده‌ای از جریان دوطرفه عابرین پیاده یک خیابان مقایسه کردند. اینان معتقد بودند آگاهی از قوانین رفتاری عابر پیاده یک گام مهم در درک پویایی رفتار جمعیت است و اجازه می‌دهد از جنبش‌های عابرین پیاده در شرایط طبیعی پیش‌بینی‌های قابل‌اعتماد صورت گیرد.

(Benedetto Piccoli, Andria Tosin & Emiliano Cristiani, ۲۰۱۲)

معرفی نرم‌افزار Micro-pedsim

ابزار نوآورانه‌ای برای تحقق رفتار حرکتی عابرین پیاده به روش مدل نیروی اجتماعی است. این نرم‌افزار Micro-pedsim نرم‌افزار امکان مدل‌سازی تداخل و رفتار عابرین پیاده را به‌صورت میکروسکوپی فراهم می‌سازد. پارامترهای ورودی موردنیاز برای مدل‌سازی در این نرم‌افزار عبارت‌اند از:

قطر عابر پیاده:

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

قطر تأثیر:

محدوده‌ای که عابر پیاده حین حرکت در آن احساس امنیت می‌کند به‌عنوان قطر تأثیر شناخته می‌شود.

مسافت دید:

فاصله‌ای که عابرین پیاده سایر عابرین یا موانع مختلف را می‌بینند.

حداکثر شتاب:

اگر عابرین پیاده به‌صورت خودکار ساخته شوند این مقدار مورد استفاده قرار می‌گیرد.

پارامترهای داخلی مدل نیروی اجتماعی:

این پارامترها اساس کار این نرم‌افزار است. این پارامترها شامل آلفا-بتا-جرم-خی می‌باشد. نیروی پیش برنده باعث حرکت روبه‌جلو عابرین می‌شود. پارامترهای ورودی جرم و آلفا این نیرو را تحت تأثیر قرار می‌دهد. نیروی دافعه باعث فاصله گرفتن از سایر عابرین می‌شود. پارامترهای ورودی جرم و خی در این نیرو دخیل هستند. زمانی که چگالی عابرین پیاده بالا باشد نیروی دافعه به‌تنهایی نمی‌تواند از برخورد عابرین جلوگیری کند به همین دلیل لازم است که نیروی پرهیز از برخورد تعریف شود. پارامترهای ورودی جرم و بتا در این نیرو دخیل هستند. همچنین می‌توان سرعت مدل‌سازی را تنظیم کرد. خروجی‌های نرم‌افزار به دودسته تقسیم می‌شوند:

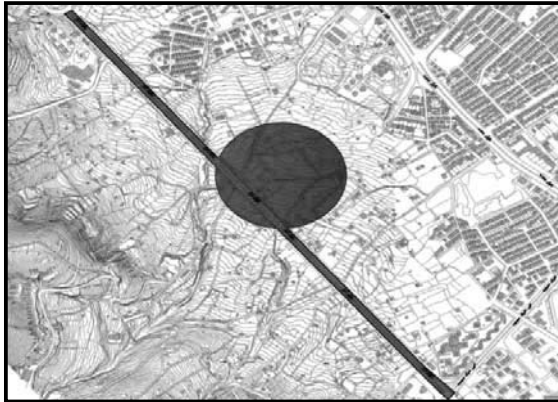
۱- متوسط لحظه‌ای

۲- عملکرد سیستم

مقادیر مربوط به متوسط لحظه‌ای میانگین اندازه‌گیری‌ها را در زمان‌های خاصی از مدل‌سازی ارائه می‌دهد. عملکرد سیستم متوسط زمانی پارامترهای بخش قبل را ارائه می‌دهد. تنها در این قسمت پارامتر دیگری تحت عنوان زمان تلف‌شده وجود دارد که اختلاف‌زمانی بین ورود اولین عابر پیاده از خروج آخرین عابر پیاده از مسیر پیاده‌روی می‌باشد (شفابخش و محمدی، ۱۳۹۲).

محدوده مورد مطالعه

بلوار ارم محور سبز تفرجگاهی است که قسمت جنوب غربی شهر همدان واقع شده است. به دلیل آب‌وهوای مناسب و چشم‌اندازهای زیبا روزانه شهروندان زیادی جهت گذراندن اوقات فراغت و پیاده‌روی به این مکان مراجعه می‌کنند. از جمله دلایل انتخاب این نمونه موردی این است که در این مسیر هر سه گزینه جریان‌های حرکتی مخالف-تنگنا و گلوگاه تقاطع جهت بررسی وجود دارد. همچنین این بلوار مکانی است که پیاده‌روی همیشه و در تمام فصول سال در آن برقرار است.



تصویر ۵- نقشه میدان امام شهر همدان به همراه بلوار ارم



تصویر ۴- شهر همدان به همراه بلوار ارم



تصویر ۷- نقشه مقاطع مورد مطالعه



تصویر ۶- مقاطع مورد مطالعه

مطالعات میدانی

مطالعه رفتار عابر پیاده با روش‌های مختلفی امکان‌پذیر است روش مطالعه میدانی و روش مدل‌سازی از جمله این روش‌ها است. روش مدل‌سازی به دلیل بالا بودن قابلیت در تعریف انواع مختلف فاکتورهای تأثیرگذار در تحلیل ایجاد شرایط مورد نظر و کم‌هزینه بودن نسبت به سایر روش‌ها می‌تواند به‌عنوان مناسب‌ترین روش برای مقاصد طراحی، بهسازی و ارزیابی شرایط موجود مورد ارزیابی قرار گیرد که در این زمینه در مقاله حاضر از روش مطالعه میدانی و مدل‌سازی با استفاده از نرم‌افزار Micro-pedsim صورت پذیرفته است. در نتیجه مقادیر حاصل از مطالعات میدانی و مدل‌سازی برای دو پارامتر سرعت و چگالی به‌طور جداگانه وارد نرم‌افزار فوق شد و شاخص‌های مرکزی و متغیرهای پراکندگی محاسبه گردید که در نتایج به‌دست‌آمده به‌اجمال توضیح داده‌شده است. در ادامه توضیحات بیشتری پیرامون مطالعات صورت پذیرفته در محدوده مورد مطالعه آمده است.

مقاطع برداشت‌شده: طبق نتایج به‌دست‌آمده از برداشت‌های میدانی برای پارامترهای سرعت و تعداد عابرین پیاده در پیاده‌روهای منطقه پارک ارم در شهر همدان و شهرسازی واقع در بلوار ارم در همدان به شرح زیر است. شرایط انتخاب مکانی برای مطالعه به این قرار است: مکانی باشد که برای پیاده‌روی حائز اهمیت باشد. در انتخاب پیاده‌روها عرضی به‌اندازه بیش از ۳ متر و شیب ۵٪ روسازی سنگ‌فرش و وجود درخت در یک‌طرف پیاده و شرایط مناسب حرکت و پیاده‌روی در نظر گرفته شد. میانگین وزن عابرین پیاده در محاسبه مستقیم ۷۰ کیلوگرم به دست آمد. همچنین چگالی عابر پیاده از فیلم‌های برداشت‌شده از هر مقطع به دست آمد و برداشت‌ها در دو مقطع با طول ۵۰ متر به این صورت انجام شد: در هر یک از مقاطع انتخاب‌شده در دو بازه زمانی ده (۱۰) دقیقه‌ای صبح و عصر برداشت انجام شد. این برداشت‌ها در دو مقطع زمانی پیک ۹:۳۰ صبح و ۱۸:۳۰ عصر برداشت انجام گرفت. نقشه مقاطع مورد مطالعه و جداول برداشت‌شده به‌صورت زیر می‌باشند:



تصویر ۸- مقطع اول برداشت میدانی بلوار ارم همدان

جدول ۱- برداشت میدانی از مقطع اول: بلوار ارم، شهربازی رنگین کمان

| |
|--|
| مقطع اول: روبروی شهربازی رنگین کمان، صبح روز جمعه ساعت ۹:۳۰ |
| مشخصات پیاده‌رو: پیاده‌رو به عرض ۴ متر با شیب ۵٪ و سنگ‌فرش شده |
| تعداد عابران عبور کرده در ده دقیقه اول: ۹۰ نفر |
| شامل ۲۲ بچه و ۳۰ نفر زن و ۳۸ نفر مرد |

جدول ۲- برداشت میدانی از مقطع اول: بلوار ارم، شهربازی رنگین کمان

| |
|--|
| مقطع اول: شهربازی رنگین کمان، عصر روز جمعه ساعت ۱۸:۳۰ |
| مشخصات پیاده‌رو: پیاده‌رو به عرض ۴ متر با شیب ۵٪ و سنگ‌فرش شده |
| تعداد عابران عبور کرده در ده دقیقه دوم: ۱۵۰ نفر |
| شامل ۳۳ بچه و ۶۰ نفر زن و ۵۷ نفر مرد |



تصویر ۹- مقطع دوم برداشت میدانی بلوار ارم همدان

جدول ۳- برداشت میدانی از مقطع دوم: بلوار ارم، پارک ارم

| |
|--|
| مقطع دوم: روبروی پارک ارم، صبح روز جمعه ساعت ۹:۴۰ |
| مشخصات پیاده‌رو: پیاده‌رو به عرض ۸ متر با شیب ۵٪ و سنگ‌فرش شده |
| تعداد عابران عبور کرده در ده دقیقه اول: ۸۰ نفر |
| شامل ۱۱ بچه و ۴۷ نفر زن و ۲۲ نفر مرد |

جدول ۴- برداشت میدانی از مقطع دوم: بلوار ارم، پارک ارم

| |
|--|
| مقطع دوم: روبروی پارک ارم، عصر روز جمعه ساعت ۱۸:۴۵ |
| مشخصات پیاده‌رو: پیاده‌رو به عرض ۸ متر با شیب ۵٪ و سنگ‌فرش شده |
| تعداد عابران عبور کرده در ده دقیقه دوم: ۱۶۵ نفر |
| شامل ۳۱ بچه و ۶۹ نفر زن و ۶۵ نفر مرد |

شبیه‌سازی حرکات: ابتدا لازم است اطلاعات هر عابر پیاده به‌طور جداگانه از مشاهدات میدانی حاصل شود. سپس داده‌های به‌دست‌آمده که همان پارامترهای ورودی نرم‌افزار هستند، وارد نرم‌افزار می‌شود. در پایین مرحله‌به‌مرحله اقدامات توضیح داده‌شده است:

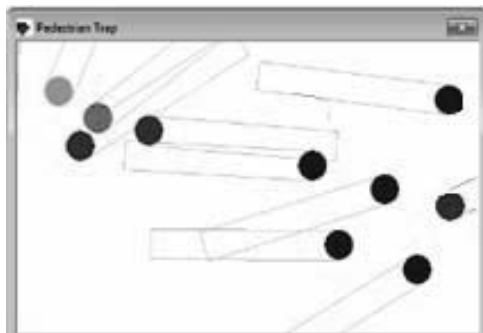
جدول ۵- مشخصات مقطع ۱

| جرم (km) | مسافت دید | قطر تأثیر (cm) | قطر عابر پیاده (cm) |
|----------|-----------|----------------|---------------------|
| ۷۲ | ۱۰-۱۲ | ۷۵ | ۶۰ |

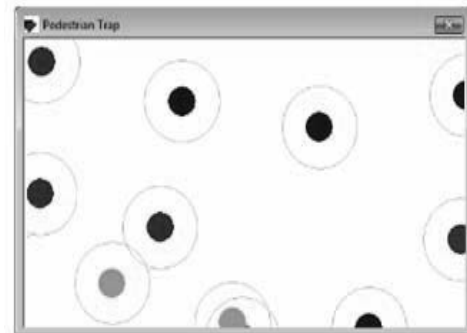
داده‌های مقطع ۱: در این نرم‌افزار باید ابتدا عابرین پیاده ایجاد شوند. سپس داده‌های سرعت، شتاب، مسافت دید، مختصات، جرم، قطر عابر پیاده، قطر تأثیر، وارد نرم‌افزار شوند.

جدول ۶- مشخصات عابران در مقطع ۱

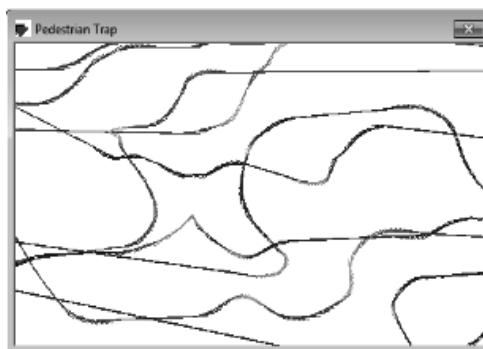
| عابران | مختصات (X, Y) | سرعت اولیه | ماکزیمم سرعت | ماکزیمم شتاب |
|--------|---------------|------------|--------------|--------------|
| ۱ | ۰.۳۵ | (۳, ۲.۵) | ۱.۳۳۶ | ۱.۴۴۲ |
| ۲ | ۱.۳۷ | (۲, ۱.۸) | ۱.۳۵۱ | ۱.۴۵۱ |
| ۳ | ۴.۴۰ | (۲.۵, ۲.۹) | ۱.۴۰۰ | ۱.۴۷۴ |
| ۴ | ۵.۶۷ | (۳, ۱.۶) | ۱.۴۱۵ | ۱.۴۷۸ |
| ۵ | ۴.۶۱ | (۲.۵, ۲.۲) | ۱.۳۹۸ | ۱.۴۶۸ |
| ۶ | ۲.۳۰ | (۲, ۳) | ۱.۴۴۲ | ۰ |
| ۷ | ۷.۸۳ | (۳, ۲.۸) | ۱.۴۸۰ | ۱.۵۰۵ |
| ۸ | ۸.۷۲ | (۳.۵, ۲.۹) | ۱.۴۸۲ | ۱.۵۰۹ |
| ۹ | ۹.۰۱ | (۵, ۳.۹) | ۱.۵۱۸ | ۱.۵۲۰ |
| ۱۰ | ۹.۷۲ | (۳, ۲) | ۱.۳۴۲ | ۱.۴۷۷ |



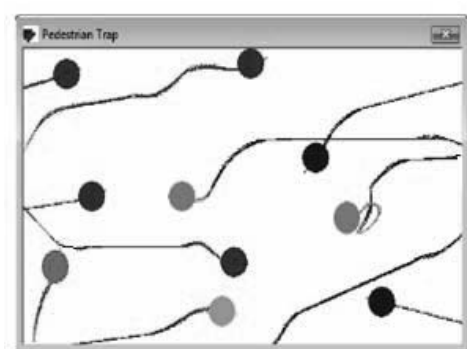
تصویر ۱۱- خط شتاب مقطع ۱



تصویر ۱۰- قطر تأثیر مقطع ۱

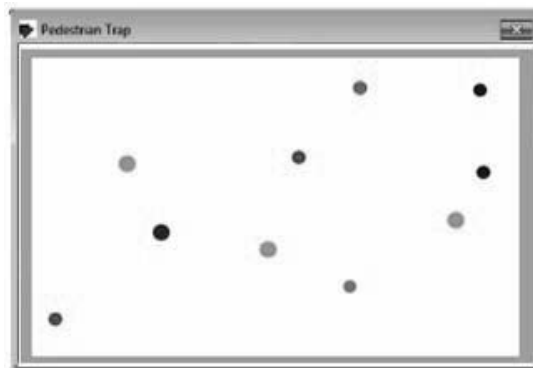


تصویر ۱۳- مسیر نهایی حرکت عابرین مقطع ۱



تصویر ۱۲- مسیر حرکت عابرین مقطع ۱

عابران پیاده‌ای که از سمت چپ به راست حرکت می‌کنند به رنگ قرمز تا قهوه‌ای هستند درحالی که عابران پیاده‌ای که از سمت راست به سمت چپ در حرکت‌اند به رنگ آبی تا آبی تیره هستند. رنگ تیره‌تر ابراز احساسات بهتر و سرعت بیشتر از عابر پیاده است و رنگ روشن‌تر نشان‌دهنده سرعت کمتر و ناراضی‌تری عابر پیاده است.



تصویر ۱۴- میزان رضایت عابرین پیاده‌بر حسب رنگ در مقطع ۱

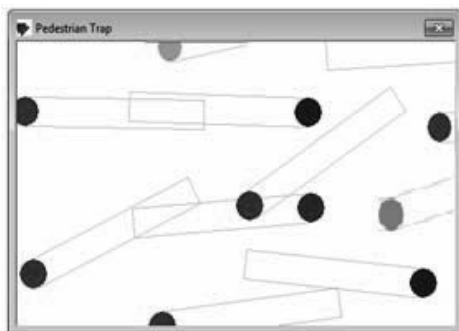
داده‌های مقطع ۲:

جدول ۷- مشخصات مقطع ۲

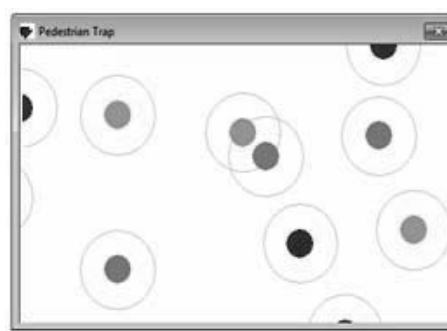
| جرم (km) | مسافت دید | قطر تأثیر (cm) | قطر عابر پیاده (cm) |
|----------|-----------|----------------|---------------------|
| ۷۲ | ۱۰-۱۲ | ۷۵ | ۶۰ |

جدول ۸- مشخصات عابران در مقطع ۲

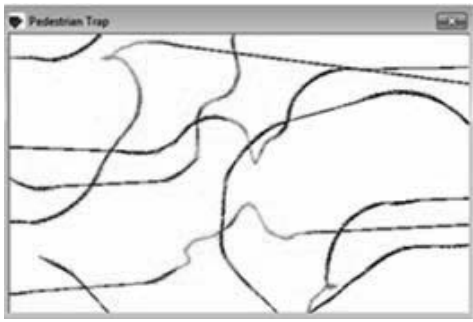
| عابران | مختصات (X, Y) | سرعت اولیه (v_x, v_y) | ماکزیمم سرعت | ماکزیمم شتاب |
|--------|---------------|-------------------------|--------------|--------------|
| ۱ | ۲.۹۵ | (۲,۲) | ۱.۳۳۳ | ۱.۴۴۰ |
| ۲ | ۳.۵۹ | (۳,۲) | ۱.۳۳۹ | ۰ |
| ۳ | ۳.۲۴ | (۱,۳) | ۱.۴۸۵ | ۱.۳۵۸ |
| ۴ | ۶.۶۴ | (۳,۳) | ۵ | ۴ |
| ۵ | ۶.۷۱ | (۲,۱) | ۲.۵ | ۲ |
| ۶ | ۴.۸۴ | (۱,۱.۵) | ۴.۳ | ۴ |
| ۷ | ۵.۳۴ | (۲,۲) | ۲ | ۱.۴۴۰ |
| ۸ | ۹.۷۲ | (۱,۱.۸) | ۲.۷ | ۲ |
| ۹ | ۸.۳۰ | (۲,۲.۸) | ۳.۵ | ۳ |
| ۱۰ | ۹.۳۴ | (۲,۲) | ۱.۷ | ۱.۸۹ |



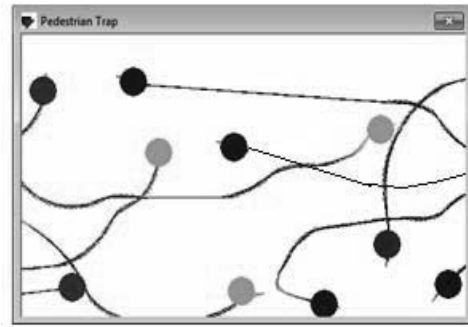
تصویر ۱۶- خط شتاب مقطع ۲



تصویر ۱۵- قطر تأثیر مقطع ۲



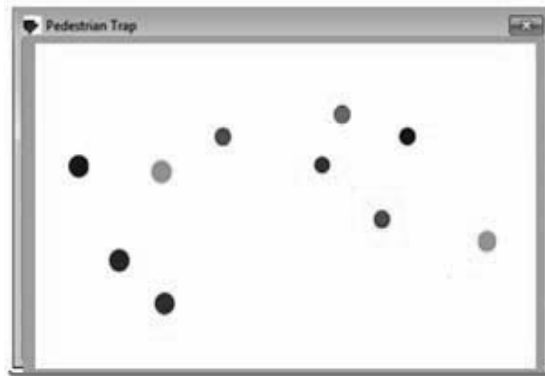
تصویر ۱۸- مسیر نهایی حرکت عابرین مقطع ۲



تصویر ۱۷- مسیر حرکت عابرین مقطع ۲

عابران پیاده‌ای که از سمت چپ به راست حرکت می‌کنند به رنگ قرمز تا قهوه‌ای هستند؛ درحالی‌که عابران پیاده‌ای که از سمت راست به سمت چپ در حرکت‌اند به رنگ آبی تا آبی تیره هستند. رنگ تیره‌تر ابراز احساسات بهتر و سرعت بیشتر از عابر پیاده است و رنگ روشن‌تر نشان‌دهنده سرعت کمتر و ناراضی‌تری عابر پیاده است.

تصویر ۱۹- میزان رضایت عابرین پیاده برحسب رنگ در مقطع ۲



بررسی فرضیه‌های پژوهش

فرضیه ۱: به نظر می‌رسد که بتوان از طریق مدل‌سازی به تمایل افراد در انتخاب مسیرها و واکنش آن‌ها در حفظ حریم خود پی برد.
فرضیه ۲: چنین به نظر می‌رسد که مدل نیروی اجتماعی و نرم‌افزار Micro-pedsim ابزارهایی کارا در شبیه‌سازی رفتار عابرین پیاده در پیاده‌روها می‌باشند.

با توجه به اینکه یکی از خروجی‌های نرم‌افزار میزان رضایتمندی عابرین پیاده است و هر چه رنگ دایره‌های عابر نما تیره‌تر باشد، نشان‌دهنده سرعت بالا و رضایت بیشتر و هر چه رنگ آن‌ها روشن‌تر باشد، نشان‌دهنده ناراضی‌تری عابرین است، و می‌توان از طریق مدل‌سازی به میل درونی عابرین پی برد، لذا این فرضیه اثبات می‌شود. نظر به اینکه نرم‌افزار پارامترهایی نظیر مسیر حرکت عابرین، سرعت، شتاب، قطر تأثیر عابرین و رفتار عابرین را دربروند کار با دقت بالا شبیه‌سازی کرد، در نتیجه مدل نیروی اجتماعی و نرم‌افزار Micro-pedsim ابزارهایی کارا در شبیه‌سازی الگوهای رفتاری عابرین هستند؛ لذا این فرضیه اثبات می‌شود.

نتیجه‌گیری

روشی که امروزه برای مطالعه رفتار عابرین پیاده توسط محققین مختلف مورداستفاده قرار می‌گیرد، روش مدل‌سازی است. رفتار هر عابر حین انجام فعالیت پیاده‌روی، منحصربه‌فرد و متفاوت از سایر عابرین می‌باشد. در این راستا مسلماً مدل‌سازی میکروسکوپی عابرین پیاده به دلیل در نظر گرفتن رفتار حرکتی تک‌تک عابرین به‌صورت مجزا می‌تواند نتایج بهتری نسبت به مدل‌سازی میکروسکوپییک ارائه کند. در بین تمام مدل‌هایی که تاکنون ارائه شده‌اند، مدل نیروی اجتماعی به دلیل نزدیکی بیشتر به جهان واقعی نتایج واقع‌بینانه‌تری را ارائه می‌دهد. نتایج به‌دست‌آمده از نرم‌افزار در محدوده بلوار ارم نشان داد که می‌توان رفتار عابرین پیاده را شبیه‌سازی کرد و عابران در برخورد با یکدیگر در جریان‌های مخالف چگونه واکنش نشان می‌دهند و تمایل دارند چگونه تغییر مسیر دهند. نتایج به‌دست‌آمده از نرم‌افزار، میزان رضایت و تمایل عابرین پیاده را در مسیر نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده شد رنگ تیره‌تر عابرین در نرم‌افزار نشان‌دهنده رضایت و

مطلوبیت بیشتر و رنگ روشن تر نشان‌دهنده نارضایتی عابرین است. در نتیجه این نرم‌افزار یک شبیه‌ساز و یک راهنما برای برنامه‌ریزان شهری است تا بتوانند مسیرها را طبق نظر عابرین طراحی کنند.

منابع

- الوانی، س.م. (۱۳۷۸). آینده کار. نشر نی.
- پاکزاد، ج. (۱۳۸۵). راهنمای طراحی فضاهای شهری در ایران. چاپ دوم، تهران، نشر: شرکت طرح و نشر پیام سیا.
- شفابخش، غ. و محمدی، م. (۱۳۹۲). شبیه‌سازی حرکت عابرین با استفاده از مدل نیروی اجتماعی. مجله مدل‌سازی در مهندسی، شماره ۳۴.
- نیک فلاح، ر. و پاشایی، ب. (۱۳۸۸). گروه جغرافیای شهری، دانشگاه تربیت‌معلم تهران
- Helbing, D., Johansson, A. & Lammer, S. (۲۰۰۵). Self-organization & optimization of pedestrian & vehicle traffic in urban environments. *Transportation Science* ۳۹(۱), ۱-۲۴.
- Cristiani, E., Piccoli, B. & Tosin, A. (۲۰۱۲). How Can Macroscopic Models Self-Organization in Traffic Flow? *IEEE ۵1st Annual Conference on*, ۶۹۸۹-۶۹۹۴.
- Turner, T. & Penn, A. (۲۰۰۲). Encoding natural movement as an agent-based system: an investigation into human pedestrian behavior in the built environment. *Planning and Design* ۲۹(۴) ۴۷۳-۴۹۰.
- www.selfstar.sbu.ac.ir/Pages/InformationPages/History.aspx.
- www.bashgah.net/fa.
- www.Earth.Google.com.