



شبیه‌سازی روند تخلیه از یک اتاق با استفاده از مدل میدان سطح بسط داده شده و مدل میدان سطح

سیدمحمد همایونی^۱، پرهام پهلوانی^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

۲- استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

چکیده:

در این مقاله به بررسی نحوه تخلیه جمعیت از یک اتاق مستطیلی شکل که دارای یک خروجی است پرداخته‌ایم. برای این منظور از دو مدل اتوماتی سلولی و عامل-مبنا شناخته شده که پیش از این توسعه داده شده‌اند استفاده شده است. یکی از این مدل‌ها مدل میدان سطح و دیگری مدل میدان سطح بسط داده شده است. برای پارامتر ایستا هر دو مدل از فاصله عامل‌ها از خروجی استفاده شده است. همچنین برای پارامتر پویا مدل میدان سطح از پارامتر پویا مورد استفاده در مدل میدان سطح بسط داده شده استفاده شده است. دلیل این امر جوابگویی بسیار خوب مدل میدان سطح بسط داده شده و نزدیکی نتایج آن به واقعیت است. در ادامه با تغییر عرض خروجی به تأثیر این مسئله پرداخته، سپس نتایج را با نتایج حاصل از یک شبیه‌سازی واقعی مقایسه کرده‌ایم. درنهایت به مقایسه نتایج حاصل از دو مدل پیاده‌سازی شده پرداخته و دلایل تفاوت نتایج را بیان کرده و مدل بهتر را معرفی کرده‌ایم.

واژه‌های کلیدی: تخلیه، اتوماتی سلولی، مدل عامل-مبنا، مدل میدان سطح، مدل میدان سطح بسط داده شده.

۱- مقدمه

بررسی و مدل‌سازی حرکت جمعیت در دهه‌ها و سال‌های اخیر با توجه مضاعفی روبرو شده است. دلیل این مسئله را می‌توان افزایش جمعیت و پایگاه‌های اجتماعی دانست. علاوه بر این که پیاده‌روی در کنار استفاده از وسائل نقلیه‌ی امروزی همچنان از روش‌های پر طوفدار جاذب‌جایی افراد است می‌توان به دلیل افزایش مراسم و مکان‌های اجتماعی مانند وجود پاساژهای عمومی، کنسرت‌های موسیقی، سینماها، ورزشگاه‌ها و نمایشگاه‌ها، خطر و ریسک تلفات انسانی را در موقع اضطراری بیشتر احساس کرد. جهت مدل‌سازی حرکت جمعیت به‌طورکلی از دو دسته کلی مدل‌سازی پیوسته و گسسته استفاده می‌شود^[۱]. مدل‌های پیوسته، مدل‌های "نیروی جمعی"^[۱] هستند. این مدل توسط هلبینگ و مونلار^[۲] ارائه شده است. در این مدل هر شخص به صورت یک دیسک با شعاع^[۲] فرض می‌شود و با استفاده از معادله شتاب، حرکت اشخاص شبیه‌سازی می‌شود. یکی از نقاط ضعف این مدل نسبت به مدل گسسته، محاسبات بسیار سنگین آن است. محققان در این مدل سعی می‌کنند با صرف نظر از برخی موارد محاسبات را سبک کنند. اما مدل‌های اتوماتای سلولی^[۳] در زمان، مکان و پارامترهای مورداستفاده در آن گسسته هستند. به دلیل محاسبات و پیچیدگی‌های زیاد فضاهای بزرگ، مدل اتوماتای سلولی بسیار بهینه‌تر از مدل نیروی جمعی عمل می‌کند^[۱]. مدل میدان سطح^[۴] یکی از پرکاربردترین مدل‌ها در اتوماتای سلولی است^[۳، ۴، ۵، ۶، ۷، ۸، ۹، ۱۰ و ۱۱]. در طی انجام فرایند تخلیه، برخی از شرایط و پارامترها که در تصمیم‌گیری افراد تأثیر می‌گذارند ثابت می‌باشند و برخی دیگر با گذر زمان تغییر می‌کنند. به همین دلیل در مدل میدان سطح پارامترهای مؤثر را به دو دسته تقسیم می‌کنند. به دسته‌ی اول پارامترهای ایستا^[۵]، مانند فاصله از خروجی، و به دسته‌ی دوم پارامترهای پویا^[۶]، مانند فاصله‌ی هر شخص از افراد پیرامون خود، گفته می‌شود. البته پارامتری مانند دافعه‌ی دیوار نیز عموالاً جز دسته پویا قرار می‌گیرد. زیرا نقطه‌ی اندازه‌گیری در این حالت با حرکت عامل عوض می‌شود (فاصله‌ی عموالی از دیوار، مورد نظر است). همچنین به دلیل اهمیت زیاد پارامتر فاصله عامل از خروجی، این پارامتر جدا از سایر پارامترها بررسی شده و وزن مخصوص به خود را می‌گیرد.

در این مقاله از دو مدل کلاسیک استفاده شده و نتایج حاصل از پیاده‌سازی این دو مدل با هم مقایسه می‌شوند. مدل اول مدل میدان سطح بسط داده^[۷] شده نام دارد. این مدل با استفاده از ایده‌ی مدل میدان سطح و بسط دادن آن ایجاد شده است. مدل بعدی مدل میدان سطح است. نکته قابل توجه در تحقیق حاضر این است که ما ابتدا مدل میدان سطح بسط داده شده را پیاده‌سازی کرده و نتایج آن را به دست آورده‌ایم؛ اما برای پیاده‌سازی مدل میدان سطح از پارامترهای مدل قبلی استفاده کرده‌ایم. به این معنی که از پارامتر پویا مدل میدان سطح بسط داده شده در مدل میدان سطح نیز استفاده کرده‌ایم. دلیل این کار، بهره بردن از مدلی است که قبلاً به خوبی عمل کرده و نتایجی نزدیک به واقعیتی را ارائه داده است. دلیل استفاده از مدل میدان سطح نیز همین مسئله می‌باشد.

^۱ Social Force

^۲ Cellular Automata

^۳ Floor Field

^۴ Static Floor Field

^۵ Dynamic Floor Field

^۶ Extended Floor Field

۲-مدل

۱-گسسته سازی فضا

در تحقیق دامن و هوگندورن [۱۲]، کرتز و همکاران [۱۳] و سیفیراد و همکاران [۱۴] جهت به دست آوردن ظرفیت تخلیه افراد در یک محیط بسته در شرایطی که در جلوی خروجی ازدحام به وجود می‌آید یک شبیه‌سازی در شرایط واقعی انجام شده است. نتایج این شبیه‌سازی‌ها بر اساس پارامترهای مختلفی ازجمله عرض خروجی و تعداد افراد حاضر در اتاق و ظرفیت خروجی نمایش داده شده است. در تحقیق حاضر پیاده‌سازی مدل روی اتاقی مستطیل شکل و با ابعاد ۴ متر در ۹ متر انجام خواهد شد.

در تحقیق گوییزدادا [۶] با بررسی نسبت‌های مختلف طول و عرض اتاق و محل قرارگیری خروجی در طول یا عرض اتاق، تغییرات در میزان تراکم جمعیت و وجود استرس یا عدم وجود آن، زمان تخلیه جمعیت بررسی شده است. در این تحقیق ما قصد داریم با در نظر گرفتن اندازه‌های مورد استفاده در مقاله اصلی ذکر شده و تغییرات پارامترهای ذکر شده، نتایج را به دست آورده و با نتایج مقاله اصلی مقایسه کنیم. لازم به ذکر است در تحقیق گوییزدادا [۶]، از سلول‌های مربعی و از همسایگی و نیومن^۱ و از همسایگی مور^۲ استفاده شده و نتایج هر دو حالت بیان شده است. در تحقیق حاضر، به دلیل اینکه می‌خواهیم فاصله بین سلول‌ها ثابت باشد به جای مربع، از ۶ ضلعی برای گسسته سازی فضا استفاده می‌کنیم. دلیل این مسئله در قسمت مربوط به گسسته سازی سرعت عامل‌ها و روند به روزرسانی مدل مشخص می‌شود. همچنین می‌توانیم از سلول‌های مربعی نیز استفاده کنیم اما در این صورت، باید فقط از همسایگی و نیومن استفاده کنیم زیرا در صورت استفاده از همسایگی مور و اجازه به حرکت قطری به عامل‌ها، فاصله طی شده هر عامل در هر حرکت خود بیشتر از فاصله در حرکت‌های غیر قطری خواهد بود و درنتیجه فرایند به روزرسانی و گسسته سازی سرعت را با مشکل و پیچیدگی زیادی مواجه می‌کند. همسایگی و نیومن نیز به دلیل اینکه حرکت عامل‌ها را محدود و کند می‌کند مورد استفاده قرار نگرفته است. در تحقیق حاضر، هر عامل در هر لحظه یک سلول را اشغال می‌کند. هر ضلع ۶ ضلعی مورد استفاده در این تحقیق ۲۳/۱ سانتی‌متر طول دارد. دلیل استفاده از این طول این است که اولاً هر سلول عرض مناسب برای استقرار هر عامل را داشته باشد و ثانیاً فاصله بین هر دو سلول دقیقاً ۴۰ سانتی‌متر خواهد بود. که مقدار فاصله طی شده هر عامل در هر حرکت خود است. در شکل) می‌توانیم یک نمونه از فضای بررسی و اجزای آن را ببینیم.

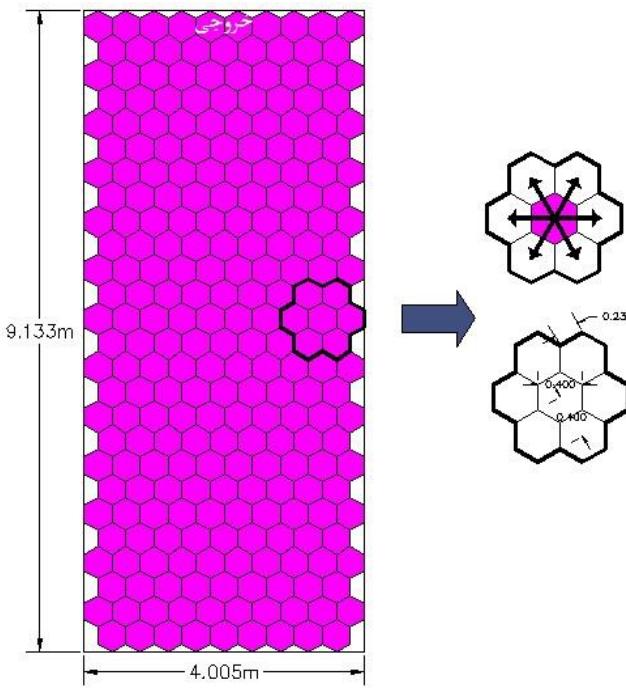
۲-پارامترهای مؤثر در حرکت عامل‌ها

۱-۲-فاصله از خروجی

فاصله هر عامل از خروجی یکی از پارامترهای مهم در طول فرایند تصمیم‌گیری برای حرکت است. عامل‌ها همواره سعی می‌کنند به سمتی حرکت کنند که کمترین فاصله را از خروجی داشته باشد. برای این منظور از فاصله‌ی اقلیدسی در اندازه‌گیری فاصله‌ی هر سلول از خروجی استفاده شده است. نحوه تأثیر فاصله از خروجی در تصمیم‌گیری عامل برای حرکت خود را در هر مدل به صورت جداگانه در قسمت‌های بعدی بررسی خواهیم کرد.

¹ von Neumann

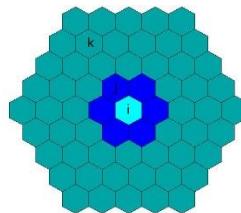
² Moore



شکل ۱: (الف) در تمام فضاهای مورد بررسی، خروجی در بالای اتاق قرار دارد و فضای مورد بررسی مربع یا مستطیل است،
(ب) فضای همسایگی و سلوهایی که یک عامل اجازه حرکت به آن‌ها را دارد، (ج) ابعاد یک سلو و فاصله‌ی بین هر دو سلو.

۲-۲-۲- فاصله هر عامل از سایر عامل‌های پیرامون خود (دافعه سایر عامل‌ها)

افراد در هنگام حرکت مسلم‌آ تأثیر حرکت سایر افراد نزدیک به خود هستند. ممکن است با تصمیم‌گیری‌های خود به دنبال دیگر افراد حرکت کنند یا این که سعی کنند از مکان‌های شلوغ‌تر فاصله گرفته و مکان‌های خلوت‌تری را برای حرکت خود برگزینند. در این تحقیق، هر عامل تقریباً تا ۴ سلو اطراف خود را زیر نظر قرار می‌دهد. سلو مرکزی نشان‌دهنده موقعیت عامل است. سلوهای ناحیه ۳ سلوهایی هستند که عامل می‌تواند به آن‌ها حرکت کند و سلوهای ناحیه ۴، سلوهایی هستند که عامل برای حرکت خود، آن سلوهای را برای عدم پیروی از جمعیت مورد بررسی قرار می‌دهد شکل که رابطه (۱) نشان‌دهنده بیان ریاضی این پارامتر است.



شکل ۲: فاصله سلوهای مجاور عامل با فاصله تقریباً ۴ سلو اطراف محل عامل

$$D_j^i = \sum_{k=1}^{6^4} d_{kj} \quad (k \neq j, k \neq i) \quad j \in \{1, 2, \dots, 6\} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در این رابطه α نشان‌دهنده شماره عامل است. D_j^i مجموع فواصل سلو j از اطراف عامل موردنظر از سلوهای واقع در فاصله تقریباً ۴ سلوی است. d_{kj} نشان‌دهنده فاصله سلو j از سلو k است.

۲-۳-۲-۲- فاصله از دیوار (دافعه دیوار)

هر عامل در هنگام انتخاب سلول بعدی حرکت خود به دلایلی مانند احساس امنیت بیشتر و راحتی در حرکت، سعی می‌کند از دیوارهای اطراف خود فاصله بگیرد. در تحقیق حاضر فاصله‌ی هر عامل از نزدیک‌ترین دیوار محاسبه شده و به عنوان یک پارامتر در فرایند تصمیم‌گیری برای حرکت وارد خواهد شد. برای این پارامتر نیز از فاصله‌ی اقلیدسی استفاده خواهد شد.

۲-۴- سرعت عامل‌ها

سیفی راد [۱۵] در تحقیق خود رابطه‌ی بین تراکم جمعیت و سرعت حرکت افراد را بررسی کرده است. او در کار خود سرعت حرکت افراد را در شرایط عادی و بدون استرس بررسی کرده است. او سرعت افراد در هنگام حرکت در یک خط را بررسی کرده و نتیجه را با کار ویدمن [۱۶] که حرکت افراد در هواپیما بود را مقایسه کرده است. نتیجه‌ی کار آن دو بسیار به هم نزدیک بوده و در شرایط گفته شده، برای تراکم جمعیت ۱ نفر در مترمربع، سرعت ۱. متر در ثانیه به دست آمده است. برای تحقیق حاضر با توجه به تراکم جمعیت بالا (۰/۷۷ نفر در مترمربع) سرعت حرکت عامل‌ها $4/0$ متر در ثانیه در نظر گرفته می‌شود.

۳-۲- نحوه‌ی حرکت عامل‌ها

۳-۲-۱- مدل میدان سطح بسط داده شده

این مدل توسط لنگ و همکاران [۴] ارائه شده است. با توجه به عدم تقارن رفتارهای انسان‌ها در شرایط مختلف، تحقیقات مختلفی درباره‌ی ارجحیت و انتخاب جهت حرکت در موقع راه رفتن انجام شده است. وقتی موقعیت رو برویی اشغال شده است، بیشتر افراد بنا به قوانین ترافیکی و رفتار سنتی، به سمت راست خود حرکت می‌کنند. بنابراین در این مدل از پارامتر P_R برای افزایش احتمال حرکت به سمت راست استفاده شده است. احتمال حرکت $p(x,y)$ یک عامل در زمان t از موقعیت (j,i) به موقعیت (x,y) از رابطه‌ی (۲) قابل محاسبه است.

$$p'(x,y) = P_R \times \exp(S \times \Delta SF + W \times \Delta WR + R \times \Delta PR) \times (1 - n_{xy}) \quad \text{رابطه (۲)}$$

$$p(x,y) = \frac{p'(x,y)}{\sum_{(x,y)} p'(x,y)} \quad \text{رابطه (۳)}$$

در رابطه‌ی (۲)، $\Delta SF = SF(i,j) - SF(x,y)$ یعنی اختلاف بین فاصله‌ی سلول حاضر از خروجی و فاصله‌ی سلول مورد نظر از خروجی، $\Delta WR = WR(i,j) - WR(x,y)$ یعنی اختلاف بین فاصله‌ی سلول حاضر از نزدیک‌ترین دیوار و فاصله‌ی سلول مورد نظر از نزدیک‌ترین دیوار و $\Delta PR = PR(i,j) - PR(x,y)$ یعنی اختلاف بین مجموع فواصل از دیگر عامل‌ها در سلول حاضر و مجموع فواصل از دیگر عامل‌ها در سلول مورد نظر. اگر تمام سلول‌های اطراف اشغال شده باشند، $= 0$ $p(x,y)$ و عامل مجبور است در سلول خود باقی بماند. پارامتر حرکت به راست: اگر سلول (جهت حرکت)، سمت راست عامل باشد، $P_R = ۲$ و در غیر این صورت 1 . پارامترهای S و W و R به ترتیب وزن‌های ΔSF و ΔWR و ΔPR هستند. اگر سلول مورد نظر قبل اشغال نشده باشد $n_{xy} = ۰$ و در غیر این صورت 1 . عامل‌ها موقعیت بعدی خود را بر اساس فرمول احتمال بالا انتخاب می‌کنند. اگر تعداد k عامل‌یک سلول را برای حرکت انتخاب کنند فقط یکی از این عامل‌ها و به صورت تصادفی برای حرکت به آن سلول انتخاب می‌شوند و عامل‌های دیگر باید تا به روزرسانی بعدی صبر کرده و سلول دیگری را برای حرکت انتخاب کنند. به دلیل این که احتمالات حرکت هر عامل فقط با توجه به شرایط خودش محاسبه می‌شود بنابراین مقایسه‌ی احتمالات دو عامل کار درستی به نظر نمی‌آید و برای سادگی فرض می‌شود که همه‌ی عامل‌ها از

شانس یکسانی برای حرکت برخوردارند. از رابطه‌ی (۳) برای نرمال‌سازی احتمالات محاسبه شده در رابطه (۲) استفاده می‌شود.

۲-۳-۲- مدل میدان سطح

این مدل توسط کریچنر و همکاران [۱۷] ارائه شده است. در این مدل حرکت هر عامل بر اساس دو پارامتر ایستا و پویا خواهد بود. پارامتر ایستا شامل فاصله از خروجی و پارامتر پویا شامل اثر هر عامل در مدل خواهد بود. هر عامل بر اساس احتمالات به دست آمده از رابطه‌ی (۴) حرکت بعدی خود را انتخاب می‌کند.

$$P_{ij} = N \times \exp(k_D \times D_{ij}) \times \exp(k_S \times S_{ij}) \times (1 - \eta_{ij}) \times \varepsilon_{ij} \quad (4)$$

در اینجا N یک فاکتور نرمال‌سازی جهت اطمینان از $\sum_{i,j} p_{ij} = 1$ است. S_{ij} پارامتر ایستا است که در ابتدای اجرای مدل تشکیل شده و تا انتهای بی‌تغییر باقی می‌ماند. هرچقدر فاصله از خروجی بیشتر باشد این مقدار کوچک‌تر و هرچقدر فاصله از خروجی کمتر باشد این مقدار بزرگ‌تر است. پارامتر پویا مربوط به پارامترهایی است که با گذشت زمان تغییر می‌کنند. k_D و k_S دو پارامتر برای وزن دادن به پارامترهای ایستا و پویا هستند. ($k_S \in [0, \infty)$ تعیین کننده میزان اهمیت فاصله از خروجی و یا میزان اهمیت انحراف از یک مسیر مشخص است در حالی که $k_D \in [0, \infty)$ تعیین کننده میزان اثر عامل‌های دیگر روی حرکت هر عامل است. روابطه‌های (۵) و (۶) مقدار پارامترهای η_{ij} و ε_{ij} را نشان می‌دهند.

$$\eta_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{سلول مورد نظر قبل اشغال شده است}, \\ 0, & \text{سلول مورد نظر خالی است} \end{cases} \quad (5)$$

$$\varepsilon_{ij} = \begin{cases} 0, & \text{سلول ممنوع (مانند دیوار)} \\ 1, & \text{سلول آزاد} \end{cases} \quad (6)$$

مسئله حائز اهمیت در این مدل کلاسیک، تعیین مدلی برای محاسبه پارامترهای ایستا و پویا است. در تحقیق حاضر k_S فاصله از خروجی در نظر گرفته شده و برای k_D از رابطه‌ی (۷) استفاده می‌شود.

$$D_{ij} = W \times \Delta WR + R \times \Delta PR \quad (7)$$

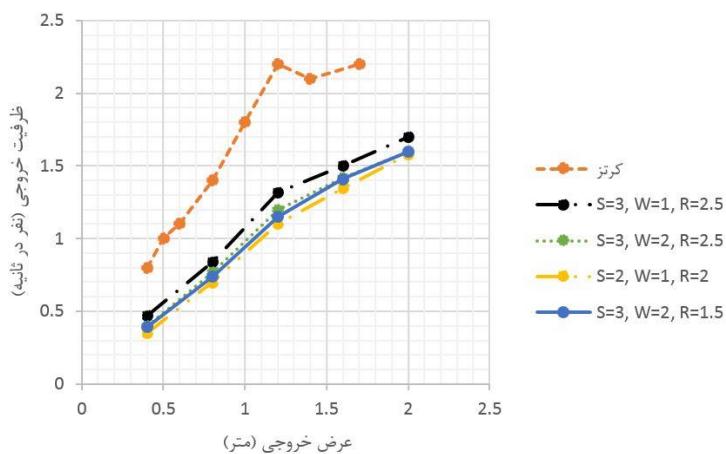
۳- بحث و نتایج

در تمام شبیه‌سازی‌های انجام شده و در هنگام اجرای برنامه فرض شده است که در اتاقی به مساحت ۳۶ مترمربع ۱۰۰ عامل حضور دارند. یعنی تراکم جمعیت ۲/۷۷ نفر در مترمربع است. این مقدار دقیقاً مشابه تحقیق کرتز [۱۳] می‌باشد که در ادامه برای مقایسه استفاده شده است. همچنین میزان استرس افراد بسیار ناچیز در نظر گرفته شده است. به این معنا که افراد در حین تخلیه سعی می‌کنند منطقی‌ترین تصمیم را برای حرکت خود بگیرند. تأثیر این مسئله در پارامتر "دافعه سایر عامل‌ها" دیده می‌شود. به این صورت که فرض می‌شود عامل‌ها در صورتی که استرس ناچیزی داشته باشند سعی می‌کنند در انتخاب حرکت خود بیشتر از استدلال‌های خود بهره ببرند و کمتر از دیگر عامل‌ها تقلید کنند؛ درنتیجه عامل‌ها سعی می‌کنند مکان‌های خلوت‌تر را برای حرکت خود انتخاب کنند.

۳-نتایج حاصل از مدل میدان سطح بسط داده شده

در تحقیق حاضر به بررسی تأثیر عرض خروجی و تغییر وزن‌های مربوط به هریک از پارامترها در روند تخلیه می‌پردازیم. برای بررسی تأثیر وزن‌ها در نتایج، مدل را با تکرارهای مکرر و به صورت جستجوی گردی^۱ با ابعاد ۴ در ۴ و با گام ۰/۵ (مطابق با مرجع [۴]) آزمایش کرده و نتایج حاصل را در ادامه ذکر می‌کنیم.

همان‌طور که در شکل ۱) ملاحظه می‌شود با کاهش وزن پارامتر دافعه‌ی دیوار، نتایج شبیه‌سازی به نتایج واقعی نزدیک‌تر شده است. در توجیه این مسئله می‌توان گفت که با کاهش وزن دافعه‌ی دیوار عامل‌ها کمی از مرکز اتاق دور می‌شوند و دو صفحه در دو طرف خروجی تشکیل می‌دهند و با افزایش فضای حرکتی خود از یک طرف و کاهش تناقصات در حین حرکت از طرف دیگر، شاهد افزایش ظرفیت خروجی خواهیم بود. همچنین مشاهده می‌شود که افزایش وزن فاصله از خروجی نیز در بهبود نتایج مؤثر بوده است. زیرا با تمرکز افراد روی فاصله از خروجی و تلاش آن‌ها برای حرکت به سلول‌های نزدیک‌تر به خروجی شاهد روند سریع‌تر تخلیه جمعیت هستیم. با افزایش وزن پارامتر دافعه‌ی سایر عامل‌ها، عامل‌ها از هم فاصله گرفته و به شکل پراکنده‌تری به سمت خروجی حرکت می‌کنند. این پدیده باعث ایجاد اثری مانند اثر کاهش وزن دافعه‌ی دیوار دارد و باعث افزایش ظرفیت خروجی می‌شود.



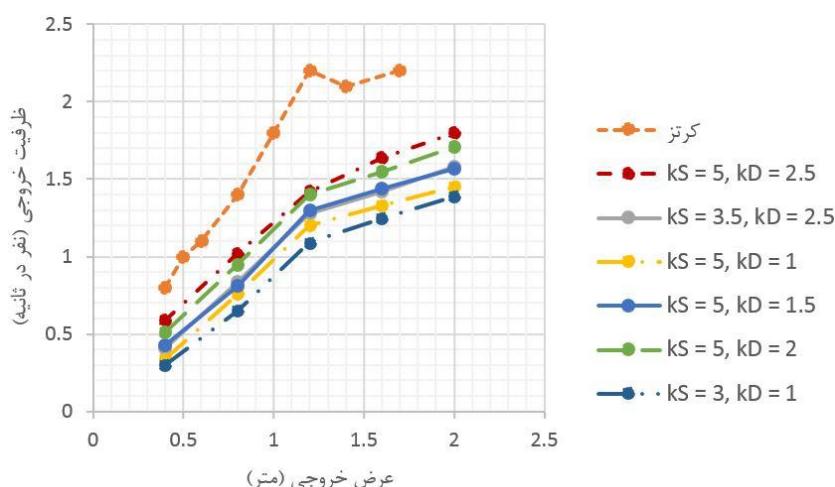
شکل ۱: روند تغییر ظرفیت خروجی با تغییر عرض خروجی و وزن پارامترها در مدل میدان سطح بسط داده شده

در ادامه به بررسی بهترین نتیجه‌ی حاصل از شبیه‌سازی (نمودار سیاه‌رنگ در شکل ۱)) و مقایسه‌ی آن با نتایج تحقیق کرتز می‌پردازیم. همان‌طور که مشخص است، بهترین نتیجه با وزن‌های $S = ۳$, $W = ۱$, $R = ۲/۵$ به دست آمده است. با افزایش عرض خروجی، ظرفیت خروج افراد به تدریج به شکل یک منحنی صعودی افزایش پیدا می‌کند. همچنین دیده می‌شود که با گذر از عرض $1/2$ متر، شیب این نمودار کمی کاهش پیدا می‌کند. بررسی دو نمودار نشان‌دهنده تطابق $61/73$ درصدی آن‌ها است. دلیل این تطابق نه چندان زیاد را می‌توان ثابت بودن سرعت عامل‌ها و همچنین کم بودن این سرعت دانست. در تحقیق حاضر فرض شده که عامل‌ها استرس چندانی ندارند و با سرعت پایینی حرکت می‌کنند ولی در شبیه‌سازی کرتز، عامل‌ها دارای استرس بیشتر و سرعت بالاتری هستند.

^۱ Grid Search

۲-۳- نتایج حاصل از مدل میدان سطح

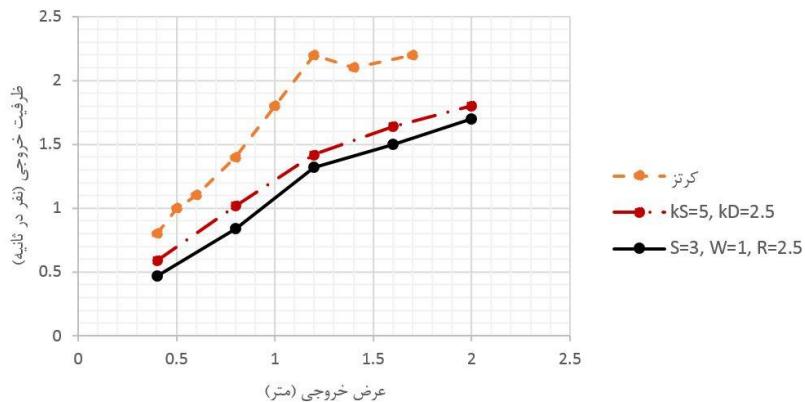
در پیاده‌سازی این مدل برای وزن‌های W و R از بهترین وزن‌های به دست آمده در مدل میدان سطح بسط داده شده استفاده شده است. در ادامه نیز مانند مدل قبل با تغییر وزن‌های k_s و k_D همراه با تغییر عرض خروجی به بررسی اثر این تغییرات می‌پردازیم. در این قسمت نیز از جستجوی گردی استفاده شده است. ابتدا با ابعاد ۵۰ و با گام ۱ جستجو انجام شد؛ بهترین نتایج در فاصله ۱ تا ۱۰ به دست آمد. سپس با توجه به نتایج حاصل شده، بار دیگر با ابعاد ۱۰ در ۱۰ این بار با گام ۵/۰ جستجو انجام و نتایجی که در ادامه بیان می‌شود به دست آمد. در شکل ۲ با افزایش وزن k_s و ثابت نگاهداشت وزن k_D مشاهده می‌شود که ظرفیت خروجی افزایش پیدا می‌کند. این مسئله اهمیت بالای پارامتر ایستا یعنی فاصله‌ی عامل از خروجی را نشان می‌دهد. در نقطه مقابل، با افزایش وزن k_D و ثابت نگاهداشت وزن k_s مشاهده می‌شود که تا وزن $5 = k_D$ نتایج بهبود پیدا می‌کند ولی بعد از آن به دلیل کاهش اثر فاصله از خروجی نتایج رو به بدتر شدن می‌روند. بهترین نتایج با مجموعه وزن $5 = k_D$ و $k_s = 10$ به دست آمده است، این نتیجه، انتطبق ۷۱/۴۲ درصدی با نتایج کرتز دارد.



شکل ۲: روند تغییر ظرفیت خروجی با تغییر عرض خروجی و وزن پارامترها در مدل میدان سطح

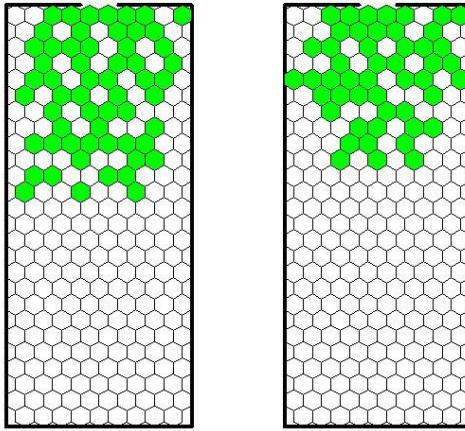
۳- مقایسه نتایج دو مدل

در شکل ۳ مقایسه بهترین نتیجه از هر دو مدل نشان می‌دهد که بهترین نتیجه‌ی مدل میدان سطح نسبت به بهترین نتیجه مدل میدان سطح بسط داده شده، نزدیک‌تر به واقعیت است. دلیل این مسئله را می‌توان این‌گونه توجیه کرد که اولاً پارامترهای مورد استفاده در بخش پویا مدل میدان سطح به دست آمده از مدل میدان سطح بسط داده شده هستند و وزن‌های این پارامترها قبل‌اً در همان مدل تنظیم شده‌اند، دوماً با حذف پارامتر P_R در این روش عامل‌ها آزادی و فضای بیشتری در حرکت دارند و در کل به نظر می‌رسد استفاده از این پارامتر، نتایج را از واقعیت دور می‌کند و سوماً مدل‌سازی بهتر در مدل میدان سطح، یعنی مدل میدان سطح کلاسیک، عامل برتری نسبی نتایج در این روش شده است. در شکل ۴ می‌توان تصویری از روند تخلیه در لحظه $t = 50$ ثانیه را برای عرض خروجی $8/0$ متری مشاهده کرد.



شکل ۳: مقایسه دو مدل پیاده‌سازی شده و نتایج واقعی کرتز

$$\begin{array}{l} S=3 \quad W=1 \quad R=2.5 \\ t = 50s \end{array} \quad \begin{array}{l} kS = 10, \quad kD = 5 \\ t = 50s \end{array}$$


 شکل ۴: تصویری از روند تخلیه در لحظه $t = 50$ ثانیه برای عرض خروجی 80 سانتی‌متری

۴-نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر به بررسی نحوه تخلیه جمعیت از یک اتاق مستطیلی با ابعاد شبیه‌سازی کرتز و با تغییر عرض خروجی پرداختیم. برای این منظور از دو مدل شناخته شده استفاده کرد و درنهایت نتایج را مقایسه کردیم. برای تنظیم وزن‌های مربوط به پارامترهای هر دو مدل از جستجوی گریدی در بازه‌های مشخص استفاده شد. نتایج حاصل از پیاده‌سازی هر دو مدل نشان می‌دهد که پارامتر ایستا (فاصله از خروجی) از اهمیت بالاتری نسبت به پارامترهای پویا برخوردار است و در هر دو مدل بهترین نتیجه مربوط به ترکیب وزنی است که پارامتر ایستا دارای وزن بیشتری می‌باشد. مقایسه نتایج حاصل از هر دو روش نشان می‌دهد که نتایج حاصل از مدل میدان سطح نسبت به نتایج حاصل از مدل میدان سطح بسط داده شده نزدیکتر به واقعیت است. دلیل این امر را این‌گونه توجیه می‌شود که به دلیل استفاده از بخش پویا مدل میدان سطح بسط داده شده (که قبلاً نتایج مطلوبی ارائه داده است) و همچنین حذف پارامتر حرکت به سمت راست (که موجب محدود شده عامل‌ها می‌شود) در مدل میدان سطح، نتایج حاصل از این مدل به مرتبه واقعیت نزدیکتر می‌باشد. در تحقیق‌های آتی پیشنهاد می‌شود که با تغییر شرایط تخلیه و افزایش اضطراب عامل‌ها تأثیر این پارامتر در تخلیه نیز بررسی شود. همچنین می‌توان برای تنظیم وزن پارامترها به جای استفاده از جستجوی گریدی از مدل ژنتیک استفاده شود.

مراجع

- [1] H. L. Kluepfel, "A cellular automaton model for crowd movement and egress simulation", Universität Duisburg-Essen, Fakultät für Physik, 2003.
- [2] D. Helbing and P. Molnar, "Social force model for pedestrian dynamics", Physical review E, Vol. 51, PP. 4282, 1995.
- [3] C. Burstedde, K. Klauck, A. Schadschneider, and J. Zittartz, "Simulation of pedestrian dynamics using a two-dimensional cellular automaton", Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, Vol. 295, PP. 507-525, 2001.
- [4] B. Leng, J. Wang, W. Zhao, and Z. Xiong, "An extended floor field model based on regular hexagonal cells for pedestrian simulation", Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, Vol. 402, PP. 119-133, 2014.
- [5] R.-Y. Guo, "New insights into discretization effects in cellular automata models for pedestrian evacuation", Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, Vol. 400, PP. 1-11, 2014.
- [6] T. M. Gwizdałła, "Some properties of the floor field cellular automata evacuation model", Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, Vol. 419 , PP. 718-728 ,2015.
- [7] R. Alizadeh, "A dynamic cellular automaton model for evacuation process with obstacles", Safety Science, Vol. 49, PP. 315-323, 2011.
- [8] Y. Zheng, B. Jia, X.-G. Li, and N. Zhu, "Evacuation dynamics with fire spreading based on cellular automaton ,Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, Vol. 390, PP. 3147-3156, 2011.
- [9] S. Cao, W. Song, and W. Lv, "Modeling pedestrian evacuation with guiders based on a multi-grid model", Physics Letters A, Vol. 380, PP. 540-547, 2016.
- [10] Z. Fu, X. Zhou, K. Zhu, Y .Chen, Y. Zhuang, Y. Hu, L. Yang, C. Chen, and J. Li, "A floor field cellular automaton for crowd evacuation considering different walking abilities", Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, Vol. 420, PP. 294-303, 2015.
- [11] X. Wang, W. Guo, Y. Cheng ,and X. Zheng, "Understanding the centripetal effect and evacuation efficiency of evacuation assistants: using the extended dynamic communication field model", Safety science, Vol. 74, PP. 150-159, 2015.
- [12] W. Daamen and S. Hoogendoorn, "Capacity of doors during evacuation conditions", Procedia Engineering, Vol. 3, PP. 53-66, 2010.
- [13] T. Kretz, A. Grünebohm, and M. Schreckenberg, "Experimental study of pedestrian flow through a bottleneck", Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment, Vol. 2006, P. 10014, 2006.
- [14] A. Seyfried, O. Passon, B. Steffen, M. Boltes, T. Rupprecht, and W. Klingsch, "New insights into pedestrian flow through bottlenecks", Transportation Science, Vol. 43, PP. 395-406, 2009.
- [15] A. Seyfried, B. Steffen, W. Klingsch, and M. Boltes, "The fundamental diagram of pedestrian movement revisited", Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment, Vol. 2005, P. 10002, 2005.
- [16] U. Weidmann, Transporttechnik der Fußgänger, Report Schriftenreihe Ivt-Berichte 90, ETH Zürich. 1993.
- [17] A. Kirchner and A. Schadschneider, "Simulation of evacuation processes using a bionics-inspired cellular automaton model for pedestrian dynamics", Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, Vol. 312, PP. 260-276, 2002.