نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال پنجم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۶

Vol.5, No.4, Winter 2018

۶۷-۹۱

مدل‌سازی عامل مبنای نحوه‌ی تخلیه جمعیت از یک اتاق مستطیلی شکل با استفاده از اتوماتای سلولی و سیستم استنتاج فازی

سید محمد 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

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۰۷/۱۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۶/۰۵/۲۲

چکیده

در این مقاله مدلی برای شبیه‌سازی نحوه‌ی تخلیه افراد از یک اتاق مستطیلی با یک خروجی با لحاظ نمودن شتاب‌زدگی و سرعت عامل‌ها به همراه تغییرات عرض خروجی و ابعاد اتاق ارائه شده و نتایج آن با تحقیقات مشابه مقایسه گردیده است. برای شبیه‌سازی پویا در محدوده مورد مطالعه، فضای مورد بررسی گسسته‌سازی شده و از مدل اتوماتای سلولی استفاده شده است. همچنین، برای محاسبه‌ی تمایل هر عامل به حرکت به هرکدام از سلول‌های مجاور خود، چند پارامتر لحاظ شده است. پارامترهای لحاظ شده در روند تخلیه این تحقیق شامل فاصله از خروجی، فاصله عامل از سایر عامل‌ها، زاویه حرکت عامل نسبت به خروجی و شتاب‌زدگی عامل می‌باشند. هرکدام از این پارامترها وارد یک سیستم استنتاج فازی می‌شوند که خروجی آن، میزان تمایل عامل به حرکت به آن سلول بر اساس آن پارامتر ورودی است. در نتیجه به ازای هر پارامتر، یک میزان تمایل به حرکت به هر سلول مجاور عامل وجود خواهد داشت که در نهایت، این مقادیر با توجه به وزن هر پارامتر جهت محاسبه میزان تمایل نهایی حرکت به هر سلول مجاور با یکدیگر ترکیب می‌شوند. برای به‌دست آوردن نتایج، ابتدا با تغییر وزن‌های مربوط به پارامترهای فاصله از خروجی و زاویه نسبت به خروجی، تأثیر این تغییر وزن در زمان تخلیه بررسی شده است. سپس به تغییر میزان شتاب‌زدگی عامل‌ها پرداخته و نتایج حاصل بیان شده است. همچنین در این مقاله، به تغییرات عرض خروجی و تأثیرات آن پرداخته شده است و نتایج با یک تحقیق عملی مشابه مقایسه شده است. در نهایت با تغییر ابعاد اتاقِ محل حرکت عامل‌ها به بررسی تغییرات ناشی از این مسئله و مقایسه‌ی آن با یکی از تحقیق‌های گذشته و معرفی شرایط بهینه برای تخلیه‌ی افراد پرداخته شده است. در شرایطی که شتاب‌زدگی عامل¬ها متوسط قرار داده شده است و عامل‌ها در اتاق ۴ متر در۹ متر قرارگرفته‌اند (یعنی شرایط مشابه با شرایط تحقیق عملی انجام شده توسط کرتز) نتایج تحقیق حاضر با نتایج داده‌های واقعی تخلیه ۹۴٫۵۴ درصد انطباق دارد.

کلیدواژه‌ها: تخلیه جمعیت، اتاق مستطیلی، مدل عامل مبنا، اتوماتای سلولی، سیستم استنتاج فازی

نویسنده مکاتبه‌کننده: گروه سیستم اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران، تهران، ایران

تلفن: ۶۱۱۱۴۵۲۴

Email: pahlavani@ut.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.29252/jgit.5.4.67]

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 این‌که پیاده‌روی در کنار استفاده از وسایل نقلیه‌ی امروزی همچنان از روش‌های پرطرفدار جابجایی 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 مواقع 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"[1] هستند. این مدل توسط هلبینگ و مونلار [۲] ارائه شده است. در این مدل هر شخص به‌صورت یک دیسک با شعاع r 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 صرف‌نظر از برخی موارد محاسبات را سبک کنند. اما مدل‌های اتوماتای سلولی[2] در زمان، مکان و پارامترهای مورداستفاده در آن گسسته هستند. به‌دلیل محاسبات و پیچیدگی‌های زیاد فضاهای بزرگ، مدل اتوماتای سلولی بسیار بهینه‌تر از مدل نیروی جمعی عمل می‌کند[۱].

در سال‌های اخیر اتوماتای سلولی و مدل‌سازی عامل مبنا به‌طور گسترده‌ای برای شبیه‌سازی روند تخلیه‌ی جمعیت مورد استفاده قرار گرفته است. دلیل این مساله، ماهیت ناهمگون یک جمعیت بزرگ و توانایی بالای این مدل در حل این‌گونه مسائل است[۳، ۴ و ۵]. بر اساس روش‌هایی که برای انتخاب مسیر استفاده می‌شوند، مدل‌های عامل مبنا به دو دسته‌ی تقریبی[3] و قطعی[4] دسته‌بندی می‌شوند. از یک سو، مدل‌های تقریبی، هر فرد را به‌صورت یک متحرک با مقداری خطا در نظر می‌گیرد. احتمال حرکت به یکی از سلول‌های همسایه بر اساس تعداد سلول‌های همسایه که خالی هستند به‌دست می‌آید و مقدار خطا برابر است با مقدار خطایی که متحرک هنگام حرکت به مقصد مرتکب می‌شود [۶]. برای شبیه‌سازی ازدحام در هنگام خروج، بعضی مدل‌های تقریبی ارائه شده‌اند [۷]. با توجه به مشکل بودن در نظر گرفتن فاکتور خطا، بتی و همکاران [۸ و ۹] روشی ارائه داده‌اند که در آن، انتخاب مسیر حرکت با توجه به در دسترس بودن سلول‌های کل مسیر تعیین می‌شود. این در حالی است که در این روش، نحوه‌ی محاسبه‌ی احتمال حرکت به هر یک از سلول‌ها مناسب نبوده است. همچنین، در مکان‌هایی بزرگ و در فضاهای باز، به دلیل پراکنده شدن افراد، احتمال وجود جمعیت بزرگ در این فضاها و نیاز به انجام محاسبات برای هر فرد در هر اجرا از برنامه، محاسبات این مدل می‌تواند بسیار سنگین باشد. از سوی دیگر، در مدل‌های قطعی، نحوه‌ی انتخاب مسیر حرکت هر فرد بر اساس قوانین عامل‌ها بر اساس شرایط پیرامون هر عامل است. در مدل‌های اولیه، تنها بر اساس میزان نزدیکی یا دوری یک سلول به خروجی، به هر سلول یک امتیاز اختصاص داده می‌شود و عامل‌ها از بین سلول‌های اطراف خود، سلولی که دارای بالاترین امتیاز باشد را برای حرکت انتخاب می‌کنند[۱۰]. همچنین در این دسته از مدل‌ها، نظریه‌ی بیشینه کردن عوامل موثر محیط در حرکت عامل، برای به واقعیت نزدیک نمودن مدل استفاده می‌گردد [۱۱ و ۱۲]. در این راستا، به طور کلی فرض می‌گردد که عامل‌ها مسیری را انتخاب می‌کنند که در آن، مقادیر فاصله، زمان سفر و سرعت حرکت

[1] Social Force
[2] Cellular Automata
[3] Stochastic
[4] Deterministic

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.67]

بیشینه باشد [۱۳]. در راستای دخالت دادن شرایط محیطی در فرایند تصمیم‌گیری، به عامل‌ها اجازه داده می‌شود که تغییرات محیط را رصد نموده و بر اساس این تغییرات تصمیم‌گیری کنند [۱۴]. در مقایسه با مدل‌های تقریبی، روش‌های قطعی، امکان ایجاد مدل‌هایی را می‌دهند که در آن به هر فرد اجازه داده می‌شود که ویژگی‌های محیط و همچنین تغییرات آن را رصد نموده و بر اساس آن تصمیم‌گیری کنند.

بر اساس مطالب بیان شده در فوق، علاوه بر فیزیکِ مکان تخلیه، توجه به مسائل شناختی در مساله‌ی تخلیه نیز در حال افزایش است. البته معضل برداشت مختلف افراد از مساله شناخت مکانی و مسیربابی، که دو مساله‌ی پراهمیت هستند [۱۵ و ۱۶]، به‌طور کامل در نظر گرفته نشده‌اند. بیشتر مدل‌هایی که تاکنون پیشنهاد شده‌اند، فرض می‌کنند که هر فرد شناخت مکانی کاملی از محیط اطراف خود دارد، یعنی تمام مسیرهای موجود به سمت خروجی توسط تمام افراد شناخته شده و در هنگام فرایند تصمیم‌گیری در نظر گرفته می‌شوند. این فرض در هنگامی که فضای مورد بررسی بزرگ بوده و در این فضا جمعیت زیادی وجود دارد، می‌تواند نقض شود. علاوه بر این، در بیشتر مدل‌سازی‌های انجام شده، برای تمامی جمعیت یک پارامتر مشترک برای تصمیم‌گیری وجود دارد که این پارامتر نیز معمولا پارامتر "کوتاه‌ترین مسیر" است. با این فرض که که تمام افراد به اندازه کافی منطقی هستند که بتوانند شرایط محیط اطراف خود را به‌طور کامل تحلیل کنند. اگرچه بعضی تحقیق‌ها اثر شناخت ناکافی از محیط اطراف [۱۷] و تفاوت بین افراد در انتخاب استراتژی حرکت [۱۸] را بررسی کرده‌اند، ولی در بیشتر تحقیقات چنین مسائلی در نظر گرفته نشده‌اند. درواقع عوامل موثر در استراتژی حرکت و شناخت افراد از محیط، به مسائل اجتماعی و روانشناسی مانند جنسیت، سن و میزان تحصیلات برمی‌گردد [۱۹]. بنابراین امکان بررسی کمّی و گنجاندن آن‌ها در فرایند تصمیم‌گیری افراد در هنگام تخلیه وجود دارد.

در بسیاری از مطالعات انجام‌شده در زمینه‌ی تخلیه جمعیت، سرعت عامل‌ها ثابت در نظر گرفته‌شده و اثر تغییر سرعت روی حرکت بررسی نشده است. در تحقیق لنگ و همکاران [۲۰] و تحقیق فو و همکاران [۲۱] سرعت حرکت عامل‌ها بررسی‌شده است. در تحقیق لنگ و همکاران [۲۰] به تأثیر تغییر سرعت افراد با تغییر تراکم جمعیت پرداخته شده و دیده شده است که با افزایش تراکم جمعیت، سرعت افراد کاهش می‌یابد. استفاده از سیستم‌های استنتاج فازی جهت به کار بردن این پارامترها در برخی مقالات دیده شده است[۲۲، ۲۳ و ۲۴]. در تحقیق ژو و همکاران [۲۲] از منطق فازی جهت پیش‌بینی رفتار جمعیت بر اساس چند پارامتر استفاده شده است. به این‌منظور از سه ورودی اطلاعات موانع، اطلاعات افراد مهاجم و اطلاعات افراد دیگر استفاده شده و خروجی هر مورد نیز جهت و سرعت حرکت فرد است. درنهایت، سه سرعت و سه جهت به دست می‌آید. برای به‌دست آوردن سرعت و جهت نهایی، از میانگین وزن‌دار این سه خروجی استفاده شده است. برای به دست آوردن این وزن‌ها نیز از منطق فازی استفاده شده است. به‌این صورت که میزان اهمیت هریک از ورودی‌های سیستم فازی قبل، خود ورودی این سیستم فازی هستند یعنی به‌عنوان مثال اگر فاصله از فرد مهاجم کم و فاصله از مانع زیاد باشد اهمیت خروجی سیستم فازی مربوط به اطلاعات مهاجم زیاد و اهمیت سیستم فازی مربوط به اطلاعات مانع کم است. و درنتیجه وزن بیشتری به خروجی مربوط به سیستم فازی اطلاعات مهاجم داده می‌شود.

در تحقیق دلورکو و همکاران [۲۳] نیز از سیستم فازی برای تعیین جهت حرکت هر عامل استفاده شده است. برای این‌منظور از ورودی‌های فاصله عامل از مانع، فاصله‌ی مانع از مسیری که عامل را به خروجی می‌رساند، فاصله عامل از خروجی و اختلاف فاصله بین

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.29252/jgit.5.4.67]

موانع سمت راست و سمت چپ عامل استفاده شده است. همچنین برای بررسی میزان شتاب‌زدگی هر عامل که محقق آن را با پارامتر تأخیر در تخلیه معادل می‌داند نیز یک سیستم فازی تهیه شده است. ورودی‌های این سیستم عبارت‌اند از: فاصله از خروجی، زمان طی شده (از لحظه تصمیم برای خروج)، تراکم جمعیت در مکان و عرض خروجی. خروجی این سیستم نیز میزان تأخیر در تخلیه یا همان شتاب‌زدگی است. اما مسئله‌ای که وجود دارد این است که نحوه‌ی ایجاد تابع‌های عضویت سیستم‌های فازی و همچنین قوانین "اگر... آنگاه..." وابسته به دانش انسانی و تجربه دانسته شده است. در تحقیق حاضر نیز این مسئله وجود دارد و قوانین و بازه‌های تعریف‌شده بر اساس تجربیات انسانی در نظر گرفته شده‌اند. در واقع دلیل و اهمیت استفاده از منطق فازی در چنین مسئله‌ای، نزدیک‌تر کردن فکر و نحوه‌ی تصمیم‌گیری عوامل به فکر واقعی یک انسان است زیرا مغز انسان قرابت بیشتری با یک سیستم بر مبنای منطق فازی دارد.

بیشتر مدل‌های اتوماتای سلولی در مساله‌ی تخلیه از سلول‌های مربعی استفاده می‌کنند [۲۵، ۲۶، ۲۷ و ۲۸]. اما برتری که استفاده از سلول‌های شش ضلعی دارد این است که در صورت استفاده از این سلول‌ها، هر عامل در هر سمتی که به اندازه یک سلول حرکت نماید، یک‌فاصله‌ی مشخص را طی می‌کند. اما در صورت استفاده از سلول مربعی و همسایگی مور، این مسئله صادق نیست که باعث پیچیدگی مدل می‌شود و در صورت صرف‌نظر از این پیچیدگی، مدل از واقعیت دور می‌شود.

در تحقیقات دامن و هوگندورن [۲۹]، کرتز و همکاران [۳۰] و سیفی‌راد و همکاران [۳۱] جهت به‌دست 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 بر اساس پارامترهای مختلفی ازجمله عرض خروجی و تعداد افراد حاضر در اتاق و ظرفیت خروجی نمایش داده شده است.

در تحقیق حاضر، با استفاده از مدل‌سازی اتوماتای سلولی به همراه سیستم استنتاج فازی ممدانی نسبت به ارائه مدلی برای شبیه‌سازی نحوه‌ی تخلیه افراد از یک اتاق مستطیلی با یک خروجی اقدام شده است. همچنین تأثیرات تغییر میزان شتاب‌زدگی عامل‌ها، تغییر سرعت حرکت ناشی از آن، تغییر ابعاد فضای مورد بررسی، تغییر عرض خروجی و تغییر وزن مؤثر این پارامترها بررسی گردیده و نتایج با نتایج شبیه‌سازی تحقیقات مشابه مقایسه شده است. در بخش ۲ به معرفی مدل پیشنهادی و پارامترهای آن و روش‌های حل مسئله پرداخته شده است. در بخش۳، نتایج حاصل از پیاده‌سازی بیان گردیده و با نتایج دیگر تحقیق‌ها و نتایج حاصل از شبیه‌سازی واقعی مقایسه شده است و در نهایت در بخش ۴ نتیجه‌گیری و پیشنهادات آتی ارائه شده است. لازم به ذکر است که این مقاله تنها به بررسی نحوه‌ی تخلیه‌ی جمعیت از یک اتاق مستطیلی شکل با تنها یک خروجی از یک ساختمان می‌پردازد. بررسی نحوه‌ی تخلیه از یک ساختمان با تمامی عوارض داخل آن همچون راه پله، راهرو، اتاق‌ها با اشکال هندسی و خروجی‌های متعدد مساله‌ای بسیار گسترده بوده و نیاز به پژوهش و مدل‌سازی‌های بسیار گسترده دارد و از حوصله‌ی تنها یک مقاله خارج می‌باشد.

۲-روش پیشنهادی

در این بخش به معرفی فضای مورد بررسی، گسسته‌سازی فضا و زمان و پارامترهای تأثیرگذار روی حرکت عامل‌ها پرداخته شده است. سعی شده است که هرچه بیشتر مدل به واقعیت نزدیک شود. در این راستا، رابطه (۱) بیان ریاضی این هدف را نشان می‌دهد.

$$|C - \hat{C}| \leq \varepsilon \qquad \text{رابطه (۱)}$$

که C مقدار واقعی ظرفیت تخلیه و $\hat{C}$ مقداری است که از مدل به‌دست‌آمده است. شکل (۱) روند کلی مراحل

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.29252/jgit.5.4.67]

تحقیق را نمایش می‌دهد.

۲-۱-گسسته سازی فضا

در تحقیق گوییزدالا [۲۸]، از سلول‌های مربعی و از همسایگی ون نیومن[1] و از همسایگی مور[2] استفاده‌شده و نتایج هر دو حالت بیان شده است. در تحقیق حاضر، جهت بهره بردن از فاصله مساوی بین سلول‌ها، به‌جای سلول‌های مربعی، از سلول‌های ۶ ضلعی برای گسسته سازی فضا استفاده شده است. البته می‌توان از سلول‌های مربعی نیز استفاده کرد اما در این صورت، باید فقط از همسایگی ون نیومن استفاده شود زیرا در صورت استفاده از همسایگی مور و اجازه‌ی حرکت قطری به عامل‌ها، فاصله طی شده هر عامل در هر حرکت خود بیشتر از فاصله درحرکت‌های غیر قطری خواهد بود و درنتیجه فرایند به‌روزرسانی و گسسته‌سازی سرعت را با مشکل و پیچیدگی زیادی مواجه می‌کند. همسایگی ون نیومن نیز به دلیل اینکه حرکت عامل‌ها را محدود و کند می‌کند مورد استفاده قرار نگرفته است. در تحقیق حاضر، هر عامل در هرلحظه 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 برابر با مقدار فاصله طی شده هر عامل در هر حرکت خود است. در شکل (۲) یک نمونه از فضای بررسی و اجزای آن مشاهده می‌شود.

۲-۲-پارامترهای مؤثر درحرکت عامل‌ها

در این بخش به بررسی پارامترهای مؤثر در حرکت عامل‌ها شامل فاصله از خروجی، فاصله هر عامل از سایر عامل‌های پیرامون خود، زاویه حرکت نسبت به خروجی و تأثیر شتاب‌زدگی پرداخته می‌شود.

[1] von Neumann
[2] Moore

۲-۲-۱-اثر فاصله از خروجی بر تمایل به حرکت بعدی عامل به یک سلول ($DE_{1,1}$)

فاصله هر عامل از خروجی یکی از پارامترهای مهم در طول فرایند تصمیم‌گیری برای حرکت است. عامل‌ها معمولاً سعی می‌کنند به سمتی حرکت کنند که کمترین فاصله از خروجی را داشته باشد. برای این منظور در این تحقیق، برای هر عامل یک‌میزان تمایل برای حرکت به هریک از ۶ سلول مجاور خود در نظر گرفته شده است.

این میزان تمایل با توجه به فاصله اقلیدسی سلول موردنظر از خروجی تعیین می‌شود. به این صورت که فاصله اقلیدسی وارد یک سیستم استنتاج فازی شده و میزان تمایل به حرکت به آن سلول به‌عنوان خروجی این سیستم ظاهر می‌شود. برای طراحی این سیستم فازی از تابع عضویت مثلثی استفاده شده است که به‌صورت رابطه (۲) بیان می‌شود. شکل (۳) نمایش فاصله اقلیدسی یک اتاق با ابعاد ۶ متر در ۶ متر است.

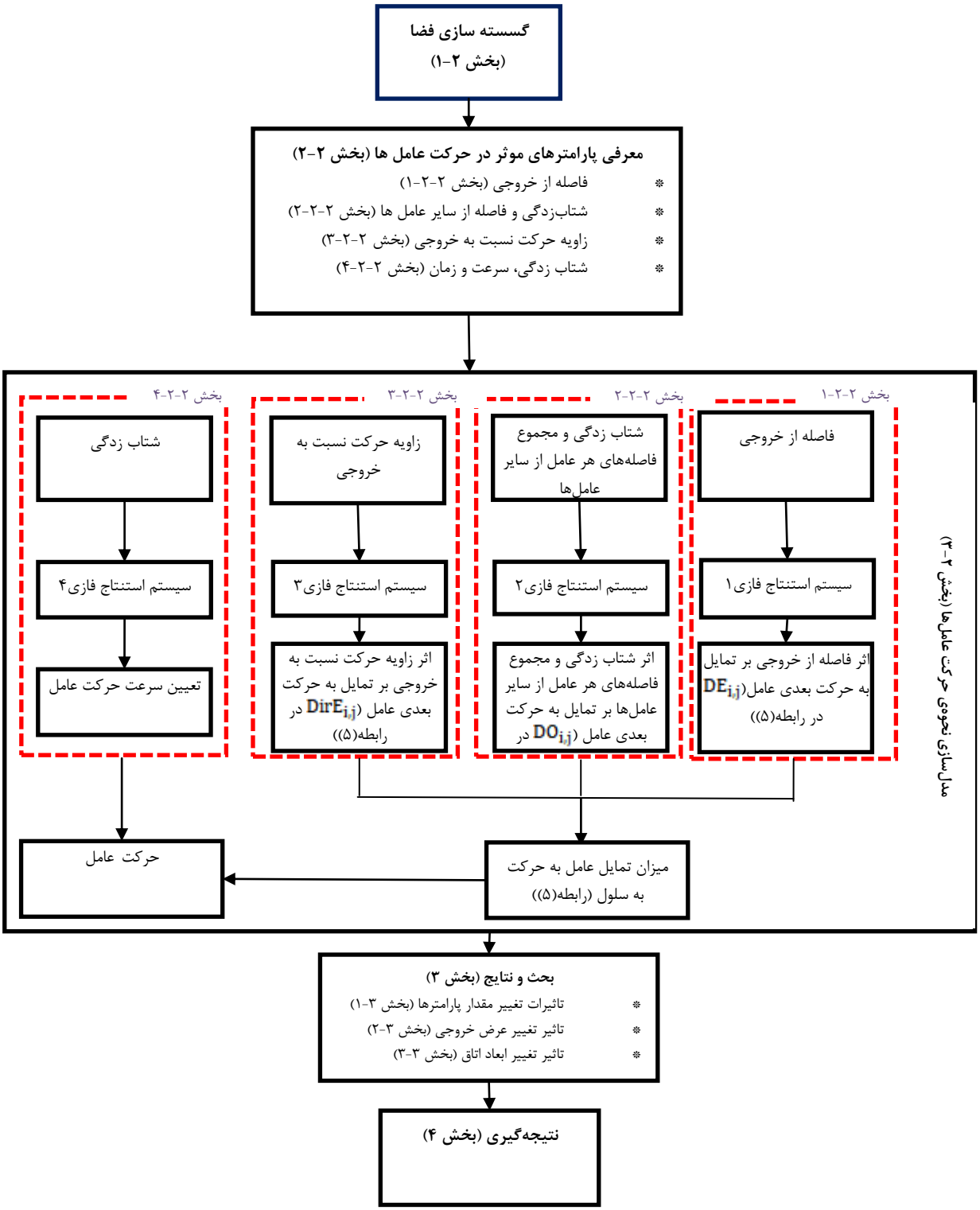
قوانینی که برای این سیستم فازی در نظر گرفته شده به‌صورت زیر می‌باشند:

- اگر فاصله یک سلول از خروجی زیاد باشد آن‌گاه تمایل حرکت کردن به آن سلول کم است.
- اگر فاصله یک سلول از خروجی متوسط باشد آنگاه تمایل حرکت کردن به آن سلول متوسط است.
- اگر فاصله یک سلول از خروجی کم باشد آنگاه تمایل حرکت کردن به آن سلول زیاد است.

شکل (۴) توابع عضویت برای فاصله اقلیدسی از خروجی و تمایل به حرکت به‌سوی سلول و درنهایت خروجی سیستم فازی بر اساس قوانین ذکرشده در بالا و بر اساس سیستم استنتاج فازی ممدانی[3] [۳۲] و درنهایت نافازی‌سازی[4] بر اساس مرکز ثقل [۳۳] را نمایش می‌دهد.

[3] Mamdani
[4] Defuzzification

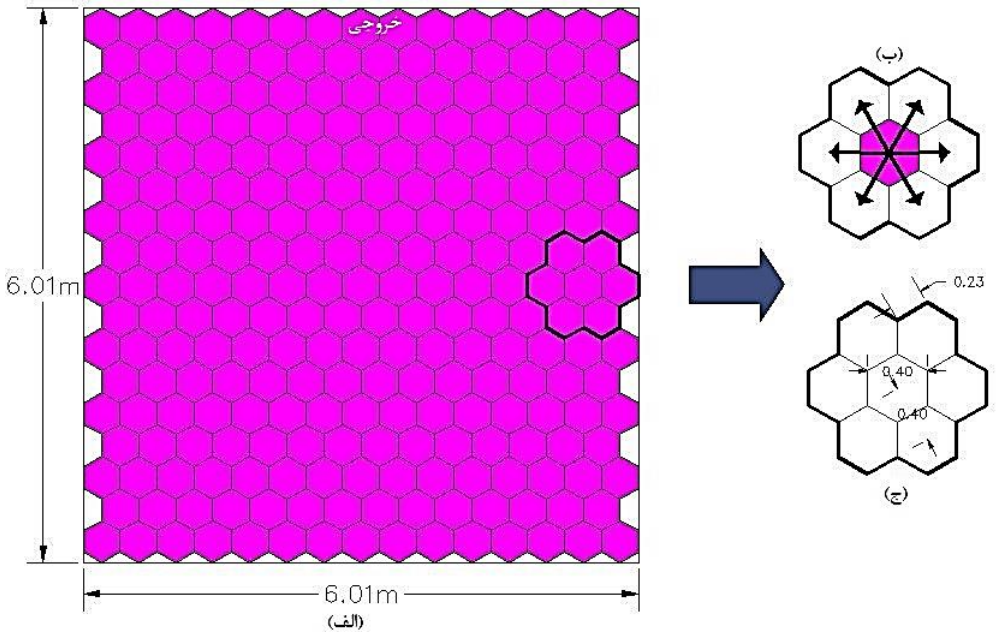
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.67]



شکل ۱: روند کلی مراحل تحقیق

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.29252/jgit.5.4.67]



شکل ۲: (الف) در تمام فضاهای مورد بررسی، خروجی در بالای اتاق قرار دارد و فضای مورد بررسی مربع یا مستطیل است. (ب)فضای همسایگی و سلول‌هایی که یک عامل اجازه حرکت به آن‌ها را دارد، (ج) ابعاد یک سلول و فاصله‌ی بین هر دو سلول

رابطه (۲)

$$\mu_{\text{triangular}}(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \le a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \le x \le b \\ \frac{c-x}{x-b}, & b \le x \le c \\ 0, & c \le x \end{cases}$$

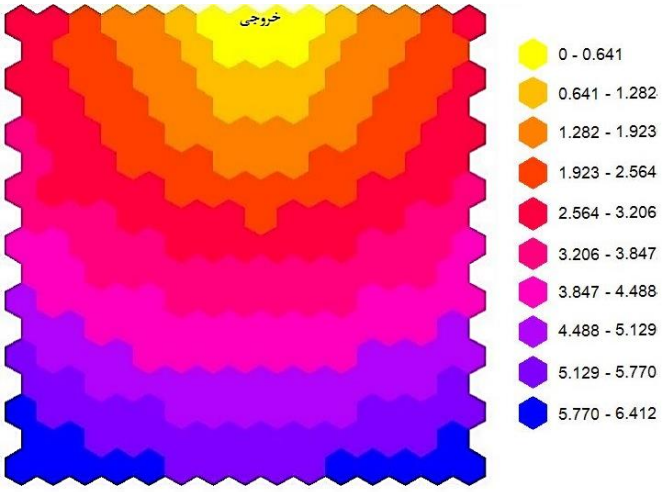
در رابطه (۲) پارامترهای $\{a, b, c\}$ (که $a < b < c$) مختصات x سه‌گوشه‌ی مثلث موردنظر را نشان می‌دهند.

۲-۲-۲-اثر شتاب‌زدگی و مجموع فاصله‌های هر عامل از سایر عامل‌های پیرامون خود بر تمایل به حرکت بعدی عامل به یک سلول ($DO_{i,j}$)

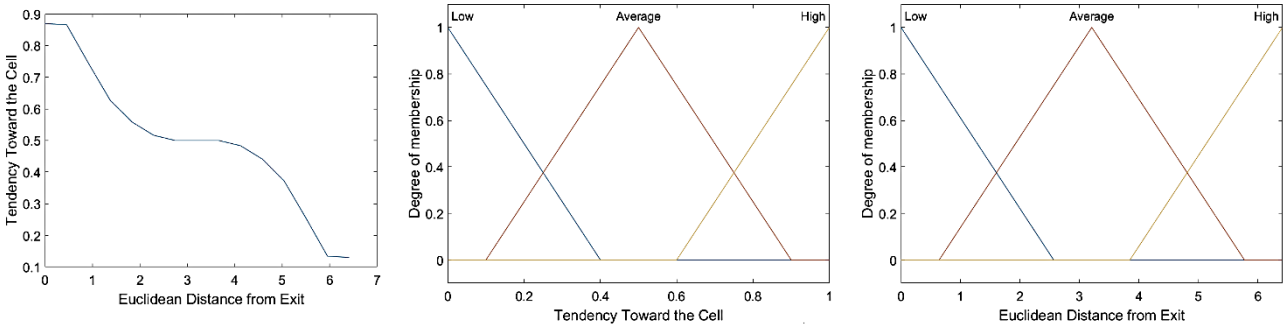
افراد در هنگام حرکت مسلماً تحت تأثیر حرکت سایر افراد نزدیک به خود می‌باشند. ممکن است با تصمیم‌گیری‌های خود به دنبال دیگر افراد حرکت کنند و یا این‌که سعی کنند از مکان‌های شلوغ‌تر فاصله گرفته و مکان‌های خلوت‌تری را برای حرکت خود برگزینند. در تحقیق حاضر این نوع رفتار وابسته به میزان شتاب‌زدگی فرد در آن لحظه در نظر گرفته شده است. درصورتی‌که شتاب‌زدگی فرد زیاد باشد سعی می‌کند که بیشتر از رفتارهای جمعی پیروی کند و کمتر از استدلال‌های منطقی خود بهره‌گیرد ولی درصورتی‌که شتاب‌زدگی او کم باشد بیشتر با استدلال‌های خود پیش می‌رود و سعی می‌کند که کمتر از دیگران تقلید نماید. در شرایطی که فرد میزان شتاب‌زدگی متوسطی را تجربه می‌کند، نه سعی در پیروی و نه سعی در دوری از کل جمعیت را دارد و درواقع یک خط مشی میانه را در نظر می‌گیرد. برای این منظور در این تحقیق، هر عامل تا ۴ سلول اطراف خود را زیر نظر قرار می‌دهد. به لحاظ کلی منطقه مورد نظر هر شخص ۱ متر از هر طرف در نظر گرفته می‌شود[۳۴]. اما در تحقیق حاضر با تست فاصله‌های مختلف، در نظر گرفتن ۴ سلول یعنی ۱٫۶ متر (البته این فاصله در تمام جهات ۱٫۶ متر نیست و بین ۱٫۴ تا ۱٫۶ متغیر است زیرا به‌دلیل ۶ ضلعی بودن سلول‌ها این مسئله اجتناب‌ناپذیر است) بهترین نتیجه را ارائه داده است و دلیل انتخاب این فاصله نیز همین مسئله است. سلول مرکزی نشان‌دهنده‌ی موقعیت عامل است. سلول‌های ناحیه j سلول‌هایی هستند که عامل می‌تواند به آن‌ها حرکت کند و سلول‌های ناحیه

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.67]

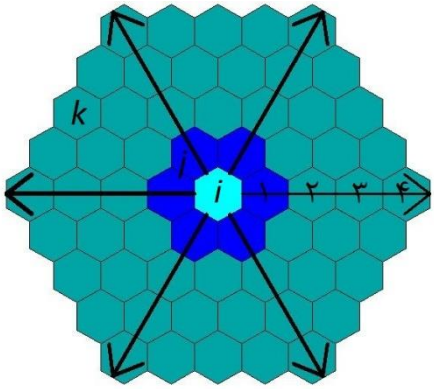
k سلول‌هایی می‌باشند که عامل برای حرکت خود، آن سلول‌ها را برای پیروی یا عدم پیروی از جمعیت مورد بررسی قرار می‌دهد (شکل (۵)) که رابطه (۳) نشان‌دهنده بیان ریاضی این پارامتر است.



شکل ۳: نمایش فاصله اقلیدسی از خروجی برای اتاق ۶متر در ۶ متر



شکل ۴: نمایش سیستم فازی برای فاصله از خروجی. (الف) تابع عضویت برای فاصله از خروجی، (ب) تابع عضویت فازی برای میزان تمایل به رفتن به سلول، (ج) نتیجه‌ی سیستم فازی بر اساس قوانین ذکرشده



شکل ۵: فاصله سلول‌های مجاور عامل بافاصله تقریباً ۴ سلول اطراف محل عامل

رابطه (۳)

$$D_j^i = \sum_{k=1}^{48} d_{kj} \ (k \neq j, k \neq i) \qquad j \in \{1,2,\dots,6\}$$

که در این رابطه i نشان‌دهنده شماره عامل است. D_j^i مجموع فواصل سلول j ام اطراف عامل موردنظر از سلول‌های واقع در فاصله ۴ سلولی است. D_{kj} نشان‌دهنده فاصله‌ی سلول j از سلول k است. یک نمونه از قوانینی که برای این سیستم فازی در نظر گرفته شده است در ادامه دیده می‌شود و مجموعه‌ی کامل این قوانین را می‌توان در جدول (۱) مشاهده کرد.

- اگر شتاب‌زدگی زیاد باشد و مجموع فاصله سلول موردنظر از سایر عامل‌ها کم باشد آنگاه تمایل به رفتن به آن سلول زیاد است.

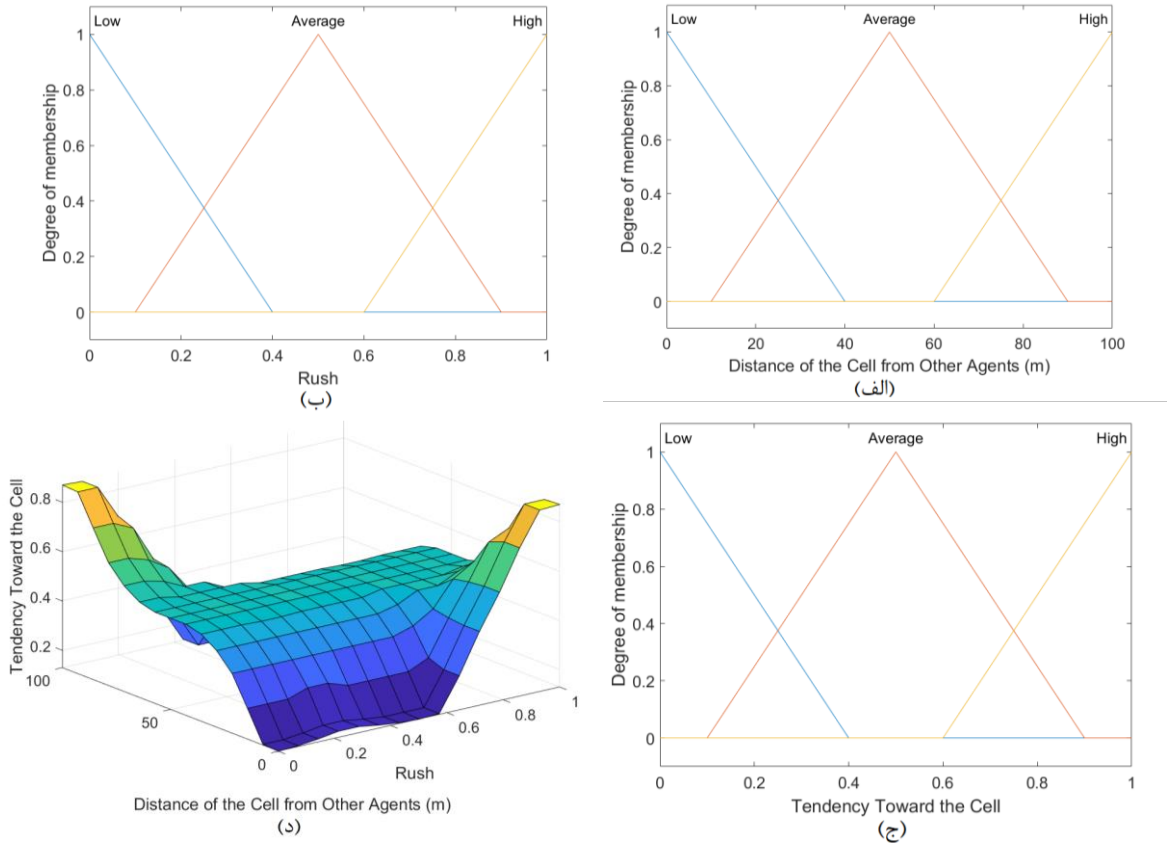
باید توجه داشت که در مورد این سیستم و در

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.67]

مورد تابع عضویتِ "فاصله سلول از سایر عامل‌ها"، این تابع برای تصمیم‌گیری هر عامل متفاوت می‌باشد. زیرا فاصله‌ی سلول‌های اطراف هر عامل تا عامل‌های دیگر با فاصله سلول‌های اطراف عاملی دیگر تا عامل‌های دیگرش متفاوت می‌باشد که برای این منظور، تابع عضویت، بر اساس بیشینه فاصله از بین فاصله‌های ۶ سلول اطراف هر عامل از عامل‌های دیگرش تشکیل داده شده است. به‌عنوان نمونه، در شکل (۶) که سیستم فازی مربوط به این پارامتر را نشان می‌دهد، تابع عضویت بر اساس فاصله ۱۰۰ متری تشکیل شده است.

جدول ۴: مجموعه قوانین مربوط به پارامتر فاصله از سایر عامل‌ها

شماره	شتاب‌زدگی	مجموع فاصله سلول از سایر عامل‌ها	تمایل به رفتن به آن سلول
۱	زیاد	کم	زیاد
۲	زیاد	متوسط	متوسط
۳	زیاد	زیاد	کم
۴	متوسط	کم	کم
۵	متوسط	متوسط	متوسط
۶	متوسط	زیاد	کم
۷	کم	کم	کم
۸	کم	متوسط	متوسط
۹	کم	زیاد	زیاد



شکل ۶: سیستم فازی مربوط به فاصله هر عامل از سایر عامل‌های پیرامون خود. (الف) تابع عضویت مربوط به فاصله هر سلول اطراف عامل از سایر عامل‌ها، (ب) تابع عضویت مربوط به میزان شتاب‌زدگی هر عامل، (ج) تابع عضویت مربوط به میزان تمایل به حرکت به هر سلول، (د)نتیجه‌ی نهایی این سیستم فازی بر اساس قوانین ذکرشده در جدول (۱) بر اساس سیستم استنتاج فازی ممدانی و نافازی‌سازی با روش مرکز ثقل

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.67]

۲-۲-۳-اثر زاویه حرکت نسبت به خروجی بر تمایل به حرکت بعدی عامل به یک سلول ($DirE_{i,j}$)

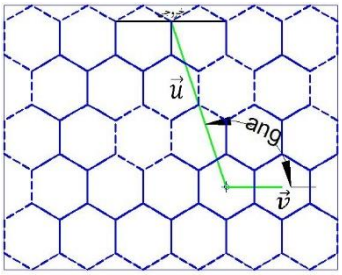
در تحقیق حاضر، برای اطمینان از اینکه عامل‌ها هدف اصلی خود را رسیدن به خروجی قرار دهند، پارامتر دیگری در نظر گرفته شده است. این پارامتر دربرگیرنده‌ی زاویه‌ی بین خط متشکل از مرکز سلول حاضر و مرکز سلول انتخابی جهت حرکت و خط متشکل از مرکز سلول حاضر و مرکز سلول‌هایی است که خروجی در آن‌ها واقع شده است. واضح است که عامل‌ها سعی می‌کنند به خروجی نزدیک شوند و در نتیجه سعی می‌کنند زاویه مذکور را تا حد ممکن کوچک کنند. درواقع این پارامتر مشابه پارامتری است که در کارهای دیگر محققان به‌عنوان پارامتر "دافعه‌ی دیوار"[1] ذکرشده است. زیرا با در نظر گرفتن این پارامتر، عامل‌ها سعی می‌کنند بیشتر به سمت مرکز و بالا حرکت کنند و درنتیجه از دیوارها فاصله خواهند گرفت. جهت واردکردن این پارامتر به فرایند تصمیم‌گیری نیز از یک سیستم استنتاج فازی استفاده می‌شود. با این کار فرایند تصمیم‌گیری عامل برای حرکت، هرچه بیشتر به فرایند مغزی انسان (که با عدم اطمینان همراه است) نزدیک می‌شود (شکل (۷)). رابطه (۴) نحوه محاسبه‌ی این زاویه را نشان می‌دهد:

رابطه (۴) $$ang = \cos^{-1}\left(\frac{u.v}{||u||.||v||}\right)$$

قوانینی که برای این سیستم فازی در نظر گرفته شده به‌صورت زیر می‌باشند:

- اگر زاویه از خروجی کم باشد تمایل رفتن به آن سلول زیاد است.
- اگر زاویه از خروجی متوسط باشد تمایل رفتن به آن سلول متوسط است.
- اگر زاویه از خروجی زیاد باشد تمایل رفتن به آن سلول کم است.

شکل (۸) سیستم فازی مربوط به این پارامتر را نمایش می‌دهد. در اینجا نیز از سیستم استنتاج فازی ممدانی و از نافازی سازی به روش مرکز ثقل استفاده شده است. حداکثر زاویه در تابع عضویت مربوط به زاویه مسیر انتخاب‌شده نسبت به مسیر مستقیم به خروجی ۱۸۰ درجه است.



شکل ۷: پارامتر زاویه حرکت نسبت به خروجی

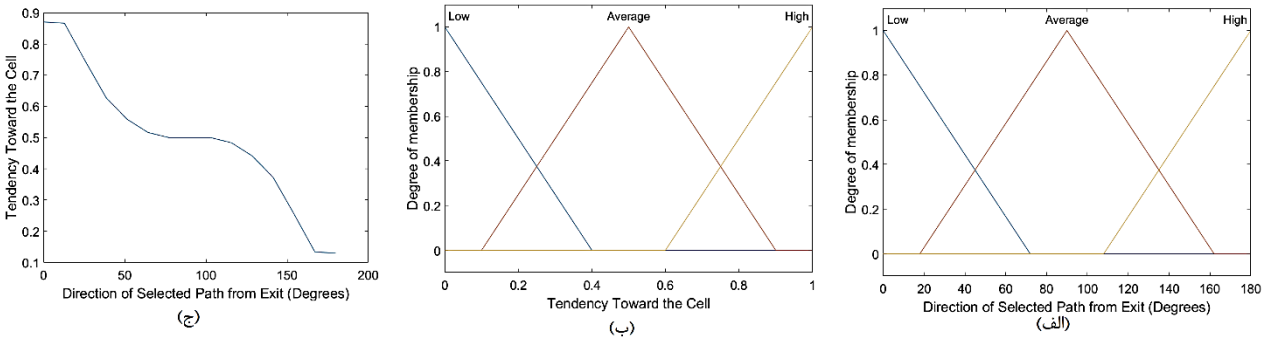
۲-۲-۴- اثر شتاب‌زدگی بر سرعت حرکت عامل به یک سلول

در این تحقیق، دو مقوله‌ی سرعت حرکت و شتاب‌زدگی هر عامل به هم مربوط دانسته شده است. در تحقیق حاضر فرض این است که فرد، شتاب‌زدگی خود را با توجه به تغییرات درونی، با افزایش سرعت حرکت خود به سمت خروجی نشان خواهد داد. درواقع در این تحقیق، این مفهوم با دو مسئله مرتبط است: الف) سرعت عامل (اگر عامل شتاب‌زدگی زیادی داشته باشد سعی می‌کند با سرعت بیشتری حرکت کند تا به خروجی رسیده و از مهلکه نجات یابد) و ب) منطق عامل در تصمیم‌گیری برای حرکت بعدی خود (به‌این صورت که هرچه شتاب‌زدگی عامل کمتر باشد، سعی می‌کند کمترین تقلید از دیگران را کرده و تصمیم منطقی بگیرد و هرچه این شتاب‌زدگی بیشتر می‌شود سطح منطق عامل کاهش یافته و سعی می‌کند بیشتر از دیگران تقلید کند). یعنی شتاب‌زدگی عامل دقیقاً معادل این دو پارامتر در نظر گرفته شده است. در نتیجه سیستم فازی به این صورت خواهد بود که با افزایش شتاب‌زدگی عامل، سرعت حرکت آن نیز افزایش پیدا می‌کند و سعی می‌کند که سریع‌تر از

[1] Wall Repulsion

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.67]

مهلکه فرار کند و بالطبع با کاهش شتاب‌زدگی، به دلیل هیجان و ترس کمتر، سرعت حرکت عامل نیز کاهش پیدا می‌کند.



شکل ۸: سیستم فازی مربوط به پارامتر زاویه بین مسیر انتخاب‌شده و مسیر مستقیمی که عامل را به خروجی می‌رساند. (الف) تابع عضویت مربوط به زاویه بین مسیر انتخاب‌شده و مسیر مستقیمی که عامل را به خروجی می‌رساند، (ب) تمایل به حرکت به سلول، (ج) نتیجه نهایی این سیستم که با استفاده از قوانین ذکرشده در بالا، سیستم استنتاج فازی ممدانی و روش نافازی سازی مرکز ثقل به‌دست‌آمده است.

دلیل استفاده از سیستم استنتاج فازی این است که عواطف و احساسات و هیجانات انسانی امری مطلق نیست و نمی‌توان با دقت خوبی آن را به‌صورت قطعی مدل نمود بلکه سعی می‌شود با استفاده سیستم استنتاج فازی انعطاف‌پذیری هیجانات انسانی را با دقت بیشتری مدل‌سازی کرد. برای این منظور از تابع عضویت مثلثی استفاده‌شده است. و قوانین این سیستم به‌صورت زیر تعریف می‌شوند:

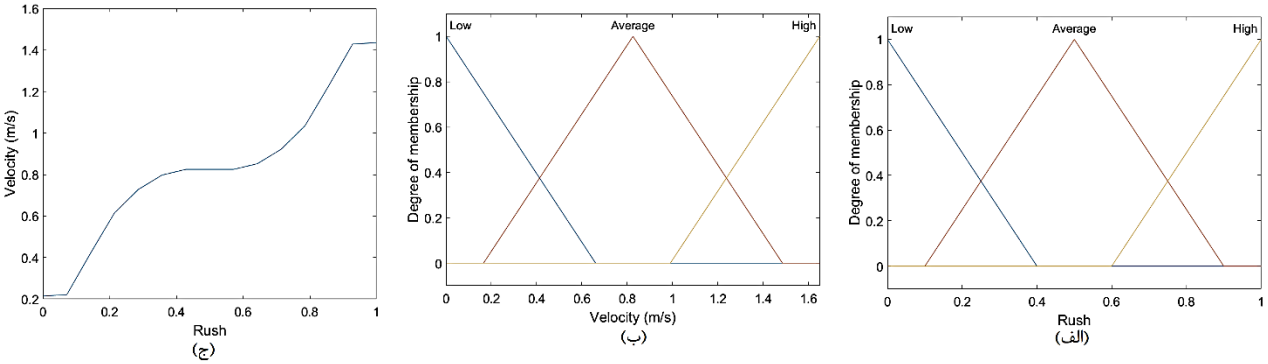
- اگر شتاب‌زدگی عامل کم باشد آنگاه سرعت او کم است.
- اگر شتاب‌زدگی عامل متوسط باشد آنگاه سرعت او متوسط است.
- اگر شتاب‌زدگی عامل زیاد باشد آنگاه سرعت او زیاد است.

سیفی راد [۳۵] 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 شتاب‌زدگی بررسی کرده است. او سرعت افراد در هنگام حرکت در یک خط را بررسی کرده و نتیجه را با کار ویدمن که حرکت افراد در هواپیما بود را مقایسه کرده است. نتیجه‌ی کار آن دو بسیار به هم نزدیک بوده و در شرایط گفته‌شده، برای تراکم جمعیت ۱ نفر در مترمربع، سرعت ۱ متر بر ثانیه به‌دست‌آمده است. در تحقیق فنگ [۳۶] که در آن از مدل LG[1] استفاده شده است سرعت متوسط افراد در شرایط نرمال و با تراکم جمعیت ۱ نفر بر مترمربع، ۱٫۲۴ متر بر ثانیه به‌دست آمده است. همچنین ژنگ [۳۷] سرعت افراد را در حالی که آزادانه در یک راهرو حرکت می‌کنند را در دو حالت مختلف با آزمایش عملی بررسی کرده است. در یک حالت، دو گروه از افراد در جهت مخالف هم حرکت می‌کنند و در حالت دیگر افراد همگی به سمت یک هدف و هم‌جهت حرکت می‌کنند. در حالت اول بیشینه سرعت جمعیت ۱٫۵ متر بر ثانیه و در حالت دوم ۲ متر بر ثانیه مشاهده شده است. در مدل ژنگ، سرعت تقریباً ۱٫۳ متر بر ثانیه گزارش شده است. در تحقیق حاضر، حداقل و حداکثر سرعت عامل‌ها به ترتیب ۰٫۴ و ۱٫۶ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است. برای اینکه مشکل فاصله‌های زمانی برای به‌روزرسانی مدل حل گردد، خروجی ناشی از سیستم فازی مربوط به سرعت عامل، به دلیل اینکه فاصله‌ی سلول‌ها از یکدیگر ۰/۴ متر است، به نزدیک‌ترین ضریب عدد ۰٫۴ گرد می‌شود. شکل (۹)

[1] Lattice Gas

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.67]

سیستم فازی مربوط به این پارامتر را نمایش می‌دهد. در اینجا نیز از سیستم استنتاج فازی ممدانی و از نافازی سازی به روش مرکز ثقل استفاده شده است.



شکل ۹: سیستم فازی مربوط به رابطه شتاب‌زدگی و سرعت عامل‌ها. (الف) تابع عضویت مربوط به میزان شتاب‌زدگی، (ب) تابع عضویت مربوط به‌سرعت عامل، (ج) نتیجه نهایی این سیستم که با استفاده از قوانین ذکرشده در بالا، سیستم استنتاج فازی ممدانی و روش نافازی سازی مرکز ثقل به‌دست‌آمده است

۲-۳-نحوه‌ی حرکت عامل‌ها

در این مرحله، مجموعه پارامترهای مؤثر درحرکت عامل‌ها که همگی نتیجه‌ی خروجی سیستم‌های فازی هستند باید با یکدیگر ترکیب‌شده و درنهایت برای هر حرکت ممکن، یک عدد به‌عنوان میزان تمایل به حرکت به آن سلول به‌دست آید. در تحقیق حاضر، برای به‌دست آوردن نتایج بهتر و بررسی تأثیر پارامترهای مختلف ذکرشده، سعی شده با تغییر آن پارامترها در اجرای برنامه، میزان تأثیر آن‌ها نشان داده شود. رابطه (۵) نحوه‌ی ترکیب پارامترها را نشان می‌دهد.

رابطه (۵)

$$CD_{i,j} = DE_{i,j} \times W_{DE} + DO_{i,j} \times W_{DO} + DirE_{i,j} \times W_{DirE}$$

که در آن i شناسه‌ی عامل مورد نظر، j سلول مورد نظر برای حرکت، $DE_{i,j}$ اثر فاصله از خروجی (خروجی سیستم استنتاج فازی آن) و W_{DE} وزن آن، $DO_{i,j}$ اثر مجموع فاصله از عامل‌های دیگر (خروجی سیستم استنتاج فازی آن) و W_{DO} وزن آن، $DirE_{i,j}$ اثر زاویه حرکت نسبت به خروجی (خروجی سیستم استنتاج فازی آن) و W_{DirE} وزن آن و $CD_{i,j}$ میزان تمایل نهایی عامل i برای حرکت به سلول j می‌باشد. با تغییر وزن‌ها می‌توان تأثیر هرکدام از پارامترها را بررسی کرد.

روشی که برای به‌روزرسانی موقعیت عامل‌ها استفاده‌شده به این صورت است که ابتدا میزان مطلوبیت هر سلول اطراف یک عامل محاسبه شده و سپس سلولی که بیشترین میزان مطلوبیت را دارد برای حرکت انتخاب می‌شود.

در این تحقیق، به منظور به‌روزرسانی موقعیت عامل‌ها با فرض آن‌که هر عامل می‌تواند بلافاصله بعد از اینکه عامل دیگر حرکت نمود، جای او را پر کند از روش به‌روزرسانی ناهم‌زمان استفاده شده است. مزیت این به‌روزرسانی این است که میزان تعارضات و تداخل حرکت از سوی عامل‌ها در طول اجرای برنامه به حداقل می‌رسد. به‌عنوان مثال فرض شود یک عامل می‌خواهد به سلول بالایی خود حرکت کند. در لحظه‌ی تصمیم‌گیری، اگر سلول بالاییِ عامل توسط عامل دیگری اشغال‌شده و به‌روزرسانی به‌صورت هم‌زمان باشد، عامل، آن سلول مطلوب را کنار می‌گذارد و به سراغ سلول مطلوب بعدی می‌رود. اما دقیقاً در همین لحظه عامل حاضر در سلول بالایی نیز قصد حرکت دارد. یعنی سلول او خالی می‌شود درنتیجه اگر روش به‌روزرسانی به‌صورت ناهم‌زمان باشد

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.67]

عامل موردنظر به تعارضی برخورد نکرده و سلول مطلوب خود را از دست نمی‌دهد و بلافاصله بعد از حرکت عامل دیگر، او نیز به سلول بالایی حرکت می‌نماید.

حال بحث دیگری که وجود دارد این است که آیا به‌روزرسانی به ترتیب، از عاملی که نزدیک‌ترین فاصله به خروجی را دارد شروع شود یا این‌که انتخاب عامل برای به‌روزرسانی به‌صورت تصادفی و بدون ترتیب مشخصی انجام شود. در تحقیق گوییزدالا [۲۸] این مسئله نشان داده‌شده است. یعنی عامل‌ها بدون ترتیب خاصی و به‌طور تصادفی برای به‌روزرسانی محل خود انتخاب می‌شوند. مشکلی که در این حالت وجود دارد این است که در حین اجرای برنامه و در حین تخلیه یک سری مکان‌های خالی (گپ) در جمعیت مشاهده می‌شود که دلیل آن، انتخاب تصادفی است. اما اگر ترتیب به‌روزرسانی از نزدیک‌ترین عامل به خروجی اتفاق بیفتد نه‌تنها این گپ‌ها کمتر مشاهده می‌شوند بلکه در حین تخلیه میزان تعارضات نیز کاهش پیدا می‌کند. زیرا مسلماً عامل‌ها بیشتر تمایل دارند به سمت خروجی حرکت کنند و وقتی‌که ابتدا موقعیت عامل‌های نزدیک‌تر به خروجی به‌روز شود درنتیجه در نزدیک خروجی فضای بیشتری ایجاد شده و عامل‌های دورتر با تعارض کمتری می‌توانند به سمت خروجی حرکت کنند.

در شکل (۱۰) نحوه‌ی اجرای شبیه‌سازی مشاهده می‌شود. در هنگام پیاده‌سازی بعد از انجام هر حرکت، از سرعت عامل به میزان فاصله‌ی بین سلول‌ها کم می‌شود تا جایی که سرعتش به صفر برسد. بعد از این‌که سرعت عامل به صفر رسید، عامل دیگر در به‌روزرسانی‌های بعدی حرکتی نمی‌کند و صبر می‌کند تا سرعت تمام عامل‌ها به صفر برسد. سپس در اجرای بعدی همین روال تکرار می‌گردد تا جایی که تمام عامل‌ها تخلیه شوند. اگر به‌روزرسانی بخواهد به این نحو انجام شود که عامل‌های جلویی حرکت خود را کامل انجام دهند و سپس عامل‌های عقبی حرکت کنند مدل‌سازی از واقعیت دور خواهد شد. زیرا در واقعیت تصور نمی‌شود که عامل‌های عقبی صبر کنند تا جلویی‌ها حرکت خود را در ۱ ثانیه کامل انجام دهند. بلکه در طول این‌یک ثانیه هم جلویی‌ها و هم عقبی‌ها حرکت می‌نمایند و فقط برای عامل‌های نزدیک‌تر در هر به‌روزرسانی زودتر تصمیم‌گیری می‌شود زیرا این تصور معقول است که عامل‌های عقبی بلافاصله بعد از حرکت جلویی‌ها، بخواهند جای آن‌ها را پر کنند.

۳-بحث و نتایج

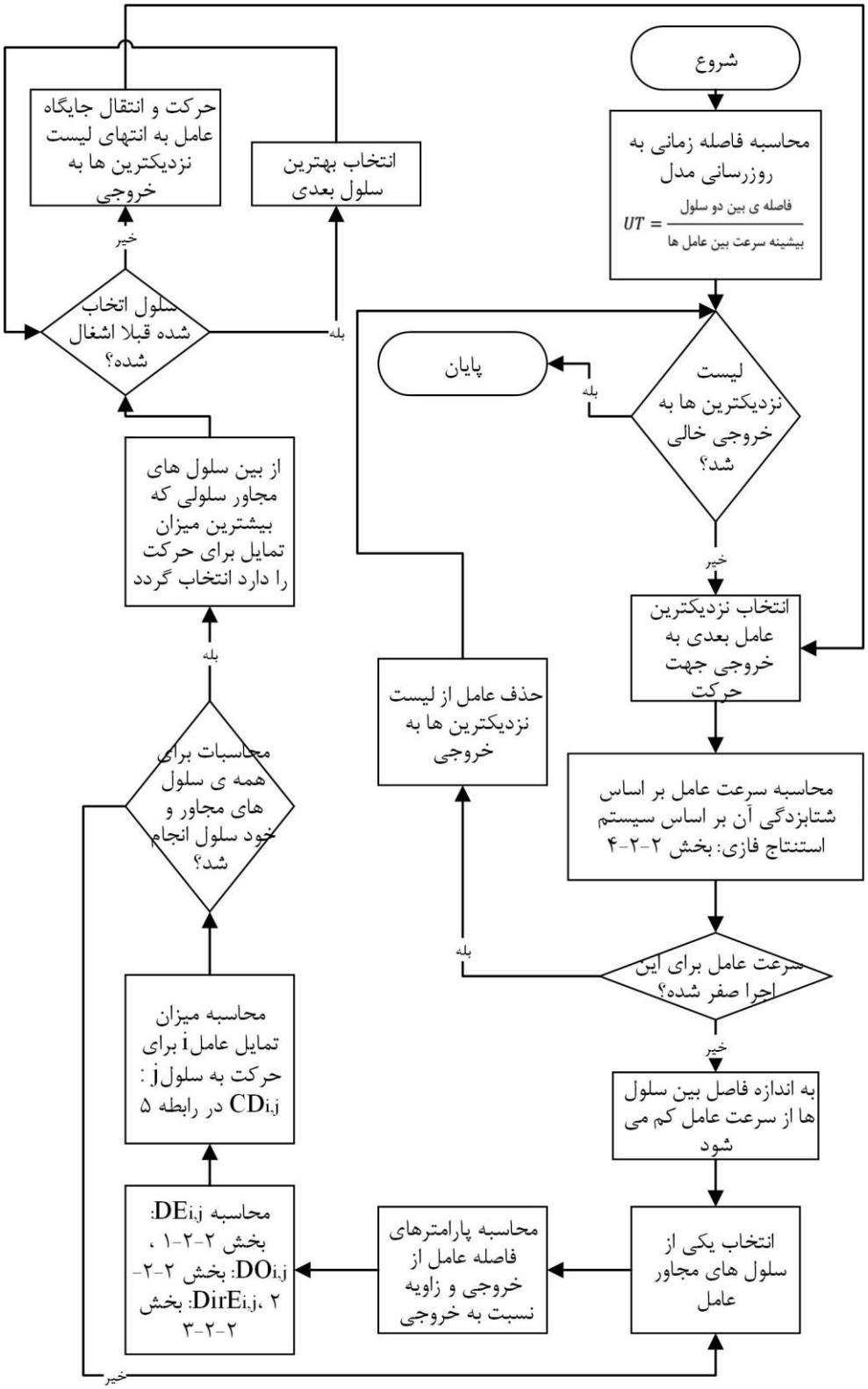
در این بخش، به بررسی اثر تغییر مقدار پارامترها از جمله وزن پارامترها و تغییرات شتاب‌زدگی عامل‌ها پرداخته می‌شود. همچنین به اثر تغییرات عرض خروجی، ابعاد فضای بررسی و موقعیت خروجی، در اتاق پرداخته می‌شود. لازم به ذکر است در بیان نتایج هم از مفهومی با نام ظرفیت تخلیه و هم از زمان کل تخلیه استفاده شده است. منظور از ظرفیت تخلیه، تعداد عامل‌هایی است که در هر ثانیه از اتاق خارج می‌شوند که از تقسیم تعداد کل افراد حاضر در اتاق در لحظه شروع تخلیه بر زمان کل تخلیه به‌دست می‌آید.

۳-۱-بررسی تأثیرات تغییر پارامترها

در این بخش به بررسی اثر تغییر وزن پارامترهای فاصله از خروجی و زاویه حرکت نسبت به خروجی و تغییرات شتاب‌زدگی عامل‌ها پرداخته می‌شود. در تمام شبیه‌سازی‌های انجام‌شده در اتاقی به مساحت ۳۶ (۶×۶) مترمربع با عرض خروجی ۸۰ سانتیمتر، ۱۰۰ عامل حضور دارند. یعنی تراکم جمعیت ۲/۷۷ نفر در مترمربع است. این مقدار دقیقاً مشابه با نتایج به‌دست آمده از تحقیق عملی مشابه انجام شده توسط کرتز [۳۰] می‌باشد که در ادامه برای مقایسه استفاده شده است.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.29252/jgit.5.4.67]



شکل ۱۱: روند اجرای شبیه‌سازی

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]

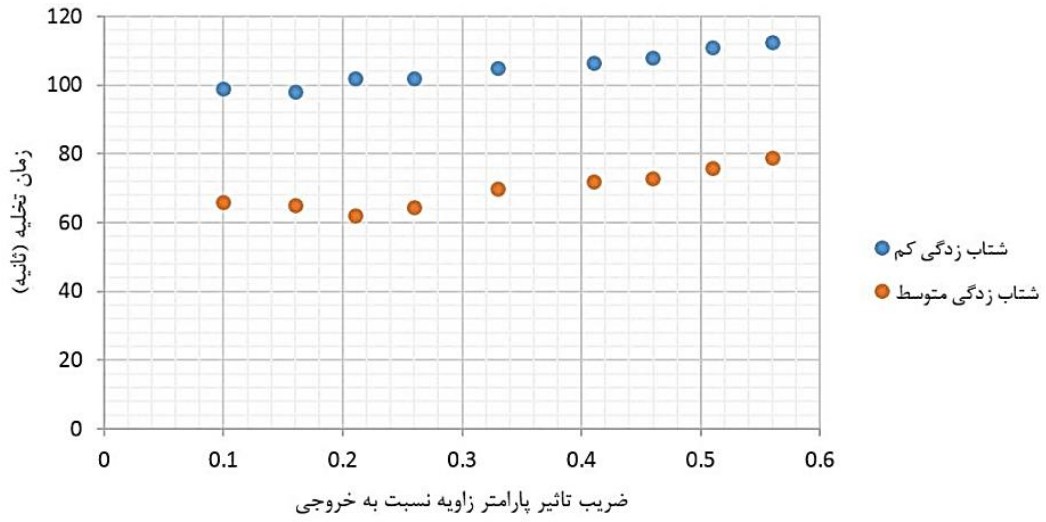
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.67]

۳-۱-۱- فاصله از خروجی و زاویه نسبت به خروجی

در این قسمت با ثابت نگه‌داشتن میزان شتاب‌زدگی عامل‌ها (شتاب‌زدگی کم) و همچنین وزن تأثیر این پارامتر، تأثیر تغییر پارامترهای فاصله از خروجی و زاویه نسبت به خروجی بررسی شده است. شکل (۱۱) نتایج این قسمت را نشان می‌دهد. وزن مربوط به شتاب‌زدگی مقدار ۰/۳۳ در نظر گرفته شده است. محور افقی، وزن پارامتر زاویه نسبت به خروجی را نشان می‌دهد. وزن پارامتر فاصله از خروجی با کم کردن مقدار محور افقی از ۰/۶۶به‌دست می‌آید. با کاهش وزن پارامتر زاویه نسبت به خروجی و افزایش وزن پارامتر فاصله از خروجی، عامل‌ها بیشتر به دیوارها نزدیک می‌شوند و از مرکز دورتر می‌شوند. مشاهده می‌گردد که در این حالت سرعت تخلیه نسبت به زمانی که وزن زاویه نسبت به خروجی زیاد و وزن فاصله از خروجی کم باشد افزایش پیداکرده است. دلیل این امر را می‌توان این‌گونه توضیح داد که وقتی عامل‌ها از اطراف (یعنی دور از مرکز) شروع به حرکت می‌کنند از یک‌سو به‌دلیل فضای بیشتری که در اختیار دارند با تناقضات کمتری در طول حرکت خود مواجه می‌شوند و از سوی دیگر به دلیل حرکت از دو طرف به نوعی صفی از دو طرف تشکیل می‌دهند و عامل‌ها پشت سر هم و از دو طرف خروجی، از محل خارج می‌شوند. درنتیجه سرعت تخلیه‌ی افراد افزایش پیدا می‌کند. شکل (۱۲) روند تخلیه عامل‌ها را تحت تأثیر تغییرات وزن این پارامتر در زمان‌های مختلف نمایش می‌دهد.

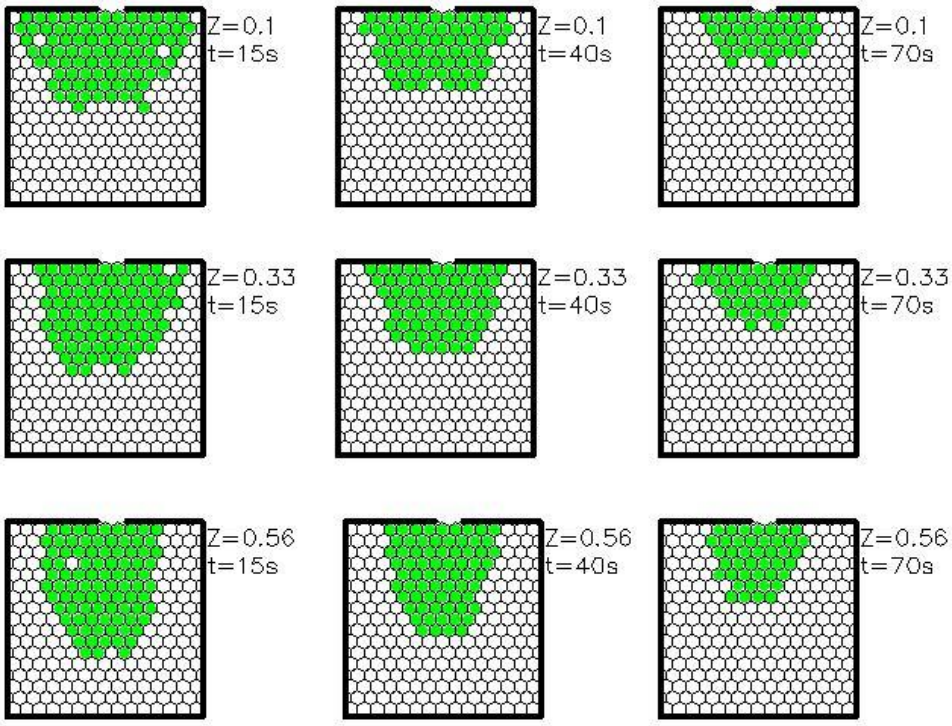
۳-۱-۲-شتاب‌زدگی

در این بخش تأثیر وزن پارامترهای مختلف روی زمان تخلیه جمعیت بررسی شده است. در این راستا، ابتدا با ثابت نگه‌داشتن وزن همه‌ی پارامترها (وزن هر پارامتر برابر با $\frac{1}{3}$ در نظر گرفته می‌شود)، تغییر در میزان شتاب‌زدگی عامل‌ها بررسی شده است. شکل (۱۳) تغییرات سرعت تخلیه افراد با تغییر شتاب‌زدگی را نشان می‌دهد. در حالتی که شتاب‌زدگی عامل‌ها ناچیز است (نزدیک ۰/۱)، آن‌ها دارای سرعت کمی بوده و بیشتر سعی می‌کنند از یکدیگر فاصله بگیرند. این فاصله گرفتن باعث بازتر شدن شکل هندسی تجمع آن‌ها می‌شود. در کل عامل‌ها با سرعت کم خود به‌کندی از محل تخلیه می‌شوند. با افزایش شتاب‌زدگی عامل‌ها (نزدیک ۰/۴)، سرعت حرکت این افراد افزایش پیداکرده و همچنین نسبت به حالت قبل به یکدیگر نزدیک‌تر می‌شوند.



شکل ۱۲: تأثیر تغییر وزن تأثیر پارامترهای فاصله از خروجی و پارامتر زاویه نسبت به خروجی.

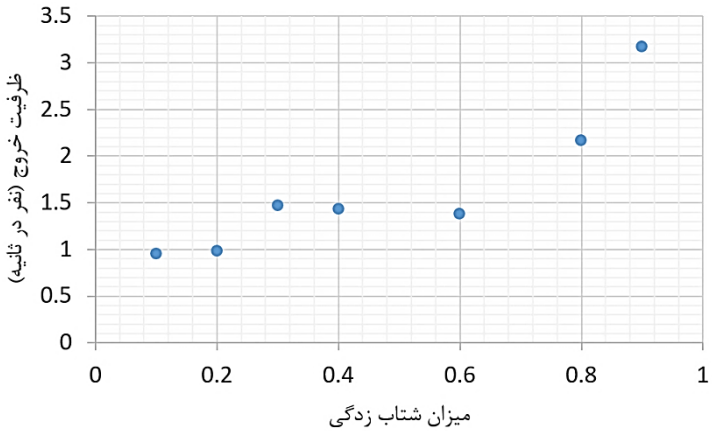
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.67]



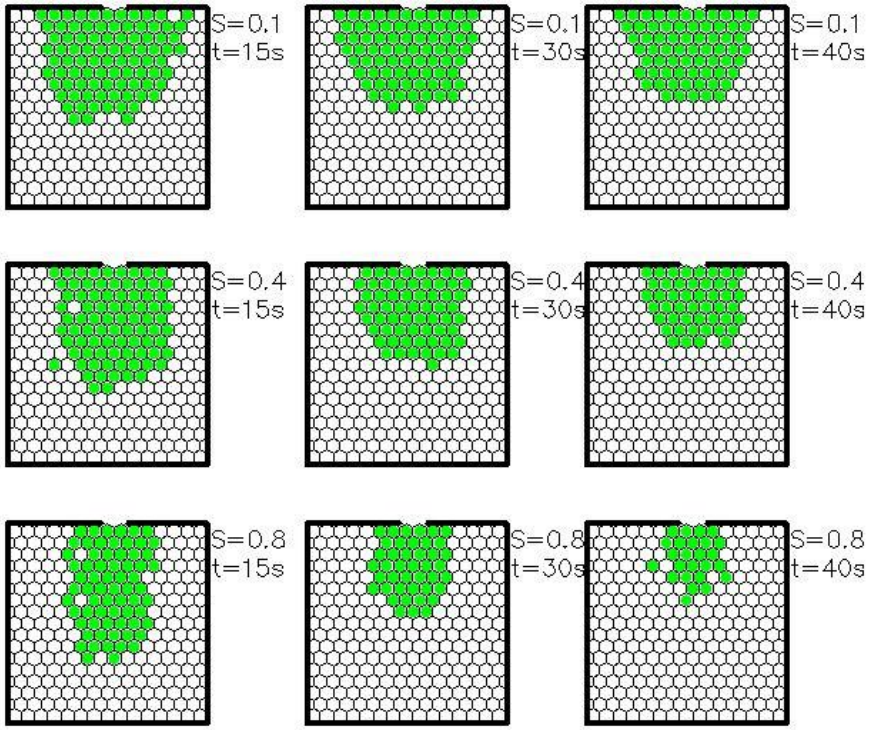
شکل ۱۳: لحظاتی از روند تخلیه عامل‌ها با تغییر ضریب پارامتر زاویه نسبت به خروجی

با افزایش سرعت افراد جلویی، به‌دلیل در دسترس بودن خروجی برای آن‌ها، سرعت تخلیه افزایش یافته است. همچنین میزان شتاب‌زدگی هنوز در حدی نیست که سرعت و پیروی افراد از یکدیگر باعث بسته شدن خروجی گردد. در حالت شتاب‌زدگی زیادِ عامل‌ها (نزدیک ۰٫۸) مشاهده می‌شود که میزان پیروی افراد از یکدیگر افزایش پیدا نموده و سرعت حرکتشان نیز بیشتر می‌شود. از طرفی تعارضات افزایش پیدا کرده و کمی باعث کندی و بسته شدن خروجی می‌شود. ولی در کل ظرفیت تخلیه نسبت به حالت قبل باز افزایش پیدا نموده است. نکته‌ی دیگری که قابل ذکر است این است که به‌دلیل گرد شدن میزان سرعت به نزدیک‌ترین ضریب عدد ۰٫۴ (فاصله‌ی بین هر دو سلول) در نقاطی که تغییر ناگهانی در زمان تخلیه رخ‌داده تغییر سرعت اتفاق افتاده است (مانند تغییر از شتاب‌زدگی ۰٫۲ به شتاب‌زدگی ۰٫۳) و در سایر نقاط که تغییر زمان خروج ناچیز است، تغییر سرعت وجود ندارد و تغییر زمان تخلیه تنها تابع تغییرات ناشی از قوانین سیستم فازی بخش (۲-۲-۲) است. در این بخش‌ها شیب منفی بسیار ملایمی دیده می‌شود که دلیل این امر افزایش شتاب‌زدگی و به‌تبع آن افزایش پیروی عامل‌ها از یکدیگر است که به افزایش زمان و کاهش سرعت تخلیه منجر شده است. شکل (۱۴) روند تخلیه‌ی عامل‌ها را با تغییرات شتاب‌زدگی در زمان‌های مختلف نمایش می‌دهد.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.67]



شکل ۱۴: تغییرات میزان ظرفیت خروج با تغییرات شتاب‌زدگی.



شکل ۱۵: لحظاتی از روند تخلیه عامل‌ها با مقادیر شتاب‌زدگی مخالف

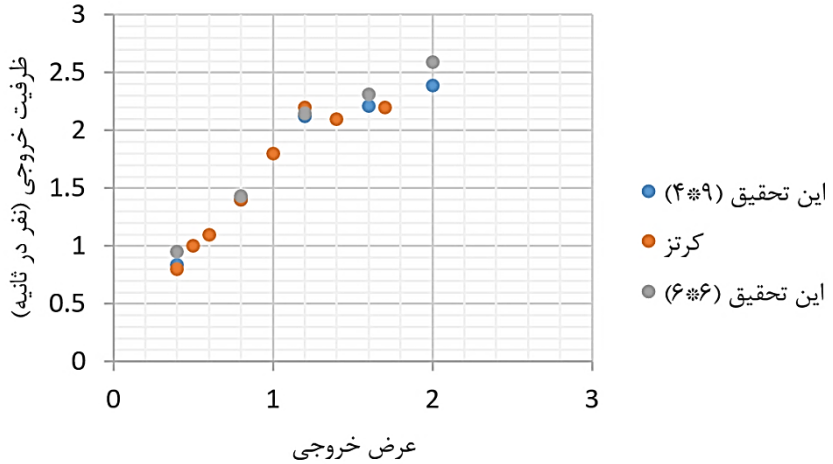
۳-۲-تأثیر تغییرات عرض خروجی

ابتدا با ثابت نگه‌داشتن میزان شتاب‌زدگی، تأثیر افزایش عرض خروجی بر ظرفیت تخلیه بررسی می‌گردد. برای این منظور، سه پارامتر فاصله از خروجی، زاویه نسبت به خروجی و تأثیر عامل‌ها دارای وزن یکسان می‌باشند. برای این آزمایش دو فضای ۶×۶ مترمربع و ۹×۴ متر مربع با میزان تراکم جمعیت ۲/۷۷ نفر بر مترمربع (۱۰۰ نفر) در نظر گرفته شده است. کمینه میزان عرض خروجی که در این مطالعه در نظر گرفته شده ۴۰ سانتی‌متر و بیشینه آن ۲۴۰ سانتی‌متر می‌باشد. در حالتی که عرض خروجی ۴۰ سانتی‌متر است در یک‌لحظه فقط یک نفر می‌تواند از خروجی عبور نماید. بررسی نتایج نشان می‌دهد با افزایش عرض خروجی (برای هر دو فضا) میزان ظرفیت خروجی افزایش پیدا می‌کند. شکل (۱۵) این مسئله را نشان می‌دهد.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.67]

برای فضای ۶×۶ متر مربعی در حالی که میزان شتاب‌زدگی افراد، متوسط در نظر گرفته‌شده (۰/۴)؛ مشاهده می‌شود که ظرفیت تخلیه از عرض ۴۰ سانتی‌متر تا عرض تقریباً ۱۲۰ سانتی‌متر به‌صورت خطی بالا می‌رود و پس از آن به‌تدریج روند خود را از دست می‌دهد. این نتیجه کاملاً مشابه با نتایج تحقیق عملی مشابه انجام شده توسط کرتز [۳۰] است.

برای فضای ۹×۴ متر مربع نیز همین شرایط برقرار است. با افزایش عرض خروجی تا حد گفته‌شده طبیعی است که ظرفیت تخلیه باید بیشتر شود اما بعد از آن حد، وقتی ازدحام به وجود می‌آید و به دلیل تجمع افراد "پشت سر هم" افزایش عرض خروجی، تأثیر افزایشی چندانی در ظرفیت تخلیه ندارد.

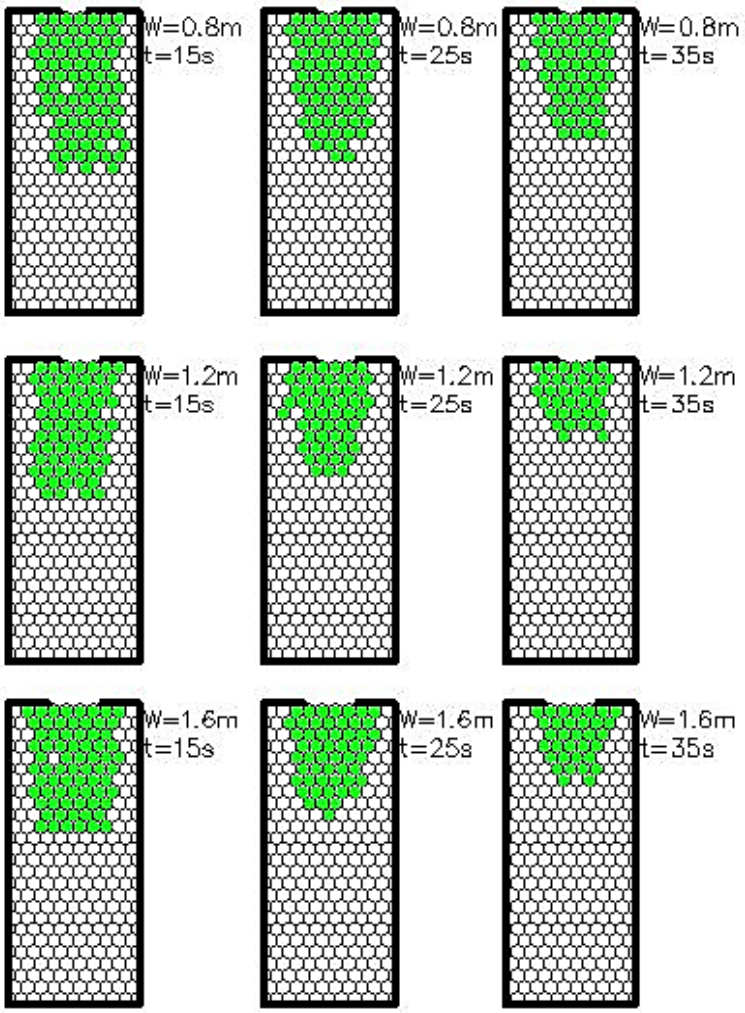


شکل ۱۶: تغییرات میزان ظرفیت خروج با تغییر عرض خروجی

در حالتی که عرض فضای تخلیه (یعنی فضای ۶×۶ متر مربع) بیشتر است مشاهده می‌شود که ظرفیت تخلیه بیشتر از حالتی است که عرض آن کمتر است. دلیل آن را می‌توان فضای بیشتر افراد برای تجمع در روبروی خروجی دانست. زیرا در این حالت نسبت به حالت قبل، جمعیت فضای گسترده‌تری را جلوی در اشغال می‌کند و مخصوصاً با افزایش عرض خروجی نسبت به حالت قبل میزان افزایش ظرفیت بیشتر بوده و روند تغییرات ظرفیت با تغییرات عرض خروجی، در این حالت خیلی کمتر از حالت خطی خارج می‌شود. با بررسی نمودار شکل (۱۵) و مقایسه‌ی نتایج تحقیق حاضر با ابعاد ۹×۴ متر مربع و نتایج حاصل از نتایج تحقیق عملی کرتز (با ابعاد مشابه) تطبیق ۹۴/۵۴ درصدی با این نتایج واقعی مشاهده می‌شود.

تأثیر تغییرات ابعاد فضای مورد بررسی در قسمت بعد به‌طور مفصل‌تری بحث خواهد شد. مقایسه نتایج به‌دست آمده از تحقیق حاضر با نتایج تحقیق عملی مشابه حاصل از تحقیق کرتز [۳۰] نشان می‌دهد که نتایج حاصل به نتایج کرتز در حالتی که شتاب‌زدگی افراد متوسط است، بسیار نزدیک است. در مدل ارائه شده در تحقیق حاضر، ابعاد فضای مورد بررسی شبیه فضای تحقیق عملی کرتز است. همچنین در تحقیق کرتز نیز خروجی در وسط دیوار قرارگرفته است و از افراد خواسته‌شده که با سرعت متوسط ولی بدون اضطراب زیاد حرکت نمایند. شکل (۱۶) لحظه‌هایی از روند تخلیه عامل‌ها را با تغییرات عرض خروجی نشان می‌دهد.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.67]



شکل ۱۷: لحظاتی از روند تخلیه عامل‌ها با عرض‌های خروجی مختلف

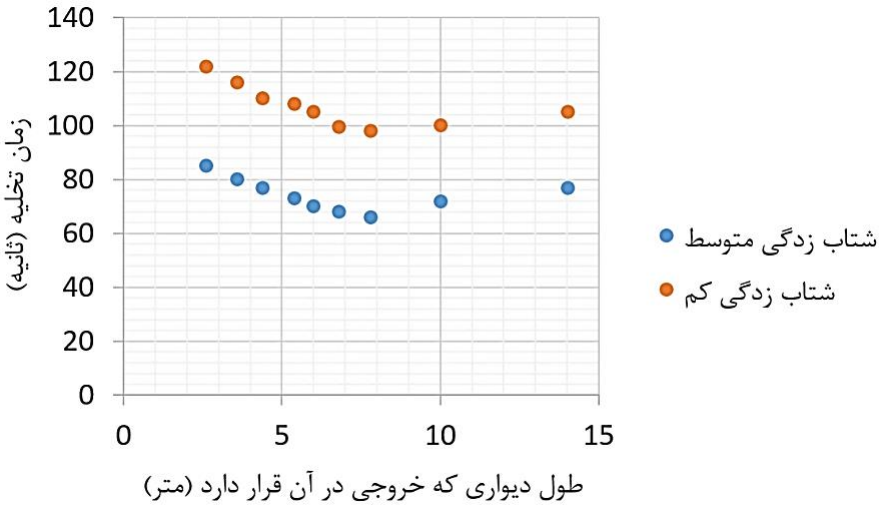
۳-۳-تأثیر تغییرات ابعاد فضا

در این قسمت با ثابت نگه‌داشتن تمام پارامترها و با تغییر ابعاد فضای مورد بررسی در حالی که مساحت آن ثابت است، به بررسی تأثیر تغییرات ابعاد محیط پرداخته شده است.

محیطی که در آن به بررسی پرداخته شده است، دارای ابعاد ۶ متر در ۶ متر است. جهت بررسی تأثیر ابعاد محیط، و برای تقریباً ثابت نگاه‌داشتن مساحت محیط، از ابعاد ۲/۵۴ × ۱۴/۰۲، ۳/۵۸ × ۶۲/۰۱، ۴/۱۰ × ۷/۸۱، ۵/۳۲ × ۶/۸۱، ۶ × ۶، ۶/۷۰ × ۵/۴۰، ۸/۰۹ × ۴/۴۰، ۱۰/۱۷ × ۳/۶۰ و ۱۳/۹۹ × ۲/۶۰ مترمربع استفاده‌شده است. شکل (۱۷) تغییرات زمان تخلیه را با این تغییرات نمایش می‌دهد. در این نمودار با افزایش مقدار در محور افقی، طول محیط افزایش و عرض آن کاهش پیدا می‌کند و موقعیتِ خروجی نیز به همین منوال از قرارگیری در سمت پر طول‌تر اتاق به قسمت کم طول‌تر اتاق تغییر پیدا می‌کند. همان‌طور که در شکل (۱۷) دیده می‌شود در اول نمودار که موقعیت خروجی، در قسمت بلندتر اتاق قرار دارد، زمان انجام تخلیه کمتر و سرعت آن بیشتر است. به‌مرور و با افزایش طول اتاق و قرارگیری خروجی در قسمت کم طول‌تر اتاق، زمان تخلیه افزایش و سرعت آن کاهش پیدا می‌کند. این نتیجه منطبق بر نتایج به‌دست‌آمده از تحقیق مشابه انجام شده توسط

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.67]

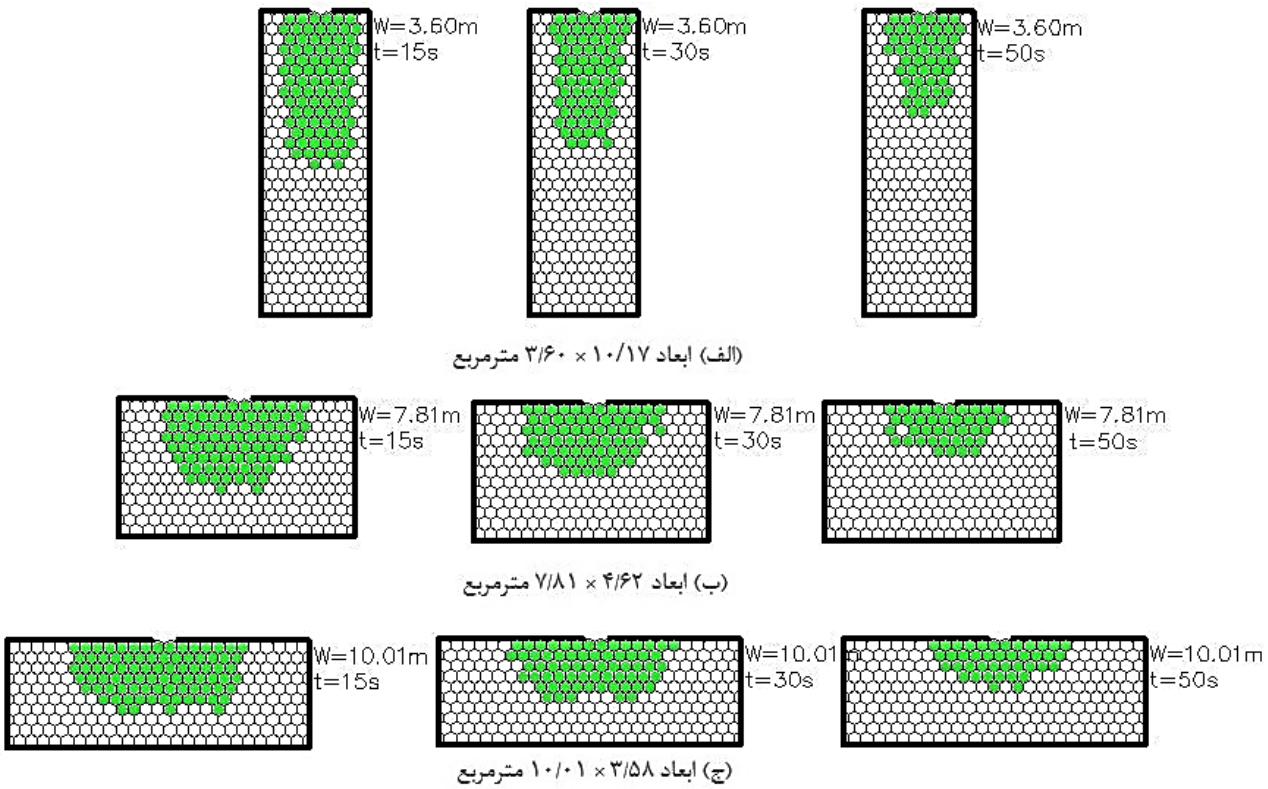
گوییزدالا [۲۸] می‌باشد. در تحقیق انجام شده توسط گوییزدالا [۲۸] با بررسی نسبت‌های مختلف طول و عرض اتاق و محل قرارگیری خروجی در طول یا عرض اتاق، تغییرات در میزان تراکم جمعیت و وجود اضطراب یا عدم وجود آن، زمان تخلیه جمعیت بررسی‌شده است. بیشترین میزان سرعت تخلیه زمانی اتفاق افتاده است که شکل اتاق به مربع نزدیک است اما کاملاً مربع نیست و عرض آن از طول آن بیشتر است. اما دلیل این کاهش سرعت تخلیه که با افزایش طول اتاق اتفاق می‌افتد آن است که با افزایش طول اتاق و قرارگیری خروجی در لبه‌ی کوتاه‌تر اتاق، افراد در صف‌های طولانی‌تر و دورتر از خروجی قرار می‌گیرند و درنتیجه سرعت تخلیه‌ی آن‌ها طولانی‌تر خواهد شد. اما هرچقدر شکل اتاق به مربع نزدیک‌تر شده و عرض اتاق افزایش می‌یابد، عامل‌ها فضای منعطف‌تری برای حرکت خود خواهند داشت و سریع‌تر تخلیه انجام می‌شود. نکته‌ای که قابل‌ذکر است این است که بیشترین سرعت تخلیه زمانی که اتاق مربع کامل است اتفاق نمی‌افتد بلکه زمانی است که عرض اتاق کمی از طول آن بیشتر است. این مسئله نشان‌دهنده اهمیت قرار گرفتن خروجی در دیوار بلندتر اتاق است. نکته دیگر این است که تغییرات سرعت تخلیه برای حالت شتاب‌زدگی کم، بیشتر خود را نشان می‌دهد. زیرا در حالت شتاب‌زدگی کم افراد بیشتر از هم فاصله می‌گیرند و یکی از دلایل مطلوبیت ظرفیت تخلیه همین مسئله است. اما وقتی‌که اتاق باریک‌تر می‌شود، امکان فاصله گرفتن عامل‌ها از هم کاهش می‌یابد و درنتیجه سرعت تخلیه کاهش می‌یابد. نکته‌ی دیگری که در نمودار دیده می‌شود این است که شیب تغییرات زمان تخلیه در عرض‌های کوچک‌تر از ۱۰ متر در حالت شتاب‌زدگی کم، تندتر از شیب آن در حالت شتاب‌زدگی کم می‌باشد. دلیل این امر این است که چون در حالت شتاب‌زدگی کم، افراد از هم فاصله‌ی بیشتری می‌گیرند و بازتر حرکت می‌کنند، با افزایش عرض اتاق تغییرات زمان تخلیه کمی بیشتر اتفاق می‌افتد. زیرا عامل‌ها از فضای ایجادشده بیشتر استفاده می‌کنند. البته این تفاوت مقدار شیب در دو حالت، ناچیز است و چندان قابل‌توجه نیست. شکل (۱۸) لحظاتی از روند تخلیه عامل‌ها را با تغییر ابعاد اتاق نمایش می‌دهد.



شکل ۱۸: تغییرات زمان تخلیه عامل‌ها با تغییر ابعاد اتاق

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.29252/jgit.5.4.67]



شکل ۱۹: لحظاتی از روند تخلیه عامل‌ها با تغییر ابعاد اتاق

۴-نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی مسئله تخلیه افراد از یک اتاق مستطیلی با یک خروجی با استفاده از مدل‌سازی اتوماتای سلولی به همراه سیستم استنتاج فازی ممدانی اقدام گردید. در این راستا، به بررسی تأثیر پارامترهای مختلفی که در این تحقیق برای مدل‌سازی شرایط تخلیه مورد استفاده قرارگرفته پرداخته شد و نتایج با نتایج شبیه‌سازی تحقیقات مشابه - کرتز [۳۰] و گوییزدالا [۲۸] - مقایسه گردید. با نزدیک شدن افراد به مرکز اتاق زمان تخلیه افزایش و با نزدیک شدن آن‌ها به دیوارها به دلیل ایجاد نوعی صف و کاهش تناقضات، زمان تخلیه کاهش می‌یابد. بدین ترتیب بهتر است افراد از مرکز اتاق دوری جسته و بیشتر از اطراف حرکت کرده و به‌صورت صف حرکت کنند.

تأثیر تغییرات میزان اضطراب و تشویش افراد در هنگام انجام فرایند تخلیه نشان می‌دهد که با افزایش میزان شتاب‌زدگی از مقدار کم (مقدار ۰/۱ تا ۰/۲) به مقدار متوسط (مقدار ۰/۲ تا ۰/۶)، از زمان تخلیه کاسته شده است و همچنین با افزایش مقدار شتاب‌زدگی از متوسط به زیاد (۰/۶ تا ۰/۹)، از این زمان بازهم بیشتر کاسته شده است. در تحقیق حاضر فرض شد که تأثیر اصلی شتاب‌زدگی بر عامل‌ها در سرعت و میزان پیروی آن‌ها از یکدیگر ظاهر می‌شود و نمودار مربوط به این اثر نشان‌دهنده این است که دلیل اصلی کاهش زمان تخلیه در شتاب‌زدگی‌های بالا، سرعت بالاتر عامل‌ها می‌باشد و نه تأثیر پیروی کردن یا نکردن آن‌ها از یکدیگر. به‌صورت کلی در صورتی که شتاب‌زدگی افراد بیشتر شود، این اثر، عامل محرکی برای افزایش سرعت عامل‌ها و کاهش زمان تخلیه و کاهش تلفات خواهد شد. بعد از بررسی میزان تأثیر پارامتر شتاب‌زدگی به بررسی تأثیر تغییرات عرض خروجی پرداخته شد و نشان داده شد با افزایش عرض خروجی، فرایند تخلیه چگونه سریع‌تر انجام می‌شود و با دلایلی که ذکر شد

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]
[DOI: 10.29252/jgit.5.4.67]

نشان داده شدکه افزایش ظرفیت تخلیه ابتدا به‌صورت خطی خواهد بود و سپس از حالت خطی خارج می‌شوند. نتیجه‌ی کلی این است که افزایش عرض خروجی در کاهش زمان تخلیه تأثیر بسزایی دارد اما این تأثیر وابستگی زیادی به نحوه‌ی حرکت و رفتار عامل‌ها در موقع تخلیه دارد. به این صورت که اگر عامل‌ها پراکنده‌تر حرکت کرده و از تجمع در مرکز خودداری کنند تأثیر افزایش عرض خروجی بیشتر ظاهرشده و کاهش زمان تخلیه بیشتر اتفاق می‌افتد ولی در صورتی که عامل‌ها رفتار حرکت در مرکز و تجمع را پیش بگیرند افزایش عرض خروجی اثر مثبت کمتری را نشان خواهد داد.

بدین‌صورت بار دیگر اثر مثبت حرکت عامل‌ها به‌صورت بازتر و نزدیک‌تر به دیوارها تائید می‌شود. در انتها نیز به بررسی تأثیر تغییر ابعاد محیطی که تخلیه در آن انجام می‌شود پرداخته شد و نشان داده شد با تغییرات عرض و طول و تغییر محل خروجی از قسمت بلندتر اتاق به قسمت کوتاه‌تر آن، تا جایی که شکل اتاق مربعی می‌شود و کمی بعد از آن، به‌تدریج زمان تخلیه کاهش پیدا می‌کند ولی با افزایش بیشترِ طول و خارج شدن اتاق از حالت مربعی، دوباره زمان تخلیه افزایش می‌یابد. بدین ترتیب نشان داده شد که با شبیه بودن اتاق به شکل مربع شرایط برای تخلیه بهتر خواهد بود و همچنین در حالت کلی، زمانی که خروجی در قسمت بلندتر اتاق قرار داشته باشد شرایط برای تخلیه نسبت به زمانی که خروجی در قسمت کوتاه‌تر اتاق قرار دارد بهتر است. جنبه‌های عملیاتی این تحقیق را می‌توان از دو دیدگاه مد نظر قرار داد:

۱) برای اتاق‌هایی که قابلیت تغییر ابعاد و در واقع تغییر معماری در آن‌ها وجود ندارد: با وارد کردن طرح[1] اتاق مربوطه به این مدل، می‌توان نکات ایمنی را در مورد آن اتاق خاص یادآور شد. به‌عنوان مثال اگر افراد در مرکز اتاق تجمع نکرده و سعی کنند از تمام عرض اتاق جهت حرکت خود استفاده کنند سرعت تخلیه به مراتب افزایش خواهد یافت؛ در بخش بررسی تأثیر تغییرات عرض خروجی، نشان داده شده که افزایش عرض خروجی تأثیر بسزایی در بهبود روند تخلیه عامل‌ها دارد و در طراحی اتاق‌ها باید به این مسئله توجه زیادی نمود؛ اما در صورتی که حرکت عامل‌ها به صورت متمرکز در مرکز بوده و از تمام عرض اتاق استفاده نشود این افزایش عرض، از جایی به بعد خاصیت خود را از دست می‌دهد. درنتیجه در کنار افزایش عرض خروجی، می‌توان راهنماهایی در اتاق قرار داد تا فرایند تخلیه را کنترل کرده و مانع از تجمع پشت سر افراد شده تا از کل فضای خروجی استفاده شود. یا اینکه اگر این اتاق با بیش از n نفر پر شود در صورت نیاز به تخلیه‌ی فوری، فرایند تخلیه بسیار کند انجام خواهد شد در نتیجه توصیه می‌شود ظرفیت این اتاق حداکثر n نفر در نظر گرفته شود.

۲) برای اتاق‌هایی که قابلیت تغییر ابعاد و در واقع تغییر معماری در آن‌ها وجود دارد: در این شرایط، افزایش عرض خروجی تأثیر مستقیمی در افزایش سرعت روند تخلیه دارد. همچنین هرچقدر شکل اتاق به مربع نزدیک‌تر باشد (و حتی عرض اتاق کمی بیشتر از طول آن باشد) فرایند تخلیه سریع‌تر انجام خواهد شد، در نتیجه طراحان باید به این نکته توجه کنند که تا جای ممکن اتاق‌ها را به شکل مربع نزدیک‌تر سازند. و اگر اتاق مستطیل شکل بود، حداقل سعی کنند که خروجی را در ضلعی از اتاق که طولش بیشتر است قرار دهند. زیرا در این صورت سرعت تخلیه جمعیت از آن اتاق بیشتر خواهد بود.

استفاده از سیستم‌های استنتاج فازی با پارامترهای

[1] Plan

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.29252/jgit.5.4.67]

فاصله از خروجی، فاصله عامل‌ها از سایر عامل‌های پیرامون خود و تأثیر شتاب‌زدگی عامل‌ها در نحوه تصمیم‌گیری عامل (با افزایش شتاب‌زدگی، عامل بیشتر از دیگر عامل‌ها تقلید می‌کند و با کاهش شتاب‌زدگی، عامل بیشتر بر طبق منطق خود عمل می‌کند)، زاویه حرکت نسبت به خروجی، سرعت حرکت عامل‌ها و تأثیر شتاب‌زدگی بر روی این سرعت (افزایش سرعت حرکت با افزایش شتاب‌زدگی و بالعکس)، مواردی هستند که در تحقیق حاضر برای اولین بار و هرکدام در یک سیستم استنتاج فازی ممدانی به‌کار برده شده‌اند. این‌گونه مدل‌سازی پارامترها و ترکیب آن‌ها باعث نزدیکی نتایج حاصله به نتایج ناشی از نحوه تصمیم‌گیری در ذهن انسان شده است.

در مطالعات آینده پیشنهاد می‌شود که به بررسی چگونگی تغییر شرایط تخلیه، با قرارگیری موانع در سر راه و یا پیشروی آتش از سمتی از اتاق همراه با تغییر میزان شتاب‌زدگی و تشویش ذهنی عامل‌ها پرداخته 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] M. Batty, "Agent-based pedestrian modelling", Advanced spatial analysis: The CASA book of GIS, Vol 81, pp. 81-106, 2003.

[4] K. Teknomo, "Application of microscopic pedestrian simulation model", Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, Vol 9, pp. 15-27, 2006.

[5] P. M. Torrens, "High-fidelity behaviours for model people on model streetscapes", Annals of GIS, Vol 20, pp. 139-157, 2014.

[6] M. Muramatsu, T. Irie, and T. Nagatani, "Jamming transition in pedestrian counter flow", Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, Vol 267, pp. 487-498, 1999.

[7] K. Nagel and M. Schreckenberg, "A cellular automaton model for freeway traffic", Journal de physique I, Vol 2, pp. 2221-2229, 1992.

[8] M. Batty, J. DeSyllas, and E. Duxbury, "The discrete dynamics of small-scale spatial events: agent-based models of mobility in carnivals and street parades", International Journal of Geographical Information Science, Vol 17, pp. 673-697, 2003.

[9] M. Batty, J. Desyllas, and E. Duxbury, "Safety in numbers? Modelling crowds and designing control for the Notting Hill Carnival", Urban Studies, Vol 40, pp. 1573-1590, 2003.

[10] P. G. Gipps and B. Marksjö, "A micro-simulation model for pedestrian flows", Mathematics and computers in simulation, Vol 27, pp. 95-105, 1985.

[11] S. P. Hoogendoorn, P. H. Bovy, and W. Daamen, "Microscopic pedestrian wayfinding and dynamics modelling", Pedestrian and evacuation dynamics, Vol 123, pp. 154, 2002.

[12] S. P. Hoogendoorn and P. H. Bovy, "Pedestrian route-choice and activity scheduling theory and models", Transportation Research Part B: Methodological, Vol 38, pp. 169-190, 2004.

[13] K. Kitazawa and M. Batty, "Pedestrian behaviour modelling", An Application to Retail Movements using a Genetic Algorithm. Centre for Advanced Spatial Analysis, University College London, 2004.

[14] F. Camillen, S. Caprì, C. Garofalo, M. Ignaccolo, G. Inturri, A. Pluchino, A. Rapisarda, and S. Tudisco, "Multi agent

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.29252/jgit.5.4.67]

simulation of pedestrian behavior in closed spatial environments", presented at the Science and Technology for Humanity (TIC-STH), 2009 IEEE Toronto International Conference, 2009.

[15] R. Passini, "Wayfinding: A conceptual framework", Urban Ecology, 5, 17-31, 1981.

[16] R. Passini and G. Proulx, "Wayfinding without vision: An experiment with congenitally totally blind people", Environment and Behavior, Vol 20, pp. 227-252, 1988.

[17] S. Gwynne, E. R. Galea, M. Owen, P. J. Lawrence, and L. Filippidis, "A review of the methodologies used in the computer simulation of evacuation from the built environment", Building and environment, Vol 34, pp. 741-749, 1999.

[18] M. Haklay, D. O'Sullivan, M. Thurstain-Goodwin, and T. Schelhorn, "“So go downtown”: Simulating pedestrian movement in town centres", Environment and Planning B: Planning and Design, Vol 28, pp. 343-359, 2001.

[19] R. G. Golledge, "Place recognition and wayfinding: Making sense of space", Geoforum, Vol 23, pp. 199-214, 1992.

[20] 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.

[21] 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.

[22] M. Zhou, H. Dong, D. Wen, X. Yao, and X. Sun, "Modeling of Crowd Evacuation With Assailants via a Fuzzy Logic Approach",

[23] M. Dell’Orco, M. Marinelli, and M. Ottomanelli, in Computer-based Modelling and Optimization in Transportation, Eds., Springer, 2014, pp. 237-250.

[24] C.-Y. Chen, "A fuzzy-based approach for smart building evacuation modeling", presented at the Innovative Computing, Information and Control (ICICIC), 2009 Fourth International Conference on, 2009.

[25] R. Alizadeh, "A dynamic cellular automaton model for evacuation process with obstacles", Safety Science, Vol 49, pp. 315-323, 2011.

[26] 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.

[27] X. Xu, W. Song, and H. Zheng, "Discretization effect in a multi-grid egress model", Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, Vol 387, pp. 5567-5574, 2008.

[28] 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.

[29] W. Daamen and S. Hoogendoorn, "Capacity of doors during evacuation conditions", Procedia Engineering, Vol 3, pp. 53-66, 2010.

[30] T. Kretz, A. Grünebohm, and M. Schreckenberg, "Experimental study of pedestrian flow through a bottleneck", Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment, 2006, p10014, 2006.

[31] 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.

[32] E. H. Mamdani and S. Assilian, "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller", International journal of man-machine studies, Vol 7, pp. 1-13, 1975.

[33] L. A. Zadeh, "Fuzzy sets", Information and

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.29252/jgit.5.4.67]

control, Vol 8, pp. 338-353, 1965.

[34] J. Wąs, B. Gudowski, and P. J. Matuszyk, "Social distances model of pedestrian dynamics", presented at the International Conference on Cellular Automata, 2006.

[35] A. Seyfried, B. Steffen, W. Klingsch, and M. Boltes, "The fundamental diagram of pedestrian movement revisited", Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment, 2005, p10002, 2005.

[36] J. Fang, Z. Qin, H. Hu, Z. Xu, and H. Li, "The fundamental diagram of pedestrian model with slow reaction", Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, Vol 391, pp. 6112-6120, 2012.

[37] J. Zhang, W. Klingsch, A. Schadschneider, and A. Seyfried, "Ordering in bidirectional pedestrian flows and its influence on the fundamental diagram", Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment, 2012, p02002, 2012.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.29252/jgit.5.4.67]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.5, No.4, Winter 2018

An Agent-based Pedestrian Evacuation Modeling from a Rectangular Room Using Cellular Automata and Fuzzy Inference System

Seyed Mohmmad Homayooni [1], Parham Pahlavani*[2]

1- GIS MSc student, School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran
2- Assistant professor, School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran

Abstract

In this paper, a model has been proposed for simulating the evacuation process from a rectangular room with one exit by changing the rush and the agents' velocity, as well as changing the width of the exit and the dimensions of the room and the achieved results were compared to those of similar former researches. For a dynamic simulation in the study area, the study space was changed to be discrete and the cellular automata was used. To calculate the tendency of every agent for moving to its surrounding cells, several evacuation parameters were considered. The effective evacuation parameters of this study are the distance from exit, the distance of the agents from each other, the angle between the agent's chosen path and the straight path toward exit, and the agent's rush. Each of these parameters enters into a fuzzy inference system. The outputs of these systems are the tendency of the agent to move into that cell based on the considered parameter. Hence, there would be one tendency per parameter. Finally, for each cell, these values were combined based on their weights and accordingly, there would be one tendency for each surrounding cell of the agent. To obtain the results, at first, the weights of the distance from exit, as well as the angle between the agent's chosen path and the straight path toward exit were changed and the results were discussed. Then, the rush of the agents were changed and the results were shown. Moreover, in this paper, the results of changing the exit's width were discussed and compared with those reported by the similar practical research. Finally, by changing the dimensions of the room, our results were compared to those of the former similar research and consequently, the optimum conditions for the evacuation process have been proposed. In the situation that the agents were in medium rush and the agents were evacuating from a place of 4×9 m2, i.e., similar to the practical research done by Kretz, our results were 94.54% in line with the real evacuation data results.

Key words: Evacuation, Rectangular Room, Agent-based Model, Cellular Automaton, Fuzzy Inference System

Correspondence Address School of Surveying and Geospatial Engineering, College of Engineering, University of Tehran, Tehran, Iran.
Tel: 021-61114524
Email: pahlavani@ut.ac.ir@ut.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-13]

[DOI: 10.29252/jgit.5.4.67]