

ارزیابی مدل‌های تخلیه‌ی جمعیت ساختمان‌ها در شرایط اضطراری و مقایسه‌ی پدیده‌ی ازدحام در مدل‌های دینامیک سیالات و عامل محور

اسماعیل ضرغامی^{۱*}؛ مهدی ریسمانیان^۲؛

۱- دکترای معماری

۲- دانشجوی دکترای معماری

واژگان کلیدی	چکیده
مدل‌های تخلیه شرایط اضطراری تخلیه‌ی جمعیت رفتار جمعیت	برخی از مکان‌ها مانند فرودگاه‌ها، ایستگاه‌های قطار، استادیوم‌های ورزشی و غیره می‌توانند به تشکیل تجمع کمک نمایند. وجود چنین مکان‌هایی دولت‌ها، مدیران، محققان، طراحان و دیگر متخصصان را به شدت به توسعه‌ی فناوری‌هایی برای بهبود امنیت و راحتی آن مکان‌ها و نیز در جهت مدیریت کارآمد در شرایط بحرانی مانند زلزله، آتش سوزی، بمب‌گذاری و عملیات تروریستی علاقه‌مند می‌کند. یکی از این فناوری‌های نسبتاً جدید شبیه‌سازی‌های رایانه‌ای جمعیت است که بر مبنای مدل‌های مختلفی توسعه یافته‌اند. بررسی‌ها نشان می‌دهند که مدل‌های تخلیه را می‌توان به طور موثر برای مطالعه‌ی استراتژی‌های جابجایی و مسائل ایمنی مرتبط با ساختمان‌ها استفاده نمود. آشنایی با مدل‌های تخلیه باعث می‌شود مهندسان بتوانند مکان‌های بهتری طراحی نموده و همچنین بهترین راه برای هدایت مردم هنگام انتخاب مسیر تخلیه را پیدا کنند. مناسب بودن مدل‌های خروج از تخلیه ساختمان‌ها با انعطاف‌پذیری آنها در نمایش اجزای خروجی مختلف و فرآیندهای پیچیده رفتاری مورد مطالعه مرتبط است. در پژوهش بنیادی حاضر با استفاده از مطالعه‌ی اسنادی، شش رویکرد اساسی مدلسازی شامل مدل‌های رگرسیون، دینامیک سیالات، قانون محور، نیروی اجتماعی، سلول‌های خودکار و عامل محور شناسایی گردید و سپس این مدل‌ها بر اساس میزان تمرکز بر سطح رفتارهای فردی و اجتماعی افراد به سه مقیاس کل نگر، میان نگر و خردنگر تقسیم گردید سپس با شبیه‌سازی کامپیوتری، پدیده‌ی ازدحام در سه سطح مذکور و در سه سناریوی مختلف مورد مقایسه قرار گرفت و در نهایت با استفاده از روش تحلیل محتوا، مزایا و معایب این رویکردها مورد بحث و بررسی قرار گرفت. یافته‌های تحقیق حاکی از آن است که در برنامه‌ریزی و مطالعات تخلیه‌ی جمعیت انتخاب مدل مناسب با ویژگی‌های رفتاری مورد مطالعه از اهمیت فراوانی برخوردار است لذا بر اساس سطح رفتاری و اهداف مورد مطالعه، مدل تخلیه‌ی مناسب پیشنهاد گردیده است. استفاده از نتایج این پژوهش می‌تواند برای انتخاب مدل مناسب تخلیه‌ی جمعیت توسط پژوهشگران، مدیران و برنامه‌ریزان و طراحان معماری و شهرسازی مفید واقع گردد.

۱- پیش‌گفتار

زمانی یک موضوع مهم و اساسی می‌باشد. اگر افراد ساکن در ساختمان‌ها به هر دلیلی موفق به خروج از ساختمان در شرایط اضطراری نگردند ممکن است در اثر خطرات مختلف مانند بمب‌گذاری، آتش‌سوزی، وجود گازهای سمی و سایر خطرات دچار آسیب و صدمه شده یا حتی جان خود را از دست بدهند. همچنین رفتارهای برآمده از جمعیت در هنگام خروج که عموماً "ناشی از ترس و وحشت" (Sheeba & Jayaparvathy, 2019) می‌باشد مانند هل دادن، فشار دادن،

حوادث غیرمترقبه مانند آتش‌سوزی و دود، خرابی زیرساخت‌ها و تاسیسات، پتانسیل مواجهه با مواد خطرناک، ترور و خشونت و خطر بمب‌گذاری (Azizi & Bornafar, 2012) و غیره همواره زندگی انسان‌ها را مورد تهدید قرار داده و می‌دهد. بنابراین تخلیه‌ی انسان‌های ساکن در ساختمان‌ها از منطقه‌ی خطر با توجه به همه‌ی محدودیت‌های فیزیکی و

ارزیابی مدل های تخلیه ی جمعیت ساختمان ها در شرایط اضطراری و مقایسه ی پدیده ی ازدحام در مدل های دینامیک سیالات و عامل محور

با توجه به تنوع در مدل های مختلف تخلیه ی جمعیت تحقیقات مختلفی در خصوص تقسیم بندی این مدل ها صورت پذیرفته است. گین و همکاران (GwynneS, GaleaER, OwenM, LawrencePJ, 1999) بیست و دو مدل مختلف تخلیه را شناسایی و تقسیم بندی نمودند. النیک و کارپنتر (OlenickSM, 2003) چهار مدل مختلف خروج را در تحقیقات خود مشاهده نمودند. کولیکوسکی (KuligowskiED., 2004) بیست و هشت مدل مختلف تخلیه ی خروج را بر اساس سطوح مختلف ترکیبی رفتار ساکنان تقسیم بندی نموده است. سانتوس و آگویو (SantosG, 2004) نیز در مقاله ی خود چهار مدل مختلف شبیه سازی تخلیه جمعیت در شرایط اضطراری را تشخیص دادند. همه ی مطالعات انجام شده و تقسیم بندی های صورت گرفته بر اساس مشخصه های ذاتی این مدل ها می باشد و نه بر مبنای خصوصیات کاربردی آنها. از سوی دیگر کاربران این مدل ها بر اساس اهداف شبیه سازی، نوع مطالعه، میزان دقت لازم، ابعاد فضای شبیه سازی و پیچیدگی های رفتاری با سردرگمی در انتخاب مدل مناسب مواجه می باشند. لذا هدف اصلی پژوهش حاضر تقسیم بندی و یافتن ارتباط بین انواع مدل های موجود تخلیه ی جمعیت و نیازهای محقق یا مدل ساز بوده و این پژوهش در پی پاسخگویی به سوال های اصلی زیر می باشد:

الف - مدل های مختلف جمعیت چه میزان و چگونه بر پیش بینی زمان تخلیه جمعیت تاثیر می گذارند؟

ب - مدل های مختلف جمعیت دارای چه ویژگی های اصلی می باشند و هر کدام در تعامل با چه سطحی از ویژگی های رفتاری جمعیت مورد مطالعه هستند؟

ج - معیارهای انتخاب یک مدل مناسب تخلیه ی جمعیت با توجه به ویژگی های رفتاری موضوع مورد مطالعه چیست؟

به منظور دستیابی به پاسخ سوالات فوق، ابتدا در بخش مبانی نظری با مطالعات اسنادی و کتابخانه ای مدل های تخلیه ی جمعیت موجود از حیث مشخصات ذاتی آنها ارائه خواهد شد سپس در بخش سوم پژوهش جهت دستیابی به پاسخ سوال "الف"، پدیده ی ازدحام در دو مدل متفاوت شبیه سازی می گردد و در نهایت با استفاده از نتایج به دست آمده از شبیه سازی ها و نیز مطالعات گذشته با استفاده از روش تحلیل

لگدمال کردن و حتی برخی رفتارهای حمایتی نه تنها می تواند باعث آسیب های جانی به افراد گردد بلکه ممکن است باعث اختلال در روند تخلیه و بروز فاجعه های انسانی شود. تا کنون برخی از پدیده های رفتاری انسان ها و واکنش های آنها در شرایط اضطراری تخلیه نسبت به محیط و نسبت به سایر افراد گرفتار در حادثه مورد بررسی و مدلسازی قرار گرفته است (Zohreh Roshanfar, Haghani & Sarvi, 2019; Alhajj, 2019; Z. Shakhoseini, M. Sarvi, & M. Saberib, 2018) اما به دلیل فقدان در اطلاعات واقعی و محدودیت های تکنولوژیکی همه ی این مدل ها از نواقصی نیز برخوردار می باشند. نرم افزارهای شبیه سازی تخلیه در سال های اخیر مانند *Simulex Step*, *Viswalk*, *Pathfinder*, *MassMotion*, *Paramics*, *FDS*, *PedGo*, *Exodus* و غیره می توانند روند و مراحل مختلف حرکت و رفتار جمعیت را در ساختمان های گوناگون بررسی کرده و نتایج تخلیه را پیش بینی نمایند. لذا این نرم افزارها وسایل و ابزارهای مهمی برای تجزیه و تحلیل تخلیه ی جمعیت در ساختمان ها چه در هنگام طراحی ساختمان و چه در هنگام بهره برداری برای مدیریت ریسک محسوب می گردند (Zheng Xiaoping, Zhong Tingkuan, 2009) اگرچه با توجه به پیشرفت های قابل توجه و مطالعات فراوان در طی دو دهه ی گذشته، این مطالعات فاقد بسیاری از جنبه های کلیدی می باشند. (B. Yোগameena & C. Nagananthini, 2017)

نرم افزارهای شبیه سازی حرکت جمعیت همچنین می توانند برای آموزش و کنترل جمعیت در نیروهای نظامی و انتظامی (Sung, M., Gleicher, M. and Chenney, 2001) آماده سازی آموزش و تمرین تخلیه در شرایط اضطراری (De Silva, F. N. and Eglese, 2000; Farahmand, 1997; Mitchell, S. W. and Radwan, 2006; Musse, S. R. and Thalman, 2001; Pidd, M., de Silva, F. N. and Eglese, 1996)، آرامش و امنیت در فضاهای عمومی و طراحی فضاهای معماری با خطر ریسک بالا (Farenc, N., Musse, S., Schweiss, E., Kallmann, M., Aune, O., Boulic & Thalman, 2000; Musse, S. R., Jung, C. R., Jacques Jr., J. C. S. and Braun, 2007; Schreckenber, M. and Sharma, 2001) مورد استفاده قرار گیرند.

مدل‌های سطح خردنگر بر روی سطح فردی رفتار و حرکت تمرکز می‌کنند و به رفتار، اعمال و تصمیم‌گیری افراد درون جمعیت و تعاملات آنها با دیگران مربوط می‌شوند (Seyfried, A., Steffen, B., Klingsch, W. and Boltes, 2005). مدل‌های سطح میان‌نگر به برخی رفتارهای جزئی پرداخته و مدل‌های سطح کلی‌نگر بر تمامیت مدل سیستم تمرکز می‌کنند و رفتارهای قابل مشاهده مشترک که از جمع ظهور می‌کنند، نظیر رفتار کلی جمعیت، را مورد بررسی و مذاقه قرار می‌دهند.

۲-۱- سطح خردنگر

در سطح مدل‌های خردنگر می‌توان مدل‌های عامل محور را قرار داد. مدل‌های عامل محور که در آنها یک سیستم شامل مجموعه‌ای از عناصر مستقل، هوشمند و تصمیم ساز (Haghani & Sarvi, 2019b) می‌باشد، پیچیده‌ترین و واقع‌گرایانه‌ترین ابزار شبیه‌سازی جمعیت محسوب می‌شوند و به همین دلیل می‌توان این گونه مدل‌ها را برای شبیه‌سازی موقعیت‌هایی که شامل عوامل و عناصر پویا و ناهمگن هستند، مورد استفاده قرار داد (Cimellaro, Mahin, & Wong, K. H. L. and Luo, Domaneschi, 2019) (Bandini, S. and Manzoni, 2006).

در مدل‌های عامل محور که به اختصار به (Agent) ABM *Based Models* شهرت دارند نه تنها ویژگی‌های فردی افراد مانند جنسیت، سن، اندازه‌ی بدن و سرعت حرکت آنها قابل تنظیم می‌باشد بلکه افراد دارای عملکردهای ادراکی و شناختی بوده و قادر به هماهنگ نمودن رفتار خود با شرایط محیطی می‌باشند (Paris, S., Donikian, S. and Pelechano, N. Addler, J. M. and Bonvalet, 2006) (Durupinar, F., Allbeck, J., Badler, 2007) (Pelechano, N. and Badler, 2008). در این مدل‌ها عوامل هوشمند و مستقل بر اساس مجموعه‌های مختلف قوانین شبیه‌سازی قادر به درک و ارزیابی محیط خود، ایجاد اهداف جدید، تصمیم‌گیری مستقل و معقولانه و رفتارهای واقع‌گرایانه مانند اجتناب از موانع و انتخاب مستقیم‌ترین مسیر می‌باشند (Feng, L. and Liang, 2003; Treuille, A., Cooper, S. and Popovic, 2006). مدل‌های مبتنی بر عامل همچنین نشان می‌دهند هنگامی که چگالی جمعیت افزایش می‌یابد،

محتوا به بحث و بررسی جهت یافتن پاسخ سوال‌های دوم و سوم پرداخته خواهد شد.

۲ مبانی نظری؛ مدل‌های شبیه‌سازی حرکت و تخلیه‌ی جمعیت

در یک تقسیم‌بندی کلی می‌توان گفت نرم‌افزارهای شبیه‌سازی تخلیه‌ی جمعیت برای مطالعه‌ی موارد چهارگانه‌ی زیر بکار می‌روند:

الف - مطالعات حرکت: در این مطالعات جریان و زمان حرکت افراد بدون در نظر گرفتن رفتارهای آنها شبیه‌سازی می‌گردد. (Xiao et al., 2019)

ب - مطالعات بهینه‌سازی زمان تخلیه: در این مطالعات عموماً "تاثیر عوامل محیطی بر زمان تخلیه مورد بررسی قرار می‌گیرد و برخی مشخصه‌های فردی موثر مانند سن (Chen, Tang, Song, Huang, & Guo, 2019) و جنس نیز می‌توانند توسط کاربر تنظیم گردند.

ج - مطالعات رفتارهای جزئی: در این گونه مطالعات برخی عوامل موثر بر رفتار جمعیت مانند آتش‌سوزی و واکنش‌های حرکتی جمعیت در مقابل آن عوامل مورد بررسی قرار می‌گیرند.

د - مطالعات رفتاری پیچیده با قابلیت ارزیابی ریسک: در این گونه مطالعات افراد جمعیت به مثابه‌ی انسان هوشمند می‌توانند با تغییر شرایط تصمیم‌های جدید اتخاذ نمایند، آنها از محیط اطراف خود آگاهی نسبی داشته و می‌توانند با توجه به شرایط متفاوت رفتارهای گوناگون از خود بروز دهند.

پژوهش حاضر متفاوت از سایر تقسیم‌بندی‌ها در مطالعات قبلی بر اساس میزان تمرکز مدل‌ها بر سطح رفتارهای فردی و اجتماعی، آنها را به سه گروه کلی مدل‌های کل‌نگر، میان‌نگر و خردنگر تقسیم می‌نماید و سپس با تکیه بر شیوه‌های گوناگون بررسی شبیه‌سازی حرکت و رفتارهای انسانی، شش مدل کلی شامل مدل‌های رگرسیون و دینامیک سیالات در سطح کل‌نگر و مدل‌های نیروهای اجتماعی، قانون محور، سلول‌های خودکار در سطح میان‌نگر و مدل عامل محور را در سطح خردنگر شناسایی نموده است.

ارزیابی مدل های تخلیه ی جمعیت ساختمان ها در شرایط اضطراری و مقایسه ی پدیده ی ازدحام در مدل های دینامیک سیالات و عامل محور

تعاملات بین افراد نیز بیشتر شده و در نتیجه سرعت حرکت افراد کاهش می یابد. شکل شماره ی ۱ یک نمونه از شبیه سازی با مدل های عامل محور برای بررسی مشکل استراتژی های تخلیه در ساختمان های بلندمرتبه را نمایش می دهد (Yuanchun Ding , Lizhong Yang, Falu Wenga, Zhijian Fu, 2015)



شکل ۱. شبیه سازی یک ساختمان بلندمرتبه بر مبنای مدل عامل محور

بنایو (Bonabeau, 2002) معتقد است که مدل سازی عامل محور در شرایط زیر می تواند بسیار سودمند باشد:

- جمعیت های ناهمگن، یعنی زمانی که افراد درون جمعیت دارای ویژگی های فیزیکی و روانشناختی متفاوتی هستند.
- رفتارهای پیچیده ی انسان مانند یادگیری یا انطباق
- پیچیدگی غیر خطی تعاملات بین افراد، مانند هنگامی که رفتار یک فرد بر اعمال فرد یا افراد دیگر تاثیر می گذارد.

۲-۲- مدل های سطح میان نگر

در سطح میان نگر سه گونه ی مختلف از مدل ها شامل نیروهای اجتماعی، قانون محور و سلول های خودکار قابل مشاهده و تقسیم بندی می باشند که ذیلاً" به شرح خصوصیات و ویژگی های آنها خواهیم پرداخت.

۲-۲-۱- مدل نیروهای اجتماعی

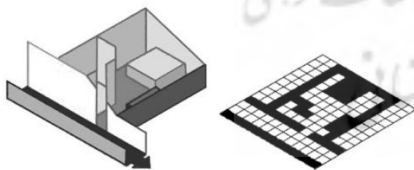
مدل نیروهای اجتماعی که معمولاً در شبیه سازی های وحشت استفاده می شود در ۱۹۹۵ توسط هلبینگ و همکارانش پیشنهاد گردید (Helbing, 1995). این مدل رفتار تجمع وحشت زده را با استفاده از چارچوب چندذره ای خودجوش توصیف می کند، که در آن هر ذره خودجوش دارای یک هدف است و برای رسیدن به آن هدف تلاش می نماید (Helbing, D. Farkas, I. and Vicsek, 2000). به عبارتی افراد پیاده به مثابه ی توده های فیزیکی با مشخصات ثابت، تمایل به حرکت در یک مسیر مشخص و با سرعت معین دارند و در همین حال سعی در حفظ فاصله ی خود با موانع و سایر افراد را دارند. در مدلی که هلبینگ ارائه نمود حرکت افراد توسط چهار مفهوم زیر مشخص می گردد: الف) فرد قصد دارد که به یک مقصد مشخص برسد. ب) فرد یک فاصله ی مشخصی را با سایر افراد حفظ می نماید. ج) فرد یک فاصله ی مشخصی را از اشیا و موانع حفظ می نماید. د) گاهی اوقات ممکن است فرد توسط سایر افراد جمعیت (مانند دوستان و آشنایان) یا اشیا جذب گردد. در این مدل مجموع نیروهای وارد بر فرد α در زمان t توسط فرمول $F_{\alpha}(t) = F_{\alpha 0} + \sum F_{\alpha \beta} + \sum F_{\alpha \gamma} + \sum F_{\alpha i}$ حاصل می گردد که در آن $F_{\alpha 0}$ نیرو و اراده موجود در فرد برای رسیدن به مقصد، $\sum F_{\alpha \beta}$ مجموع نیروهای وارده از طرف سایر افراد جمعیت، $\sum F_{\alpha \gamma}$ مجموع نیروهای وارده به فرد از طرف اشیا و موانع اطراف و $\sum F_{\alpha i}$ مجموع نیروهای جذب کننده از محیط در لحظه ی t می باشند.

همانطور که از فرمول ارائه شده توسط هلبینگ مشخص است حرکت هر عضو جمعیت مستنتج از نیروهای اجتماعی و شخصی و فیزیکی است که افراد را جذب یا دفع می کند. نیروهای اجتماعی تمایل افراد برای برخورد با افراد دیگر یا

ب- تطبیق، به معنی سازگاری و هماهنگی در جهت و سرعت حرکت فرد در رابطه با سایر افراد تجمع
 ج- همسازی، به معنی جمع کردن اعضای یک جمعیت منحصر بفرد
 د- اجتناب، به معنی جلوگیری از برخورد هر فرد با دیگران
 رینولدز در مطالعات بعدی خود (Reynolds, 1999) عناصر دیگری مانند جستجو کردن، تعقیب کردن و فرار کردن را به الگوریتم خود اضافه نموده است.

۳-۲-۲- مدل سلول‌های خودکار

مدل سلول‌های خودکار یا مدل‌های مبتنی بر ماتریس، محیط را بصورت گسسته تلقی نموده و فضا را به شبکه‌ای یکسان از سلول‌های گسسته تقسیم می‌کند (Weifeng, Y. and Kang Hai, 2007; Yamamoto, K., Kokubo, S. and Nishinari, 2007; Zhao, D. L., Yang, L. Z. and Li, 2006; Zhou, Zhou, & Cai, 2019) که در آن هر فرد یک سلول یا موقعیت خاص را در شبکه اشغال می‌کند و از یک سلول به سلول دیگر بر اساس مجموعه‌ای از قوانین حرکت می‌کند. به این ترتیب هر فرد تنها می‌تواند در صورتی که سلول همسایه‌ی آن خالی باشد به آن منتقل گردد. بدیهی است که این مدل در یک سری گام‌های گسسته‌ی زمانی رشد می‌کند و متغیرها در هر سلول به طور همزمان و بر اساس مجموعه‌ای از قوانین محلی به روز می‌شوند (شکل شماره ۲).



شکل ۲. فضای سه بعدی و شبکه‌ی سلولی متناظر با آن. دیوارها و موانع ثابت با رنگ مشکی و فضاهایی که می‌تواند توسط ساکنین اشغال گردد با رنگ سفید مشخص شده‌اند.

این مدل برای اولین بار توسط *Von Neumann* مطرح گردید و در حال حاضر برای مطالعه سیستم‌های بزرگ و متنوع مانند مدل‌های ترافیکی و برخی تحقیقات بیولوژیکی و

موانع و همچنین حرکت در یک جهت و سرعت خاص را منعکس می‌نماید. هلبینگ معتقد است که نیروهای فیزیکی وارده از اجتماع مانند هل دادن و فشار دادن، رفتارهای جمعیت را در تراکم بالا مانند شرایط تخلیه اضطراری تحت تاثیر قرار داده و افراد مجبور به برخورد با یکدیگر و با محیط اطراف می‌گردند (Helbing, D., Farkas, I. J., Molnár, P. and Vicsek, 2002). هنین و وایت بیان می‌دارند که اثرات نیرو باید یک عنصر اساسی در مدل‌های شبیه‌سازی رفتار جمعیت باشند، زیرا نیروها مانند فشار دادن و هل دادن می‌توانند با اثر دومینو تاثیر مستقیمی در نحوه حرکت کل اعضای جمعیت ایفا نمایند و در حالیکه مردم به طور کلی سعی دارند به سوی هدف خاصی حرکت کنند اما تاثیر این نیروها می‌تواند آنها را از مسیرهای مورد نظر خود دور کند یا باعث آسیب‌های جدی به آنها شود (Henein, C. M. and White, 2007) (Henein, C. M. and White, 2005). در این مدل فضای شبیه‌سازی بصورت پیوسته رفتار می‌کند و افراد قادر به حرکت مداوم در یک فضای دو بعدی می‌باشند. این مدل برای مطالعه پدیده‌های رفتاری خودمحور در تجمعات مانند پدیده‌ی گرفتگی، پدیده‌ی صف‌بندی تجمع، پدیده‌ی کمائی و غیره که در آنها نقش فرد کم رنگ می‌باشد، بسیار مفید واقع می‌گردد.

۳-۲-۲- مدل‌های قانون محور

مدل‌های مبتنی بر قانون عموماً "به شبیه‌سازی تجمعات انسانی با گله‌های حیوانات پرداخته و از قوانین حاکم بر گله‌های حیوانی برای پیش‌بینی رفتار تجمع استفاده می‌نمایند. یکی از مطرح‌ترین این مدل‌ها، مدل *Boids* است که رینولدز مطرح و پیشنهاد نموده‌است. در این مدل از خصوصیات رفتاری گله پرندگان مانند حفظ حداقل فاصله هر پرنده با پرنده‌های کناری در عین حداکثر سرعت به عنوان الگویی برای شبیه‌سازی حرکت جمعیت‌های انسانی استفاده شده است (Reynolds, 1987). مدل اولیه رینولدز از یک الگوریتم شامل چهار عنصر اصلی استفاده می‌نماید:

الف- جداسازی، یعنی حفظ حداقل فاصله بین افراد در محیط

ارزیابی مدل های تخلیه ی جمعیت ساختمان ها در شرایط اضطراری و مقایسه ی پدیده ی ازدحام در مدل های دینامیک سیالات و عامل محور

به بررسی تاثیر افراد پیاده بر ظرفیت چهارراهها و تقاطعها پرداختند. آنها همچنین بر اساس همین مدل به پیش بینی توزیع جریان عابر پیاده در شبکه های معابر جهت بهینه سازی مسیر تخلیه پرداختند (Milazzo, J. S., Roupail, N. M., Hummer, J. E. and Allen, 1998).

۲-۳-۲- مدل های دینامیک سیالات

مدل های دینامیک سیالات بر اساس این ایده است که حرکت جمعیت می تواند به جریان سیال (مایع یا گاز) تشبیه شود (Rose Challenger, 2009). با توجه به اینکه مسیرهای افراد درون یک گروه از نظر کیفی شبیه به جریان مایعی است که با مولکول هایی نسبتاً مستقل از یکدیگر در حرکت می باشد، می توان از قوانین دینامیک سیالات در شبیه سازی حرکت جمعیت استفاده نمود و حرکت مردم به مثابه ی حرکت مایع در طبیعت توصیف می گردد.

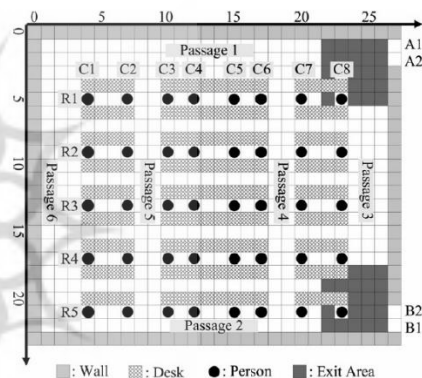
هیوز (Hughes, 2002, 2003) جریان جمعیت را به مایعی تشبیه می کند که علاوه بر خصوصیات مایع، اعضای آن توانایی تفکر منطقی و رفتارهای هدفمند را دارا می باشند. مدل های دینامیک سیالات تغییرات سرعت و تراکم را در طول زمان با استفاده از معادلات فیزیک جزئی نمایش می دهند. هیوز مدل دینامیک سیالاتی خود را بر مبنای سه فرضیه ی اساسی زیر در خصوص رفتارهای جمعیتی مطرح می نماید:

الف- سرعت افراد متحرک، توسط محیطی که در آن حرکت می کنند، چگالی افراد اطراف و ویژگی های رفتاری افراد تحت تاثیر قرار می گیرد.

ب- افراد دارای یک مفهوم مشترکی هستند که با آن برای رسیدن به یک مقصد مشترک تلاش می کنند و می توان آن را "پتانسیل" نامید. این موضوع باعث می گردد که هر دو نفر با پتانسیل یکسان اما در مکان های مختلف هیچ مزیتی برای تبادل مکان های خود نداشته باشند.

ج- افراد در حالیکه برای جلوگیری از تراکم جمعیت شدید تلاش می کنند، سعی در به حداقل رساندن زمان سفر خود به سمت یک هدف خاص را دارند.

همچنین برای حرکت جمعیت در هنگام تخلیه استفاده می شود. مدل سلول های خودکار اخیراً توسعه ی بیشتری برای مطالعه جمعیت پیدا کرده اند، به گونه ای که می توان آنها را در دو دسته اصلی تقسیم نمود. دسته اول به مطالعه ی تعاملات بین محیط و انسان (ZhaoDL, YangLZ, 2006) و دسته دوم به تعاملات بین افراد جمعیت می پردازند (KirchnerA, KlupfelH, NishinariK, SchadschneiderA, 2003). در تصویر شماره ۳ یک مدل سلول های خودکار برای شبیه سازی یک آزمایش تخلیه در کلاس درس همراه با موانع ثابت (میزها و دیوارها) جهت مطالعه ی تراکم در خروجی های کلاس توسط لیو شابو و همکاران استفاده گردیده است (Liu Shaobo, Yang Lizhong, Fang Tingyong, 2009).



شکل ۳. شبیه سازی یک کلاس درس مبتنی بر مدل سلول های خودکار

۲-۳-۳- مدل های سطح کلی نگر

در سطح کلی نگر دو گونه ی کلی از مدلها شامل رگرسیون و دینامیک سیالات مورد کاربرد قرار دارند که اختصاراً به شرح خصوصیات آنها پرداخته خواهد شد.

۱-۲-۳-۳- مدل های رگرسیون

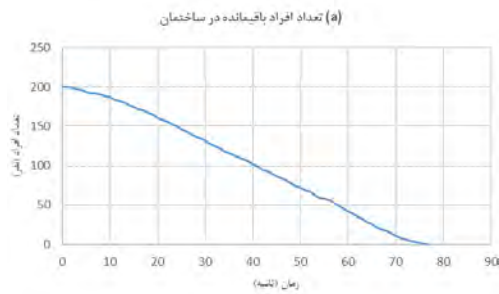
این مدلها می توانند جریان حرکت افراد پیاده را در شرایط خاص و وابسته به زیر ساخت های محیطی (به عنوان مثال پله ها) با استفاده از روابط آماری موجود بین متغیرهای جریان، پیش بینی نمایند. برای نمونه میلاز و همکارانش با این روش

۳- بررسی پدیده‌ی ازدحام در دو مدل عامل-محور و مدل دینامیکی سیالات

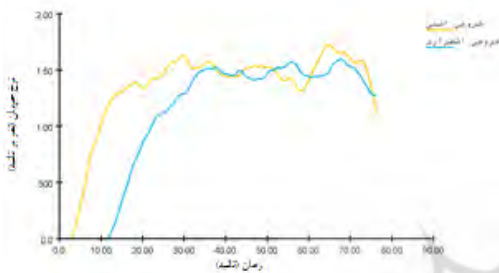
به منظور دستیابی به پاسخ سوال اول پژوهش یعنی چگونگی تاثیر انتخاب مدل تخلیه بر نتایج پیش بینی‌ها و ارتباط این موضوع با سطوح رفتاری مورد مطالعه در این پژوهش پدیده‌ی ازدحام در دو مدل عامل محور و مدل دینامیک سیالات مورد بررسی قرار خواهد گرفت. پدیده ازدحام در شرایط تخلیه هنگامی حادث می‌گردد که در یک خروجی یا بخشی از مسیر خروج گرفتگی اتفاق افتاده یا جریان تخلیه به کندی صورت گیرد در چنین شرایطی تراکم و نیز زمان تخلیه افزایش یافته و ممکن است باعث آسیب‌های جدی به افراد گردد. بررسی این پدیده از آن جهت اهمیت دارد که از یک سو به شدت با سطح رفتاری مورد مطالعه در تعامل می‌باشد و از سوی دیگر وجود و یا عدم وجود ازدحام و نیز میزان ازدحام نتایج تخلیه را به شدت تحت تاثیر قرار می‌دهد.

جهت مقایسه پدیده ازدحام در دو مدل عامل محور و مدل دینامیکی سیالات، فضایی مربع شکل به ابعاد بیست متر در بیست متر با یک خروجی اصلی در قسمت شرقی بنا و یک خروجی اضطراری در قسمت جنوب غربی بنا که توسط یک راهرو به فضای آزاد خارج از ساختمان منتهی می‌گردد در نظر گرفته شد و در این فضا تعداد دویست نفر به صورت تصادفی قرار گرفتند که در هنگام بروز حادثه و تخلیه با سرعت ۱/۱۹ متر بر ثانیه حرکت می‌کنند. در سناریوی شماره یک مطابق با مدل‌های دینامیکی سیالات افراد به مثابه ذرات یک سیال و به دلیل اختلاف فشار درون و بیرون از درهای اصلی و اضطراری خارج می‌گردند که مطابق شکل ۴ الف مدت ۷۶/۵ ثانیه زمان تخلیه‌ی کامل ساختمان می‌باشد. نرخ جریان در خروجی‌های اصلی و اضطراری در شکل ۴ ب مشخص گردیده است که علت تاخیر در لحظات اولیه‌ی تخلیه در خروجی اضطراری به دلیل طی نمودن راهروی جانبی خروج می‌باشد. بررسی وضعیت ازدحام در خروجی‌ها نشان داد که از ثانیه‌ی پنجم الی ثانیه‌ی ۶۶ تخلیه مناطقی با تراکم جمعیتی بالاتر از ۲/۵ نفر در متر مربع پدیدار می‌گردد. شکل ۴ ج وضعیت تراکم در ثانیه‌ی ۷۰ از شروع تخلیه را نشان می‌دهد.

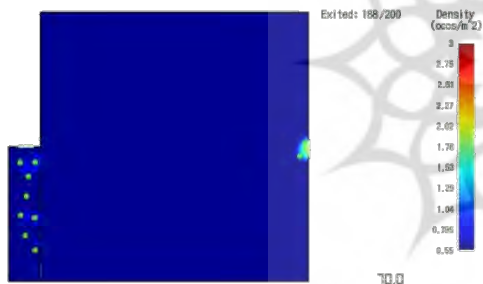
(الف)



(ب)



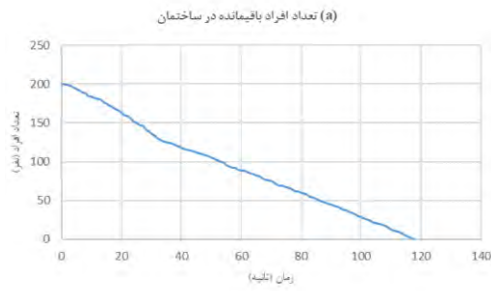
(ج)



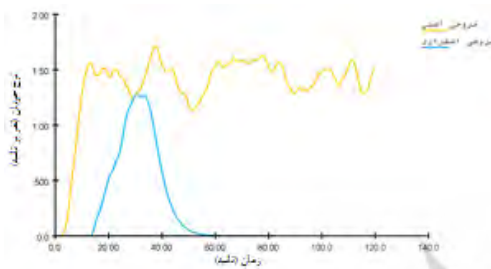
شکل ۴. نتایج سناریوی اول، الف) تعداد افراد باقیمانده در ساختمان. ب) نرخ جریان در خروجی‌ها. ج) وضعیت ازدحام در ثانیه‌ی ۷۰ از شروع تخلیه

در سناریوی شماره‌ی دو که منطبق با مدل‌های عامل محور طراحی گردیده است فضایی با مشخصات مدل قبلی و همان تعداد افراد ساکن در فضا در نظر گرفته شده است با این تفاوت که افراد با مسیر خروجی اضطراری آشنایی نداشته و همه‌ی این افراد صرفاً از خروجی اصلی خارج می‌شوند. نتایج حاصل نشان می‌دهد که زمان تخلیه‌ی کامل ۱۳۸/۳ ثانیه می‌باشد (شکل ۵ الف). مطابق شکل ۵ ب نرخ جریان در خروجی اصلی تفاوت معنی‌داری با سناریوی شماره‌ی یک نداشته اما بنا بر

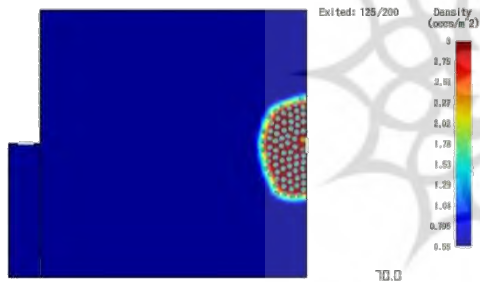
ارزیابی مدل های تخلیه ی جمعیت ساختمان ها در شرایط اضطراری و مقایسه ی پدیده ی ازدحام در مدل های دینامیک سیالات و عامل محور



(ب)



(ج)

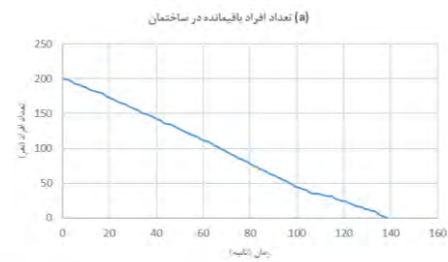


شکل ۶. نتایج سناریوی سوم، الف) تعداد افراد باقیمانده در ساختمان، ب) نرخ جریان در خروجی ها، ج) وضعیت ازدحام در ثانیه ۷۰ از شروع تخلیه

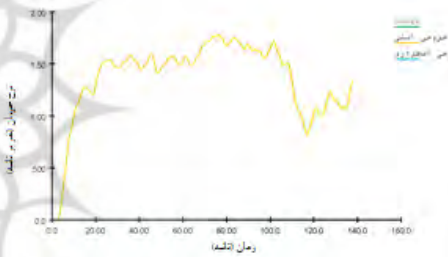
در سناریوی شماره ۳ که باز هم مطابق با الگوی مدل های عامل محور طراحی گردیده است هشتاد درصد از افراد ساکن در فضا پس از وقوع حادثه و شروع عملیات تخلیه و به علت عدم آشنایی با خروجی اضطراری و یا خصوصیت اخلاقی تمایل به استفاده از مسیرهای آشنا، صرفاً از خروجی اصلی خارج می کنند و بیست درصد باقی مانده بر اساس موقعیت قرارگیری خود در فضا تصمیم می گیرند که از کدام خروجی استفاده نمایند. بدیهی است که طراحی چنین نقشه ی رفتاری جمعیت در مدل های کلی نگر امکان پذیر نمی باشد. در این

فرضیات سناریو نرخ جریان در خروجی اضطراری صفر می باشد. بررسی نقشه های تراکمی نشان می دهد که از ثانیه ۴ تا ثانیه ۱۳۴ در خروجی اصلی ازدحام زیاد با تراکم بالای ۲/۵ نفر در هر مترمربع پدید می آید. تصویر شماره ۵ ج تراکم در ثانیه هفتاد از شروع زمان تخلیه را نشان می دهد که از نظر وسعت و محدوده ی ازدحام باید با شکل ۴ ج مقایسه نمود.

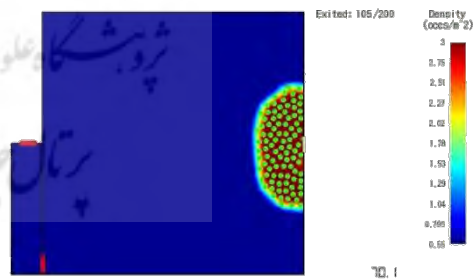
(الف)



(ب)



(ج)



شکل ۵. نتایج سناریوی دوم، الف) تعداد افراد باقیمانده در ساختمان، ب) نرخ جریان در خروجی ها، ج) وضعیت ازدحام در ثانیه ۷۰ از شروع تخلیه

(الف)

جدول ۱. زمان تخلیه‌ی کامل در سناریوهای مختلف

سناریوی شماره ۳	سناریوی شماره ۲	سناریوی شماره ۱	
عامل محور	عامل محور	دینامیک سیالات	مدل
خردنگر	خردنگر	کلی‌نگر	سطح رفتاری
۱۲۰	۱۳۸,۳	۷۶,۵	زمان تخلیه (ثانیه)

بدیهی است که همه مدل‌های موجود جهت شبیه‌سازی حرکت جمعیت دارای مزایا و محدودیت‌هایی می‌باشند و شناسایی آن‌ها به همراه آگاهی از عوامل موثر بر دینامیک جمعیت می‌تواند به انتخاب مناسب مدل توسط کاربران (طراحان، مدیران، محققان و...) کمک شایانی نماید.

فیلیچانو و مالکاوی (Pelechano, N. and Malkawi, 2008) ضمن مطالعات فراوان خود، مدل‌های قانون محور را که عموماً "حرکت جمعیت‌های انسانی را در قیاس با حرکت گله‌های حیوانی قرار می‌دهند، به علت فقدان واقع‌گرایی کافی مورد انتقاد قرار دادند. آنها بیان نمودند که در این مدل‌ها با مشخص نمودن حرکت افراد براساس سرعت، جهت و نزدیکی افراد دیگر، سایر عوامل مهم دیگری که ممکن است بر روی رفتارهای جمعیت تاثیر گذارند نادیده گرفته شده‌اند.

در خصوص مدل‌های نیروی اجتماعی پر واضح است که اثرات نیرو در مدل‌سازی رفتارهای جمعیت بسیار مهم هستند. اگرچه مردم به طور کلی سعی دارند به سوی اهداف حرکت کنند، اثرات نیروهای وارده از طرف جمعیت می‌تواند آنها را از مسیرهای مورد نظر خود دور کند و مدل‌های دقیق باید این را انعکاس دهند. همچنین حضور اعضای آسیب دیده‌ی جمعیت توسط نیروی بیش از حد، می‌تواند بر توانایی دیگران برای حرکت آزادانه تاثیر بگذارد. در یک وضعیت تخلیه، افزایش سرعت حرکت مورد نظر منجر به افزایش نیروها می‌شود و این نیروها باعث بوجود آمدن تاخیر بیشتری برای کسانی که سعی دارند از آن خارج شوند می‌گردد. بنابراین

سناریو زمان تخلیه‌ی کامل ۱۲۰ ثانیه می‌باشد (شکل ۶ الف). شکل ۶ ب نشان می‌دهد که خروجی اضطراری تا ثانیه ۶۰ از شروع عملیات تخلیه دارای نرخ جریان عبوری می‌باشد و پس از آن نرخ جریان صفر می‌گردد. بررسی نقشه‌های تراکمی نیز حاکی از وجود تراکم بالای ۲/۵ نفر در هر متر مربع از ثانیه ۴ الی ثانیه ۱۱۳ در خروجی اصلی می‌باشد و این در حالیست که در کل زمان تخلیه، تراکم در خروجی اضطراری همواره کمتر از ۱/۵ نفر در هر مترمربع می‌باشد. شکل ۶ الف نیز ازدحام در ثانیه‌ی هفتاد از این سناریو را نمایش می‌دهد.

۴ - بحث و بررسی:

طبق نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی‌ها در سناریوهای سه-گانه‌ی طراحی شده، زمان تخلیه‌ی کامل جمعیت در سناریوی شماره ۱ یک که بر پایه‌ی مدل دینامیک سیالات می‌باشد ۷۶/۵ ثانیه است و ازدحام در جلوی خروجی‌ها نسبت به دو سناریوی دیگر بسیار کمتر می‌باشد. این در حالی است که در سناریوهای دوم که بر اساس مدل عامل محور می‌باشد زمان تخلیه‌ی کامل جمعیت ۱۳۸/۳ ثانیه است و در سناریوی سوم که باز هم بر مبنای مدل عامل محور و وجود عوامل ناهمگن در جمعیت طراحی گردیده است (آشنایی و عدم آشنایی با مسیر خروج اضطراری) این زمان ۱۲۰ ثانیه است. از مقایسه‌ی پدیده‌ی ازدحام و زمان تخلیه در دو مدل عامل محور و مدل دینامیک سیالات می‌توان نتیجه گرفت (جدول ۱) که مدل دینامیک سیالات که در سطح مدل‌های کلی نگر قرار دارد قادر به تشخیص خصوصیات فردی افراد جمعیت و پیچیدگی و تنوع در تصمیم‌گیری آنها در شرایط اضطراری و لحاظ کردن برخی پارامترهای اساسی مطالعه‌ی جمعیت مانند آشنایی با عدم آشنایی با راه‌های خروج نمی‌باشد این در حالی است که مدل‌های سطح خردنگر از همه‌ی این توانایی‌ها برخوردار می‌باشند. لذا می‌توان به این نتیجه‌ی کلی رسید که انتخاب مدل تخلیه‌ی جمعیت بر نتایج شبیه‌سازی تاثیرگذار بوده و لازم است که مدل مناسب تخلیه بر اساس اهداف مطالعه صورت پذیرد.

ارزیابی مدل های تخلیه ی جمعیت ساختمان ها در شرایط اضطراری و مقایسه ی پدیده ی ازدحام در مدل های دینامیک سیالات و عامل محور

حرکات جمعیت، استفاده دقیق از فضا، تراکم و سرعت به عنوان تابع زمان، ارزیابی های واقع گرایانه ای از اندازه و شکل صف در نقاط بارگیری، شبیه سازی ادغام جریان های جمعیتی در طول سناریوهای تخلیه، ضبط پدیده ها یا حوادث و اقداماتی که از تعاملات عوامل فردی ناشی می شود، از قبیل گرفتگی جمعیت، زمانی که اعضای گروه سعی می کنند در جهت مخالف حرکت کنند، انعطاف پذیر بودن یعنی تغییر قوانین اساسی برای آمیزش شرایط مختلف، مانند تغییر رفتار عاملها برای بررسی سناریوهای مختلف تخلیه و نیز ارائه یک توصیف طبیعی از سیستم، یعنی یک نمایش واقعی تر از محیط باشند.

در خصوص مدل های کلی نگر شامل مدل های رگرسیون و مدل های دینامیکی سیالات هم می توان بیان نمود که اگرچه این مدل ها از سرعت نسبتاً خوبی در طراحی مدل و نیز در تجزیه و تحلیل آن برخوردار هستند اما هیچ ویژگی فردی مانند توانایی های جسمی، جهت حرکت و موقعیت فردی را نمی توانند مورد توجه قرار دهند. پان و همکاران معتقدند که تشابه سیال با جمعیت های انسانی یک تشابه ضعیف بوده و مردم طبق قوانین فیزیک رفتار نمی کنند. این مدل ها همچنین نمی توانند برای رفتارهای جمعیت مشاهده شده مانند ازدحام، جریان چند جهته و توزیع تراکم نامناسب محاسبات و پیش بینی لازم را انجام دهند. به عنوان مثال، مدل های دینامیکی سیالات می توانند استفاده همزمان از خروجی ها را در حین تخلیه اضطراری پیش بینی کنند (Pan, X., Han, C. S. and Law, 2005). اما در حقیقت پدیده های مانند ازدحام، در این مدلها قابل شناسایی و بررسی نمی باشند.

در یک نگاه کلی و با توجه به مطالب پیشین می توان قابلیت های رفتاری مورد مطالعه توسط شش مدل تخلیه ی مذکور را مطابق با جدول ۲ تقسیم بندی و ارائه گردیده است. همانطور که در این جدول مشاهده می گردد مدل های دینامیک سیالات و رگرسیون توانایی بررسی پارامترهای کمتری را داشته و مدل عامل محور قادر به بررسی سطوح گسترده تری از رفتار عوامل حادثه دیده نسبت به سایر مدل ها می باشد هر چند که استفاده از این قابلیت ها با صرف زمان و هزینه های بیشتر همراه است.

مدلهایی که نیروهای فشار را نشان نمی دهند، به طور مستقیم نمی توانند تمامی این تاخیرهای اضافی را محاسبه کنند.

اما با وجود مزایای مدل های نیروی اجتماعی، این مدل ها به دلیل عدم موفقیت در تسلط کامل به محدوده و ظرافت های رفتاری فردی مورد انتقاد قرار گرفته اند. لاکوبا و همکارانش معتقدند که در مدل های نیروی اجتماعی، به این علت که حرکت افراد توسط نیروها مشخص می گردد تاثیر حیاتی و مهم تصمیم گیری های فردی نادیده گرفته شده است (Lakoba, T. I., Kaup, D. J. and Finkelstein, 2005). لرنر معتقد است که برخی رفتارهای ساده مانند راه رفتن دو نفری، توقف صحبت کردن با دیگران، تغییر مسیر یک نفر و جایجایی در جهت گوناگون و یا بی هدف و سرگردان بودن، چند نمونه بارز از ضعف های شبیه سازی در مدل نیروهای اجتماعی می باشند (Lerner, A., Chrysanthou, Y. and Lischinski, 2007).

مهمترین مزیت مدل های سلول های خودکار را می توان مناسب بودن برای شبیه سازی فضاهای بزرگ مقیاس نامید که این موضوع به علت تکنیک منحصر به فرد این مدل ها در مدول کردن فضا و تقسیم آن به سلول هایی با ابعاد یکسان می باشد اما این مدل ها نیز به نوبه خود از محدودیت هایی برخوردار می باشند، برای مثال استیل (Still, 2000) و پلاچانو (Pelechano, N. and Malkawi, 2008) مدل های سلول های خودکار را به دلیل عدم واقع گرایی از جمله محدود کردن رفتار انسان ها به حرکت مبتنی بر شبکه، برای اشغال سلول های گسسته در شبکه مورد انتقاد قرار داده اند. علاوه بر این حرکت افراد در یک محیط استاتیک و تنها وابسته به دسترسی به فضا، حرکت واقعی در یک محیط پویا و توانایی افراد را برای تصمیم گیری مستقل، از بین می برد.

مدل های عامل محور اگر چه در طراحی سناریو و طراحی موقعیت و ویژگی های فردی صرف زمان زیادی را می طلبد اما می توان این مدل را واقع گرایانه ترین مدل موجود برای شبیه سازی تخلیه جمعیت تلقی نمود. دلایل این برتری می تواند پیش بینی دقیق جریان جمعیت و زمان سفر در مسیرهای باریک، شبیه سازی جریان های متقاطع و ضد جریان در

جدول ۲. قابلیت‌های رفتاری مورد مطالعه توسط مدل‌های تخلیه

مشخصات فیزیکی (جنس، سن و ...)	بررسی تعامل انسان با انسان	بررسی تعامل محیط و انسان	شبیه سازی وحشت	مطالعه‌ی رفتارهای پیچیده	مطالعه‌ی عوامل هوشمند	بررسی عوامل ناهمگن	
--	--	✓	--	--	--	--	مدل رگرسیون
--	--	✓	--	--	--	--	مدل دینامیک سیالات
--	✓	✓	✓	--	--	--	مدل نیروهای اجتماعی
--	✓	✓	✓	--	--	--	مدل قانون محور
--	✓	✓	✓	--	--	--	مدل سلول‌های خودکار
✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	مدل عامل محور

مطابق با نمودار مذکور کاربران، طراحان، محققان و برنامه-ریزان حوزه‌ی تخلیه جمعیت می‌توانند بر اساس سطح رفتاری مورد مطالعه و اهداف رفتاری آن به انتخاب مدل تخلیه‌ی مناسب اقدام نمایند.

با در نظر گرفتن نتایج جدول ۲ و نیز با توجه به اینکه هر یک از مدل‌های مشروح قادر به بررسی سطح خاصی از رفتارهای افراد می‌باشند و همچنین بر اساس اهداف مورد مطالعه‌ی کاربران این مدل‌ها، نمودار ۱ برای انتخاب مدل مناسب شبیه سازی تخلیه‌ی جمعیت در شرایط اضطراری ارائه و پیشنهاد شده است.

نمودار ۱. سطوح رفتاری و اهداف مورد مطالعه‌ی مدل‌های تخلیه جمعیت



ارزیابی مدل های تخلیه ی جمعیت ساختمان ها در شرایط اضطراری و مقایسه ی پدیده ی ازدحام در مدل های دینامیک سیالات و عامل محور

۵ - جمع بندی و نتیجه گیری:

و مدل عامل محور در سطح خردنگر قرار گرفتند و سپس مزایا و معایب هر کدام از این مدلها مورد بحث و بررسی قرار گرفت. از طرفی اهداف استفاده از این مدل های شبیه سازی در چهار بخش کلی تقسیم بندی گردید که می توان با توجه به سطح امکانات و تسهیلات این مدل ها جهت مطالعه ی حرکت افراد فارغ از جنبه ها و ویژگی های رفتاری آنها از مدل های دینامیک سیالات یا مدل رگرسیون، جهت مطالعات بهینه سازی زمان تخلیه و مطالعات رفتارهای جزئی از مدل های قانون محور یا مدل سلول های خودکار و یا مدل نیروهای اجتماعی که در سطح میان نگر قرار دارند استفاد نمود و جهت مطالعات رفتاری با قابلیت ارزیابی ریسک که تنوع، جزئیات و پیچیدگی های رفتاری تجمع از اهمیت خاصی برخوردار است از مدل های عامل محور که در سطح خردنگر قرار دارند استفاده می گردد. نتایج این مطالعه می تواند مورد استفاده ی محققان، مدیران و برنامه ریزان معماری و شهرسازی و ارگان های مرتبط با حوادث غیرمترقبه و پدافند غیرعامل به منظور انتخاب مدل مناسب شبیه سازی جمعیت با توجه به اهداف مورد مطالعه و سطح ویژگی های رفتاری آنها، قرار گیرد.

در این پژوهش مساله شبیه سازی جمعیت های انسانی و مدل هایی که در نرم افزارهای موجود مورد استفاده قرار می گیرد مورد بحث و بررسی قرار گرفت. از آنجا که تنوع در مدل های و نرم افزارهای موجود تخلیه ی جمعیت باعث سردرگمی در انتخاب مدل مناسب کاربران این مدلها می - گردید لذا در این پژوهش سعی گردید که دسته بندی متناسب با نیازها و اهداف کاربران آنها صورت پذیرد. بدین منظور ابتدا تاثیر انتخاب دو مدل مختلف (مدل دینامیک سیالات و مدل عامل محور) بر نتایج تخلیه، بوسیله ی شبیه سازی کامپیوتری مورد بررسی قرار گرفت. زمان تخلیه ی نهایی و کانتور تراکم در زمانهای مختلف بررسی گردید که نتایج به دست آمده حاکی از تفاوت فاحش در زمان کلی تخلیه و ایجاد پدیده ی ازدحام در جلوی خروجی یا خروجی ها می باشد و این خود مبین اهمیت شناخت و درک درست از اهداف مطالعاتی جهت یافتن مدل و نرم افزارهای متناسب با آن می باشد. بر اساس مطالعات اسنادی و با استفاده از روش تحلیل محتوا برای اولین بار مدل های تخلیه ی جمعیت براساس میزان تمرکز بر روی رفتارهای فردی و اجتماعی در سه سطح کلی نگر، میان نگر و خردنگر تقسیم بندی گردیدند که مدل های دینامیک سیالات و مدل رگرسیون در سطح کلی نگر، مدل های قانون محور، مدل سلولهای خودکار و مدل نیروهای اجتماعی در سطح میان نگر

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

- Azizi, M., & Bornafar, M. (2012). Assessing Urban Vulnerability Due to Air Attacks: District 1 of Region 11 of Tehran Municipality. *Passive Defence Sci. & Tech.*, 127–137.
- B.Yogameena, & C.Nagananthini. (2017). Computer vision based crowd disaster avoidance system: A survey. *Elsevier International Journal of Disaster Risk Reduction*, 22, 95–129.
- Bandini, S. and Manzoni, S. (2006). Towards affective situated cellular agents. *Cellular Automata, Proceedings*, 686–689.
- Bonabeau, E. (2002). Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 7280–2787.
- Chen, L., Tang, T.-Q., Song, Z., Huang, H.-J., & Guo, R.-Y. (2019). Child behavior during evacuation under non-emergency situations: Experimental and simulation results. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 90, 31–44. <http://doi.org/10.1016/J.SIMPAT.2018.10.007>
- Cimellaro, G. P., Mahin, S., & Domaneshh, . . (-019). Ingggnng a Human Bhhavocr oo dll wthhin nn gg nn Bdddd Approach for Blasting Evacuation. *Computer idled Civil and Infrastructure Engineering*, 34(1), 3–20.
- De Silva, F. N. and Eglese, R. W. (2000). Integrating simulation modeling and GIS: Spatial decision support systems for evacuation planning. *Journal of the Operational Support Society*, 423–430.
- Durupinar, F., Allbeck, J., Pelechano, N. and Badler, N. (2008). Creating crowd variation with the OCEAN personality model. *Proceedings of the 7th International Conference on Autonomous Agents and Multiagent Systems*, 1217–1220.
- Farahmand, K. (1997). Application of simulation modeling to emergency population evacuation. *Proceedings of the 1997 Winter Simulation Conference*.
- Farenc, N., Musse, S., Schweiss, E., Kallmann, M., Aune, O., Boulic, R. and, & Thalmann, D. (2000). A paradigm for controlling virtual humans in urban environment simulations. *Applied Artificial Intelligence*, 69–91.
- Feng, L. and Liang, R. (2003). Intelligent crowd simulation. *Computational Science and Its Applications*, 462–471.
- GwynneS, GaleaER, OwenM, LawrencePJ, F. (1999). A review of the methodologies used in the computer simulation of evacuation from the built environment. *Building and Environment*.
- Haghani, M., & Sarvi, M. (2019a). Imitative (herd) behaviour in direction decision-making hinders efficiency of crowd evacuation processes. *Safety Science*, 114, 49. 60. <http://doi.org/10.1016/J.SSCI.2018.12.026>
- Haghani, M., & Sarvi, M. (2019b). Simulating dynamics of adaptive exit-choice changing in crowd evacuations: Model implementation and behavioural interpretations. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 103, 56–82. <http://doi.org/10.1016/J.TRC.2019.04.009>
- Helbing, D. Farkas, I. and Vicsek, T. (2000). Simulating dynamic features of escape panic. *Nature*, 487–490.
- Helbing, D., Farkas, I. J., Molnár, P. and Vicsek, T. (2002). Simulation of pedestrian crowds in normal and evacuation situations. . In M. Schreckenberg and S. Deo Sarma (Eds.), *Pedestrian and Evacuation Dynamics*, 21–58.
- HelbingD, M. (1995). Social force model for pedestrian dynamics. *Physical ReviewE*.

- Henein, C. M. and White, T. (2005). Agent-based modelling of forces in crowds. *Multi-Agent and Multi-Agent-Based Simulation*, 173–184.
- Henein, C. M. and White, T. (2007). Macroscopic effects of microscopic forces between agents in crowd models. *Physica*, 694–712.
- Hughes, R. L. (2002). A continuum theory for the flow of pedestrians. *Methodological*.
- Hughes, R. L. (2003). The flow of human crowds. *Annual Review of Fluid Mechanics*.
- Kirchner A, Klupfel H, Nishinari K, Schadschneider A, S. (2003). Simulation of competitive egress behavior: comparison with aircraft evacuation data. *Physica A*.
- Kuligowski ED. (2004). Review of 28 egress models. In: Peacock RD, Kuligowski ED, Editors. In: *Proceedings of the workshop on building occupant movement during Fire emergencies*.
- Lakoba, T. I., Kaup, D. J. and Finkelstein, N. M. (2005). Modifications of the Helbing-Molnar-Farkas-Vicsek social force model for pedestrian evolution. *Simulation*.
- Lerner, A., Chrysanthou, Y. and Lischinski, D. (2007). Crowds by example. *Eurographics*.
- Liu Shaobo, Yang Lizhong, Fang Tingyong, L. J. (2009). Evacuation from a classroom considering the occupant density around exits. *Physica A*.
- Milazzo, J. S., Roupail, N. M., Hummer, J. E. and Allen, D. P. (1998). The effect of pedestrians on the capacity of signalized intersections. *Journal of the Transportation Research Board*.
- Mitchell, S. W. and Radwan, E. (2006). Heuristic priority ranking of emergency evacuation staging to reduce clearance time. *Journal of the Transportation Research Board*, 219–228.
- Musse, S. R. and Thalmann, D. (2001). Hierarchical model for real time simulation of virtual human crowds. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 152–164.
- Musse, S. R., Jung, C. R., Jacques Jr., J. C. S. and Braun, A. (2007). Using computer vision to simulate the motion of virtual agents. *Computer Animation and Virtual Worlds*, 83–93.
- Olenick SM, C. (2003). An updated international survey of computer models for fire and smoke. *Journal of Fire Protection Engineering*.
- Pan, X., Han, C. S. and Law, K. H. (2005). A multi-agent based simulation framework for the study of human and social behavior in egress analysis. *Proceedings of the ASCE International Conference on Computing in Civil Engineering*.
- Paris, S., Donikian, S. and Bonvalet, N. (2006). Environmental abstraction and path planning techniques for realistic crowd simulation. *Computer Animation and Virtual Worlds*.
- Pelechano, N. Addler, J. M. and Badler, N. I. (2007). Controlling individual agents in high-density crowd simulation. *Proceedings of the 2007 ACM SIGGRAPH/ Eurographics Symposium on Computer Animation*, 99–108.
- Pelechano, N. and Malkawi, A. (2008). Evacuation simulation models: Challenges in modeling high rise building evacuation with cellular automata approaches. *Automation in Construction*, 377–385.
- Pidd, M., de Silva, F. N. and Eglese, R. W. (1996). A simulation model for emergency evacuation. *European Journal of Operational Research*.

- Reynolds, C. (1987). Flocks, herds, and schools: A distributed behavioral model. *Computer Graphics*, 25–34.
- Reynolds, C. (1999). (1999). Steering behaviors for autonomous characters. *Game Developers Conference*.
- Rose Challenger, M. A. R. (2009). Understanding Crowd Behaviours,.
- hhhin, C., Rokn,, J., & Ahljjj, R. (2019). uu mnn bhbehavior modeling for simulating evacuation of buildings during emergencies. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 528, 121432. <http://doi.org/10.1016/J.PHYSA.2019.121432>
- SantosG, A. (2004). Acritical review of emergency evacuation simulation models. *In:PeacockRD,KuligowskiED,editors.Proceedingsoftheworkshop on Building occupant movement during fire emergencies.*
- Schreckenberg, M. and Sharma, S. (2001). Pedestrian and Evacuation Dynamics. *Springer-Verlag*.
- Seyfried, A., Steffen, B., Klingsch, W. and Boltes, M. (2005). The fundamental diagram of pedestrian movement revisited. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*.
- Sheeba, A. A., & Jayaparvathy, R. (2019). Performance modeling of an intelligent emergency evacuation system in buildings on accidental fire occurrence. *Safety Science*, 112, 196–205. <http://doi.org/10.1016/J.SSCI.2018.10.027>
- Still, G. K. (2000). Crowd Dynamics. . *PhD Thesis, University of Warwick, UK*.
- Sung, M., Gleicher, M. and Chenney, S. (2004). Scalable behaviors for crowd simulation. *Eurographics*.
- Treuille, A., Cooper, S. and Popovic, Z. (2006). Continuum crowds. *ACM Transactions on Graphics*, 1160–1168.
- Ulicny, B. and Thalmann, D. (2001). Crowd simulation for interactive virtual environments and VR training systems. *Computer Animation and Simulation*.
- Weifeng, Y. and Kang Hai, T. (2007). A novel algorithm of simulating multi-velocity evacuation based on cellular automata modeling and tenability condition. *Physica A*.
- Wong, K. H. L. and Luo, M. (2005). Computational tool in infrastructure emergency total evacuation analysis. *Intelligence and Security Informatics, Proceedings*, 536–542.
- Xiao, Y., Gao, Z., Jiang, R., Li, X., Qu, Y., & Huang, Q. (2019). Investigation of pedestrian dynamics in circle antipode experiments: Analysis and model evaluation with macroscopic indexes. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 103, 174–193. <http://doi.org/10.1016/J.TRC.2019.04.007>
- Yamamoto, K., Kokubo, S. and Nishinari, K. (2007). Simulation for pedestrian dynamics by real-coded cellular automata (RCA). *Physica A*.
- Yuanchun Ding , Lizhong Yang, Falu Wenga, Zhijian Fu, P. R. (2015). Investigation of combined stairs elevators evacuation strategies for high rise buildings based on simulation. *Simulation Modelling Practice and Theory*.
- Z.Shhhhosii n,, .. rrr v,, & .. bbrrr bb (2018). Pddnnnnnnrrr owd dynamics nnmrr gnrg sc ooooo vlwiiii i hlh ffss ter-is-soowrr” phnomenon. *Physica A: Statistical Mechanics and Its Applications*, 491, 101–111.
- Zhao, D. L., Yang, L. Z. and Li, J. (2006). Exit dynamics of occupant evacuation in an emergency. *Physica A*.
- ZhaoDL, YangLZ, L. (2006). Exit dynamics of occupant evacuation in an emergency. *PhysicaA*.

Zheng Xiaoping, Zhong Tingkuan, L. M. (2009). Modeling crowd evacuation of a building based on seven methodological approaches. *Building and Environment*.

Zhou, Z., Zhou, Z., & Cai, H. (2019). An Analysis of Pedestrians' Behavior in Emergency Evacuation Using Cellular Automata Simulation. *arXiv Preprint arXiv:1903.01229*.

