

## تأثیر متغیرهای معماری بر زمان تخلیه کلاس درس در شرایط اضطراری

اسماعیل ضرغامی\*، مهدی ریسمانیان\*\*

تاریخ دریافت مقاله: ۹۸/۵/۲۱

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۸/۶/۲۵

### چکیده

بررسی روند تخلیه‌ی افراد از یک فضای ساخته شده مانند یک استادیوم، سالن تئاتر، یا یک کلاس درس نه تنها مورد توجه مدیران و سازمان‌های کمک‌رسان است بلکه مورد علاقه طراحان و پژوهشگران حوزه‌ی معماری نیز است. در این مطالعه روند تخلیه‌ی یک کلاس درس با ابعاد داخلی ۷/۸ متر در ۱۲ متر و با ۴۲ نفر دانش‌آموز در شرایط اضطراری بوسیله‌ی مدلسازی کامپیوتری به روش عامل‌محور و با استفاده از الگوریتم \*A مورد بررسی قرار گرفت و تأثیر متغیرهای معماری عرض درب خروجی، تعداد درب‌های خروج و جهت کشیدگی کلاس بر زمان تخلیه‌ی کامل افراد از اتاق با یکدیگر در دوازده سناریوی مختلف بررسی و مقایسه گردید. نتایج این بررسی مشخص نمود که بیشترین تأثیر در کاهش زمان تخلیه مربوط به تعداد درب خروج و کمترین تأثیر مربوط به جهت کشیدگی کلاس است. بررسی‌های بیشتر مشخص نمود جهت کشیدگی کلاس‌ها هنگامی بر کاهش زمان تخلیه تأثیرگذارند که با استفاده از سایر متغیرهای معماری تراکم جلوی درب‌های خروجی کاهش پیدا کرده باشد.

### واژگان کلیدی

تخلیه‌ی اضطراری، کلاس درس، مدل عامل‌محور، تخلیه‌ی جمعیت

\* استاد گروه معماری، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران (نویسنده مسئول)

\*\* دانشجوی دکتری معماری، دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی، تهران، ایران

## مقدمه

حوادث غیر مترقبه از قبیل زلزله، آتش سوزی، حوادث تروریستی و غیره که خود به دو دسته‌ی حوادث طبیعی و حوادث انسان‌ساخت تقسیم می‌گردند همواره ساختمان‌ها و جان انسان‌های ساکن در آنها را مورد تهدید قرار می‌دهند. لذا طراحان و برنامه‌ریزان حوزه‌ی معماری بر اساس محاسبات سود و هزینه به ارائه‌ی طرح‌ها و راهکارهایی برای پیشگیری و مقابله با این حوادث و اثرات ناشی از آنها می‌پردازند. در این میان برنامه‌ریزان در بسیاری از مواقع تخلیه‌ی کامل ساختمان‌ها در شرایط اضطراری و انتقال ساکنان به مناطق امن را به عنوان آخرین راهکار مدنظر قرار می‌دهند. در چنین شرایطی تصرف‌های تجمعی و کاربری‌هایی که افراد زیادی در زمان واحد از آن بهره‌برداری می‌نمایند مانند فضاهای بهداشتی-درمانی و کاربری‌های آموزشی به علت تجمع افراد در جلوی خروجی و راهروها و فضاهای با عرض و نرخ جریان محدود از اهمیت و حساسیت بیشتری در هنگام طراحی برخوردار بوده چرا که تراکم بالای جمعیت مشکلات کنترل شرایط در مواقع بحرانی و حفظ امنیت افراد را دو چندان می‌نماید (شمسی و همکاران، ۱۳۹۵).

تمامی روش‌های تئوریک و تجربی موجود در خصوص تعیین روند تخلیه‌ی ایمن با ایده‌ی کلی رساندن ساکنین به موقعیت‌های امن در حداقل زمان شکل گرفته است. این در حالیست که روند تخلیه‌ی امن و کاهش زمان تخلیه متاثر از سه عامل اساسی نوع خطر، رفتارهای اجتماعی ساکنین در شرایط اضطراری و ویژگی‌های معماری فضای حادثه دیده است. در این نوشتار تاثیر برخی ویژگی‌های معماری یک کلاس درس شامل تعداد و عرض درب‌های خروجی کلاس و نیز جهت کشیدگی کلاس در تقابل با ورودی‌ها بر زمان نهایی تخلیه‌ی کلاس و تراکم جمعیت ایجاد شده در جلوی درب‌ها مورد توجه بوده است. نتایج این پژوهش می‌تواند در اخذ تصمیمات مطلوب و موثر در طراحی، ویرایش و اصلاح مقررات و آیین‌نامه‌های مربوطه جهت حفاظت ساختمان‌ها در برابر حریق و کاهش خطرات جانی و افزایش ایمنی افراد مورد استفاده قرار گیرد.

## مبانی نظری

از آنجا که وقوع حوادثی از قبیل سیل، زلزله، آتش سوزی، حوادث تروریستی و غیره به صورت کامل قابل پیشگیری نمی‌باشند لذا پیشبینی، برنامه ریزی، طراحی و مدیریت تخلیه‌ی ایمن ساختمان‌ها از وظایف و دغدغه‌های طراحان، مدیران، ارگان‌های امداد رسان و ساکنین ساختمان‌ها است. برای درک بهتر از پویایی تخلیه‌ی افراد در شرایط اضطراری محققان از روش‌های تجربی مانند آزمایش‌های مبتنی بر حیوانات (Reynolds, 1987) (Shahhoseini and Sarvi, 2017) (Shihwakoti et al., 2011: 438) (Shahhoseini, Sarvi and Saber, 2016: 81) و مانورهای تخلیه (Sano, Yajima and Kadokura, 2017: 375) یا از روش‌ها و مدل‌های مختلف شبیه‌سازی مانند مدل نیروی اجتماعی (Helbing et al., 2002)، مدل اتوماتای سلولی (Pelechano and Malkawi, 2008)، مدل رگرسیون (Milazzo et al., 1998)، مدل عامل‌محور (Pelechano and Addler, 2007: 99) و (Tan and Lin, 2015: 53) و غیره استفاده می‌کنند.

موضوع امنیت دانش‌آموزان در شرایط اضطراری مانند آتش سوزی و زلزله از مباحث مهمی است که باید در طراحی فضاهای آموزشی برای تضمین امنیت جانی افراد مورد ملاحظه قرار گیرد. هلبینگ و همکاران (Helbing et al., 2003) با استفاده از آزمایشات تجربی و مدل شبکه‌های گازی فرایند تخلیه‌ی یک کلاس درس را مورد بررسی قرار دادند. آنها در تحقیق خود به مطالعه‌ی یک کلاس درس به ابعاد ۶.۷۵ متر در ۵.۸۵ متر با ۳۰ دانش آموز پرداختند و بر وابستگی فضایی زمان بر موقعیت‌های اولیه تمرکز نمودند.

در تحقیقی دیگر گو و همکاران (Guo and Wong, 2012: 669) به مطالعه‌ی نحوه‌ی انتخاب مسیر عابران پیاده تحت شرایط دید خوب و دید صفر با استفاده از یک سری آزمایشات تجربی و نیز شبیه‌سازی توسط یک مدل میکروسکوپی پرداختند. در این مطالعه چندین رفتار مربوط به اولویت مقصد، اثر ظرفیت و تعامل بین دانش‌آموزان در تخلیه‌ی کامل کلاس مورد بررسی قرار گرفت.

تانگ و همکاران (Tang et al., 2015: 49) به بررسی اثرات خصوصیات فردی دانش‌آموزان ابتدایی در فرایند تخلیه‌ی کلاس درس با دو خروجی با لحاظ نمودن رفتارهای منطقی و غیرمنطقی آنها توسط مدل اتوماتای سلولی پرداختند. نتایج آنها نشان داد که تعداد دانش‌آموزان با رفتارهای غیر منطقی تاثیر قابل ملاحظه‌ای در نتیجه‌ی فرایند تخلیه دارد.

ژانگ و همکاران (Zhang and Xu, 2008: 5901) نیز فرایند تخلیه‌ی دانش‌آموزان از یک کلاس درس را با آزمایش و مدلسازی مورد بررسی قرار دادند. آنها برخی ویژگی‌های حرکت دانش‌آموزان مانند تغییر سرعت، جابجایی و بی‌نظمی در صف حرکتی افراد را مطالعه نمودند.

لیو و همکاران (Liu et al., 2009: 1921) با استفاده از مدل تخلیه‌ی اتوماتای سلولی یک کلاس درس همراه با موانع را شبیه‌سازی نموده و به مطالعه‌ی تأثیر تراکم افراد در اطراف درب خروجی بر رفتار دانش‌آموزان در شرایط اضطراری پرداختند. یانگ و همکاران (Yang et al., 2009: 1583) با استفاده از یک مدل اتوماتای سلولی بازنگری شده که در آن اطلاعات محیطی به عنوان اطلاعات استاتیکی (ساختار ساختمان، فاصله‌ی فضایی و غیره) و اطلاعات پویا (صدای زنگ هشدار آتش و غیره) معرفی شده است روند تخلیه در شرایط اضطراری را با توجه به اطلاعات محیطی مورد بررسی قرار دادند. در این مطالعه دو سناریو شامل تخلیه‌ی بدون دید و تخلیه‌ی با دید در یک کلاس، برای بررسی تأثیر متفاوتی از دو نوع اطلاعات در مورد رفتار انسان مورد مطالعه قرار گرفته است. آنها در مطالعه‌ی دیگر (Yang et al., 2012: 17) نیز با استفاده از روش‌های تجربی و مطالعات شبیه‌سازی تأثیر اطلاعات محیطی موجود در ناخودآگاه افراد بر روند تخلیه را بررسی نمودند.

ژو و همکاران (Zhu and Shi, 2016: 31) با مدل‌سازی یک کلاس درس دانشگاهی مشتمل بر ۹۸ دانشجو به بررسی تأثیر موانع موجود در کلاس و راهروهای کنار میزها و صندلی‌ها بر روند تخلیه پرداختند. آنها در جریان این تحقیق دریافتند که برخورد دانشجویان با یکدیگر اغلب در محل تقاطع راهروها اتفاق می‌افتد نه در جلوی درب خروجی کلاس.

گیورگداس و همکاران (Georgoudas and Sirakoulis, 2011: 129) در آزمایش‌هایی که در یک کلاس درس انجام دادند یک سیستم پیش‌بینی کننده را مطرح نمودند که در طی فرایندهای تخلیه‌ی عابرین پیاده عمل نموده و مانع از شکل‌گیری فضاهایی با تراکم بالا می‌گردد. چارچوب پردازش این سیستم شامل چهار مرحله‌ی مجزا می‌باشد:

الف - شناسایی و ردیابی افراد ب - تخمین مسیر احتمالی در آینده‌ی نزدیک با در نظر گرفتن تراکم احتمالی در خروجی‌ها ج - پیشنهاد مسیرهای جایگزین نزدیک و آزاد برای فرار از محل حادثه د - فعال نمودن سیگنال‌های صوتی و نوری راهنمای افراد حادثه دیده  
این مقاله تلاش می‌کند تا تأثیر برخی پارامترهای معماری یک کلاس درس شامل تعداد درب‌ها، عرض درب‌ها، و جهت کشیدگی کلاس بر فرایند اجرای تخلیه‌ی دانش‌آموزان را بررسی نماید. سایر بخش‌های این پژوهش شامل ابزار پژوهش و روش تحقیق، بحث و نتیجه‌گیری و جمع‌بندی است.

## روش تحقیق

در این پژوهش از سیستم عامل محور جهت مدلسازی خروج اضطراری از یک کلاس درس استفاده گردیده است. سیستم‌های عامل محور که در سطح مدل‌های خردنگر قرار دارند به اختصار ABM (Agent Based Models) نامیده شده و برای شبیه‌سازی موقعیت‌هایی که شامل عوامل و عناصر پویا هستند مورد استفاده قرار می‌گیرد. (Wong, 2005: 536) و (Bandini, 2006: 686) و (ضرغامی و ریسمانیان، ۱۳۹۹) در مدل‌های عامل محور کلیه‌ی عوامل هوشمند بر اساس مجموعه‌ای از قوانین سامان یافته‌ی شبیه‌سازی توانایی ادراک و ارزیابی محیط را داشته و می‌توانند تصمیم‌گیری‌های مستقل و معقولانه در خصوص انتخاب مسیرهای کوتاه‌تر و کاهش زمان تخلیه، متناسب با موقعیت‌های موجود اتخاذ نمایند (Feng, 2003: 462) (Treuille, 2006: 1160).

یکی از خصوصیات اصلی و مهم در مدل‌های عامل محور که موجب گزینش این مدل جهت شبیه‌سازی در این پژوهش گردیده است توانایی عوامل مستقل در تصمیم‌سازی‌های جدید به هنگامی است که چگالی محیط افزایش می‌یابد. (Ding et al., 2015: 60) این بدان معنی است که افراد حادثه دیده اگر در حین فرار و انتخاب نزدیک‌ترین مسیر به یک موقعیت با تراکم بالا رسیدند که تخلیه به کندی صورت می‌گیرد بتوانند تصمیم خود را تغییر داده و از مسیرهای طولانی‌تر اما با تراکم کمتر فرار کنند. این خصوصیت رفتاری را در شبیه‌سازی، انطباق می‌نامند. بناپو (Bonabeau, 2002) معتقد است که شبیه‌سازی با مدل‌های عامل محور می‌تواند در شرایط زیر بسیار سودمند واقع گردد:

- جمعیت‌های ناهمگن، یعنی زمانی که افراد دارای جمعیت از خصوصیات و ویژگی‌های فیزیکی و روانی گوناگونی برخوردار هستند.
- رفتارهای پیچیده‌ی افراد مانند یادگیری یا انطباق

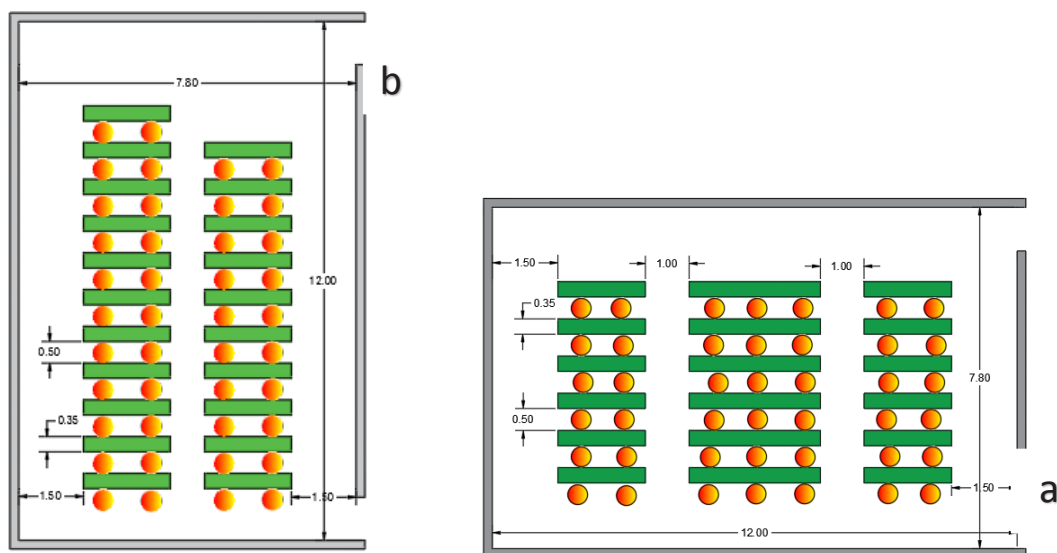
برای دستیابی به این منظور از یک الگوریتم استفاده گردیده است که از اطلاعات محلی مربوط به افراد و ساکنین و اطلاعات مربوط به کل ساختمان استفاده می‌نماید. در این مدل فرض بر این است که افراد، اطلاعات و شناخت کافی از فضایی پیرامون خود دارند. همچنین مدل فرض می‌کند که افراد قادرند فاصله‌ی خود از درب‌ها و خروجی‌ها را تخمین زنند. پس از انتخاب اولین خروجی و یا هدف مناسب توسط هر فرد، مسیر دستیابی به آن هدف توسط الگوریتم  $A^*$  محاسبه می‌شود. (Bladström, 2017) الگوریتم  $A^*$  که اولین بار در سال ۱۹۶۸ به عنوان الگوریتم بهینه‌ی Dijkstra مطرح گردید (Anguelov, 2011) برای یافتن کم هزینه‌ترین مسیر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

هزینه‌های سفر از یک مسیر می‌توانند خطرات موجود در مسیر، زمان، فاصله یا هر چیز دیگری تعریف شوند (Stout, 1997). در این رویکرد هر گره موجود در محیط بر اساس فرمول  $f(n) = g(n) + h(n)$  رتبه بندی و ارزش گذاری می‌شود: که در آن  $f(n)$  هزینه‌ی گره‌ی  $n$ ،  $g(n)$  هزینه‌ی رسیدن به گره‌ی  $n$  و  $h(n)$  هزینه‌ی رسیدن به هدف از گره‌ی  $n$  با در نظر گرفتن تخمین اکتشافی است. در سناریوی طراحی شده یک کلاس درس به ابعاد ۷.۸ متر در ۱۲ متر با ۴۲ نفر دانش‌آموز در نظر گرفته شده است که در دو حالت با کشیدگی شرقی-غربی (شکل 1a) و کشیدگی شمالی-جنوبی (شکل 1b) مورد بررسی قرار می‌گیرد. هر کدام از حالت‌های مذکور یک بار فقط با یک درب در ضلع شرقی کلاس و یک بار هم با در نظر گرفتن دو درب بررسی می‌شوند.

| کشیدگی شمالی-جنوبی | کشیدگی شرقی-غربی |                     |
|--------------------|------------------|---------------------|
| NS-A-80            | EW-A-80          | یک درب خروج عرض ۸۰  |
| NS-B-80            | EW-B-80          | دو درب خروج عرض ۸۰  |
| NS-A-100           | EW-A-100         | یک درب خروج عرض ۱۰۰ |
| NS-B-100           | EW-B-100         | دو درب خروج عرض ۱۰۰ |
| NS-A-120           | EW-A-120         | یک درب خروج عرض ۱۲۰ |
| NS-B-120           | EW-B-120         | دو درب خروج عرض ۱۲۰ |

جدول ۱ - کدگذاری سناریوهای مختلف

بر اساس مطالعات شی و همکاران (Shi et al., 2009: 1724) سرعت راه رفتن برحسب انواع راه رفتن، شرایط راه رفتن، انواع فضاها و انواع افراد متفاوت بوده و رنجی بین ۰/۱ تا ۱/۸ متر بر ثانیه دارد و زمان پیش از حرکت بر حسب شرایط خطر در محدوده‌ی ۰- تا ۵۴۰ ثانیه می‌تواند متغیر باشد. در این پژوهش سرعت حرکت دانش‌آموزان ۱/۱۹ متر بر ثانیه در نظر گرفته شده است و از آنجا که هدف نهایی مقایسه‌ی زمان تخلیه در سناریوهای مختلف است و زمان پیش از حرکت تأثیری در مقایسه‌ی نتایج ندارد لذا زمان پیش از حرکت صفر لحاظ شده است. هر فرد به صورت استوانه‌ای به قطر ۴۵/۵۸ سانتی‌متر مدل شده است. در هر چهار حالت فاصله‌ی میزها با میز جلویی ۰/۵ متر و فاصله‌ی میزها با دیوارهای کناری کلاس ۱/۵ متر فرض شده است. ابعاد درب خروجی اطاق‌ها نیز در سه حالت مختلف و با عرض‌های ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شده‌اند که در مجموع با در نظر گرفتن سه متغیر مورد اشاره دوازده سناریوی مختلف بوجود می‌آید. از این به بعد حالت‌های مذکور مطابق با جدول ۱ با حروف اختصاری نامگذاری شده مشخص می‌شوند.



تصویر ۱. پلان کلاس (a) کلاس با کشیدگی شرقی-غربی و ابعاد ۱۲\*۷ متر (b) کلاس با کشیدگی شمالی-جنوبی و ابعاد ۱۲\*۷ متر

## بحث و نتیجه گیری

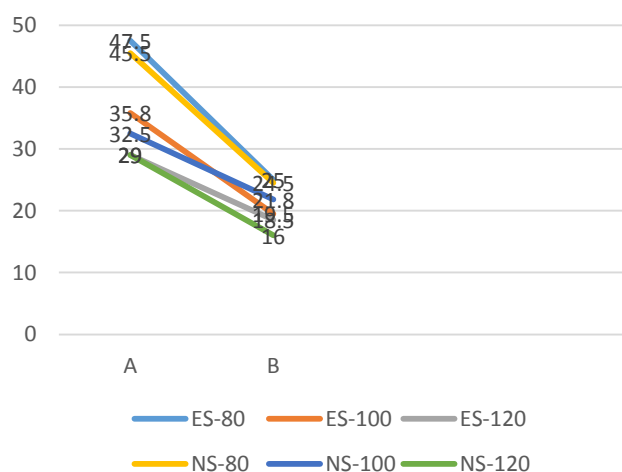
در این بخش به تجزیه و تحلیل فرایند تخلیه در دوازده سناریوی مدلسازی شده از کلاس درس تمرکز می‌شود و تاثیر سه پارامتر اصلی یعنی عرض درب‌های خروج، تعداد درب‌های خروج و جهت کشیدگی کلاس مورد بررسی قرار خواهد گرفت. پیش‌بینی می‌شود که افزایش تعداد درب‌های خروجی و افزایش عرض آنها باعث کاهش زمان تخلیه گردد اما در خصوص جهت کشیدگی کلاس فرض خاصی متصور نمی‌باشد. تاثیر پارامترهای سه گانه‌ی تعداد درب‌های خروج، عرض درب‌های خروج و جهت کشیدگی کلاس به تفکیک در بخش‌های بعدی مورد بحث و بررسی قرار می‌گیرد.

**الف- تعداد درب‌های خروج:** همانطور که از قبل نیز پیش‌بینی می‌گردید تعداد درب‌های خروج تاثیر به‌سزایی در کاهش زمان تخلیه دارد. در صورت افزایش تعداد درب‌ها از یک درب به دو درب زمان تخلیه از ۳۲ درصد به ۴۷ درصد کاهش می‌یابد. بیشترین کاهش زمان تخلیه در ES-80 یعنی کلاس‌هایی با جهت شرقی-غربی و عرض درب ۸۰ سانتی متر، با ۴۷ درصد اتفاق افتاده و کمترین کاهش زمان تخلیه در NS-100 یعنی کلاس‌های شمالی-جنوبی و با عرض درب ۱۰۰ سانتی متر رخ داده است. (جدول ۳)

در مجموع می‌توان گفت افزایش یک درب خروج به کلاس به صورت میانگین باعث کاهش ۴۱/۶۶ درصدی زمان تخلیه شده است که یک رقم چشمگیر است. از طرف دیگر افزایش درب‌ها بصورت میانگین در کلاس‌های شرقی-غربی باعث کاهش ۴۲/۶۶ درصدی زمان تخلیه شده است و این در حالیست که این کاهش در کلاس‌های شمالی-جنوبی اندکی کمتر یعنی ۴۰/۶۶ درصد است.

| کد سناریو            | ES-120 | ES-100 | ES-80 | ES     |
|----------------------|--------|--------|-------|--------|
| درصد کاهش زمان تخلیه | 36%    | 45%    | 47%   | ۴۲/۶۶% |
| کد سناریو            | NS-120 | NS-100 | NS-80 | NS     |
| درصد کاهش زمان تخلیه | 44%    | 32%    | 46%   | ۴۰/۶۶% |

جدول ۳ - درصد کاهش زمان تخلیه در سناریوهای مختلف با افزایش تعداد درب خروجی

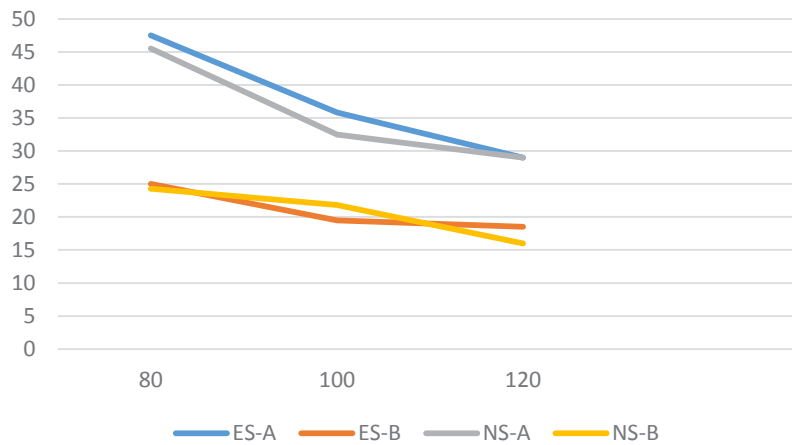


تصویر ۲ - تاثیر تعداد درب‌های خروج بر زمان تخلیه

**ب- عرض درب‌های خروج:** مطابق با مبحث سوم مقررات ملی ساختمان ایران (احمدی و همکاران ۱۳۹۷) عرض درب‌های تک لنگه بین ۸۰ الی ۱۲۰ سانتی‌متر متغیر است. لذا در این پژوهش نیز عرض خروج در سه حالت ۸۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ سانتی‌متر مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج آن در تصویر ۳ قابل مشاهده است. همانطور که پیش‌بینی می‌شد افزایش عرض خروج باعث کاهش زمان تخلیه شده است. این کاهش به صورت میانگین ۳۳/۷۵٪ است که اگر چه از تاثیر تعداد درب‌های خروج کمتر بوده اما هنوز رقم قابل توجهی است. بیشترین تاثیر مربوط به کلاس‌های شرقی-غربی و با یک درب خروج بوده و کمترین تاثیر مربوط به کلاس‌های شرقی-غربی با دو درب خروج است. (جدول ۴)

| کد سناریو                    | ES-A | ES-B | NS-A | NS-B |
|------------------------------|------|------|------|------|
| میانگین درصد کاهش زمان تخلیه | 39%  | 26%  | 36%  | 34%  |

جدول ۴ - درصد کاهش زمان تخلیه با در نظر گرفتن عرض درب‌های خروج



تصویر ۳ - تاثیر عرض درب‌های خروج بر زمان تخلیه

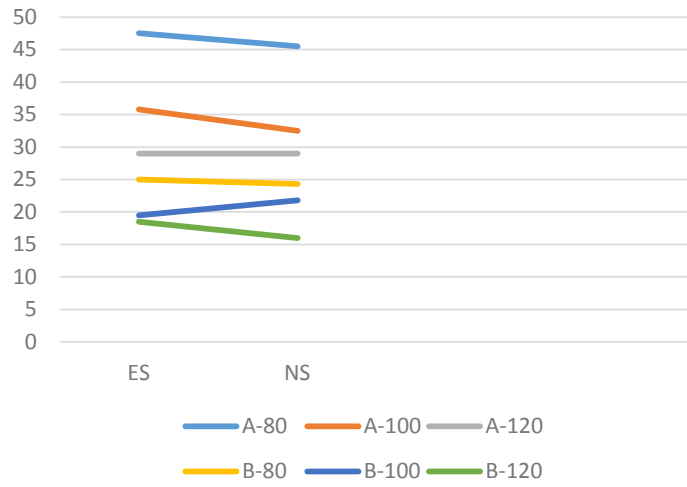
ج- تاثیر جهت کشیدگی کلاس: در تصویر ۴ تغییرات زمان تخلیه‌ی کلاس در حالت شرقی-غربی و شمالی-جنوبی مورد مقایسه قرار گرفته است. همانطور که در تصویر مشاهده می‌شود در چهار حالت از شش حالت در نظر گرفته شده جهت کلاس‌های شمالی-جنوبی زمان تخلیه‌ی کمتری نسبت به کلاس‌های شرقی-غربی دارند، در یک حالت جهت کلاس هیچ تاثیری در زمان تخلیه نداشته و تنها در یک حالت کلاس‌های شرقی-غربی از زمان تخلیه‌ی کمتری برخوردارند.

کمترین تاثیر جهت کلاس، به کلاس‌های با یک درب به عرض ۱۲۰ سانتی‌متر مربوط است که جهت ساختمان هیچ تاثیری بر زمان تخلیه‌ی ندارد و بیشترین تاثیر مربوط به کلاس‌های با دو درب خروج و عرض ۱۲۰ سانتی‌متر است. در مجموع کلاس‌های با یک درب ۴۶٪ باعث کاهش زمان تخلیه شده‌اند و کلاس‌های با دو درب خروج به میزان ۱/۵۳٪ زمان تخلیه را کاهش داده‌اند.

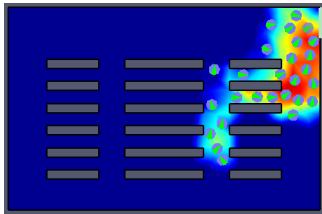
| کد سناریو            | A-80 | A-100  | A-120 | A     |
|----------------------|------|--------|-------|-------|
| درصد کاهش زمان تخلیه | ۴/۲% | ۹/۲%   | 0%    | ۴/۴۶% |
| کد سناریو            | B-80 | B-100  | B-120 | B     |
| درصد کاهش زمان تخلیه | ۲/۸% | -۱۱/۷% | ۱۳/۵% | ۱/۵۳% |

جدول ۵ - درصد کاهش زمان تخلیه در صورت تغییر از جهت شرقی-غربی به جهت شمالی-جنوبی

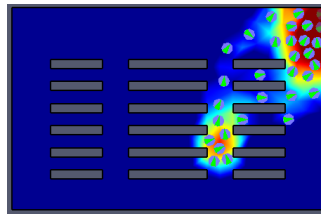
با توجه به نتایج حاصله اگر چه نمی‌توان یک رابطه‌ی کلی بین جهت کلاس و زمان تخلیه متصور شد اما به نظر می‌رسد کلاس‌های شمالی-جنوبی از زمان تخلیه‌ی کمتری نسبت به کلاس‌های شرقی-غربی برخوردار هستند و اگر کلاس با دو درب خروج و عریض همراه باشد این تاثیر بیشتر هم می‌شود. با توجه به بررسی کنتورهای تراکم دلیل این پدیده را شاید بتوان اینگونه بیان نمود که هنگامیکه کلاس فقط یک درب خروج و با عرض کم دارد گرفتگی و تراکم در جلوی درب خروج بوجود آمده و مانع از جریان روان ساکنین می‌شود و در نتیجه تاثیر جهت کشیدگی ساختمان خنثی می‌شود در حالیکه در شرایطی که کلاس مشتمل بر دو درب خروج با عرض زیاد باشد، عدم وجود تراکم زیاد در جلوی درب‌ها و روانی حرکت سبب خواهد شد تا تاثیر جهت کلاس نمایان گردد. تصویر ۵ وضعیت تراکم را در ثانیه دوازدهم در سناریوهای دوازده‌گانه نمایش می‌دهد.



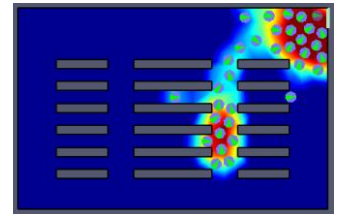
تصویر ۴ - تأثیر جهت کلاس بر زمان تخلیه



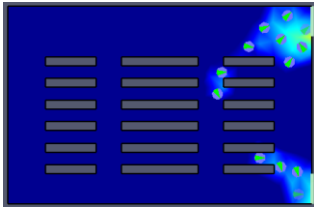
a) ES-A-120



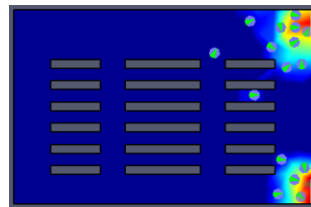
b) ES-A-100



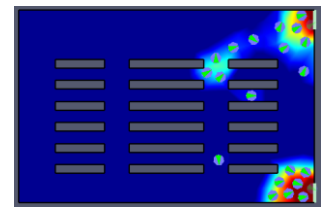
c) ES-A-80



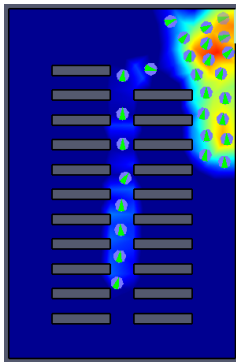
d) ES-B-120



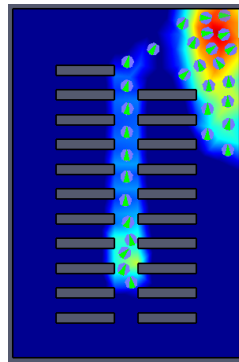
e) ES-B-100



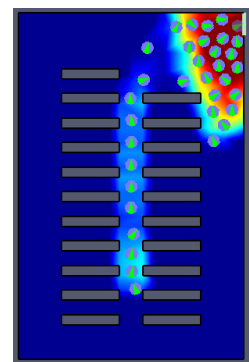
f) ES-B-80



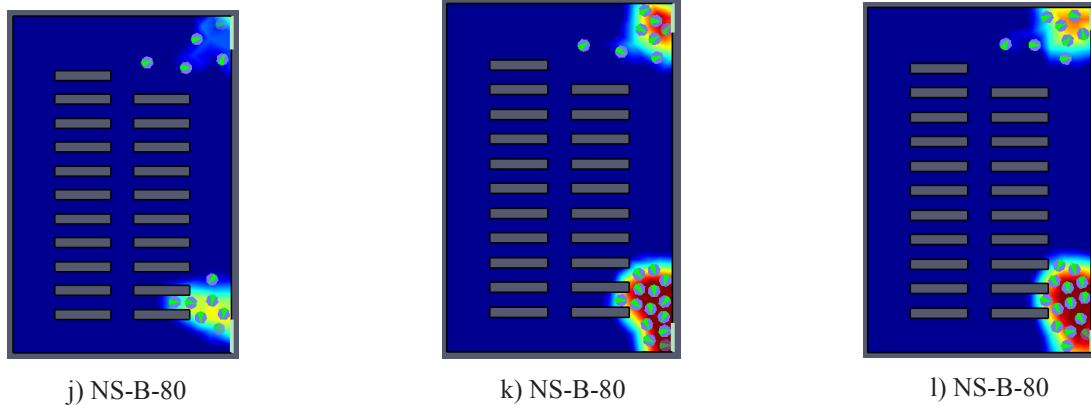
g) NS-A-120



h) NS-A-100



i) NS-A-80



شکل ۵ - وضعیت تراکم در ثانیه‌ی دوازدهم پس از شروع تخلیه

## نتیجه‌گیری

از آنجا که تخلیه‌ی ساختمان‌ها در شرایط اضطراری یکی از دغدغه‌های طراحان و مدیران و بهره‌برداران از فضا است لذا در این پژوهش سه پارامتر معماری تاثیرگذار بر روند تخلیه‌ی یک کلاس آموزشی با ۴۲ نفر دانش‌آموز و با استفاده از مدل عامل‌محور و الگوریتم A\* مدلسازی و مورد بررسی و تجزیه و تحلیل قرار گرفت. پارامترهای تاثیرگذار تعداد درب‌های خروج، عرض درب‌های خروج، و جهت کشیدگی کلاس در دوازده سناریوی مختلف شبیه‌سازی و نتایج حاصل نشان داد که کلاس‌های شمالی-جنوبی با دو درب به عرض ۱۲۰ سانتی‌متر از کمترین زمان تخلیه برخوردار هستند. نتایج همچنین نشان می‌دهند که افزایش تعداد درب‌های خروج تاثیر بسیاری در کاهش زمان تخلیه داشته و این تاثیر در کلاس‌های شرقی-غربی بیشتر است. عرض درب‌ها نیز تاثیر زیادی بر کاهش زمان تخلیه دارد به نحوی که بیشترین تاثیر آن مربوط به کلاس‌های شرقی-غربی و با یک درب خروج و کمترین تاثیر مربوط به کلاس‌های شرقی-غربی با دو درب خروج است. جهت کلاس‌ها نسبت به دو پارامتر قبلی تاثیر کمتری در کاهش زمان تخلیه دارا است اما این تاثیر در کلاس‌هایی با دو درب خروج و درب‌هایی با عرض بیشتر، بعلت تراکم کمتر در جلوی خروجی‌ها، بیشتر بوده و در مجموع کلاس‌های شمالی-جنوبی زمان تخلیه‌ی کمتری دارند. نتایج این مطالعه برای طراحان معماری و شرکت‌های مشاور می‌تواند مفید باشد و همچنین می‌تواند در تدوین و یا ویرایش مقررات ملی ساختمان و استانداردهای مربوطه مورد استفاده قرار گیرد. برای بررسی‌های بیشتر پیشنهاد می‌شود از آزمایش‌های تجربی نیز استفاده گردد.

## فهرست منابع

- احمدی، م.ت. و انصاری، م. (۱۳۹۷). مبحث سوم مقررات ملی ساختمان. سوم. مرکز تحقیقات راه مسکن و شهرسازی.
- شمسی، آ.، میرسعیدی، ل. و فرخزاد، ک. (۱۳۹۵). بررسی کارایی راه‌های خروج ساختمان در تخلیه اضطراری آتش به روش تحلیل نرم‌افزاری، نشریه علمی - پژوهشی انجمن علمی معماری و شهرسازی ایران.
- ضرغامی، ا. و ریسمانیان، م. (۱۳۹۹). ارزیابی مدل‌های تخلیه جمعیت ساختمان‌ها در شرایط اضطراری و مقایسه‌ی پدیده‌ی ازدحام در مدل‌های دینامیک سیالات و عامل‌محور، شهر ایمن، ۵.
- Bandini, S., & Manzoni, S. (2006, September). Towards affective situated cellular agents. In *International Conference on Cellular Automata* (pp. 686-689). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Bladström, K. (2017) Route choice modelling in fire evacuation simulators. Lund University.
- Bonabeau, E. (2002). Agent-based modeling: Methods and techniques for simulating human systems. *Proceedings of the national academy of sciences*, 99(suppl 3), 7280-7287.
- Ding, Y., Yang, L., Weng, F., Fu, Z., & Rao, P. (2015). Investigation of combined stairs elevators evacuation strategies for high rise buildings based on simulation. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 53, 60-73.

- Feng, L., & Liang, R. (2003, May). Intelligent crowd simulation. In *International Conference on Computational Science and Its Applications* (pp. 462-471). Springer, Berlin, Heidelberg.
- Georgoudas, I. G., Sirakoulis, G. C., & Andreadis, I. T. (2010). An anticipative crowd management system preventing clogging in exits during pedestrian evacuation processes. *IEEE Systems Journal*, 5(1), 129-141.
- Guo, R. Y., Huang, H. J., & Wong, S. C. (2012). Route choice in pedestrian evacuation under conditions of good and zero visibility: Experimental and simulation results. *Transportation research part B: methodological*, 46(6), 669-686.
- Helbing, D., Farkas, I. J., Molnar, P., & Vicsek, T. (2002). Simulation of pedestrian crowds in normal and evacuation situations. *Pedestrian and evacuation dynamics*, 21(2), 21-58.
- Helbing, D., Isobe, M., Nagatani, T., & Takimoto, K. (2003). Lattice gas simulation of experimentally studied evacuation dynamics. *Physical review E*, 67(6), 067101.
- Liu, S., Yang, L., Fang, T., & Li, J. (2009). Evacuation from a classroom considering the occupant density around exits. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 388(9), 1921-1928.
- Milazzo, J. S., Roupail, N. M., Hummer, J. E., & Allen, D. P. (1998). Effect of pedestrians on capacity of signalized intersections. *Transportation Research Record*, 1646(1), 37-46.
- Pelechano, N., & Malkawi, A. (2008). Evacuation simulation models: Challenges in modeling high rise building evacuation with cellular automata approaches. *Automation in construction*, 17(4), 377-385.
- Pelechano, N., Allbeck, J. M., & Badler, N. I. (2007). Controlling individual agents in high-density crowd simulation.
- Reynolds, S. I. CW (1987). Flocks, herds and schools: a distributed behavioral model. *Computer Graphics*, 2(1), 4.
- Sano, T., Yajima, M., Kadokura, H., & Sekizawa, A. (2017). Human behavior in a staircase during a total evacuation drill in a high-rise building. *Fire and Materials*, 41(4), 375-386.
- Shahhoseini, Z., & Sarvi, M. (2017). Collective movements of pedestrians: How we can learn from simple experiments with non-human (ant) crowds. *PloS one*, 12(8).
- Shahhoseini, Z., Sarvi, M., & Saberi, M. (2016). Insights toward characteristics of merging streams of pedestrian crowds based on experiments with panicked ants. *Transportation Research Record*, 2561(1), 81-88.
- Shi, L., Xie, Q., Cheng, X., Chen, L., Zhou, Y., & Zhang, R. (2009). Developing a database for emergency evacuation model. *Building and Environment*, 44(8), 1724-1729.
- Shiwakoti, N., Sarvi, M., Rose, G., & Burd, M. (2011). Animal dynamics based approach for modeling pedestrian crowd egress under panic conditions. *Procedia-social and behavioral sciences*, 17, 438-461.
- Stout, B. (1996). Smart moves: Intelligent pathfinding. *Game developer magazine*, 10, 28-35.
- Tan, L., Hu, M., & Lin, H. (2015). Agent-based simulation of building evacuation: Combining human behavior with predictable spatial accessibility in a fire emergency. *Information Sciences*, 295, 53-66.
- Tang, T. Q., Chen, L., Guo, R. Y., & Shang, H. Y. (2015). An evacuation model accounting for elementary students' individual properties. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 440, 49-56.
- Treuille, A., Cooper, S., & Popović, Z. (2006). Continuum crowds. *ACM Transactions on Graphics (TOG)*, 25(3), 1160-1168.
- Wong, K. H., & Luo, M. (2005, May). Computational tool in infrastructure emergency

total evacuation analysis. In *International Conference on Intelligence and Security Informatics* (pp. 536-542). Springer, Berlin, Heidelberg.

- Yang, L., Liu, S., Li, J., Zhu, K., & Fang, T. (2009). Information-based evacuation experiment and its cellular automaton simulation. *International Journal of Modern Physics C*, 20(10), 1583-1596.
- Yang, L., Liu, S., Rao, P., & Zhu, K. (2012). Subconscious environmental information perceiving behavior and its attenuation in information-based evacuation experiment. *International Journal of Modern Physics C*, 23(07), 1250049.
- Zhang, J., Song, W., & Xu, X. (2008). Experiment and multi-grid modeling of evacuation from a classroom. *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications*, 387(23), 5901-5909.
- Zhu, K., Yang, Y., & Shi, Q. (2016). Study on evacuation of pedestrians from a room with multi-obstacles considering the effect of aisles. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 69, 31-42.