نشریه علمی پژوهشی مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال هفتم، شماره دوم، تابستان ۱۳۹۸

Vol.7, No.2, Summer 2019

۱۹۵-۲۲۱

مقاله پژوهشی

# شبیه‌سازی عامل‌مبنای تخلیه اضطراری شهرها در هنگام حملات تروریستی

صفا خزائی [۱]

۱- دانشیار دانشگاه جامع امام حسین (ع)

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۴/۱۴ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۶/۱۰

## چکیده

در سالیان اخیر، مدیریت صحیح منابع و زمان‌بندی مناسب جهت تخلیه اضطراری شهروندان از محل حوادث تروریستی به‌طور گسترده مورد توجه محققین حوزه برنامه‌ریزی شهری قرارگرفته است. در تحقیقات اندکی که در زمینه مدل‌سازی رفتار شهروندان و تروریست‌ها در مناطق شهری صورت گرفته، عموماً رفتار تروریست‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیقات شهروندان تنها در یک گروه سنی، مدل‌سازی شده‌اند؛ درحالی‌که گروه‌های سنی مختلف شهروندان توانایی‌های متفاوتی در هنگام وقوع حمله تروریستی دارند. هدف اصلی این پژوهش، توسعه مدلی عامل‌مبنا به‌منظور مدل‌سازی رفتار انسان‌ها به هنگام حمله تروریستی صورت گرفته در محیط شهری با توجه به زیرساخت‌های موجود است. در این پژوهش با توسعه عامل‌هایی، رفتار شهروندان، نیروهای دفاعی و تروریست‌ها شبیه‌سازی شده و از این طریق پتانسیل منطقه در برابر حمله تروریستی مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این راستا با بررسی سناریوهای مختلف، امکان به حداقل رساندن تلفات ناشی از حملات تروریستی و تخلیه سریع منطقه فراهم شده است. در این تحقیق از روش یک بار- در یک زمان به‌منظور تحلیل حساسیت مدل شبیه‌سازی و تعیین پارامترهای حسّاس مدل تروریستی استفاده‌شده است. همچنین، به‌منظور توسعه و پیاده‌سازی مدل عامل‌مبنای پیشنهادی از نرم‌افزار *NetLogo* استفاده شده است. به‌عنوان یک مطالعه موردی، مدل عامل‌مبنای ارائه‌شده تحت سناریوهای شبیه‌سازی شده در منطقه ۶ شهر تهران، اجرا و نتایج آن مورد تحلیل و بررسی قرار گرفته است. بر اساس نتایج حاصل از تجزیه‌وتحلیل سناریوهای مختلف شبیه‌سازی شده، می‌توان از طریق افزایش تعداد نیروهای دفاعی در منطقه، احتمال وقوع حمله تروریستی را به حداقل رساند. همچنین در صورت اختصاص ۶۰ درصد نیروهای دفاعی به حفاظت از نقاط شلوغ و امن و ۴۰ درصد به جستجو و کشف و نابودی عامل‌های تروریستی در منطقه، تعداد حملات تروریستی و تعداد کشته‌شدگان به نصف کاهش می‌یابد.

**کلیدواژه‌ها**: شبیه‌سازی عامل‌مبنا، تخلیه اضطراری، حمله تروریستی، تحلیل حساسیّت.

*نویسنده مکاتبه کننده: تهران-اتوبان بابایی-بعد از پل لشگرک-دانشگاه جامع امام حسین (ع)-موقعیت امام صادق(ع).

تلفن: ۰۲۱-۷۷۱۰۵۳۸۰

*Email : skhazai@ihu.ac.ir*

[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.7.2.195 ]

## ۱- مقدمه

حملات تروریستی از اساسی‌ترین معضلات جامعه جهانی و خطرناک‌ترین تهدیدها بر ضد حقوق ملت‌ها و ثبات بین‌المللی است. در طول تاریخ، به‌ویژه یک‌صد سال اخیر، تروریسم، ریشه مهم‌ترین تهدیدها بر ضد صلح و امنیت جهانی بوده است. در سال‌های اخیر با توجه به حوادث به وقوع پیوسته در منطقه خاورمیانه و همچنین اقدامات تروریستی، آمادگی مقابله در برابر این رفتارها در کشور، به‌عنوان یکی از مسائل مهم امنیتی مطرح است. یکی از اصلی‌ترین اقدام‌ها پس از وقوع حملات تروریستی، تخلیه سریع مناطق حادثه‌دیده به محل‌های اسکان اضطراری و ایمن تعبیه‌شده در شهر و یا خارج از شهر در کمترین زمان ممکن با کمترین تعداد مصدومین است [۱]. بنابراین ارائه اطلاعاتی پیرامون نقش زیرساخت‌های موجود به‌منظور مدیریت صحیح منابع و زمان‌بندی مناسب در خروج شهروندان از محل حادثه قبل از آسیب‌دیدن و جان‌باختن، برای مدیران و برنامه‌ریزان بسیار اهمیت دارد. از طرفی رفتار افراد و تأثیرات عوامل محیطی در فضای شهری باعث شده تا موضوع تخلیه اضطراری شهری به‌عنوان یک مسئله پیچیده در دنیای واقعی مطرح شود. با توجه به مکان‌مبنا بودن و پویایی این رفتارها می‌توان به کمک ترکیب مدل‌های عامل مبنا و سیستم اطلاعات مکانی آن‌ها را شبیه‌سازی نمود. شبیه‌سازی عامل‌مبنا راه‌کار نوینی به‌منظور بررسی فرایندها و پدیده‌های پیچیده در چند سال اخیر مورد توجه قرارگرفته است. در این راه‌کار با در نظر گرفتن رفتار انسان‌ها و نیز ویژگی‌های محیط رفتارهای واقعی انسان‌ها به‌منظور مدل‌سازی تخلیه در زمان‌های اضطراری مورد بررسی قرار می‌گیرد [۲]. یکی از مهم‌ترین ویژگی‌های شبیه‌سازی عامل‌مبنا قابلیت سناریوسازی و استفاده از هوش فردی به‌منظور حل مشکلات پیچیده در دنیای واقعی است. در این رویکرد عامل‌ها، هوشمند بوده و با بهره‌گیری از اطلاعاتی که در ارتباط با سایر عامل‌ها و محیط مبادله می‌نمایند، می‌توانند به‌منظور رسیدن به اهداف موردنظر، اقدامات لازم را انجام داده و تصمیم‌گیری نمایند [۳].

شبیه‌سازی حمله تروریستی به‌عنوان پدیده‌ای غیرقابل آزمایش در دنیای واقعی، می‌تواند اطلاعات مفیدی پیرامون بررسی زوایای پنهان این پدیده ارائه دهد. در فرایند شبیه‌سازی پس از مدل‌سازی رفتار عوامل تشکیل‌دهنده پدیده مورد مطالعه، نتایج حاصل از مدل‌سازی مورد بررسی قرار می‌گیرد[۴]. مدل‌های عامل‌مبنا با در نظر گرفتن رفتار انسان‌ها و نیز ویژگی‌های محیط، یکی از موفق‌ترین روش‌ها به‌منظور مدل‌سازی تخلیه اضطراری شهروندان در هنگام حمله تروریستی پیشنهاد می‌شود. یک عامل، می‌تواند نماینده‌ای از طرف انسان باشد که در محیط مدل‌سازی مانند او به تصمیم‌گیری و انجام کارهای مختلف می‌پردازد. محیط به‌عنوان فضایی که عامل‌ها در آن حرکت و فعالیت نموده و با یکدیگر به تبادل اطلاعات می‌پردازند، تعریف می‌شود[۵]. عامل‌ها از طریق برقراری ارتباط با محیط، محیط را حس نموده و بر اساس تغییرات به وجود آمده در محیط به‌منظور رسیدن به هدف تعیین‌شده تلاش می‌کند[۶]. درنهایت به‌منظور مدل‌سازی یک جامعه از انسان‌ها، نه‌تنها ارتباط بین عامل‌ها ضروری است؛ بلکه عامل‌ها باید بتوانند با یکدیگر هماهنگ بوده، همکاری و مذاکره دوطرفه داشته باشند که از این طریق سیستم‌های چند عامله[1] را تشکیل می‌دهند [۶].

در راستای استفاده از مدل‌سازی عامل‌مبنا به‌منظور شبیه‌سازی رفتار انسان‌ها، با استفاده از مفاهیم عامل‌ها، مدلی به‌منظور بررسی نقش گروه‌های افراطی در شکل‌گیری گروه‌های تروریستی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است [۷]. در این تحقیق با استفاده از مفاهیم شبکه اجتماعی (که شبکه ایجادشده بین افراد جامعه در نظر گرفته‌شده است) انواع مختلف افراط‌گرایی بررسی شده است. همچنین عوامل مختلفی که منجر به افراط‌گرایی[2] می‌شوند، (مانند کسانی که با ایدئولوژی‌های

[1] *Multi Agent Systems*

[2] *Radicalization*



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.7.2.195 ]

دینی و یا خشونت‌آمیز مذهبی یا سیاسی به تشویق اعمال خشونت‌آمیز می‌پردازند) مورد بررسی قرار گرفته است. علاوه بر این با شناسایی مکانیزم‌های شبکه خاص مانند انسداد، یکی شدن و جذب ارتباطات گروه‌های افراطی‌گری، تئوری افراط‌گرایی گسترش داده شده است. پژوهش‌های صورت‌گرفته درزمینه مدل‌سازی تخلیه اضطراری افراد بهنگام وقوع بحران (به‌عنوان‌مثال زلزله، آتش‌سوزی، حمله تروریستی) عموماً به دودسته مدل‌سازی تخلیه اضطراری در ساختمان و محیط شهری تقسیم می‌شوند. برخی از محققان روش‌هایی به‌منظور مدل‌سازی رفتار افراد در شرایط اضطراری در محیط ساختمان ارائه نمودند [۲،۸،۹،۱۰،۱۱و۱۲]. همچنین در این‌خصوص نرم‌افزارهایی نظیر مسیریا ب[1] به‌منظور مدل‌سازی رفتار شهروندان در محیط‌های دو بعدی و سه بعدی ساختمان ارائه‌شده است. نرم‌افزار مسیریاب یک شبیه‌ساز مبتنی بر عامل بوده که در آن هر فرد بر اساس مجموعه‌ای از پارامترها و خصوصیات فردی خاص خود وارد محیط شبیه‌سازی‌شده و به‌طور مستقل تصمیم‌گیری‌های خاص خود را دارد [۱۳]. در این نرم‌افزار مدل‌های ارائه‌شده با توجه به ماهیت نوع بحران مورد مطالعه، ویژگی‌ها و توانایی‌های مختلفی خواهند داشت.

پژوهش‌های کمی نیز در زمینه مدل‌سازی حملات تروریستی در محیط‌های شهری انجام‌شده است. در یک تحقیق، یک سیستم تصمیم‌گیری به‌منظور پیش‌بینی تصمیمات و اقدامات تروریست‌ها بهنگام حمله تروریستی ارائه شده است[۱۴]. به‌منظور شناسایی تروریست‌ها فاکتورهای شخصیتی افراد درون سازمان‌ها مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفت. در این تحقیق همچنین با استفاده از تئوری بازی‌ها[2] رویکردی به‌منظور تعیین موقعیت، سازمان، جمعیت، انگیزه، لایه‌های استراتژیک و لایه‌های تاکتیکی تصمیم‌گیری تروریست‌ها است. در دو پژوهش با ارائه مدلی عامل مبنا، نحوه شکل‌گیری حملات تروریستی از گروه‌های افراطی دینی مورد مطالعه و بررسی قرار گرفته است *[۷ و۱۵]*. به این منظور عامل‌هایی توسعه داده شد که با استفاده از مفاهیم آنالیز شبکه‌های اجتماعی[3] با یکدیگر همکاری نموده و به شبیه‌سازی نحوه تشکیل گروه‌های تروریستی می‌پردازند. در پژوهشی دیگر مدلی عامل مبنا به‌منظور مدل‌سازی رفتار نیروهای دفاعی و تروریستی‌ها در محیط شهری توسعه داده شد[۱۶]. همچنین سناریوهای مختلف رفتار تروریست‌ها و نیز رفتار عامل‌های دفاعی به‌منظور دستیابی به مناسب‌ترین حالت چینش عامل‌های دفاعی در محیط مورد بررسی قرارگرفته است. در این پژوهش تنها رفتار نیروهای دفاعی و تروریست‌ها مدل شده و رفتار شهروندان مورد بررسی قرار نگرفته است. همچنین محیط حرکت عامل‌ها محیط فرضی و غیرواقعی شامل یک یا چند منبع (که عامل‌های دفاعی سعی در محافظت از این منابع و عامل‌های تروریستی سعی در تخریب آن‌ها را دارند) است. درصورتی‌که ممکن است وجود منابع مختلف در کنار یکدیگر نتایج واقعی‌تری ارائه دهد. در پژوهشی دیگر یک سیستم‌عامل مبنا به‌منظور کاهش خطرات ناشی از حمله تروریسیتی از طریق جستجو و کشف تروریست‌ها ارائه شده است[۱۷]. در این پژوهش تنها عامل‌های تروریستی مدل‌سازی شده‌اند و نقش عامل‌های دفاعی و عامل‌های شهروند مورد بررسی قرار نگرفته است درصورتی‌که در دنیای واقعی شهروندان و نیروهای دفاعی نقش کلیدی در مبحث حمله تروریستی در محیط‌های شهری دارند. علاوه بر این پژوهش پس از انجام حمله تروریستی، هیچ اطلاعاتی پیرامون تعداد کشته‌شدگان حاصل از حمله تروریستی انجام‌شده ارائه نمی‌دهد درصورتی‌که در دسترس بودن این اطلاعات می‌تواند در برنامه‌ریزی تمهیدات مناسب جهت مقابله و کاهش خسارات ناشی از حمله تروریستی بسیار مفید باشد. در این پژوهش همچنین رابط کاربری توسعه داده‌شده برای استفاده توسط کاربر عمومی مناسب

[1] *Pathfinder*
[2] *Game Theory*
[3] *Social Network Analysis*



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.7.2.195 ]

نیستند و تنها نتایج مدل‌سازی نمایش داده‌شده است؛ درصورتی‌که در مدیریت بحران تغییر مقادیر مختلف پارامترها و به عبارتی بررسی سناریوهای مختلف توسط مدیران و کارشناسان اهمیت دارد. در یک تحقیق نیز با به‌کارگیری از مفاهیم عامل‌ها و با توسعه عامل‌هایی به‌منظور مدل‌سازی رفتار تروریست‌ها، شهروندان و نیروهای دفاعی، مکان‌های مستعد حملات تروریستی را تعیین نموده است[۱۸]. در این تحقیق به‌منظور تعیین محیط اجرای عامل‌ها ساده‌سازی زیادی انجام‌شده است. درصورتی‌که به‌منظور نزدیک بودن مدل ارائه‌شده به دنیای واقعی می‌بایست با حفظ اصل چکیدگی، مدل طراحی‌شده بیانگر دنیای واقعی پیچیده باشد. در این‌صورت است که این مدل می‌تواند راه‌کارهای مناسبی را به‌منظور پیاده‌سازی در دنیای واقعی ارائه دهد. علاوه‌بر این در این تحقیق به‌منظور مدل‌سازی رفتار شهروندان تنها یک گروه سنی توسعه داده‌شده است. درحالی‌که گروه‌های سنی مختلف شهروندان توانایی‌های متفاوتی بهنگام وقوع شرایط بحرانی حمله تروریستی دارند.

در این مقاله محیط عمل عامل‌ها داده‌های موجود منطقه ۶ شهر تهران شامل شبکه معابر شهری، مناطق امن (بیمارستان‌ها، مراکز درمانی، پناهگاه‌های امن و خروجی اضطراری شهری) و نقاط پرجمعیت است. در فرایندهای شبیه‌سازی متغیر با زمان، هر واحد اجرای برنامه بیانگر تابعی از زمان در دنیای واقعی است. در این مقاله باتوجه به مدت زمان لازم جهت طی یک مسیر مشخص در مدل‌سازی و مدت زمان لازم جهت طی یک مسیر مشخص در دنیای واقعی توسط یک عامل، هر واحد اجرای برنامه معادل یک دقیقه در نظر گرفته شد. تابع انرژی تعریف‌شده برای عامل‌های تروریست به‌صورت تابعی از سه پارامتر زمان، تعداد حملات تروریستی انجام‌شده توسط عامل تروریست و تعداد روابط این عامل با سایر عامل‌های تروریست تعریف می‌گردد. دو عامل تروریست درصورتی‌که در فاصله مشخصی از یکدیگر قرار بگیرند، با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند. همچنین تابع انرژی برای عامل‌های شهروندان به‌صورت تابعی از زمان و توانایی گریز از منطقه موردحمله واقع‌شده، تعریف می‌شود. علاوه بر این، ازآنجایی‌که با توجه به مطالعات صورت گرفته، در تخلیه اضطراری در ساختمان و محیط‌های کوچک عموماً عامل‌ها پیاده و در محیط‌های شهری عامل‌های سواره در نظر گرفته‌شده‌اند؛ لذا در این مقاله نیز به علت وسعت منطقه (مساحت حدود ۲۱ کیلومترمربع) عامل‌ها سواره فرض شده‌اند.

مدل مکانی عامل‌مبنا تخلیه اضطراری شهری قادر خواهد بود که با بررسی رفتار تروریست‌ها و شهروندان بهنگام وقوع حمله تروریستی در منطقه شهری و از طریق بررسی سناریوهای مختلف، اطلاعات مفیدی پیرامون تلفات ناشی از وقوع حمله تروریستی ارائه دهد. همچنین مدل ارائه‌شده قادر به ارائه اطلاعاتی پیرامون موقعیت‌ها و نقشه محل وقوع حمله تروریستی و اطلاعاتی پیرامون تعداد کشته‌شدگان در هر حمله تروریستی صورت گرفته است. این موضوع به مدیران و کارشناسان کمک می‌کند تا به‌منظور به حداقل رساندن میزان کشته‌شدگان تصمیم‌های مناسب را اخذ نمایند و از این طریق باعث افزایش قدرت تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی مدیران شود. علاوه بر این در این مقاله از روش یک بار- در یک زمان[1] [۱۹] به‌منظور تحلیل حساسیت[2] مدل شبیه‌سازی عامل مبنای حمله تروریستی استفاده‌شده است. به دلیل تعداد بالای پارامترهای ورودی مدل شبیه‌سازی ارائه‌شده، ابتدا پارامترهای شبیه به یکدیگر دسته‌بندی‌شده و سپس حساسیت دسته پارامترها به‌منظور شناسایی دسته پارامترهای حساس مدل بررسی شد. سپس به‌منظور بررسی میزان حساسیت تک‌تک پارامترها برای پارامترهایی که حساسیت بیشتری دارند، روش تحلیل حساسیت یک بار-در-یک زمان استفاده شد.

در ادامه، در بخش دوم مدل پیشنهادی به‌منظور مدل‌سازی و شبیه‌سازی تخلیه اضطراری شهروندان در هنگام حمله تروریستی ارائه می‌شود. بخش سوم به

[1] *One-at-a-time*

[2] *Sensitivity Analysis*



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.7.2.195 ]

شبیه‌سازی و تحلیل نتایج از طریق بررسی سناریوهای مختلف شبیه‌سازی شده و تحلیل حساسیت می‌پردازد. نتیجه‌گیری و پیشنهادات نیز بخش پایانی این مقاله را شکل داده است.

## ۲- مدل مکانی عامل‌مبنا جهت تخلیه اضطراری شهروندان

در این تحقیق با توسعه مفاهیم ارائه‌شده در پژوهش‌های پیشین سعی بر ارائه مدلی منطقی به‌منظور شبیه‌سازی رفتار تخلیه اضطراری شهروندان در هنگام حمله تروریستی شده است. در این راستا به‌منظور کسب نتایج واقعی نیاز است تا تمامی ویژگی‌های محیط واقعی در فرایند مدل‌سازی اعمال شود. با این‌حال در پژوهش‌های انجام‌شده محیط اجرای عامل‌ها به‌عنوان یک محدوده ساده (بدون در نظر گرفتن معابر شهر، بیمارستان‌ها و ...) در نظر گرفته شده است؛ درصورتی‌که به‌منظور نزدیک بودن مدل ارائه‌شده به دنیای واقعی می‌بایست ویژگی‌های واقعی محیط در نظر گرفته شود. همچنین شهروندان تنها در یک گروه سنی مورد مدل‌سازی قرارگرفته‌اند؛ درحالی‌که گروه‌های سنی مختلف شهروندان توانایی‌های متفاوتی در هنگام وقوع شرایط بحرانی حمله تروریستی داشته و به‌طور مستقیم در نتایج تأثیرگذار است. علاوه بر مطالعه و بررسی رفتار نیروهای دفاعی و تروریستی در دنیای واقعی، عامل‌هایی با رویکردی متفاوت نسبت به کارهای انجام‌شده توسعه داده شد و سناریوهای متفاوتی نسبت به تحقیقات پیشین بررسی شده است. همچنین در این تحقیق به علت وسعت منطقه مورد مطالعه (مساحت حدود ۲۱ کیلومترمربع) عامل‌ها سواره فرض شده‌اند.

در این پژوهش عامل‌هایی در یک سیستم‌های چند عامله توسعه داده شدند که این عامل‌ها به‌منظور مدل‌سازی تخلیه شهروندان به هنگام وقوع حمله تروریستی با یکدیگر همکاری می‌کنند. در مدل ارائه‌شده سه دسته عامل به‌صورت زیر طراحی شد:

- عامل تروریست باهدف انجام حمله تروریستی
- عامل دفاعی باهدف کشف و نابود نمودن عامل‌های تروریست و دفاع از مکان‌های امن
- عامل شهروندان باهدف مدل‌سازی رفتار شهروندان در محیط شهری

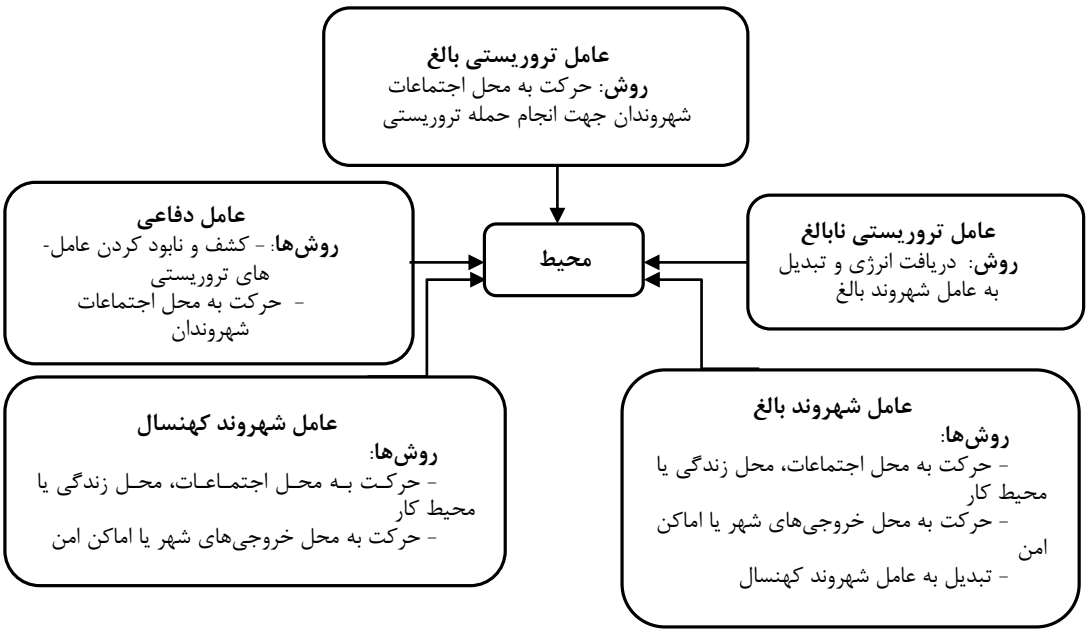
شکل (۱) نحوه تعامل میان عامل‌ها را نمایش می‌دهد. در معماری عامل‌مبنا توصیه شده است که عامل‌ها از طریق محیط با یکدیگر ارتباط برقرار نمایند. به این مفهوم که هر عامل به‌صورت لحظه‌ای اطلاعاتی شامل نوع، موقعیت و وضعیت خود را به محیط ارسال می‌کند. سپس عامل‌ها از طریق ارتباط با محیط اطلاعاتی شامل نوع، موقعیت و وضعیت سایر عامل‌های موجود در منطقه را دریافت می‌کنند. مادامی‌که هیچ حمله تروریستی انجام نشده باشد، عامل‌های تروریستی توسط عامل‌های دفاعی قابل تشخیص نیستند. اما پس از وقوع حمله تروریستی هنگامی‌که عامل‌های تروریستی در فاصله مشخصی از عامل‌های دفاعی قرار می‌گیرند، عامل‌های دفاعی این عامل‌های تروریستی را شناسایی نموده و از بین می‌برند. لذا اطلاعات مربوط به عامل‌های تروریستی، برای عامل‌های تروریستی و عامل‌های دفاعی از طریق محیط ارسال می‌گردد. از این طریق عامل‌های تروریستی با یکدیگر ارتباط برقرار می‌کنند. باتوجه به ساختار اطلاعات عامل‌ها با محیط، عامل‌های تروریست از طریق محیط تعداد عامل‌های تروریست، شهروندان و دفاعی موجود در فاصله مشخصی از خود را تشخیص داده و از این طریق سعی در برقراری ارتباط با سایر عامل‌های تروریست می‌کند. همچنین عامل‌ها از طریق محیط مکان‌های امن و یا مکان‌های شلوغ را تشخیص داده و با توجه به هدف تعیین‌شده برای هریک از آن‌ها در محیط به فعالیت می‌پردازند. به‌منظور حرکت عامل‌ها در محیط از الگوریتم مسیریابی $A^*$ استفاده‌شده است[۲۰]. هر یک از عامل‌ها درصورتی‌که در حمله حضور داشته باشند کشته شده و انرژی خود را از دست می‌دهند. درنهایت با تعیین حد آستانه‌ای، عامل‌هایی که انرژی کمی دارند غیرفعال خواهند شد. در ادامه وظیفه هر یک از عامل‌ها



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.7.2.195 ]

و نحوه عملکرد هرکدام به‌منظور تشکیل مدل عامل مبنای تخلیه اضطراری شهری تشریح خواهد شد.




**شکل ۱: نحوه تعامل میان عامل در مدل تخلیه اضطراری شهری**

### ۲-۱- عامل تروریست

این دسته از عامل‌ها باهدف بررسی رفتار تروریست‌ها به‌منظور انجام حمله تروریستی توسعه داده شدند. عامل‌های تروریست وظیفه انجام حملات تروریستی در محل‌های اجتماعات شهروندان را بر عهده دارد. این عامل‌ها با دریافت مقدار مشخصی از انرژی می‌توانند حمله تروریستی انجام دهند. در دنیای واقعی برای انجام حمله تروریستی موفق حداقل چند تروریست با یکدیگر همکاری می‌کنند که به‌منظور پشتیبانی از یکدیگر به‌منظور رسیدن به هدف تروریستی خود می‌بایست تاحدودی به یکدیگر نزدیک باشند. عامل‌های تروریست به‌وسیله ارتباط با سایر عامل‌های تروریست، درک بالایی در مورد محیط اطراف به دست خواهند آورد. این درک بالا به عامل‌های تروریست کمک می‌کند تا بتوانند به مکان‌های پرجمعیتی از شهروندان که عامل‌های تروریست بیشتری نیز حضور دارند حرکت نموده و از این طریق به حمله تروریستی بپردازند.

شکل(۲) چرخه حیات عامل تروریست را نمایش می‌دهد. عامل تروریستی بالغ از طریق محیط محل‌های اجتماع شهروندان را یافته و یکی را به‌عنوان محل حمله انتخاب می‌نماید. به‌منظور بررسی امکان و یا عدم امکان شرایط لازم جهت انجام حمله تروریستی این عامل در هر مکان به‌اندازه سه اجرای برنامه توقف خواهد شد. سپس شرایط به‌منظور انجام حمله تروریستی را بررسی نموده و در صورت عدم وجود شرایط حمله به مقصد دیگری از محیط حرکت می‌کند. این عامل به‌منظور حرکت به سمت اهداف مشخص‌شده، از الگوریتم مسیریابی $A^*$ استفاده می‌کند. شرایط انجام حمله تروریستی عبارت است از:

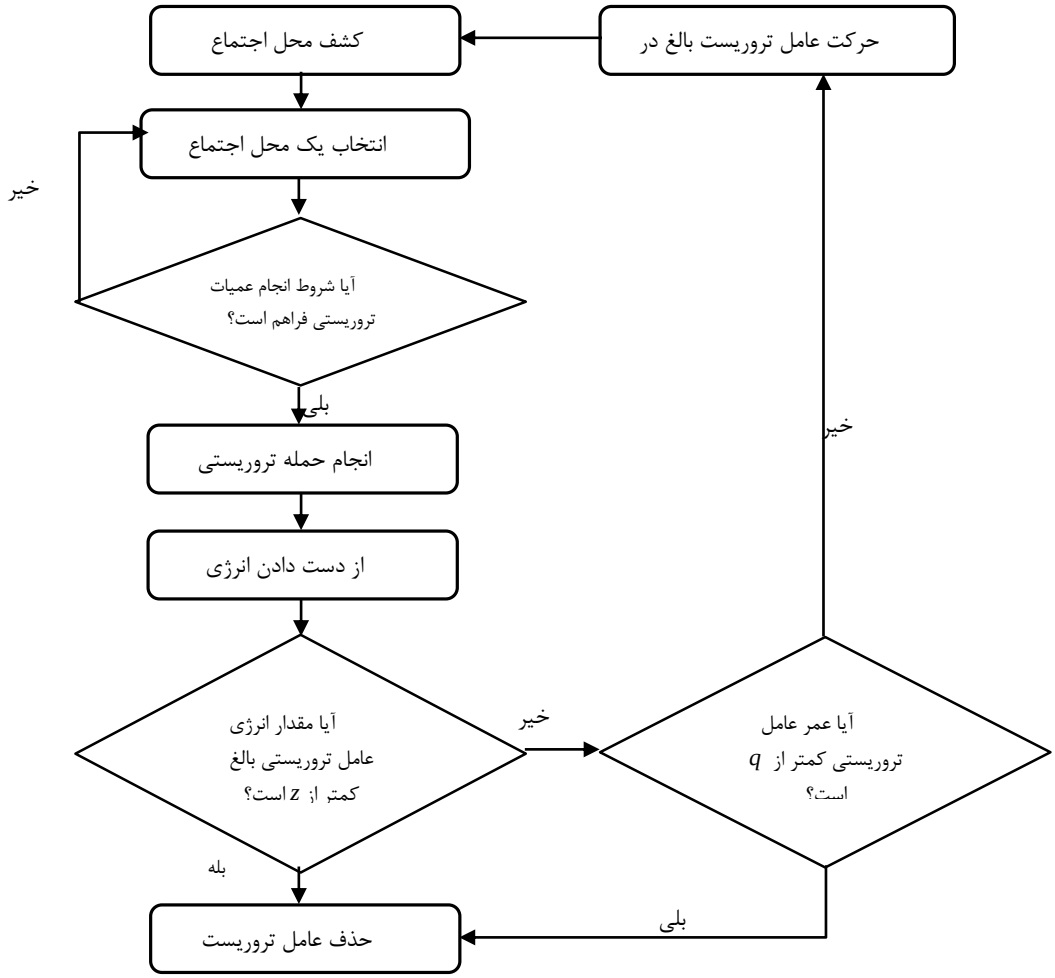
- ازآنجایی‌که در دنیای واقعی برای انجام حمله تروریستی موفق حداقل چند تروریست بایکدیگر همکاری می‌کنند لذا حداقل $n$ عامل تروریستی در فاصله مشخصی از محل قرار داشته باشند.



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.7.2.195 ]

- عامل‌های موجود دارای حداقل مقدار انرژی $e$ باشند.
- حداقل تعداد $x$ عامل شهروند در شعاع مشخصی حضورداشته باشند.
- تعداد عامل‌های دفاعی موجود در محل بیشتر از $z$ نباشد.

در صورت انجام حمله تروریستی، با توجه به انرژی عامل‌های تروریست، تعدادی از عامل‌های موجود در محل موردحمله واقع‌شده کشته می‌شوند. سپس عامل‌های تروریستی شرکت‌کننده در حمله تروریستی، بر اساس نوع و مقدار انرژی عامل‌های شهروندی که از بین برده است، مقداری انرژی نیز از دست می‌دهد. با در نظر گرفتن حد آستانه‌ای برای مقدار انرژی، این عامل از بین می‌رود.



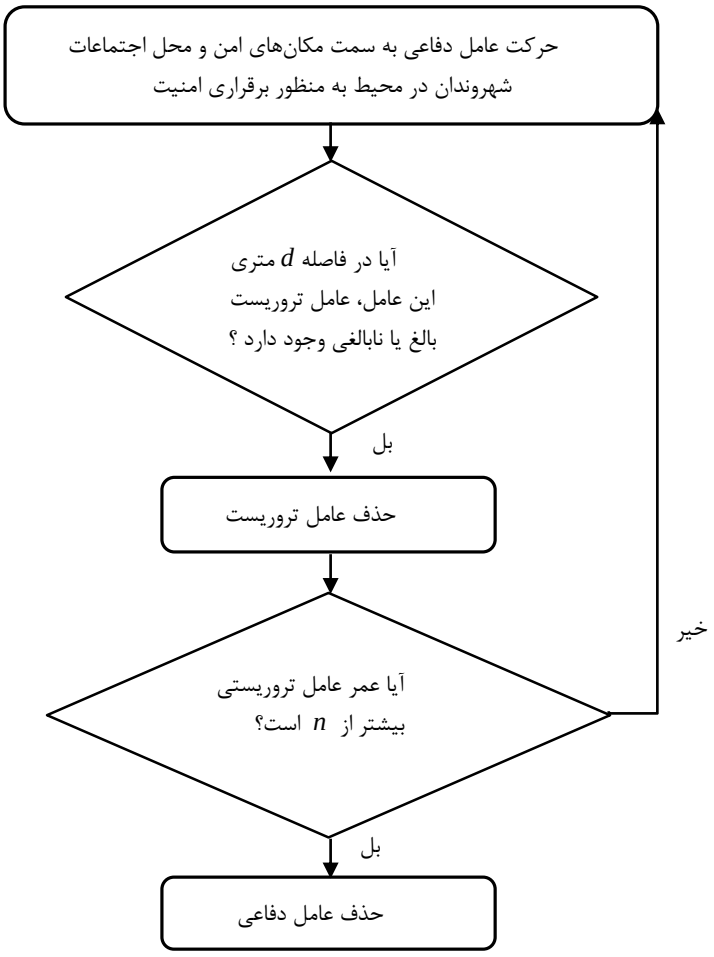

**شکل ۲: چرخه حیات عامل تروریست بالغ**

[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.7.2.195 ]

### ۲-۲- عامل دفاعی

هدف عامل‌های دفاعی بررسی رفتار نیروهای دفاعی به‌منظور محافظت از شهروندان، مکان‌های امن و نیز کشف و نابود نمودن عامل‌های تروریست است. شکل (۳) چرخه حیات عامل دفاعی را نمایش می‌دهد. ازآنجایی‌که احتمال وقوع حملات تروریستی در محل اجتماعات شهروندان بیشتر است، لذا این دسته از عامل‌ها از طریق محیط محل اجتماعات شهروندان را یافته و سعی در کشف و نابود نمودن عامل‌های تروریستی در این مناطق می‌نمایند. از سازوکار ارائه‌شده، در یک پژوهش به‌عنوان روش پایه به‌منظور تشخیص عامل‌های تروریستی توسط عامل‌های دفاعی استفاده شد[۱۶]. این استراتژی به این صورت است که عامل‌های تروریستی در میان شهروندان استتار شده و از دید شهروندان و عامل‌های دفاعی مخفی می‌شوند. مادامی‌که هیچ حمله تروریستی انجام نشده باشد، عامل‌های تروریستی توسط عامل‌های دفاعی قابل تشخیص نیستند. اما پس از وقوع حمله تروریستی هنگامی‌که عامل‌های تروریستی در فاصله مشخصی از عامل‌های دفاعی قرار می‌گیرند، عامل‌های دفاعی این عامل‌های تروریستی را شناسایی نموده و از بین می‌برند. در غیراین‌صورت و در خارج این فاصله عامل‌های تروریستی از دید عامل‌های دفاعی پنهان می‌شوند. تابع انرژی برای این عامل به‌صورت تابعی از زمان تعریف می‌گردد. اگر عمر عامل دفاعی بیشتر از حد آستانه باشد این عامل از بین می‌رود.




**شکل ۳: چرخه حیات عامل دفاعی**



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.7.2.195 ]

**۲-۳- عامل شهروندان**

این دسته از عامل‌ها باهدف بررسی و مدل‌سازی رفتار شهروندان قبل و بعد از انجام حمله تروریستی توسعه داده‌شده است. با توجه به اینکه گروه‌های مختلف سنی از شهروندان توانایی متفاوتی در گریز از منطقه موردحمله واقع‌شده و نیز انتخاب مسیرهای مناسب به‌منظور رسیدن به نقاط امن و یا خروجی‌های اضطراری دارند، سه دسته عامل‌های شهروندان شامل عامل‌های شهروند نابالغ (زیر ۲۰ سال)، عامل‌های شهروند بالغ (بین ۲۰ الی ۶۰ سال) و عامل‌های شهروند کهنسال (بین ۶۰ الی ۸۰ سال) توسعه داده شد.

عامل‌های شهروند بالغ بیشترین مقدار انرژی را نسبت به دو گروه دیگر دارای است. این گروه شامل شهروندانی است که نسبت به شهروندان نابالغ و کهنسال قدرت بیشتری به‌منظور گریز از منطقه موردحمله تروریستی و نیز انتخاب مسیرهای مناسب و امن برای رسیدن به نقاط امن و یا خروجی‌های اضطراری موجود در شهر رادارند. شکل(۴) چرخه حیات عامل شهروند بالغ را نمایش می‌دهد. به‌منظور مدل‌سازی بهتر رفتار شهروندان این عامل‌ها گرایش زیادی به حرکت به‌سوی محل اجتماعات، محل زندگی و محل کار خود دارند. در صورت وقوع حمله تروریستی، موقعیت محل موردحمله واقع‌شده از طریق محیط به عامل اعلام می‌شود. این عامل نزدیک‌ترین نقاط امن و یا راه‌های خروجی اضطراری را جستجو نموده و بهترین مسیر را به‌منظور رسیدن به یکی از این منابع انتخاب می‌کند. برای این منظور نزدیک‌ترین نقاط امن و یا مسیرهای خروجی شناسایی‌شده سپس وجود ظرفیت خالی به‌منظور پناه گرفتن عامل شهروند بررسی می‌شود و در صورت عدم وجود ظرفیت در یک پناهگاه به سمت نزدیک‌ترین پناهگاه دیگر و یا نزدیک‌ترین خروجی اضطراری حرکت می‌کند. عامل شهروند تابعی به‌منظور تصمیم‌گیری انتخاب پناهگاه و یا حرکت به سمت خروجی اضطراری شهر با در نظر گرفتن سه پارامتر زیر محاسبه می‌کند:

- مدت‌زمان لازم برای رسیدن به پناه گاه با در نظر گرفتن یک‌طرفه بودن راه‌ها
- انتخاب مسیرهای کم تردد به‌منظور رسیدن به نقاط امن و یا خروجی‌های شهری
- عدم انتخاب مسیرهای پرخطر که پیش‌ازاین موردحمله واقع‌شده

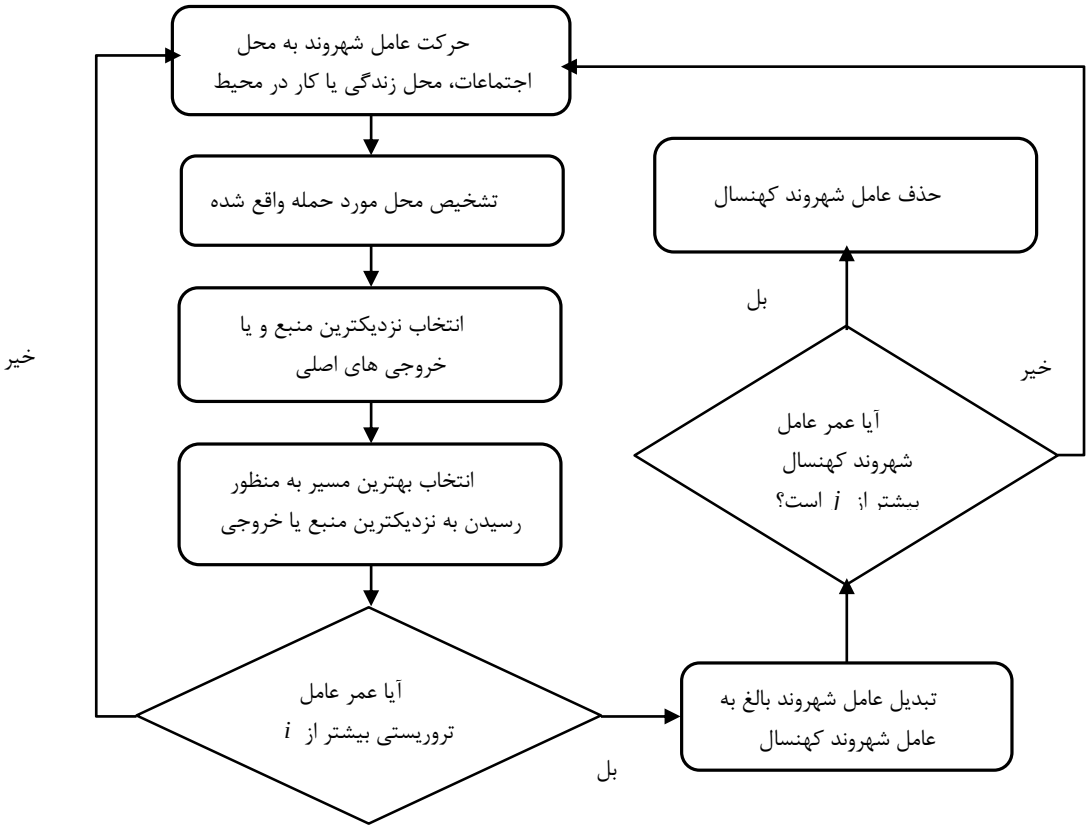
یک‌طرفه بودن راه‌ها باعث می‌شود تا در برخی از موارد لزوماً نزدیک‌ترین پناهگاه (ازلحاظ مکانی) انتخاب نگردد. همچنین عامل‌ها تا حد امکان مسیرهای کم تردد را به‌منظور رسیدن به نقاط امن و یا خروجی‌های شهری انتخاب می‌کنند. برای این کار با در نظر گرفتن عرض مسیر و حجم جمعیت عامل‌های عبوری از آن مسیر، مسیرهای مناسب را انتخاب می‌کنند. به‌عبارتی‌دیگر هریک از عامل‌ها با حرکت در محیط (که در اینجا محیط یک فضای رستری[1] متشکل از سطر و ستون تشکیل شده است) مقادیر پیکسل‌ها را بررسی و از این طریق اطلاعات مربوط به یک‌طرفه بودن راه‌ها، مسیرهای کم تردد و مسیرهای پرخطر را تشخیص می‌دهند. بر اساس تابع هزینه (شامل زمان، فاصله و ترافیک) تشکیل‌شده عامل شهروند پناهگاه و یا خروجی اضطراری شهر را انتخاب می‌کند. سپس با استفاده از الگوریتم مسیریابی $A^*$ به پناهگاه و یا خروجی اضطراری انتخاب شده حرکت می‌کند. پس از پناه گرفتن عامل در نقاط امن شهر و یا خروجی اضطراری شهر، به‌منظور جلوگیری از متوقف شدن برنامه، پس از گذشت چند اجرا این عامل دوباره از مکان امن خارج شده و به حرکت در محیط ادامه می‌دهد.

[1] *Raster*



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.7.2.195 ]




**شکل ۴: چرخه حیات عامل شهروند بالغ**

عامل‌های شهروند نابالغ، عامل‌هایی را شامل می‌شوند که نسبت به عامل‌های شهروند بالغ، دارای انرژی کمتری می‌باشند. این عامل‌ها توانایی پایینی در گریز از منطقه موردحمله واقع‌شده و نیز توانایی پایینی در انتخاب مسیرهای مناسب به‌منظور رسیدن به نقاط امن و یا خروجی‌های امن دارند.

عامل‌های شهروند کهنسال شامل شهروندانی است که نسبت به شهروندان بالغ، دارای انرژی کمتری هستند. اما این دسته از عامل‌ها نسبت به عامل‌های شهروند نابالغ قدرت بیشتری در انتخاب مسیرهای مناسب (زیرا افراد مسن نسبت به خردسال قدرت تحلیل بالاتری در انتخاب مسیر دارند) و امن به‌منظور رسیدن به منابع هدف و نیز خروجی‌های امن، دارند. این عامل‌ها همانند عامل‌های شهروند نابالغ و بالغ نیز می‌توانند در جریان حمله تروریستی کشته شوند. لذا چرخه حیات این عامل مشابه عامل شهروند بالغ است.

با توجه به توانایی متفاوت عامل‌های شهروند نابالغ، بالغ و کهنسال در گریز از منطقه مورد حمله واقع‌شده در هر واحد از اجرای برنامه عامل شهروند بالغ یک پیکسل جابجا می‌شود. این در حالی است که عامل شهروند کهنسال برای جابجایی به‌اندازه یک پیکسل در محیط به دو واحد اجرای برنامه زمان نیاز داشته و عامل شهروند نابالغ در مدت زمان سه واحد اجرای برنامه به‌اندازه یک پیکسل در محیط جابجا می‌شود.

## ۳- توسعه مدل عامل‌مبنا و تحلیل نتایج

در این بخش ابتدا مجموعه داده‌های استفاده‌شده در این پژوهش معرفی می‌شود. سپس نتایج حاصل از مدل شبیه‌سازی تخلیه اضطراری شهروندان توسط مدل عامل مبنای توسعه داده‌شده ارائه خواهد شد. به‌منظور توسعه مدل عامل مبنا ارائه‌شده، از نسخه ۵،۳ نرم‌افزار *NetLogo* استفاده شد. این نرم‌افزار یکی از کارآمدترین نرم‌افزارهای مدل‌سازی سیستم‌های چند عامله به‌شمار



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.7.2.195 ]

می‌رود که توسط دانشگاه اوری ویلنسکی[1] با پروانه عمومی همگانی (GPL[2]) توسعه داده‌شده است. این نرم‌افزار برای شبیه‌سازی سیستم‌های پیچیده طرحی شده است. نرم‌افزار *NetLogo* با زبان جاوا نوشته شده است. لذا این نرم‌افزار می‌تواند بر روی سیستم عامل‌های مختلف (ویندوز[3]، لینوکس[4] و مک[5]) اجرا شود. همچنین این نرم‌افزار از ساختار زبانی ساده‌ای برخوردار است. امکان طراحی محیط به‌صورت دو و سه بعدی، خط فرمان هوشمند، دارا بودن اهرم سرعت که اجازه کنترل سرعت مدل و مشاهده خروجی را با دقت بیشتر می‌دهد، سیستم رسم نمودار انعطاف‌پذیر و قدرتمند از دیگر ویژگی‌های این نرم‌افزار است [۲۱]. همچنین به دلیل دقت بالا و عملکرد مناسب در مسیریابی از الگوریتم $A^*$ [۲۰] به‌منظور مسیریابی عامل‌های توسعه داده‌شده در این مدل استفاده و این الگوریتم در نرم‌افزار *NetLogo* پیاده‌سازی شد. الگوریتم $A^*$ یکی از الگوریتم‌های پایه‌ای هوش مصنوعی است که به‌طور وسیع در مسائل مسیریابی و یافتن مسیر بین دو گره، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این الگوریتم ابتدا توسط پیتر ای هارت[6]، نیلز نیلسون[7] و برترام رافائل[8] در سال ۱۹۶۸ میلادی ارائه شد. این الگوریتم با در نظر گرفتن تابع هزینه (که به دنبال کمینه‌سازی[9] آن در طی سفر است) به دنبال یافتن بهترین مسیر از مبدأ به یک مقصد مشخص است.

### ۳-۱- پیاده‌سازی مدل عامل‌مبنا در نرم‌افزار *NetLogo*

در این تحقیق برای توزیع اولیه عامل‌های توسعه داده‌شده در محیط مدل شبیه سازی شده از ۲۰ عامل تروریست، ۱۰۰ عامل دفاعی، ۳۰۰ عامل شهروند نابالغ، ۶۰۰ عامل شهروند بالغ و ۳۰۰ عامل شهروند کهنسال استفاده شده است. در ابتدا عامل‌ها به‌صورت تصادفی در محیط توزیع شده پس از اجرای مدل هر یک از عامل‌ها با توجه به وظایفی که برای آن‌ها مشخص شده است به فعالیت پرداخته و در محیط حرکت می‌کنند. جدول (۱) مقادیر پارامترهای تعیین‌شده در مدل عامل مبنا را نمایش می‌دهد.

همان‌طور که پیش از این در بخش «۲-۳- عامل شهروندان» بیان شد عامل‌های شهروند نابالغ، بالغ و کهنسال توانایی متفاوتی در گریز از منطقه مورد حمله واقع‌شده دارند. به این صورت که توانایی گریز از منطقه مورد حمله واقع‌شده برای عامل‌های بالغ نسبت به عامل‌های کهنسال و عامل‌های کهنسال نسبت به عامل‌های نابالغ بیشتر است. لذا انرژی اولیه عامل‌های شهروند نابالغ، کهنسال و بالغ به ترتیب ۱۰، ۱۵ و ۳۰ در نظر گرفته شد. مقادیر سایر پارامترها به‌صورت تجربی در نظر گرفته‌شده است که توسط رابط گرافیکی کاربری[10] توسعه داده‌شده قابل تغییر است. علاوه بر این فرض شده است که ۶۰ درصد عامل‌های شهروندان، ۸۰ درصد عامل‌های تروریستی و ۸۰ درصد عامل‌های دفاعی گرایش به حرکت به سمت مناطق شلوغ دارند. انگیزه این استراتژی به این خاطر است که مثلاً ۸۰ درصد عامل‌های تروریستی باتوجه به هدف تعریف‌شده برای آن‌ها به سمت مناطق شلوغ حرکت نمایند و سایر عامل‌های تروریستی (۲۰ درصد مابقی) به‌منظور جستجوی مناطق غیر شلوغ اما مستعد برای انجام حمله تروریستی آزادانه در محیط به فعالیت بپردازند. تغییر در مقدار هریک از این پارامترها می‌توان نتایج حاصل از مدل‌سازی را تحت تأثیر قرار دهد. نتایج ارائه‌شده در ادامه بر اساس این مقادیر پارامترها خواهد بود.

[1] *Uri Wilensky: https://ccl.northwestern.edu/uri/*
[2] *General Public Licence*
[3] *Windows*
[4] *Linux*
[5] *Mac*
[6] *Peter E. Hart*
[7] *Nils Nilsson*
[8] *Bertram Raphael*
[9] *Minimization*
[10] *Graphic User Interface*



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.7.2.195 ]

جدول ۱: مقادیر پیش‌فرض پارامترهای مدل عامل مبنا

| | |
|---|---|
| تعداد اولیه عامل‌های تروریست | ۲۰ نفر |
| تعداد اولیه عامل‌های دفاعی | ۱۰۰ نفر |
| تعداد اولیه عامل‌های شهروند نابالغ | ۳۰۰ نفر |
| تعداد اولیه عامل‌های شهروند بالغ | ۶۰۰ نفر |
| تعداد اولیه عامل‌های شهروند کهنسال | ۳۰۰ نفر |
| انرژی اولیه عامل‌های دفاعی | ۳۰ کیلوکالری در واحد زمان |
| انرژی اولیه عامل‌های تروریستی | ۳۰ کیلوکالری در واحد زمان |
| انرژی اولیه عامل‌های شهروند نابالغ | ۱۰ کیلوکالری در واحد زمان |
| انرژی اولیه عامل‌های شهروند بالغ | ۲۰ کیلوکالری در واحد زمان |
| انرژی اولیه عامل‌های شهروند کهنسال | ۱۵ کیلوکالری در واحد زمان |
| تعداد عامل‌های تروریست لازم جهت انجام حمله تروریست | ۳ نفر |
| تعداد عامل‌های شهروند لازم جهت انجام حمله تروریست | ۱۰ نفر |
| حداکثر تعداد عامل‌های دفاعی لازم جهت انجام حمله تروریست | ۵ نفر |
| حداقل انرژی عامل‌های تروریستی به‌منظور انجام حمله تروریستی | ۴۰ کیلوکالری در واحد زمان |
| حداقل انرژی جهت زنده ماندن عامل‌ها | ۵ کیلوکالری در واحد زمان |
| تعداد اجراهایی که شهروندان در پناهگاه‌ها مانده و خارج نمی‌شوند | ۱۸۰ در واحد زمان |
| حداقل شعاع به‌منظور برقراری ارتباط تروریست‌ها با یکدیگر | ۲۰۰ متر |

### ۳-۲- داده‌های مورد استفاده

محدوده مورد مطالعه منطقه ۶ شهر تهران به مساحت ۲۱,۴۴ کیلومترمربع که از شمال به منطقه ۳، از شرق به منطقه ۷، از جنوب به منطقه ۱۱ و از غرب به منطقه ۲ متصل است. شکل (۵) داده‌های مورد استفاده منطقه ۶ شهر تهران را نمایش می‌دهد. همچنین داده‌های شبکه معابر شهری منطقه ۶ دربردارنده اطلاعاتی پیرامون عرض راه‌های شهری به‌منظور محاسبه ترافیک جمعیت عبوری از راه و همچنین اطلاعات مربوط به جهت خیابان‌های یک‌طرفه با توجه به اهمیت این اطلاعات در مسیریابی عامل‌ها مورد استفاده قرار گرفتند. علاوه بر این داده‌های نقاط پرجمعیت شهری شامل مراکز خرید، مراکز علمی و دانشگاهی و پایانه‌ها با مساحت ۰/۴۵ کیلومترمربع، نقاط امن شهر شامل مناطق دفاعی، ایستگاه‌های مترو، بیمارستان‌ها با مساحت ۰/۵۵ کیلومترمربع و همچنین شش خروجی اضطراری موجود در منطقه ۶ استفاده شد.

پس از تهیه داده‌های موردنظر این داده‌ها به‌منظور تشکیل محیط مدل مکانی عامل مبنا مورد استفاده قرار می‌گیرند. در جدول (۲) فرمت داده‌های مورد استفاده در این پروژه نمایش داده شده است. خروجی‌های اضطراری در فرمت داده برداری[1] نقطه‌ای، داده‌های شبکه‌های معابر شهری فرمت برداری خطی و داده‌های مربوط به نقاط شلوغ، پناهگاه‌ها و نقاط امن در فرمت داده برداری پلی‌گونی مورد استفاده قرار گرفت. شکل (۶) مراحل آماده‌سازی این داده‌ها به‌منظور طراحی محیط را نمایش می‌دهد. مطابق این شکل، ابتدا هر یک از داده‌ها از فرمت برداری به فرمت رستری تبدیل شد و سپس به‌منظور تشکیل محیط مدل با استفاده از نرم‌افزار *NetLogo* ، فرمت رستری داده‌ها به فرمت اسکی[2] تبدیل شد.

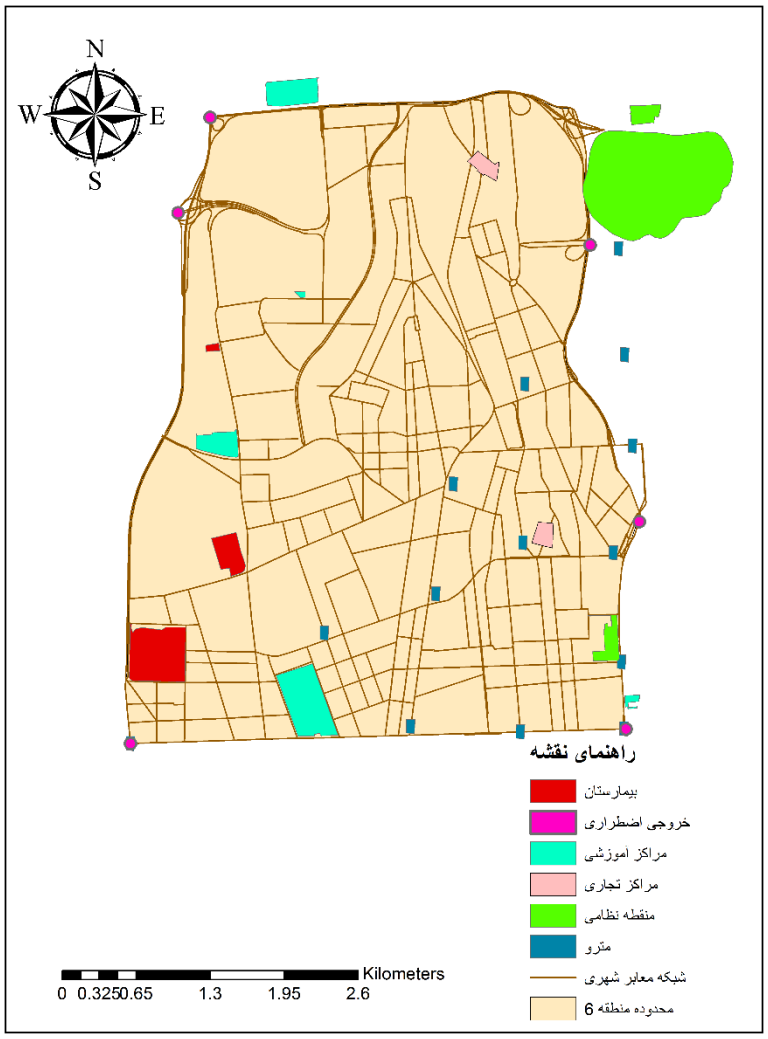
[1] *Vector*

[2] *ASCII*



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.7.2.195 ]




**شکل ۵: داده‌های مورد استفاده در مدل شبیه‌سازی عامل مبنای تخلیه اضطراری شهروندان**

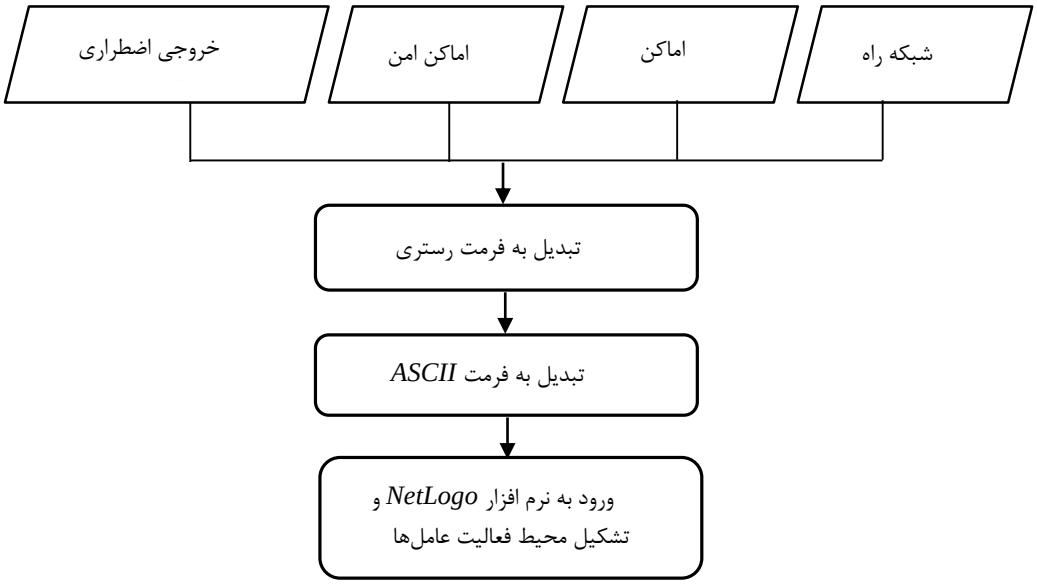
**جدول ۲: فرمت داده‌های مورد استفاده**

| داده‌ها | فرمت داده‌ها |
|---|---|
| خروجی‌های اضطراری | نقطه |
| شبکه معابر شهری | خط |
| نقاط شلوغ، پناهگاه‌ها و نقاط امن | پلی گون |



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.7.2.195 ]




**شکل۶: مراحل آماده‌سازی داده‌ها به‌منظور طراحی محیط مدل**

### ۳-۳- نتایج

شکل‌های (۷) و (۸) به ترتیب تعداد عامل‌ها در ۱۰۰۰ اجرای مدل و درصد عامل‌های شهروند کشته‌شده (تعداد عامل‌های کشته شده به تعداد عامل‌های هر دسته در زمان شروع اجرای مدل) را نمایش می‌دهد. ازآنجایی‌که در هر حمله تروریستی انجام‌شده تعدادی عامل شهروند، دفاعی و تروریستی کشته شدند، لذا نمودار مربوط به جمعیت هریک از این عامل‌ها همواره نزولی است. اولین حمله تروریستی در منطقه مورد مطالعه در اجرای ۱۰۵ انجام شد. در این حمله ۸,۶ درصد عامل شهروند نابالغ، ۱,۶ درصد عامل شهروند بالغ و ۷,۳ درصد عامل شهروند کهنسال کشته شد. این موضوع می‌تواند به این دلیل باشد که انرژی اولیه عامل‌های شهروند بالغ از عامل‌های شهروند کهنسال و انرژی اولیه عامل‌های شهروند کهنسال از عامل‌های شهروند نابالغ بیشتر است (انرژی اولیه عامل‌ها در جدول ۱ تشریح شده است). در حملات تروریستی انجام‌شده در اجراهای ۱۱۰ و ۲۷۴ علی‌رغم بیشتر بودن انرژی اولیه عامل‌های شهروند کهنسال از عامل‌های شهروند نابالغ، درصد عامل‌های شهروند کهنسال کشته شده از عامل‌های شهروند نابالغ بیشتر است. این موضوع به این دلیل است که تعداد عامل‌های شهروند کهنسال حضور داشته در منطقه مورد حمله واقع‌شده بیشتر از تعداد عامل‌های شهروند نابالغ است.

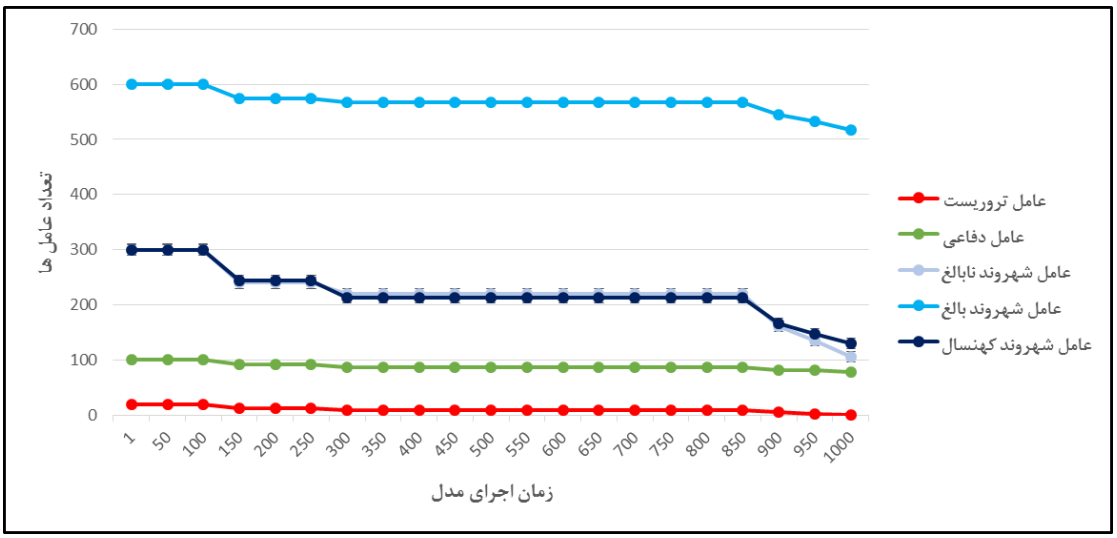
در سایر حملات تروریستی انجام‌شده، درصد عامل‌های شهروند نابالغ کشته شده از عامل‌های شهروند کهنسال بیشتر است. همچنین به دلیل توانایی بالای عامل‌های شهروند بالغ (نسبت به عامل‌های شهروند نابالغ و کهنسال) در گریز از منطقه مورد حمله واقع‌شده، تعداد عامل‌های شهروند بالغ کشته‌شدگان در تمامی حملات تروریستی انجام‌شده در منطقه از عامل‌های شهروند نابالغ و کهنسال کشته شده کمتر است. این موضوع می‌تواند به علت جمعیت زیاد این عامل‌ها در محیط باشد. در مدل شبیه‌سازی اجراشده با توجه به مقادیر اولیه پارامترهای مدل که در جدول (۱) تشریح شده است؛ ۸ حمله تروریستی در منطقه مورد مطالعه پیش‌بینی شد. در طول این حملات تروریستی انجام‌شده درمجموع ۴۷۲ نفر شامل ۴۵۱ نفر عامل شهروند و ۲۱ عامل دفاعی کشته شدند. عامل‌های شهروند کشته شده در این حملات شامل ۱۹۴ عامل شهروند نابالغ، ۸۷ عامل شهروند بالغ و ۱۷۰ عامل شهروند کهنسال است. با توجه به مقادیر اولیه پارامترهای در نظر گرفته‌شده در



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.7.2.195 ]

جدول(۱)، در پایان ۱۰۰۰ اجرای مدل تعداد عامل‌های تروریستی به صفر می‌رسد. لذا به نظر می‌رسد که تعداد عامل‌های دفاعی به‌منظور از بین بردن عامل‌های تروریست‌ها کافی نیست.

شکل (۹) نقشه مکان‌های موردحمله واقع‌شده بعد از ۱۰۰۰ اجرا را نمایش می‌دهد. مناطقی مشخص‌شده با رنگ قرمز محل‌های موردحمله واقع‌شده می‌باشند. شکل (۹-الف) توزیع اولیه عامل‌ها در محیط را نمایش می‌دهد. پس از اجرای مدل شبیه‌سازی، عامل‌های شهروندان در محیط شروع به حرکت می‌کنند. همچنین عامل‌های تروریستی با حرکت به سمت مکان‌های پرجمعیت و برقراری ارتباط با نزدیک‌ترین عامل‌های تروریستی مجاور خود به دنبال فراهم آوردن شرایط حمله تروریستی می‌باشند. اولین حمله تروریستی در منطقه در اجرای ۱۰۵ انجام شد. پس‌ازاین حمله عامل‌های شهروند با استفاده از الگوریتم مسیریابی $A^*$ بهترین مسیر به‌منظور رسیدن به نزدیک خروجی و یا مکان امن را انتخاب نموده و سپس به سمت خروجی و یا مکان امن انتخاب‌شده حرکت می‌کنند. در حین این تخلیه اضطراری حمله تروریستی دوم (در اجرای ۱۱۰) انجام شد (شکل ۹-ب). شکل (۹- ج) سومین حمله تروریستی انجام‌شده در زمان اجرای ۱۳۶ را نمایش می‌دهد. همچنین شکل (۱۰- د) تلاش عامل‌های شهروند به‌منظور پناه گیری در مکان‌های امن و یا حرکت به نزدیک‌ترین خروجی را نمایش می‌دهد که در این فاصله چهارمین حمله تروریستی در زمان اجرای ۲۷۴ انجام شد. نکته جالب توجه از بررسی نقشه‌های ارائه‌شده در شکل (۹) متمرکز بودن حملات تروریستی است. تقریباً تمامی حملات تروریستی انجام‌شده در منطقه مربوط به بخش مرکزی و جنوب شرقی منطقه ۶ تهران است. این موضوع می‌تواند به دلیل عدم دسترسی مناسب به خروجی‌های اضطراری و دور بودن از نقاط امن برای شهروندان باشد.

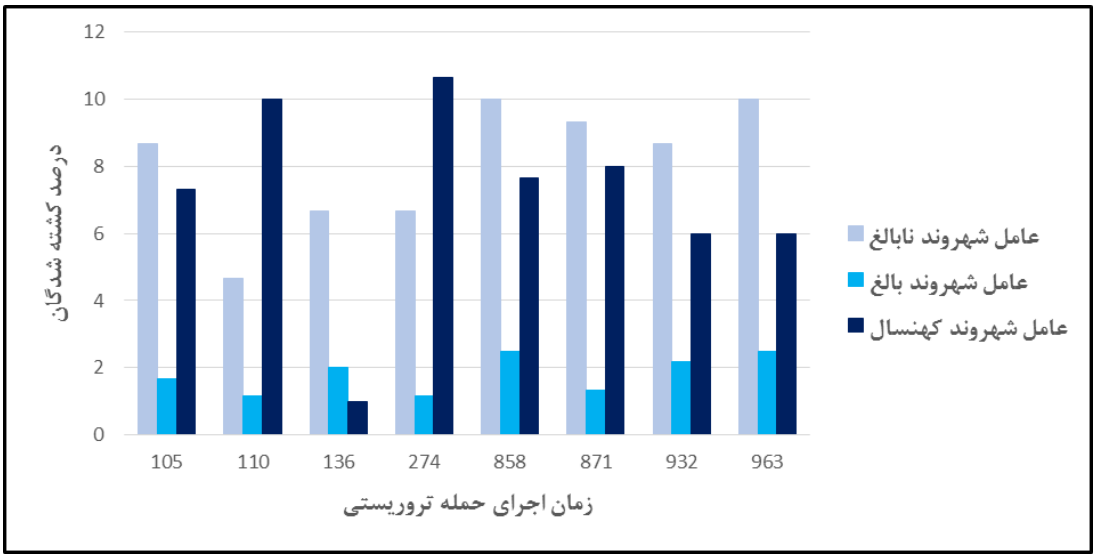



**شکل ۷: تعداد عامل‌ها پس از ۱۰۰۰ اجرای مدل عامل مبنای تخلیه اضطراری**

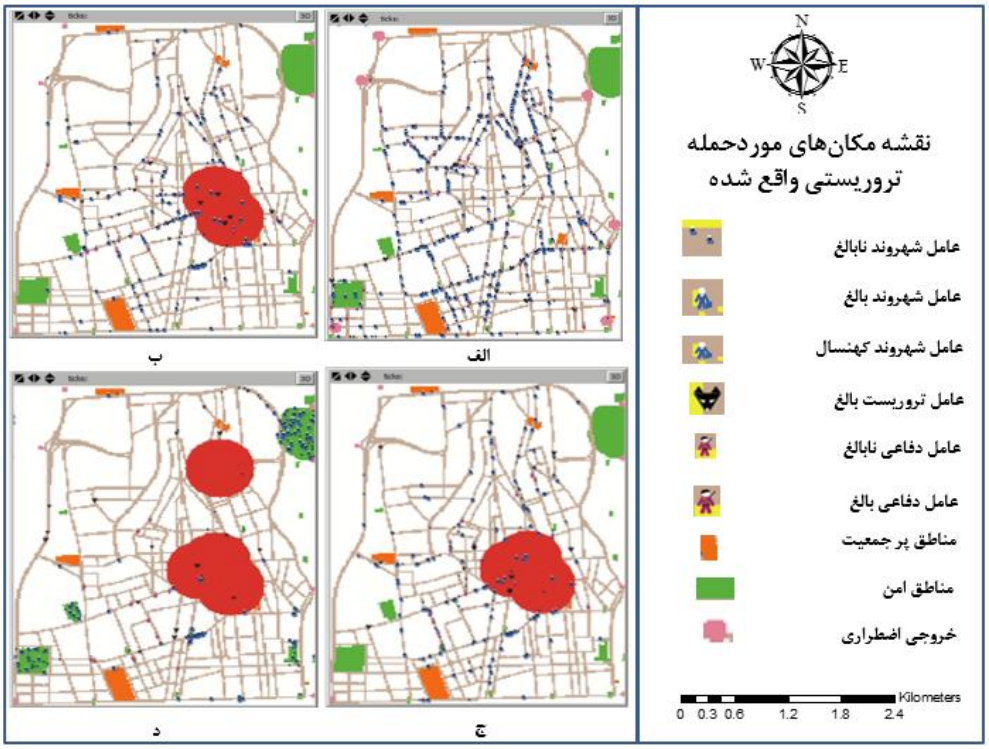


[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.7.2.195 ]




شکل ۸: درصد عامل‌های کشته‌شده




شکل ۹: نقشه مکان‌های موردحمله واقع‌شده. الف- توزیع اولیه عامل‌ها در محیط. ب- انجام دو حمله تروریستی در زمان‌های ۱۰۵ و ۱۱۰. ج- سومین حمله تروریستی انجام‌شده در زمان اجرای ۱۳۶. د-حرکت عامل‌های شهروند به مکان‌های امن و چهارمین حمله تروریستی در زمان اجرای ۲۷۴.



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.7.2.195 ]

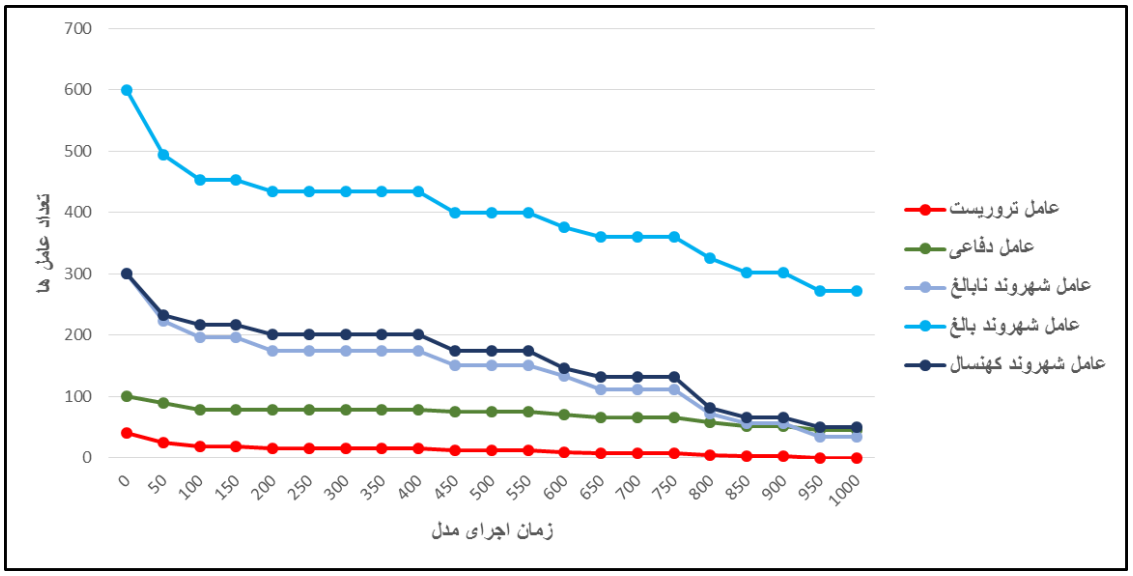
### ۳-۴- سناریوسازی و تحلیل حساسیت

- **سناریوی اول: افزایش تعداد نیروهای دفاعی**

یکی از قابلیت‌های مدل عامل مبنای توسعه داده‌شده قابلیت بررسی سناریوهای مختلف در خصوص بررسی راه‌کارهایی به‌منظور کاهش تلفات ناشی ازجمله تروریستی است. در صورت دو برابر شدن تعداد عامل‌های دفاعی نسبت به حالت قبل، هیچ حمله تروریستی در منطقه انجام نشده لذا تعداد هریک از عامل‌های دفاعی و شهروندان در طول اجرای مدل ثابت باقی می‌ماند. در نتیجه به نظر می‌رسد که با افزایش تعداد نیروهای دفاعی در منطقه می‌توان امکان حمله تروریستی و تعداد کشته‌شدگان را به صفر رساند.

- **سناریوی دوم: افزایش تعداد عامل‌های تروریست**

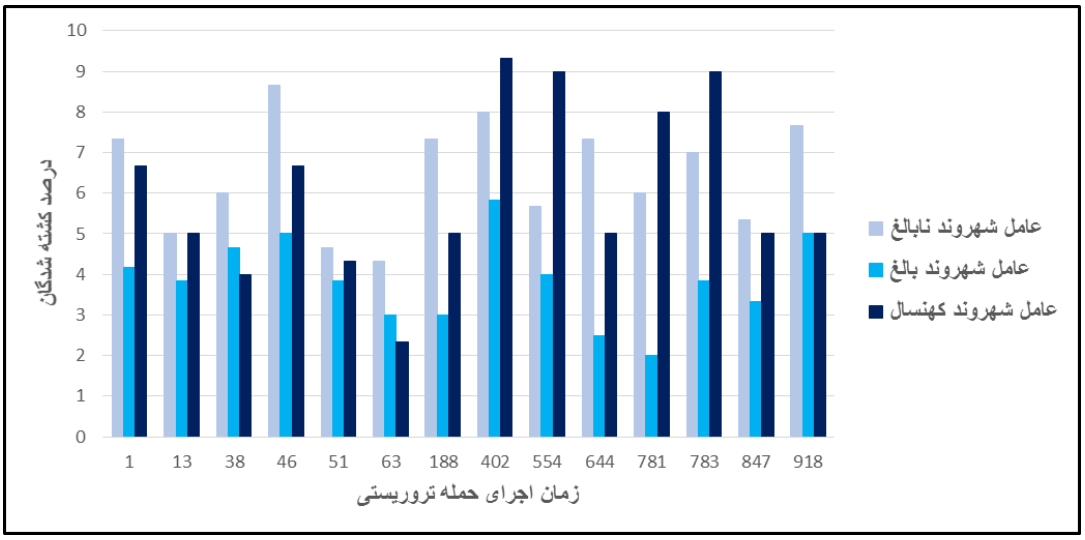
شکل‌های (۱۰) و (۱۱) به ترتیب تعداد عامل‌ها و درصد عامل‌های شهروند کشته‌شده (تعداد عامل‌های کشته شده به تعداد عامل‌های هر دسته در زمان شروع اجرای مدل) در صورت دو برابر شدن تعداد عامل‌های تروریست را نمایش می‌دهد. بیشترین تعداد حملات تروریستی در ۵۰ زمان اجرای ابتدایی مدل بوده، لذا نمودار تعداد عامل‌های کشته شده در شکل (۱۰) در این بازی زمانی باشدت بیشتری رو به کاهش است. تقریباً در ۷۰ درصد حملات تروریستی انجام‌شده درصد عامل‌های شهروند نابالغ کشته شده بیشتر از سایر عامل‌ها است که این موضوع می‌تواند به دلیل توانایی پایین این دسته از عامل‌ها در گریز از منطقه مورد حمله واقع‌شده و پناه‌گیری در نقاط امن و یا حرکت به سمت خروجی‌های اضطراری باشد. همچنین در حملات تروریستی انجام‌شده در زمان‌های ۳۸ و ۶۳ درصد عامل‌های شهروند بالغ کشته شده بیشتر از عامل‌های شهروند کهنسال است. همچنین در زمان اجرای ۹۱۸ درصد عامل‌های شهروند بالغ کشته شده برابر با عامل‌های شهروند کهنسال است. این موضوع می‌تواند به دلیل جمعیت بیشتر عامل‌های شهروند بالغ نسبت به عامل‌های شهروند کهنسال باشد.




**شکل ۱۰: تعداد عامل‌ها پس از دو برابر نمودن تعداد عامل‌های تروریست در اجراهای مختلف**

[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.7.2.195 ]




**شکل ۱۱: درصد عامل‌های کشته‌شده (تعداد عامل‌های کشته شده به تعداد عامل‌های هر دسته در زمان شروع اجرای مدل) پس از دو برابر نمودن تعداد عامل‌های تروریست در اجراهای مختلف**

نتایج عددی حاصل از اجرای مدل شبیه‌سازی عامل مبنا در جدول(۳) به‌طور خلاصه آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که با دو برابر شدن تعداد عامل‌های تروریست تعداد حملات تروریستی انجام‌شده از ۸ به ۱۴ حمله تروریستی افزایش می‌یابد. همچنین تعداد کشته‌شدگان عامل‌های شهروند و دفاعی از ۴۷۲ نفر (شامل ۴۵۱ نفر عامل شهروند و ۲۱ عامل دفاعی) به ۹۰۲ نفر شامل (۸۴۸ نفر عامل شهروند و ۵۴ عامل دفاعی) افزایش می‌یابد. عامل‌های شهروند کشته شده در این حملات از ۱۹۴ نفر عامل شهروند نابالغ به ۲۷۱ نفر، از ۸۷ عامل شهروند بالغ به ۳۲۴ نفر و از ۱۷۰ عامل شهروند کهنسال به ۳۵۳ نفر افزایش می‌یابد. با توجه به مقادیر اولیه پارامترهای در نظر گرفته‌شده در جدول(۱)، در پایان ۱۰۰۰ اجرای مدل تعداد عامل‌های تروریستی به صفر می‌رسد. تعداد بالای حملات تروریستی انجام‌شده در این سناریو و در نتیجه افزایش عامل‌های کشته شده بیان می‌کند که تعداد عامل‌های دفاعی به‌منظور از بین بردن عامل‌های تروریست‌ها کافی نیست.

**جدول ۳: نتایج حاصل از دو برابر شدن تعداد عامل‌های تروریست**

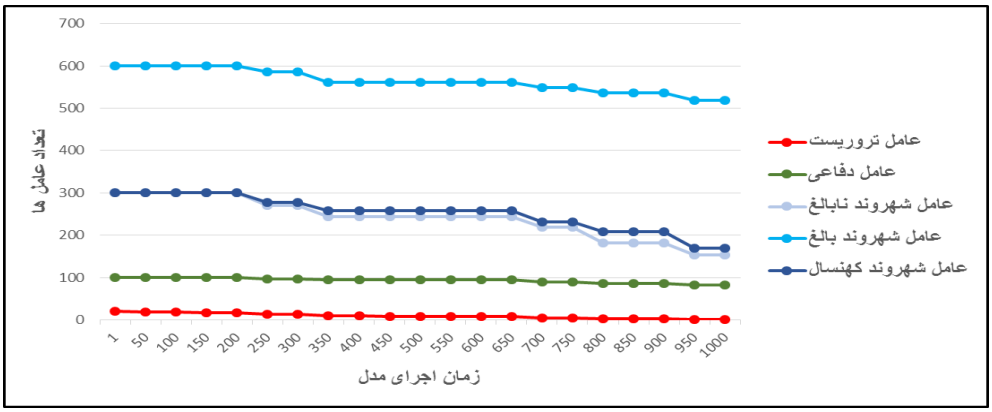
| نوع پارامترهای بررسی شده | نتایج تنظیمات اولیه | نتایج حاصل از دو برابر شدن تعداد عامل‌های تروریست |
|---|---|---|
| تعداد حملات تروریستی انجام‌شده | ۸ حمله | ۱۴حمله |
| تعداد عامل‌های شهروند نابالغ کشته شده | ۱۹۴ نفر | ۲۷۱ نفر |
| تعداد عامل‌های شهروند بالغ کشته شده | ۸۷ نفر | ۳۲۴ نفر |
| تعداد عامل‌های شهروند کهنسال کشته شده | ۱۷۰ نفر | ۳۵۳ نفر |
| تعداد عامل‌های دفاعی کشته شده | ۲۱ نفر | ۵۴ نفر |
| مجموع عامل‌های کشته شده (شهروند+دفاعی) | ۴۷۲ نفر | ۹۰۲ نفر |



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.7.2.195 ]

- **سناریوی سوم: تخصیص ۶۰ درصد تعداد عامل‌های دفاعی به دفاع از نقاط پرجمعیت و ۴۰ درصد آن‌ها به جستجو و کشف عامل‌های تروریست**

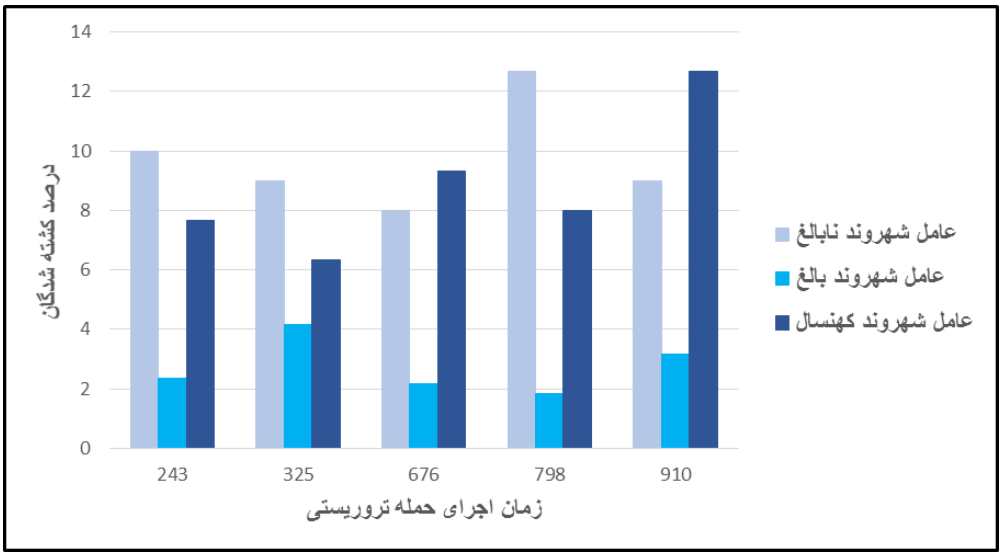
پیش از این بخش، نتایج حاصل از مدل که در بخش (۳-۳) ارائه‌شده، با فرض تخصیص ۶۰ درصد عامل‌های شهروندان، ۸۰ درصد عامل‌های تروریستی و ۸۰ درصد عامل‌های دفاعی گرایش به حرکت به سمت مناطق شلوغ بود. شکل‌های (۱۲) و (۱۳) به ترتیب تعداد عامل‌ها و درصد عامل‌های شهروند کشته‌شده (تعداد عامل‌های کشته شده به تعداد عامل‌های هر دسته در زمان شروع اجرای مدل) در صورت تخصیص ۶۰ درصد تعداد عامل‌های دفاعی به دفاع از نقاط پرجمعیت و ۴۰ درصد آن‌ها به جستجو و کشف عامل‌های تروریست را نمایش می‌دهد. بیشترین تعداد حملات تروریستی در یک‌سوم انتهایی اجرای مدل بوده لذا نمودار تعداد عامل‌های کشته شده در شکل (۱۲) در این بازی زمانی با شدت بیشتری رو به کاهش است. تقریباً در ۶۰ درصد حملات تروریستی انجام‌شده درصد عامل‌های شهروند نابالغ کشته شده بیشتر از سایر عامل‌ها است که این موضوع می‌تواند به دلیل توانایی پایین این دسته از عامل‌ها در گریز از منطقه مورد حمله واقع‌شده و پناه‌گیری در نقاط امن و یا حرکت به سمت خروجی‌های اضطراری باشد. بررسی شکل‌های (۱۲) و (۱۳) نشان می‌دهد که حمله تروریستی انجام‌شده در زمان‌های ۹۱۰ و ۷۹۸ با به‌ترتیب۲۴ و ۲۰ درصد، بیشتر تعداد کشته‌شدگان را به خود اختصاص داده است. علاوه‌براین ازآنجایی‌که عامل‌های تروریستی شرکت‌کننده در حمله تروریستی پس از انجام حمله توسط عامل‌های دفاعی قابل تشخیص می‌شوند، لذا عامل‌های دفاعی با جستجو و کشتن عامل‌های تروریستی می‌توانند از اقدام مجدداً عامل‌های تروریستی شناسایی‌شده جهت انجام حمله تروریستی جلوگیری نمایند. لذا استفاده از این سناریو می‌تواند در کاهش تعداد حملات تروریستی نقش به‌سزایی داشته باشد.نتایج عددی حاصل از اجرای مدل شبیه‌سازی عامل مبنا در جدول(۴) به‌طور خلاصه آورده شده است. نتایج نشان می‌دهد که در صورت تخصیص ۶۰ درصد تعداد عامل‌های دفاعی به دفاع از نقاط پرجمعیت و ۴۰ درصد آن‌ها به جستجو و کشف عامل‌های تعداد حملات تروریستی انجام‌شده از ۸ به ۵ حمله تروریستی کاهش می‌یابد. همچنین تعداد کشته‌شدگان عامل‌های شهروند و دفاعی از ۴۷۲ نفر (شامل ۴۵۱ نفر عامل شهروند و ۲۱ عامل دفاعی) به ۳۷۴ نفر شامل (۳۶۰ نفر عامل شهروند و ۱۴ عامل دفاعی) افزایش می‌یابد. عامل‌های شهروند کشته شده در این حملات از ۱۹۴ نفر عامل شهروند نابالغ به ۱۴۶ نفر، از ۸۷ عامل شهروند بالغ به ۸۲ نفر و از ۱۷۰ عامل شهروند کهنسال به ۱۳۲ نفر کاهش می‌یابد.




**شکل ۱۲: تعداد عامل‌ها در صورت تخصیص ۶۰ درصد تعداد عامل‌های دفاعی به دفاع از نقاط پرجمعیت و ۴۰ درصد آن‌ها به جستجو و کشف عامل‌های تروریست**



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.7.2.195 ]




**شکل ۱۳: درصد عامل‌های کشته‌شده در صورت تخصیص ۶۰ درصد تعداد عامل‌های دفاعی به دفاع از نقاط پرجمعیت و ۴۰ درصد آن‌ها به جستجو و کشف عامل‌های تروریست**

**جدول ۴: نتایج حاصل از مدل در صورت تخصیص ۶۰ درصد تعداد عامل‌های دفاعی به دفاع از نقاط پرجمعیت و ۴۰ درصد آن‌ها به جستجو و کشف عامل‌های تروریست**

| نوع پارامترهای بررسی شده | نتایج تنظیمات اولیه | نتایج حاصل از مدل در صورت تخصیص ۶۰ درصد تعداد عامل‌های دفاعی به دفاع از نقاط پرجمعیت و ۴۰ درصد آن‌ها به جستجو و کشف عامل‌های تروریست |
|---|---|---|
| تعداد حملات تروریستی انجام‌شده | ۸ حمله | ۵ حمله |
| تعداد عامل‌های شهروند نابالغ کشته شده | ۱۹۴ نفر | ۱۴۶ نفر |
| تعداد عامل‌های شهروند بالغ کشته شده | ۸۷ نفر | ۸۲ نفر |
| تعداد عامل‌های شهروند کهنسال کشته شده | ۱۷۰ نفر | ۱۳۲ نفر |
| تعداد عامل‌های دفاعی کشته شده | ۲۱ نفر | ۱۴ نفر |
| مجموع عامل‌های کشته شده (شهروند+دفاعی) | ۴۷۲ نفر | ۳۷۴ نفر |

- **آنالیز حساسیّت**

هدف از آنالیز حساسیّت بررسی استحکام نتایج مدل با تغییر مقادیر یک یا چند پارامتر تشکیل‌دهنده مدل است [۱۹]. به‌عبارت‌دیگر هدف تحلیل حساسیت، شناسایی پارامترهایی است که تغییر در مقادیر آن‌ها تأثیر زیادی در تغییر نتایج مدل شبیه‌سازی دارد. روش‌های زیادی به‌منظور تحلیل حساسیت ارائه‌شده است که با توجه به ماهیت مسئله می‌توانند مورد استفاده قرار گیرند. در این مقاله از روش یک بار- در- یک زمان[۱] [۱۹] به‌منظور تحلیل حساسیت مدل شبیه‌سازی عامل مبنای حمله

[۱] *One-at-a-time*



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.7.2.195 ]

تروریستی استفاده شد. به دلیل تعداد بالای پارامترهای ورودی مدل شبیه‌سازی ارائه‌شده، ابتدا پارامترهای شبیه به یکدیگر دسته بندی شده و سپس حساسیت دسته پارامترها به‌منظور شناسایی دسته پارامترهای حساس مدل بررسی شد. سپس به‌منظور بررسی میزان حساسیت تک‌تک پارامترها برای پارامترهایی که حساسیت بیشتری دارند، روش تحلیل حساسیت یک بار-در یک زمان استفاده شد. جدول (۵) نتایج حاصل از تحلیل حساسیت مدل به ازای تغییر دسته مقادیر پارامترهای ورودی را نمایش می‌دهد.

**جدول ۵: تحلیل حساسیت پارامترهای تشکیل دهنده مدل**

| دسته پارامترهای تغییر داده‌شده در مدل | | تعداد حملات تروریستی انجام‌شده | | تعداد کشته‌شدگان | | توضیحات |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | از | به | از | به | |
| **پارامترهای مربوط به تعداد عامل‌ها** | تغییر تعداد عامل‌های دفاعی از ۱۰۰ به ۱۵۰ | ۸ | ۱۱ | ۴۷۲ نفر | ۵۷۳ نفر | این دسته از تغییرات تأثیر نسبتاً زیادی در نتایج می‌گذارد لذا مدل شبیه‌سازی به مقادیر این پارامترها حساس است. |
| | تغییر تعداد عامل‌های تروریست از ۲۰ به ۳۰ | | | | | |
| | تغییر تعداد عامل‌های شهروند* از ۱۲۰۰ به ۱۸۰۰ | | | | | |
| **پارامترهای مربوط به انرژی اولیه عامل‌ها** | تغییر انرژی اولیه عامل‌های دفاعی از ۳۰ به ۴۰ | ۸ | ۹ | ۴۷۲ نفر | ۵۲۰ نفر | نسبت به حالت قبلی تغییر زیادی نداشت. |
| | تغییر انرژی اولیه عامل‌های تروریستی از ۳۰ به ۴۰ | | | | | |
| **تغییر پارامترهای مربوط به شرایط حمله تروریستی** | تغییر تعداد عامل‌های تروریست لازم جهت انجام حمله تروریست از ۳ به ۵ | ۸ | ۰ | ۴۷۲ نفر | صفر | مدل به این پارامتر بیشترین میزان حساسیت را دارد. |
| | تغییر تعداد عامل‌های شهروند لازم جهت انجام حمله تروریست از ۱۰ به ۱۵ | | | | | |
| | تغییر حداکثر تعداد عامل‌های دفاعی لازم جهت انجام حمله تروریست از ۵ به ۸ | | | | | |
| | تغییر حداقل انرژی عامل‌های تروریستی به‌منظور انجام حمله تروریستی از ۴۰ به ۸۰ | | | | | |
| حداقل شعاع به‌منظور برقراری ارتباط تروریست‌ها با یکدیگر (۲۰۰ متر به ۳۰۰ متر) | | ۸ | ۱۰ | ۴۷۲ نفر | ۵۶۳ نفر | نسبت به حالت قبلی تغییر زیادی نداشت. |

جدول (۵) نشان می‌دهد که مدل، بیشترین حساسیت را، نسبت به پارامترهای مربوط به شرایط انجام حمله تروریستی دارد. تغییر مقادیر این پارامترها به این مفهوم است که با افزایش این پارامترها شرایط برای انجام حمله تروریستی سخت‌تر می‌شود. به عبارتی عامل‌های تروریست برای انجام حمله تروریستی ریسک زیادی را



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.7.2.195 ]

نمی‌پذیرند. همچنین با کاهش مقادیر این پارامترها شرایط برای انجام حمله تروریستی راحت‌تر شده و عامل‌های تروریست برای انجام حمله ریسک پایین را می‌پذیرند. جدول (۶) نتایج حاصل از تغییر مقدار پارامتر مربوط به تعداد عامل‌های تروریست لازم جهت انجام حمله تروریست از ۳ به ۵ و همچنین تغییر مقدار این پارامتر از ۳ به ۱را نمایش می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که مدل به پارامتر تعداد عامل‌های تروریست لازم جهت انجام حمله تروریست، حساسیت بالایی دارد. بطوریکه با تغییر این پارامتر از ۳ به ۵، تعداد حملات تروریستی از ۸ حمله به ۲ حمله و تعداد کشته‌شدگان از ۴۲۷ نفر به ۱۲۶ نفر کاهش می‌یابد. همچنین با تغییر مقدار پارامتر مربوط به تعداد عامل‌های تروریست از ۳ به ۱، تعداد حملات تروریستی از ۸ حمله به ۲۲ حمله و تعداد کشته‌شدگان از ۴۲۷ نفر به ۱۳۵۸ نفر افزایش می‌یابد.

**جدول ۶: نتایج حاصل از تغییر تعداد عامل‌های تروریست لازم جهت انجام حمله تروریست از ۳ به ۵ و از ۳ به ۱**

| نوع پارامترهای بررسی شده | نتایج تنظیمات اولیه مدل | نتایج حاصل از تغییر تعداد عامل‌های تروریست لازم جهت انجام حمله تروریست از ۳ به ۵ | نتایج حاصل از تغییر تعداد عامل‌های تروریست لازم جهت انجام حمله تروریست از ۳ به ۱ |
|---|---|---|---|
| تعداد حملات تروریستی انجام‌شده | ۸ حمله | ۲ حمله | ۲۲ حمله |
| تعداد عامل‌های شهروند نابالغ کشته شده | ۱۹۴ نفر | ۵۲ نفر | ۵۵۸ نفر |
| تعداد عامل‌های شهروند بالغ کشته شده | ۸۷ نفر | ۲۰ نفر | ۲۶۴ نفر |
| تعداد عامل‌های شهروند کهنسال کشته شده | ۱۷۰ نفر | ۴۶ نفر | ۴۷۸ نفر |
| تعداد عامل‌های دفاعی کشته شده | ۲۱ نفر | ۸ نفر | ۷۶ نفر |
| مجموع عامل‌های کشته شده (شهروند+دفاعی) | ۴۷۲ نفر | ۱۲۶ نفر | ۱۳۵۸ نفر |

جدول (۷) نتایج حاصل از تغییر تعداد عامل‌های شهروند لازم جهت انجام حمله تروریستی از ۱۰ به ۱۵ و همچنین تغییر مقدار این پارامتر از ۱۰ به ۵ را نمایش می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که با تغییر این پارامتر از ۱۰ به ۱۵، تعداد حملات تروریستی از ۸ حمله به ۶ حمله و تعداد کشته‌شدگان از ۴۲۷ نفر به ۳۶۴ نفر کاهش می‌یابد. همچنین با تغییر مقدار پارامتر مربوط به تعداد عامل‌های تروریست از ۱۰ به ۵، تعداد حملات تروریستی از ۸ حمله به ۱۴ حمله و تعداد کشته‌شدگان از ۴۲۷ نفر به ۷۷۶ نفر افزایش می‌یابد. جدول (۸) نتایج حاصل از تغییر حداکثر تعداد عامل‌های دفاعی لازم جهت انجام حمله تروریستی از ۵ به ۸ و همچنین تغییر مقدار این پارامتر از ۵ به ۲ را نمایش می‌دهد. لازم به ذکر است که با افزایش مقدار این پارامتر شرایط بیشتری برای انجام حمله تروریستی به وجود می‌آید. به‌عنوان‌مثال در حالتی که حداکثر تعداد عامل‌های دفاعی لازم جهت انجام حمله تروریستی برابر با ۵ باشد، به این مفهوم است که درصورتی‌که تعداد عامل‌های دفاعی کمتر از ۵ باشد امکان حمله تروریستی فراهم است. اما درصورتی‌که مقدار این پارامتر برابر با ۸ تنظیم شود، درصورتی‌که تعداد عامل‌های دفاعی کمتر از ۸ باشد امکان حمله تروریستی فراهم است لذا شرایط بهتری برای حمله تروریستی فراهم می‌شود. نتایج نشان می‌دهد که با تغییر این پارامتر از ۵ به ۸، تعداد حملات



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.7.2.195 ]

تروریستی از ۸ حمله به ۱۰ حمله و تعداد کشته‌شدگان از ۴۲۷ نفر به ۶۰۳ نفر افزایش می‌یابد. همچنین با تغییر مقدار این پارامتر از ۵ به ۲، تعداد حملات تروریستی از ۸ حمله به ۵ حمله و تعداد کشته‌شدگان از ۴۲۷ نفر به ۳۲۰ نفر کاهش می‌یابد. با توجه به جدول(۵) پارامترهای مربوط به تعداد عامل‌ها، دومین دسته از پارامترهای حساس مدل است.

**جدول ۷: نتایج حاصل از تغییر تعداد عامل‌های شهروند لازم جهت انجام حمله تروریستی از ۱۰ به ۱۵ و تغییر تعداد عامل‌های شهروند لازم جهت انجام حمله تروریستی از ۱۰ به ۵**

| نوع پارامترهای بررسی شده | نتایج تنظیمات اولیه مدل | نتایج حاصل از تغییر تعداد عامل‌های شهروند لازم جهت انجام حمله تروریست از ۱۰ به ۱۵ | نتایج حاصل از تغییر تعداد عامل‌های شهروند لازم جهت انجام حمله تروریست از ۱۰ به ۵ |
|---|---|---|---|
| تعداد حملات تروریستی انجام‌شده | ۸حمله | ۶ حمله | ۱۴ حمله |
| تعداد عامل‌های شهروند نابالغ کشته شده | ۱۹۴ نفر | ۱۴۰ نفر | ۳۵۲ نفر |
| تعداد عامل‌های شهروند بالغ کشته شده | ۸۷ نفر | ۷۲ نفر | ۱۵۲ نفر |
| تعداد عامل‌های شهروند کهنسال کشته شده | ۱۷۰ نفر | ۱۳۶ نفر | ۲۳۰ نفر |
| تعداد عامل‌های دفاعی کشته شده | ۲۱ نفر | ۱۶ نفر | ۴۲ نفر |
| مجموع عامل‌های کشته شده (شهروند+دفاعی) | ۴۷۲ نفر | ۳۶۴ نفر | ۷۷۶ نفر |

**جدول ۸: نتایج حاصل از تغییر حداکثر تعداد عامل‌های دفاعی لازم جهت انجام حمله تروریستی از ۵ به ۸ و تغییر حداکثر تعداد عامل‌های دفاعی لازم جهت انجام حمله تروریست از ۵ به ۲**

| نوع پارامترهای بررسی شده | نتایج تنظیمات اولیه مدل | نتایج حاصل از تغییر حداکثر تعداد عامل‌های دفاعی لازم جهت انجام حمله تروریست از ۵ به ۸ | نتایج حاصل از تغییر حداکثر تعداد عامل‌های دفاعی لازم جهت انجام حمله تروریست از ۵ به ۲ |
|---|---|---|---|
| تعداد حملات تروریستی انجام‌شده | ۸ حمله | ۱۰ حمله | ۵ حمله |
| تعداد عامل‌های شهروند نابالغ کشته شده | ۱۹۴ نفر | ۲۳۸ نفر | ۱۲۷ نفر |
| تعداد عامل‌های شهروند بالغ کشته شده | ۸۷ نفر | ۱۰۸ نفر | ۶۳ نفر |
| تعداد عامل‌های شهروند کهنسال کشته شده | ۱۷۰ نفر | ۲۲۵ نفر | ۱۱۸ نفر |
| تعداد عامل‌های دفاعی کشته شده | ۲۱ نفر | ۳۲ نفر | ۱۲ نفر |
| مجموع عامل‌های کشته شده (شهروند+دفاعی) | ۴۷۲ نفر | ۶۰۳ نفر | ۳۲۰ نفر |

[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.7.2.195 ]

جدول (۹) دامنه تغییرات نتایج مدل در صورت تغییر تعداد عامل‌های دفاعی از ۱۰۰ به ۱۵۰ و همچنین تغییر مقدار این پارامتر از ۱۰۰ به ۵۰ را نمایش می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد با تغییر مقدار این پارامتر از ۱۰۰ به ۱۵۰، تعداد حملات تروریستی از ۸ حمله به ۳ حمله و تعداد کشته‌شدگان از ۴۲۷ نفر به ۱۸۰ نفر کاهش می‌یابد. همچنین با تغییر مقدار این پارامتر از ۱۰۰ به ۵۰، تعداد حملات تروریستی از ۸ حمله به ۱۱ حمله و تعداد کشته‌شدگان از ۴۲۷ نفر به ۶۲۹ نفر افزایش می‌یابد.

**جدول ۹: نتایج حاصل از تغییر تعداد عامل‌های دفاعی از ۱۰۰ به ۱۵۰ و نتایج حاصل از تغییر تعداد عامل‌های دفاعی از ۱۰۰ به ۵۰**

| نوع پارامترهای بررسی شده | نتایج تنظیمات اولیه مدل | نتایج حاصل از تغییر تعداد عامل‌های دفاعی از ۱۰۰ به ۱۵۰ | نتایج حاصل از تغییر تعداد عامل‌های دفاعی از ۱۰۰ به ۵۰ |
|---|---|---|---|
| تعداد حملات تروریستی انجام‌شده | ۸ حمله | ۳ حمله | ۱۱ حمله |
| تعداد عامل‌های شهروند نابالغ کشته شده | ۱۹۴ نفر | ۷۴ نفر | ۲۵۸ نفر |
| تعداد عامل‌های شهروند بالغ کشته شده | ۸۷ نفر | ۳۸ نفر | ۱۲۵ نفر |
| تعداد عامل‌های شهروند کهنسال کشته شده | ۱۷۰ نفر | ۶۰ نفر | ۲۱۸ نفر |
| تعداد عامل‌های دفاعی کشته شده | ۲۱ نفر | ۸ نفر | ۲۸ نفر |
| مجموع عامل‌های کشته شده (شهروند+دفاعی) | ۴۷۲ نفر | ۱۸۰ نفر | ۶۲۹ نفر |

جدول (۱۰) دامنه تغییرات نتایج مدل در صورت تغییر تعداد عامل‌های تروریست از ۲۰ به ۳۰ و تغییر مقدار این پارامتر از ۲۰ به ۱۰ را نمایش می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد با تغییر مقدار این پارامتر از ۲۰ به ۳۰، تعداد حملات تروریستی از ۸ حمله به ۱۲ حمله و تعداد کشته‌شدگان از ۴۲۷ نفر به ۸۶۱ نفر افزایش می‌یابد. همچنین با تغییر مقدار این پارامتر از ۲۰ به ۱۰، تعداد حملات تروریستی از ۸ حمله به ۳ حمله و تعداد کشته‌شدگان از ۴۲۷ نفر به ۲۱۳ نفر کاهش می‌یابد.

**جدول ۱۰: نتایج حاصل از تغییر تعداد عامل‌های تروریست از ۲۰ به ۳۰ و تغییر تعداد عامل‌های تروریست از ۲۰ به ۱۰**

| **نوع پارامترهای بررسی شده** | **نتایج تنظیمات اولیه مدل** | **نتایج حاصل از تغییر تعداد عامل‌های تروریست ز ۲۰ به ۳۰** | **نتایج حاصل از تغییر تعداد عامل‌های تروریست از ۲۰ به ۱۰** |
|---|---|---|---|
| تعداد حملات تروریستی انجام‌شده | ۸ حمله | ۱۲ حمله | ۳ حمله |
| تعداد عامل‌های شهروند نابالغ کشته شده | ۱۹۴ نفر | ۲۴۳ نفر | ۷۷ نفر |
| تعداد عامل‌های شهروند بالغ کشته شده | ۸۷ نفر | ۲۷۷ نفر | ۵۳ نفر |
| تعداد عامل‌های شهروند کهنسال کشته شده | ۱۷۰ نفر | ۳۰۴ نفر | ۷۵ نفر |
| تعداد عامل‌های دفاعی کشته شده | ۲۱ نفر | ۳۷ نفر | ۸ نفر |
| مجموع عامل‌های کشته شده (شهروند+دفاعی) | ۴۷۲ نفر | ۸۶۱ نفر | ۲۱۳ نفر |



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.7.2.195 ]

جدول (۱۱) دامنه تغییرات نتایج مدل در صورت تغییر تعداد عامل‌های شهروند از ۱۲۰۰ به ۱۸۰۰ و از ۱۲۰۰ به ۶۰۰ را نمایش می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که با تغییر مقدار این پارامتر از ۱۲۰۰ به ۱۸۰۰ نفر، تعداد حملات تروریستی از ۸ حمله به ۱۰ حمله و تعداد کشته‌شدگان از ۴۲۷ نفر به ۶۵۵ نفر افزایش می‌یابد. همچنین با تغییر مقدار این پارامتر از ۱۲۰۰ به ۶۰۰ نفر، تعداد حملات تروریستی از ۸ حمله به ۵ حمله و تعداد کشته‌شدگان از ۴۲۷ نفر به ۳۹۹ نفر کاهش می‌یابد. نتایج نشان می‌دهد تغییر در تعداد عامل‌های شهروند تأثیر کمتری نسبت به تغییر در تعداد عامل‌های تروریستی و دفاعی در نتایج حاصل از مدل شبیه‌سازی می‌گذارند.

**جدول ۱۱: نتایج حاصل از تغییر تعداد عامل‌های شهروند از ۱۲۰۰ به ۱۸۰۰ و تغییر تعداد عامل‌های شهروند از ۱۲۰۰ به ۶۰۰**

| نوع پارامترهای بررسی شده | نتایج تنظیمات اولیه مدل | نتایج حاصل از تغییر تعداد عامل‌های شهروند از ۱۲۰۰ به ۱۸۰۰ | نتایج حاصل از تغییر تعداد عامل‌های شهروند از ۱۲۰۰ به ۶۰۰ |
|---|---|---|---|
| تعداد حملات تروریستی انجام‌شده | ۸ حمله | ۱۰ حمله | ۵ حمله |
| تعداد عامل‌های شهروند نابالغ کشته شده | ۱۹۴ نفر | ۲۵۲ نفر | ۱۴۸ نفر |
| تعداد عامل‌های شهروند بالغ کشته شده | ۸۷ نفر | ۱۲۸ نفر | ۸۲ نفر |
| تعداد عامل‌های شهروند کهنسال کشته شده | ۱۷۰ نفر | ۲۴۳ نفر | ۱۵۵ نفر |
| تعداد عامل‌های دفاعی کشته شده | ۲۱ نفر | ۳۲ نفر | ۱۴ نفر |
| مجموع عامل‌های کشته شده (شهروند+دفاعی) | ۴۷۲ نفر | ۶۵۵ نفر | ۳۹۹ نفر |

با بررسی تحلیل حساسیت مدل در دسته پارامترهای مربوط به شرایط انجام حمله تروریستی، پارامتر «تعداد عامل‌های تروریست» به‌عنوان حساس‌ترین پارامتر مدل در این دسته شناسایی شد. این به این مفهوم است که نسبت سایر پارامترهای مدل، مقدار این پارامتر می‌تواند تأثیر زیادی در نتایج مدل شبیه‌سازی تأثیر گذارد.

## ۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش مدل عامل مبنایی به‌منظور مدل‌سازی رفتار شهروندان، تروریست‌ها و نیروهای دفاعی مدل مکانی عامل مبنا تخلیه اضطراری شهری ارائه شد. تحقیقات پیشین عموما بر روی بررسی رفتار تروریست‌ها تمرکز داشته‌اند ازاین‌رو شهروندان تنها در یک گروه سنی مورد مدل‌سازی قرارگرفته‌اند، درحالی‌که گروه‌های سنی مختلف شهروندان توانایی‌های متفاوتی بهنگام وقوع شرایط بحرانی حمله تروریستی دارند. این موضوع می‌تواند نتایج مدل‌سازی را به‌طور مستقیم تحت تأثیر قرار دهد. هدف این مقاله بررسی رفتار تروریست‌ها، شهروندان و نیروهای دفاعی در هنگام وقع حمله تروریستی است. در این مقاله همچنین علاوه بر مطالعه و بررسی رفتار نیروهای دفاعی و تروریستی در دنیای واقعی، عامل‌هایی با رویکردی متفاوت نسبت به کارهای انجام‌شده توسعه داده شد و سناریوهای متفاوتی نسبت به تحقیقات پیشین مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. در این پژوهش محیط عمل عامل‌ها داده‌های موجود منطقه ۶ شهر تهران شامل شبکه معابر شهری، مناطق امن و نقاط پرجمعیت است. در این مقاله همچنین استراتژی متفاوتی نسبت به تحقیقات پیشین به‌منظور تشخیص عامل‌های تروریستی توسط عامل‌های دفاعی در نظر گرفته شد. در این مقاله از روش یک بار-در یک زمان به‌منظور تحلیل حساسیت مدل شبیه‌سازی عامل مبنای



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22 ]
[ DOI: 10.29252/jgit.7.2.195 ]

حمله تروریستی استفاده‌شده است. به دلیل تعداد بالای پارامترهای ورودی مدل شبیه‌سازی ارائه‌شده، ابتدا پارامترهای شبیه به یکدیگر دسته‌بندی‌شده و سپس حساسیت دسته پارامترها به‌منظور شناسایی دسته پارامترهای حساس مدل بررسی شد. در ادامه به‌منظور بررسی میزان حساسیت تک‌تک پارامترها برای پارامترهایی که حساسیت بیشتری دارند، روش تحلیل حساسیت یک بار- در یک زمان استفاده شد.

مدل مکانی عامل مبنا تخلیه اضطراری شهری قادر خواهد بود که با بررسی رفتار تروریست‌ها و شهروندان در هنگام وقوع حمله تروریستی در منطقه شهری و از طریق بررسی سناریوهای مختلف، اطلاعات مفیدی پیرامون تلفات ناشی از وقوع حمله تروریستی ارائه دهد. همچنین مدل ارائه‌شده قادر به ارائه اطلاعاتی پیرامون موقعیت‌ها و نقشه محل وقوع حمله تروریستی و اطلاعاتی پیرامون تعداد کشته‌شدگان در هر حمله تروریستی صورت گرفته، است. این موضوع به مدیران و کارشناسان کمک می‌کند تا به‌منظور به حداقل رساندن میزان کشته‌شدگان تصمیم‌های مناسب را اخذ نمایند و از این طریق باعث افزایش قدرت تصمیم‌گیری و برنامه‌ریزی مدیران شود.

باتوجه به نتایج به‌دست‌آمده از اجرای مدل مکانی عامل مبنای ارائه‌شده از طریق افزایش تعداد نیروهای دفاعی در منطقه می‌توان احتمال وقوع حمله تروریستی را به حداقل رساند. همچنین در صورت اختصاص دادن ۶۰ درصد نیروهای دفاعی به حفاظت از نقاط شلوغ و امن و ۴۰ درصد به جستجو و کشف و نابودی عامل‌های تروریستی در منطقه، تعداد حملات تروریستی و تعداد کشته‌شدگان به یک‌سوم کاهش می‌یابد. استفاده از مدل‌های ترافیکی به‌صورت آنلاین در مسیریابی عامل‌ها به‌عنوان پیشنهاد برای کارهای بعدی مورد توجه نویسندگان قرار خواهد گرفت.

## مراجع

[1] *G. Santos, and B.E. Aguirre, "A critical review of emergency evacuation simulation models", in Proceeding of Conference BuildingOccupant Movement During Fire Emergencies, Gaithersburg, 2004.*

[2] *V. Karbovskii, D. Voloshin, A. Karsakov, A. Bezgodov and A. Zagarskikh, "Multiscale agent-based simulation in large city areas: emergency evacuation use case", Procedia Computer Science, 51: p. 2367-2376, 2015.*

[3] *L. Chen, "Agent-based modeling in urban and architectural research: A brief literature review", Frontiers of Architectural Research, 1(2): p. 166-177, 2012.*

[4] *G. Papadimitrioul , B. Sadoun, and C. Papazoglou, "Fundamentals of System Simulation, in Applied System Simulation", Springer. p. 9-39, 2003.*

[5] *S. Russell, and P. Norvig, Ai a modern approach. England: Learning, 2(3): p. 4, 2005.*

[6] *M. Wooldridge, An introduction to multiagent systems. England: John Wiley & Sons,2009.*

[7] *M. Genkin, and A. Gutfraind, "How Do Terrorist Cells Self-Assemble? Insights from an Agent-Based Model", Social Science Research Network, 2008.*

[8] *L. Chalmet, R. Francis, and P. Saunders, "Network models for building evacuation" Management science, 28(1): p. 86-105, 1982.*

[9] *W. Choi, R.L. Francis, H.W. Hamacher, S. Tufekci, "Network models of building evacuation problems with flow-dependent exit capacities", Operational Research, 84: p. 1047-1059, 1984.*

[10] *W. Choi, H.W. Hamacher, and S. Tufekci, "Modeling of building evacuation problems by network flows with side constraints, European Journal of Operational Research, 35(1): p. 98-110, 1988.*

[11] *G.G. Lovas, "On the importance of building evacuation system components", IEEE Transactions on Engineering Management, 45(2): p. 181-191, 1998.*

[12] *C. Ren, C. Yang, and S. Jin, "Agent-based modeling and simulation on emergency*



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.7.2.195 ]

*evacuation", Complex Sciences, p.1451-1461, 2009.*

*[13] P. Mehlitz, N. Rungta, and W. Visser, "A hands-on java pathfinder tutorial", in Proceedings of the 2013 International Conference on Software Engineering, San Francisco, 2013.*

*[14] R. Weaver, B. G. Silverman, H. Shin, and R. Dubois, "Modeling and simulating terrorist decision-making: A'Performance Moderator Function'approach to generating virtual opponent", Center for Human Modeling and Simulation, p. 22, 2001*

*[15] T.H. Ko, and N.M. Berry, "Agent-based modeling with social networks for terrorist recruitment", AAAI, 2004.*

*[16] K.A. Bertsche, and G. Schwarz, "Agent based simulation of terrorist attacks "protection of potential targets", Cornwallis Group IX: Analysis For Stabilization And Counter-Terrorist Operations, 9: p. 439-456, 2005.*

*[17] Makarov, V.L. and A.R. Bakhtizin, "Agent-based model for simulation of terrorism in Russia's Caucasus", wcss2010, Germany, 2010.*

*[18] W.M. Bulleit, and M.W. Drewek, "An agent-based model of terrorist activity", Proceedings of the North American Association for Computational Social and Organizational Science (NAACSOS 2005), Arizona State, 2005.*

*[19] A. Saltelli, M. Ratto, T. Andres, F. Campolongo, J. Cariboni, D. Gatelli, M. Saisana, Stefano Tarantola, Global sensitivity analysis: the primer. England:John Wiley & Sons, 2008.*

*[20] S.J. Russell, and P. Norvig, Artificial intelligence: a modern approach. Malaysia: Pearson Education Limited, 2016.*

*[21] S. Tisue, and U. Wilensky, "Netlogo: A simple environment for modeling complexity", International conference on complex systems", Boston, MA, 2004.*



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.7.2.195 ]

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

*Journal of Geospatial Information Technology*
**Vol.7 No.2, Summer 2019**

***Research Paper***

# *Agent-based simulation of emergency evacuation of cities during terrorist attacks*

***Safa Khazaei [1]****

*1- Associate professor, Comprehensive University of Imam Hussein*

***Abstract***

*In recent years, proper management of resource and timing for emergency evacuation of citizens from the site of terrorist attack has been widely considered by researchers in the field of urban planning. Little studies which have carried out on modeling the behavior of citizens and terrorists in urban environment generally focused on terrorist's behavior. Although different age groups show different abilities in emergencies rised by terrorist attack, in those studies, citizens are modeled in only one group of age. The main purpose of this study is to develope an agent-based model to simulate emergency evacuation due to terrorist attacks considering available infrastructure of a city. In order to evaluate the potential terrorist attack in a city, the behaviour of three groups of agents, including civilians, defense forces, and terrorists, are developed and simulated. In this regard, by examining different scenarios, it is possible to minimize the casualties caused by terrorist attack and rapid evacuation. To perform sensibility analysis and determine the most sensitive parameters, One-at-a-time method is hereby employed. NetLogo software is also used to develop and implement the proposed agent-based model. As a case study, the presented agent-based model has been implemented under various scenarios in district 6 of Tehran and the results have been analyzed. Based on the results of analyzing difference scenarios, it is possible to minimize the possibility of terrorist attack by increasing the number of defense forces. Another useful scenario is to allocate 60% of the defense forces to protect the busy and safe areas and 40% to search for and stop terrorist agents in the study area, the number of terrorist attacks and the number of deaths will cut in half.*

***Key words:*** *agent-based modeling and simulation, emeregency evacuation, terrorist attacks.*

***Correspondence Address***. *Imam Sadegh site, Comprehensive University of Imam Hussein, Baba'i highway, Lashgarak bridge, Tehran, Iran.*
***Tel:*** *+98 21 77105380.*
***Email:*** *skhazai@ihu.ac.ir*



[ Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-22 ]

[ DOI: 10.29252/jgit.7.2.195 ]