



2nd
National Conference on

Systems Thinking In Practice

دومین کنفرانس ملی (مجازی)

تفکر سیستمی در عمل



طراحی مدل پویایی سیستم زمان پاسخگویی سازمان آتش نشانی در هنگام آتش سوزی و حوادث شهری

حسن سلمانی بیدسکان^۱

دانشجوی دکتری مهندسی صنایع – دانشگاه ایوان کی
کارشناس ارشد سازمان آتش نشانی و خدمات ایمنی مشهد

سحر اخگر^{۲*}

کارشناسی ارشد مهندسی صنایع – دانشگاه فردوسی مشهد

چکیده

ایستگاه‌های آتش‌نشانی از جمله عناصر و کاربری‌های خدماتی شهرها می‌باشند که نقش مهم و حیاتی در حفاظت از جان و مال مردم در برابر حوادث مختلف، بالاخص آتش‌سوزی‌ها را بر عهده دارند. زمان رسیدن آتش‌نشانان به صحنه عملیات، احتمال زنده ماندن قربانیان گرفتار در آتش را تعیین می‌کند. از وظایف ایستگاه‌های آتش‌نشانی تضمین امنیت جانی و مالی شهروندان در برابر حوادث، به ویژه آتش‌سوزی در زمان استاندارد و به کمک تجهیزات متناسب با نوع حادثه می‌باشد.

در این مقاله تلاش گردیده تا پس از انجام مطالعات اولیه بر روی اسناد و مدارک موجود، عوامل موثر بر زمان رسیدن تیم‌های عملیاتی به محل حادثه و حریق شناسایی شده و با استفاده از مدل پویایی سیستم، روابط بین متغیرها و زیرسیستم‌ها از منظر پویایی‌شناسی سیستم و فرضیه‌های پویایی مدل مشخص گردد و سپس با استفاده از نمودارهای علی حلقوی و نمودارهای انباشت و جریان به تحلیل مدل پرداخته و بعد از آن راهکارهایی به منظور کاهش تاثیر شاخص‌های کلیدی در افزایش زمان رسیدن نیروهای عملیاتی به محل حادثه یا آتش‌سوزی ارائه گردد.

واژگان کلیدی: آتش‌نشانی، پویایی سیستم، زمان رسیدن تیم عملیاتی به محل حادثه

¹ha.salmani.b59@gmail.com
^{2*}saharakhgar70@yahoo.com



1- مقدمه

شهر، متشکل از مجموعه‌ای پیچیده از انواع کاربری‌های زمین و روابط بین آنها می‌باشد (1393). رضایی مقدم؛ علی). امروزه شهر به مثابه یکی از عظیم‌ترین دستاوردهای فرهنگ و تمدن و یکی از فراگیرترین پدیده‌های اجتماعی عصر حاضر است (سجادی، پورموسوی، اسکندری، 1392). همگام با تغییرات اقتصادی، اجتماعی، فرهنگی و فناوری‌های جدید، بافت‌های شهری با تغییر شکل و شالوده مواجه گردیدند. مشهد، دومین کلان شهر کشور، به مانند همه کلان شهرهای جهان دارای مزایا و معایب فراوان است. در کشورهای در حال توسعه کلان شهر مظهر مشکلات و آسیب‌هاست (1393)، عندلیب، علیرضا؛ محمد مسعود و سوگند یوسفی آذر)

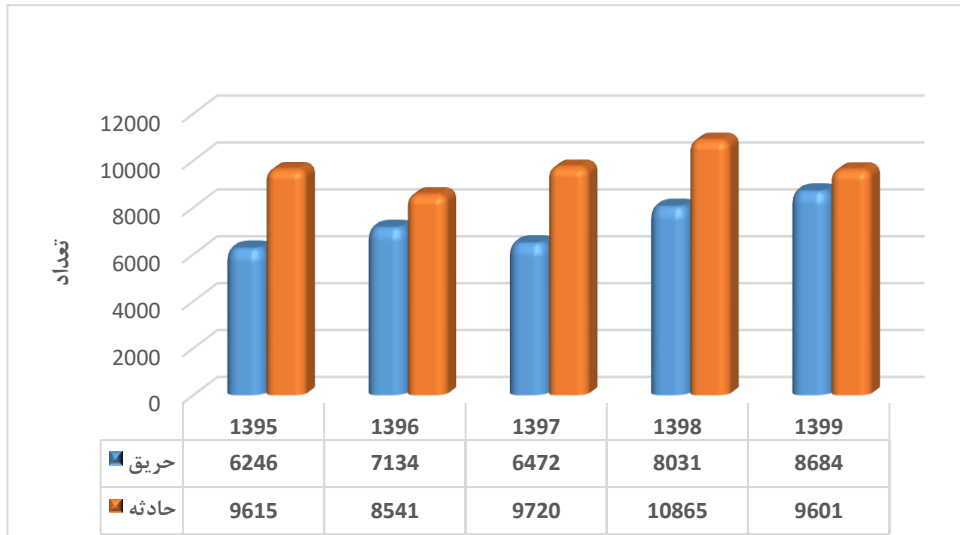
امروزه در ارزیابی کیفیت زندگی در شهرها مقوله ایمنی یکی از شاخص‌های مهم تلقی می‌شود. گزارش‌های سازمان بین‌المللی کار گویای آن است که سالانه نزدیک به چهار درصد از تولید ناخالص کشورها صرف هزینه‌های مشهود و نامشهود ناشی از بروز حوادث حرفه‌ای و بهداشتی می‌شود. بنابراین بهبود مداوم در عملکرد ایمنی از اهداف کشورها و سازمان‌های موفق است. از آنجا که در هر برنامه‌ی بهبود، تعیین و اندازه‌گیری شاخص‌ها برای ارزیابی عملکرد و مشخص کردن جایگاه سازمان در هر دوره‌ی زمانی امری اجتناب‌ناپذیر است، در مورد مسئله‌ی ایمنی نیز سنجش عملکرد سازمان‌ها در خصوص شناسایی عوامل آسیب‌رسان و مهار حوادث امری ضروری است (سیاح مفضلی، 1394).

تحلیل مکان وقوع حریق‌ها و حوادث و فراوانی وقوع آنها در سطح شهر و همچنین زمان رسیدن آتش‌نشانان به محل حادثه و تلاش در جهت کاهش آنها، از مهم‌ترین مسائل در زمینه بهبود اثربخشی خدمات امداد رسانی و کاهش تلفات و خسارات می‌باشند. موقعیت مکانی مراکز امداد و نجات مانند آتش‌نشانی در ارائه به موقع خدمات به شهروندان بسیار مهم می‌باشد. حضور به موقع آتش‌نشانان سبب دلگرمی آسیب‌دیدگان، کاهش خسارات، رضایت‌مندی شهروندان و مشارکت حداکثری شهروندان با آتش‌نشانی خواهد بود (1394، حسینی، سید محمد جعفر). نظر به این که ایران کشوری حادثه‌خیز است و از 40 نوع حادثه طبیعی شناخته شده، حداقل 30 مورد آن در ایران امکان وقوع دارد، توجه به بحث ایمنی و تهیه و تدوین ضوابط و مقررات ایمنی برای آن امری ضروری تشخیص داده شده است.

در این راستا تلاش خواهد شد تا پس از انجام مطالعات اولیه بر روی اسناد و مدارک موجود، عوامل موثر بر زمان رسیدن تیم عملیاتی به محل حادثه و حریق شناسایی شده و روابط بین این عوامل بررسی شود. در شکل 1 مقایسه‌ای بین تعداد حریق و تعداد حوادث رخ داده در شهر مشهد بین در سال‌های 1395 تا 1399 انجام شده است. در ادامه به بررسی پژوهش‌هایی که عوامل موثر بر زمان پاسخگویی به حوادث اضطراری را مطالعه کرده‌اند، پرداخته می‌شود. سپس تعریف دقیق مسئله و عوامل موثر بر زمان رسیدن تیم عملیاتی به محل حادثه یا حریق ذکر شده است. در بخش بعدی نمودارهای علی حلقوی مربوط به زیرسیستم‌های شناسایی شده توضیح داده شده است. در نهایت



نتیجه‌گیری تبیین می‌گردد.



شکل 1. نمودار مقایسه‌ای تعداد حریق و حوادث شهر مشهد

2- مبانی نظری و پیشینه تحقیق

در این بخش به بررسی و مرور تعدادی از تحقیقات و مقالات مرتبط با شاخص‌ها و عوامل مرتبط با زمان پاسخگویی به حوادث می‌پردازیم. همانطور که در شکل 2 نشان داده شده است، واکنش سریع و به موقع به حوادث آتش‌سوزی برای مدیریت اضطراری بسیار مهم است زیرا تأخیر در عزیمت و ورود به محل می‌تواند عواقب قابل توجهی از نظر مرگ، جراحت و یا خسارت مالی داشته باشد. به طور کلی تحقیقات در مورد زمان پاسخگویی به دلیل محدودیت دسترسی به داده‌ها بسیار کم می‌باشد. در ادامه تعدادی از تحقیقات بررسی می‌شوند.



شکل 2. نمودار رابطه زمان - دما و افزایش خسارات هنگام آتش‌سوزی



2.1 مقالات و تحقیقات انجام شده مربوط به «عوامل موثر بر زمان رسیدن به محل حادثه و حریق

(کتیرایی، 2009) تأثیر فقر و پراکندگی شهری را بر زمان پاسخگویی مأموران آتش‌نشانی در چندین شهر بزرگ ایالات متحده مورد ارزیابی قرار داد. در این تحقیق از رگرسیون خطی استفاده شده است و به منظور مدل‌سازی متوسط زمان پاسخگویی (متغیر وابسته) از شاخص‌های اقتصادی-اجتماعی و همچنین شاخص‌های تعیین پراکندگی شهری استفاده شده است. شاخص‌های شناسایی شده عبارتند از: مساحت، هزینه سرانه، تراکم جمعیتی، تراکم مسکونی، جمعیت غیر سفید، فقر، مالکیت مسکونی، منازل مستقل، نسبت تعداد وسایل نقلیه به تعداد منازل، متوسط زمان رفت‌وآمد به محل کار، ارزش منازل، مالیات بر املاک و مستغلات، درصد خانوارهای با درآمد بالا، جمعیت در هر مایل، متوسط طول خیابان، درصد ساکنان واقع در فاصله یک مایلی از یک مدرسه ابتدایی و میانگین فاصله هر ناحیه تا بخش تجاری مرکزی. نتایج نشان داد که مناطقی که دارای درجات بالاتری از فقر و پراکندگی هستند، زمان پاسخگویی طولانی‌تر دارند (Katirai, 2009).

(تراوبریج، گورکا و اوکانر، 2009) ارتباط بین پراکندگی شهری و احتمال تأخیر در زمان رسیدن آمبولانس‌ها را مورد بررسی قرار دادند. بدین منظور از اطلاعات تعداد 43424 تصادف وسایل نقلیه موتوری استفاده شده است. برای تحلیل از مدل‌های خطی تعمیم‌یافته استفاده شده است. شاخص‌های در نظر گرفته شده در این پژوهش عبارتند از: تراکم مسکونی، تفکیک کاربری زمین، دسترسی به شبکه خیابانی، زمان وقوع تصادف (شب یا روز)، شرایط سطح جاده (خشک یا مرطوب) و وجود ساخت‌وساز در نزدیکی محل تصادف. نتایج نشان می‌دهند که احتمال تأخیر در رسیدن آمبولانس در شهرستان‌هایی که دارای ویژگی‌های پراکندگی از جمله ساخت و ساز کم تراکم، اتصال محدود به خیابان و تفکیک توسعه مسکونی از املاک اجتماعی و تجاری هستند، تقریباً دو برابر بیشتر از شهرستان‌های دارای رشد هوشمند و متمرکز می‌باشد (Trowbridge, Gurka, & O'connor, 2009).

(گریفین و مک گوین، 2013) در مقاله‌ای محققان به بررسی عوامل مؤثر بر افزایش زمان پاسخگویی در حوادث اضطراری از نگاه پاسخ‌دهندگان به این حوادث پرداخته‌اند. شاخص‌های مورد بررسی عبارتند از: وجود ترافیک در جاده‌های بین شهری و بزرگراه‌های ملی، وجود موانع در بزرگراه‌ها، استفاده از دستگاه‌های نور سبز پیشگیرانه، آموزش عمومی در مورد چگونگی ارائه اطلاعات دقیق به خدمات اضطراری (به عنوان مثال محل حادثه و شدت حادثه) و همچنین چگونگی واکنش هنگام نزدیک شدن یک وسیله نقلیه اضطراری در جاده. نتایج نشان می‌دهد که ازدحام ترافیک به طور متوسط منجر به افزایش تقریباً ده دقیقه در زمان پاسخگویی می‌گردد. در این مقاله آموزش عمومی در مورد چگونگی واکنش به نزدیک شدن به وسایل نقلیه اضطراری به عنوان بیشترین تأثیر بالقوه در کاهش زمان واکنش اضطراری بیان شده است (Griffin & McGwin Jr, 2013).

(کیران و کورکوران، 2017) داده‌های مربوط به حوادث آتش‌سوزی مسکونی در استرالیا را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. 12 متغیر در 3 گروه شاخص‌های زمانی، ویژگی‌های اجتماعی-جمعیتی و زیرساخت‌های فیزیکی به منظور مدل‌سازی فضایی زمان پاسخگویی در حوادث آتش‌سوزی مسکونی شناسایی گردید. این شاخص‌ها عبارتند از: تعطیلات آخر هفته، ساعت اوج ترافیک، تعداد کل منازل اجاره‌ای، وجود سالمندان بالای 65 سال، وجود کودکان زیر 14 سال، اوضاع نامساعد اجتماعی و اقتصادی، اتصالات خیابانی، تراکم شبکه خیابانی، تراکم جاده‌ها، تراکم چراغ‌های راهنمایی و فاصله ایستگاه‌های آتش‌نشانی. نتایج نشان می‌دهد که زمان پاسخگویی از نظر مکانی متفاوت است و میزان



تغییرات آن بیش تر به نوع زیرساخت‌های فیزیکی در منطقه وابسته است و کم تر به عوامل زمانی و ویژگی‌های اجتماعی و جمعیت‌شناختی یک منطقه وابسته می‌باشد. برای مثال زمان پاسخگویی در مناطق داخلی شهری با تراکم جمعیتی بالا، سریع تر می‌باشد و وقوع آتش در فصل زمستان در مکان‌های با سطح اجتماعی اقتصادی پایین، تعداد کودکان زیاد و معابر پیچیده منجر به افزایش زمان پاسخگویی می‌شود (Kiran & Corcoran, 2017).

(کیران، کورکوران و چهتری، 2020) در پژوهشی دیگر دسترسی فضایی مناطق جمعیتی به ایستگاههای آشنشانی را مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند. ابتدا با توجه به تغییر توزیع جمعیت، سطح دسترسی مکانی به ایستگاههای آشنشانی مشخص شده و سپس موقعیت احتمالی ایستگاههایی که دارای توانایی بالقوه برای افزایش پاسخگویی به موقع هستند، شناسایی گردیده است. نتایج این تحقیق نشان میدهد که بین شاخص دسترسی پذیری یعنی تعداد ایستگاه های آشنشانی و زمان پاسخگویی، همبستگی معنی دار و منفی وجود دارد و مناطقی که زمانهای پاسخگویی طولانی تری را تجربه میکنند دارای کمترین تعداد ایستگاه های آشنشانی هستند (Kiran, Corcoran, & Chhetri, 2020).

از مرور ادبیات می‌توان نتیجه گرفت که تاکنون هیچ پژوهشی همه‌ی عوامل زمانی، عوامل طبیعی، عوامل جمعیت‌شناسی و عوامل مربوط به زیرساخت‌های فیزیکی و برنامه‌ریزی شهری را که بر روی زمان رسیدن تیم عملیاتی به محل حادثه یا حریق در سازمان آتش‌نشانی تاثیر دارند، توأم با هم بررسی نکرده است. این پژوهش به این شکاف تحقیقاتی می‌پردازد و با شناسایی عوامل موثر بر زمان رسیدن تیم عملیاتی به محل حادثه و حریق و در نظر گرفتن شهر مشهد به عنوان یک مطالعه موردی، به بهبود اثربخشی اقدامات سازمان آتش‌نشانی و کاهش خسارات جانی و مالی حوادث کمک می‌کند.

3- روش‌شناسی تحقیق

3.1 تعریف مساله

فاکتور زمان بحرانی‌ترین معیار در هنگام وقوع حوادث اضطراری از جمله آتش‌سوزی می‌باشد. فاصله زمانی بین وقوع آتش‌سوزی تا شروع مهار آتش ارتباط مستقیمی با زیان‌های حاصل دارد. بر اساس تعاریف، زمان پاسخگویی به حوادث اضطراری از مجموع چند فاصله زمانی مختلف تشکیل شده است که عبارتند از:

1. فاصله زمانی بین تماس شهروند با مرکز ارتباطات آتش‌نشانی (125) و ابلاغ زنگ هشدار به ایستگاه آتش‌نشانی و دریافت زنگ هشدار توسط پاسخ‌دهندگان حاضر در ایستگاه که در استانداردها 60 ثانیه در نظر گرفته شده است.

2. فاصله زمانی بین شروع زنگ هشدار در ایستگاه تا آماده‌شدن تیم عملیاتی جهت خروج از ایستگاه.

3. زمان سفر که عبارتست از زمان ترک ایستگاه توسط خودروهای امدادی تا رسیدن به محل وقوع حادثه. زمان پاسخگویی تحت تاثیر متغیرهای مختلفی قرار دارد. برای مثال فاصله تا ایستگاه‌های آتش‌نشانی، ترافیک، عرض معابر و جاده‌ها، تراکم جمعیت، آموزش و غیره. با افزایش زمان رسیدن واحدهای آتش‌نشانی، پدیده‌ای با عنوان Flashover در محل حریق به وقوع می‌پیوندد که در آن شعله‌های آتش بسیار گسترده شده و تمامی فضای موجود را دربر می‌گیرند. این پدیده معمولا با گذشت کمتر از 4 تا 10 دقیقه از شروع آتش‌سوزی اتفاق می‌افتد و در



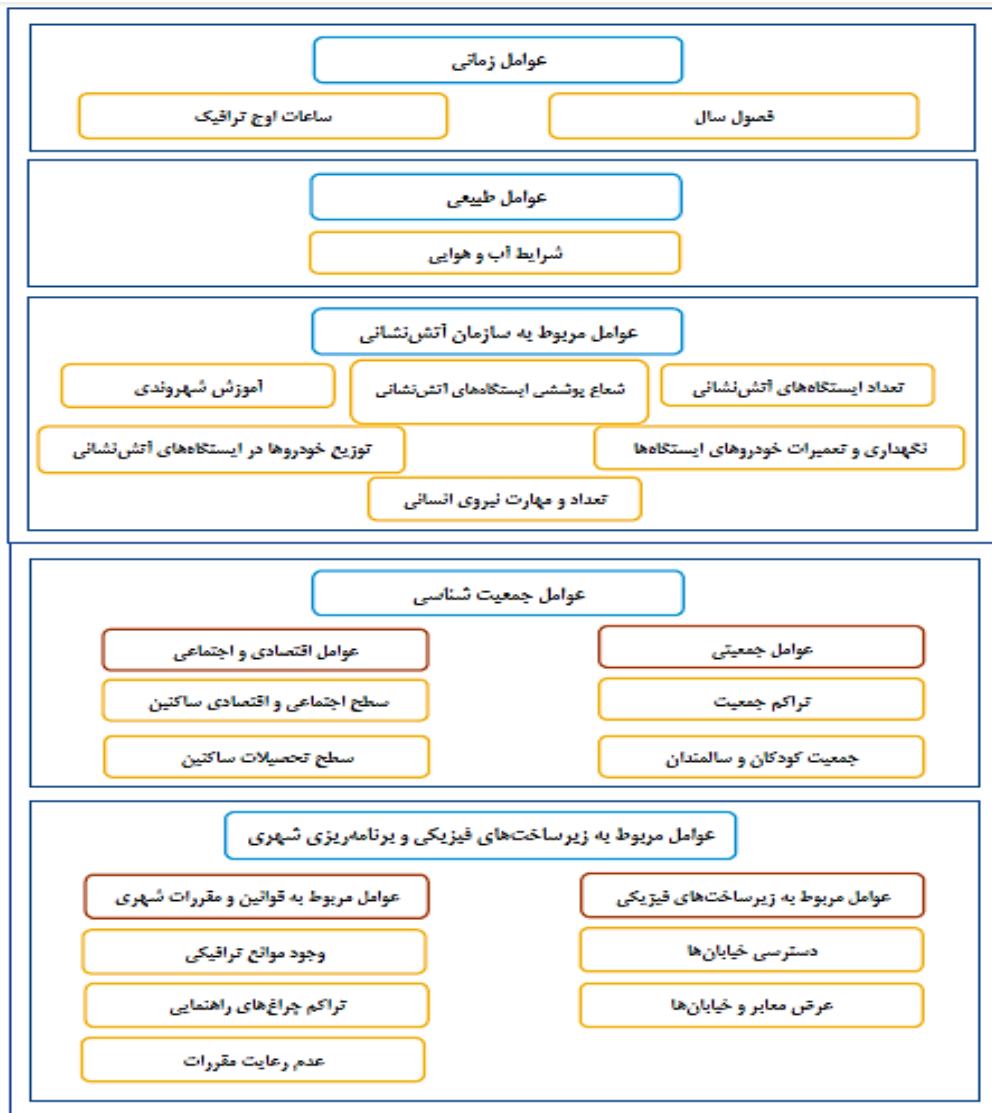
این زمان دما به بیش از 500 درجه سلسیوس می‌رسد و در نتیجه عملیات امداد و نجات به تدریج غیرممکن می‌گردد (Turner, 2011).

بنابراین یکی از فاکتورهای مهم در خصوص حریق و حوادث در سطح شهر، رسیدن تیم عملیاتی به محل حریق و حادثه می‌باشد که موجب کاهش خسارات مالی و جانی و امداد رسانی به موقع به شهروندان می‌گردد. لذا در تمام دنیا زمان رسیدن به محل حریق و حادثه بسیار مورد توجه بوده و تمهیداتی در خصوص کاهش این فاکتور اندیشیده شده است. از جمله احداث ایستگاه‌های آتش نشانی جدید، استفاده از خودروهای تندرو و غیره. در این راستا یکی از روش‌ها، کنترل و حل مشکلات تیم عملیاتی در رسیدن به محل از طریق شناسایی فاکتورهای تاثیرگذار بر زمان رسیدن به محل حریق یا حادثه و تلاش در جهت برطرف نمودن یا کاهش مهم‌ترین آنها با همکاری و تلاش دیگر ارگان‌های ذی‌ربط می‌باشد که در نهایت منجر به ارائه خدمات ایمنی بهتر و سریع‌تر و خسارات جانی و مالی کمتر می‌شود (Brebbia, 2012).

با توجه به مطالب بیان شده، پژوهش حاضر در تلاش است با شناسایی عوامل موثر بر زمان رسیدن تیم عملیاتی به محل حادثه و حریق، به بهبود اثربخشی اقدامات سازمان آتش‌نشانی و کاهش خسارات کمک کند. بنابراین با بررسی حوادث سال‌های گذشته‌ی شهر مشهد، کد علت‌های حوادث نجات و حریق تعریف شده در سازمان آتش‌نشانی، مطالعات گذشته، استانداردهای آتش‌نشانی و نیز مصاحبه با خبرگان عوامل مهم در هر زمینه شناسایی شدند. در ادامه ساختارهای پیشنهادی مربوط به عوامل موثر بر زمان رسیدن تیم عملیاتی به محل حوادث و حریق نشان داده شده است. با استفاده از نمودارهای علی حلقوی، برای هر یک از عوامل موجود در ساختارهای پیشنهادی نحوه تاثیرگذاری آن بر زمان رسیدن و روابط بین آن‌ها، توضیح داده شده است. به منظور شناسایی دقیق‌تر شاخص‌های موثر بر زمان رسیدن تیم عملیاتی به محل حادثه و حریق، داده‌های حوادث گذشته شهر مشهد مورد بررسی قرار گرفته است. سوابق داده‌های آماری مربوط به حریق و حوادث از ابتدای سال 1396 تا انتهای سال 1398 را شامل می‌شود.

3.2 عوامل موثر بر زمان رسیدن به محل حریق و حوادث

در شکل 3 ساختار پیشنهادی مربوط به عوامل موثر بر زمان رسیدن تیم عملیاتی به محل حوادث و حریق نشان داده شده است. این عوامل را می‌توان در پنج عنوان کلی عوامل زمانی، عوامل طبیعی، عوامل مربوط به سازمان آتش‌نشانی، عوامل جمعیت‌شناسی و عوامل مربوط به زیر ساخت‌های فیزیکی و برنامه‌ریزی شهری دسته‌بندی نمود. هر یک از این عوامل دارای زیر معیارهایی می‌باشند که در نمودارهای علی حلقوی به تفصیل در مورد آن‌ها توضیح داده شده است.



شکل 3. عوامل موثر بر زمان رسیدن به محل حریق و حوادث

4- مدل‌سازی، بررسی و تجزیه تحلیل داده‌ها (یافته‌ها)

برای بررسی عوامل تاثیرگذار بر روی زمان رسیدن تیم عملیاتی به محل حادثه و تحلیل روابط علت و معلولی بین این عوامل یک نمودار علی حلقوی رسم شده است. این نمودار شامل دو زیر سیستم است که برای درک روابط علی بین عوامل تاثیرگذار بر زمان رسیدن تیم عملیاتی آن را به دو زیرسیستم تقسیم کرده‌ایم که در ادامه هر یک از این زیرسیستم‌ها توضیح داده می‌شود.

- زیرسیستم ترافیک
- زیرسیستم تماس درخواست



4.1 زیرسیستم ترافیک

یک زیرسیستم بسیار مهم در بررسی زمان رسیدن تیم عملیاتی به محل حادثه، ترافیک است. مهم‌ترین متغیرهای تاثیرگذار بر ترافیک عبارتند از:

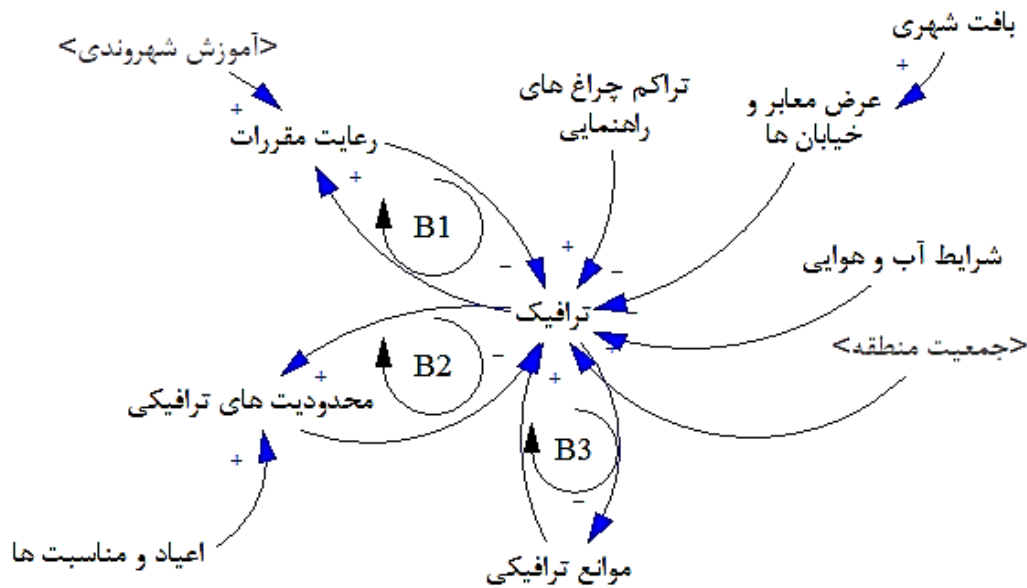
1. شرایط آب‌وهوایی: شرایط آب و هوایی نامطلوب مانند بارندگیهای شدید، بادهای ناگهانی و شدید و غیره منجر به لغزندگی سطح جاده‌ها و کاهش سرعت ماشین‌های آتشنشانی می‌شود. هرچه شرایط آب و هوایی نامناسب‌تر باشد، حجم ترافیک افزایش می‌یابد.
2. عرض معابر و خیابان‌ها: تنگ بودن عرض معابر و خیابان‌ها و نیز ناکافی بودن تعداد خطوط بزرگراهها، منجر به افزایش حجم ترافیک می‌شود. همچنین عرض معابر و خیابان‌ها به بافت شهری هر منطقه بستگی دارد. در مناطقی که بافت شهری قدیمی و فرسوده است، عرض معابر و خیابان‌ها نسبت به مناطقی که از بافت شهری جدیدتری برخوردار هستند، کمتر است و حجم ترافیک در این مناطق بالاتر است.
3. تراکم چراغ‌های راهنمایی: هرچه تعداد چراغ‌های راهنمایی و یا زمان توقف این چراغ‌ها افزایش یابد، ترافیک افزایش می‌یابد (Al-Jarallah, 2015; Kiran & Corcoran, 2017).

همانطور که در شکل 4 مشاهده می‌شود، سه حلقه بازخوردی B1، B2 و B3 در این زیرسیستم وجود دارد.

- حلقه B1: عدم رعایت برخی مقررات ساخت و ساز مانند ساخت‌وساز در معابر عمومی و تجاوز به معابر شهری، عدم احداث پارکینگ و سد معبر فضای شهری، عدم جمع‌آوری ضایعات ساختمانی و نیز عدم رعایت مقررات راهنمایی و رانندگی برای مثال پارک خودروها در مکانهای نامناسب، باز نکردن مسیر حرکت برای خودروهای آتشنشانی و حرکت در مسیرهای ویژه برای تردد خودروهای امداد رسانی می‌تواند باعث افزایش ترافیک می‌شود. با آموزش شهروندان می‌توان رعایت مقررات را افزایش داد. همچنین هرچه ترافیک افزایش یابد، رعایت مقررات نیز افزایش می‌یابد.

- حلقه B2: به دلیل مجاور بودن شهر مشهد با حرم مطهر رضوی در اعیاد و مناسبت‌های خاص مانند تاسوعا و عاشورای حسینی، میلاد و شهادت امام رضا (ع) و غیره، و افزایش حضور زائران در شهر، طرح‌ها و محدودیت‌های ترافیکی توسط شهرداری اعمال می‌شود. این محدودیت‌های ترافیکی باعث کاهش ترافیک می‌شود. هرچه ترافیک افزایش یابد، طرح‌ها و محدودیت‌های بیشتری برای کاهش ترافیک اعمال می‌شود. در نتیجه حلقه B2 ایجاد می‌شود.

- حلقه B3: منظور از موانع ترافیکی وجود سرعت‌گیرها، اعمال محدودیت‌های سرعت حرکت در بزرگراه‌ها و همچنین ساخت‌وساز در نزدیکی محل حادثه می‌باشد که می‌تواند باعث افزایش ترافیک شود. همچنین با افزایش ترافیک، شهرداری سعی می‌کند که این موانع ترافیکی را کاهش دهد (Al-Jarallah, 2015; Kiran & Corcoran, 2017).



شکل 4. نمودار علی حلقوی برای زیرسیستم ترافیک

4.2 زیرسیستم تماس درخواست

زیرسیستم دیگری که در زمان رسیدن تیم عملیاتی به محل حادثه باید بررسی شود، کسر تماس درخواست است. مهم ترین متغیرهای تاثیرگذار بر کسر تماس درخواست عبارتند از:

1. هر چه جمعیت در یک منطقه بیشتر باشد، به دلیل افزایش تعداد فعالیتها و تراکم جمعیت، احتمال وقوع آتش سوزی و تعداد تماس درخواست افزایش می یابد. در فصول بهار و تابستان با افزایش مسافرت ها، همچنین در اعیاد و مناسبت های خاص مانند تاسوعا و عاشورای حسینی، میلاد و شهادت امام رضا (ع) و غیره، حضور زائران در شهر افزایش می یابد. بنابراین نرخ رشد جمعیت، توسط زائران و کسر رشد جمعیت افزایش می یابد (Al-Jarallah, 2015; Katirai, 2009; Lambert & Meyer, 2008; Lambert, Srinivasan, & Katirai, 2012).

2. جمعیت کودکان و سالمندان با افزایش نرخ رشد جمعیت، افزایش می یابد. حضور این گروه سنی به دلیل نآشنایی با تجهیزات مدرن امروزی و نکات ایمنی، بازیگوشی و ناتوانی در درک خطر (به ویژه در مورد بازی با کبریت) و نیاز به مراقبت ویژه در انجام امور، تقاضا برای خدمات اضطراری را افزایش می دهند (Al-Jarallah, 2015; Chhetri, Corcoran, & Stimson, 2009; Kiran & Corcoran, 2017; Sufianto & Green, 2012; United States fire administration - national fire data centre. Structure Fire Response Times (2006).

3. آموزش شهروندی: با افزایش جمعیت کودکان و سالمندان، سطح تحصیلات شهروندان کاهش می یابد. معمولاً هرچه سطح اقتصادی و اجتماعی و سطح تحصیلات یک منطقه بیشتر باشد، منابع مالی بیشتری از طریق مالیات های محلی برای مبارزه با آتش سوزی ها پرداخت می شود. زیرا شهروندان این مناطق دارای تقاضای بیشتری برای رفاه، ایمنی و بهداشت هستند و سطح رفاه، ایمنی و بهداشت افزایش می یابد. هرچه سطح رفاه، ایمنی و بهداشت شهروندان افزایش یابد، میزان استفاده از شبکه های اجتماعی افزایش می یابد. از شبکه های اجتماعی می توان به منظور آگاهی دادن به مردم در مورد حوادث اضطراری، آموزش شهروندان و برقراری



ارتباط با سایر ارائه‌دهندگان خدمات اضطراری استفاده کرد. هرچه آموزش شهروندان افزایش یابد، کسر تماس درخواست کاهش می‌یابد.

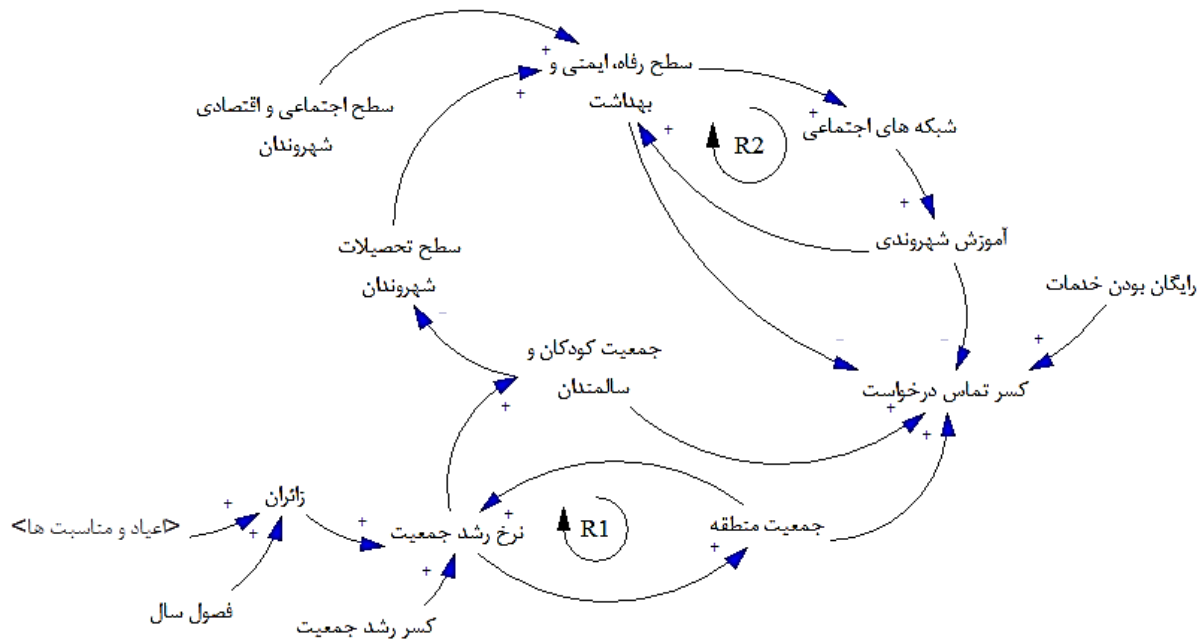
4. سطح رفاه، ایمنی و بهداشت: مطالعات تجربی نشان داده‌اند که محرومیت‌های اجتماعی و اقتصادی منجر به افزایش تقاضا برای خدمات اضطراری می‌شوند.

5. رایگان بودن خدمات: رایگان بودن خدمات سازمان منجر شده است که افراد برای کوچکترین حوادث نیز به این سازمان مراجعه کنند و گزارشات دریافتی از حوادث و حریق افزایش یابد.

همانطور که در شکل 5 نشان داده شده است، دو حلقه بازخوردی R1 و R2 در این زیر سیستم وجود دارد.

- حلقه R1: واضح است که هرچه نرخ رشد جمعیت افزایش یابد، جمعیت افزایش می‌یابد و هرچه جمعیت افزایش یابد، نرخ رشد جمعیت نیز افزایش می‌یابد.

- حلقه R2: هرچه سطح رفاه، ایمنی و بهداشت افزایش یابد، استفاده از شبکه‌های اجتماعی افزایش می‌یابد. استفاده از شبکه‌های اجتماعی باعث آموزش شهروندان می‌شود. هرچه آموزش شهروندان افزایش یابد، سطح رفاه، ایمنی و بهداشت افزایش می‌یابد.



شکل 5. نمودار علی حلقوی برای زیرسیستم تماس درخواست

4.3 زمان رسیدن تیم عملیاتی به محل حادثه

متغیرهای تاثیرگذار بر زمان رسیدن تیم عملیاتی به محل حادثه عبارتند از: سرعت حرکت تیم عملیاتی، آمادگی خودروها، آمادگی آتش‌نشان‌ها، تعداد خودروهای عملیاتی، فاصله محل حادثه تا ایستگاه آتش‌نشانی و تعداد تماس درخواست در یک دوره، که در زیر به بررسی هر یک از این عوامل پرداخته می‌شود.



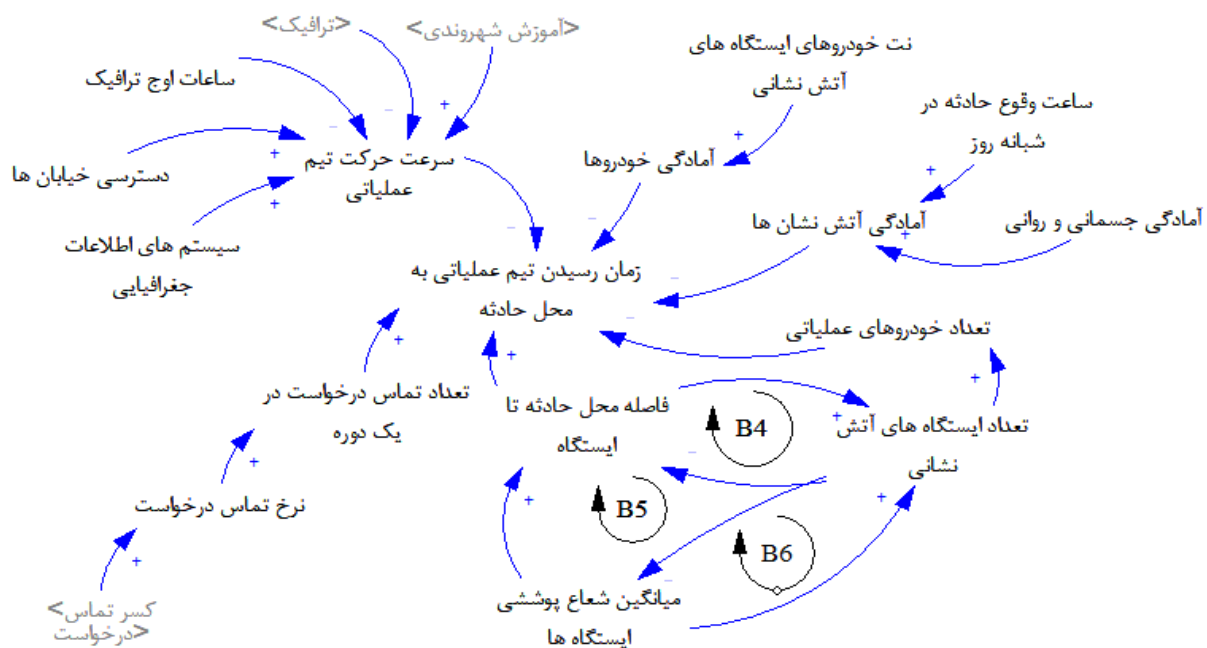
1. سرعت حرکت تیم عملیاتی به محل حادثه: واضح است که هرچه سرعت حرکت تیم عملیاتی افزایش یابد، زمان رسیدن به محل حادثه کاهش می‌یابد. ترافیک، آموزش شهروندان، ساعات اوج ترافیک، دسترسی خیابان‌ها و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی متغیرهایی هستند که بر سرعت حرکت تیم عملیاتی به محل حادثه اثرگذار هستند. زیر سیستم ترافیک و عوامل موثر بر آن در قسمت قبل توضیح داده شد. واضح است که هرچه ترافیک بیشتر باشد، سرعت حرکت تیم عملیاتی به محل حادثه کاهش می‌یابد.
معمولاً افرادی که با سازمان آتش‌نشانی تماس گرفته و وقوع یک حادثه یا حریق را اعلام می‌کنند، تحت استرس قرار دارند یا ممکن است دارای اطلاعات کافی از محل وقوع حادثه یا حریق نباشند. بنابراین ماموران آتش‌نشانی در طی حرکت به سمت محل مورد نظر مجبور می‌شوند مسیرهای خود را تغییر دهند که این امر منجر به کاهش سرعت حرکت تیم عملیاتی به محل حادثه می‌شود، با آموزش شهروندان می‌توان این فرآیند را بهبود داد. از سوی دیگر، چگونگی واکنش هنگام نزدیک شدن یک وسیله نقلیه اضطراری در جاده سرعت حرکت تیم عملیاتی را کاهش می‌دهد. بنابراین ارائه آموزش‌های شهروندی در این زمینه می‌تواند موثر واقع شود و سرعت حرکت تیم عملیاتی را افزایش دهد (Al-Jarallah, 2015; Griffin & McGwin Jr, 2013; مروتی & کیا, 1396).
ساعات اوج ترافیک از متغیرهای موثر بر زمان رسیدن تیم عملیاتی به محل حادثه است. معمولاً در بازه زمانی صبحگاهی و همزمان با شروع کار ادارات و سازمانها، ترافیک مشهود بیشتر و به تدریج از حجم آن کاسته می‌شود. همچنین در بازه عصرگاهی با تعطیل شدن سازمانها، مجدد حجم ترافیک افزایش می‌یابد. اگر حادثه‌ای در این بازه‌های زمانی رخ دهد، به دلیل حجم ترافیک، سرعت حرکت تیم عملیاتی به محل حادثه کاهش می‌یابد (Al-Jarallah, 2015; Azmi et al., 2014; KC, Corcoran, Higginson, & Chhetri, 2015; Kiran & Corcoran, 2012; Sufianto & Green, 2017; مروتی & کیا, 1396).
هر چه میزان دسترس‌پذیری کوچه‌ها و خیابان‌ها به یکدیگر بیشتر باشد، اتصال خیابان‌ها به یکدیگر افزایش یافته و سرعت تیم عملیاتی به محل حادثه افزایش می‌یابد (Handy, Paterson, & Butler, 2003; KC et al., 2015).
منظور از دسترسی خیابان‌ها، اتصال و ارتباط مناسب کوچه‌ها و خیابان‌ها به یکدیگر می‌باشد (Marshall, Piatkowski, & Garrick, 2014).
همچنین سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و نرم‌افزارهای مسیریابی می‌توانند با تعیین مکان دقیق حادثه و نیز تعریف مسیرهای مناسب حرکت به افزایش سرعت حرکت تیم عملیاتی به محل حادثه کمک کنند.
2. آمادگی خودروها: نگهداری و تعمیرات به موقع خودروها و منابع هر ایستگاه به حفظ آمادگی خودروها کمک کرده و در نتیجه زمان رسیدن به محل حادثه یا حریق را کاهش می‌دهد.
3. آمادگی آتش‌نشان‌ها: حفظ آمادگی جسمانی و روانی آتش‌نشان‌ها، ارائه آموزش‌های مناسب در مورد چگونگی تشخیص تماس‌های اشتباهی، پرسیدن محل دقیق بروز حادثه یا حریق و همچنین ساعت وقوع حادثه در شبانه‌روز می‌تواند منجر به کاهش زمان رسیدن به محل حادثه و حریق گردد.
4. تعداد خودروهای عملیاتی: در دسترس بودن تجهیزات در ایستگاه‌های آتش‌نشانی و توزیع مناسب آنها می‌تواند منجر به پاسخگویی سریع‌تر به تماس‌های اضطراری شود و به عبارت دیگر زمان رسیدن به محل حادثه را کاهش دهد.
5. فاصله محل حادثه تا ایستگاه‌ها: یکی از عوامل بسیار مهم در زمان رسیدن تیم عملیاتی به محل حادثه، فاصله محل حادثه تا ایستگاه است. که تحت تاثیر دو متغیر تعداد ایستگاه‌های آتش‌نشانی و میانگین شعاع پوششی هر



ایستگاه است. مناطقی که زمانهای پاسخگویی طولانی تری را تجربه می کنند دارای کمترین تعداد ایستگاه های آتش نشانی هستند. همچنین هرچه شعاع مناطقی که هر ایستگاه پوشش می دهد زیادتر باشد، فاصله ایستگاه تا محل حادثه افزایش می یابد.

6. واضح است که هرچه تعداد حوادث و تماس درخواست زیادتر باشد، زمان رسیدن تیم عملیاتی به محل حادثه افزایش می یابد. برای مثال در شرایطی مانند زلزله، سیل، طوفان و غیره به دلیل افزایش تعداد تماس درخواست که خارج از پتانسیل سازمان آتش نشانی است، زمان رسیدن تیم عملیاتی به محل حادثه افزایش می یابد. همانطور که در شکل 6 مشاهده می شود، سه حلقه ی B4، B5، B6 در این زیرسیستم وجود دارد. در زیر به بررسی این حلقه ها پرداخته می شود.

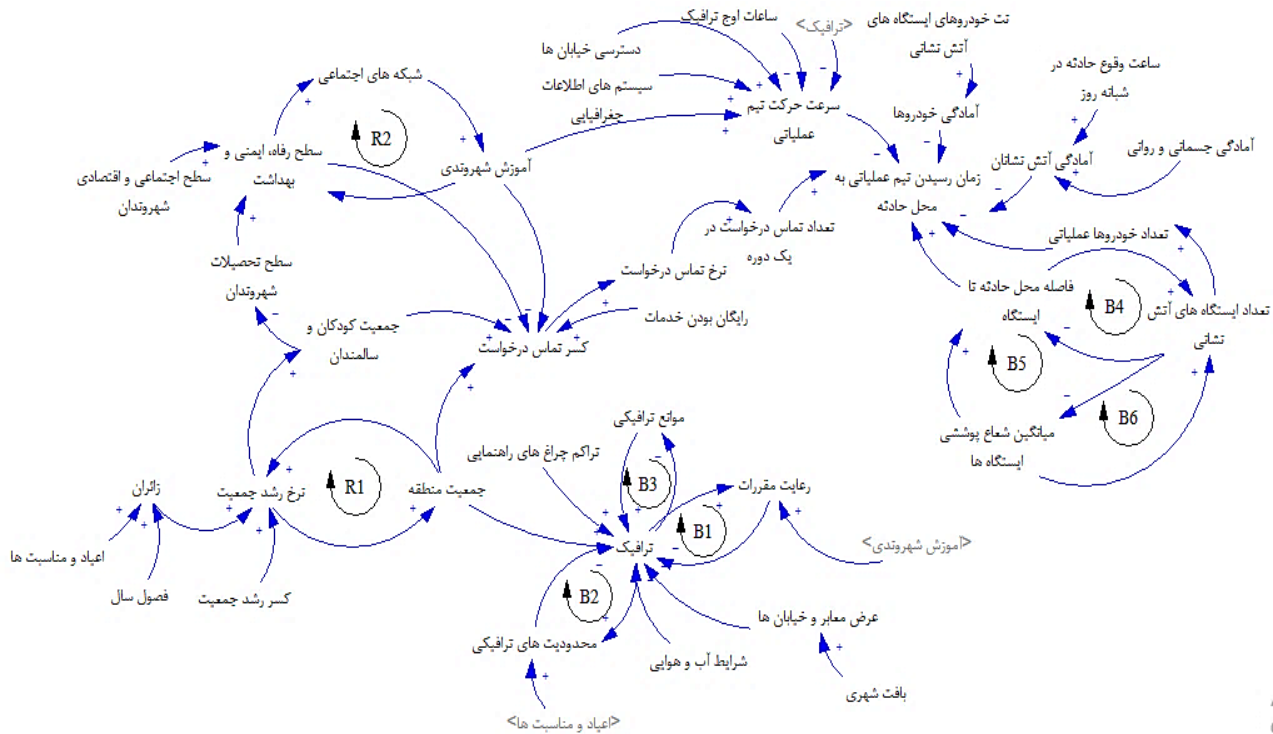
- حلقه B4: همانطور که توضیح داده شد، با کاهش تعداد ایستگاه های آتش نشانی، فاصله محل حادثه تا ایستگاه افزایش می یابد. همچنین هرچه فاصله محل حادثه تا ایستگاه افزایش یابد، باید تعداد ایستگاه های بیشتری احداث شود. بنابراین این حلقه، یک حلقه تعادلی است.
- حلقه B6: هرچه تعداد ایستگاه های آتش نشانی کاهش یابد، شعاع مناطقی که هر ایستگاه پوشش می دهد، افزایش می یابد. از سوی دیگر، هرچه شعاع پوششی هر ایستگاه افزایش یابد، باید تعداد ایستگاه های بیشتری احداث شود.
- حلقه B5: با افزایش میانگین شعاع پوششی ایستگاه ها، فاصله محل حادثه تا ایستگاه افزایش می یابد. اگر فاصله محل حادثه تا ایستگاه افزایش یابد، باید تعداد ایستگاه های بیشتری احداث شود. همچنین با افزایش تعداد ایستگاه های آتش نشانی، میانگین شعاع پوششی ایستگاه ها کاهش می یابد.



شکل 6. نمودار علی حلقوی برای زمان رسیدن تیم عملیاتی به محل حادثه



مدل نهایی نمودار علی حلقوی در شکل 7 نشان داده شده است.



شکل 7. نمودار علی حلقوی زمان رسیدن تیم عملیاتی به محل حادثه

5- نتیجه گیری و پیشنهاد

ایستگاههای آتش‌نشانی از جمله عناصر و کاربری‌های خدماتی شهرها می‌باشند که نقش مهم و حیاتی در حفاظت از جان و مال مردم در برابر حوادث مختلف، بالاخص آتش‌سوزی‌ها را بر عهده دارند. زمان رسیدن مأموران آتش‌نشانی به صحنه، احتمال زنده ماندن قربانیان گرفتار در آتش را تعیین می‌کند. از وظایف ایستگاه‌های آتش‌نشانی تلاش در جهت امنیت جانی و مالی شهروندان در برابر حوادث، به ویژه آتش‌سوزی و امداد رسانی در زمان استاندارد و به کمک تجهیزات متناسب با نوع حادثه می‌باشد. در این پژوهش ابتدا عوامل موثر بر زمان رسیدن تیم عملیاتی به محل حادثه شناسایی شد و سپس برای تحلیل این عوامل و روابط بین آن‌ها، دو زیرسیستم ترافیک و تعداد تماس درخواست شناسایی شد و نمودار علی حلقوی مربوط به این دو زیرسیستم ارائه شد. سپس عواملی مانند سرعت حرکت تیم عملیاتی به محل حادثه، آمادگی خودروها و آتش‌نشان‌ها، تعداد خودروها، فاصله محل حادثه و تعداد تماس درخواست بررسی شد.

از آنجا که ساخت و تجهیز ایستگاه‌های جدید و تغییر در توزیع و پراکندگی ایستگاه‌های آتش‌نشانی می‌تواند هزینه‌های بالایی را به سازمان تحمیل کند، میتوان بهبود زیرساخت‌های تکنولوژی و سخت‌افزاری را به عنوان راه حل مناسب در جهت کاهش زمان رسیدن تیم عملیاتی در نظر گرفت. استفاده از سیستم‌های پشتیبان تصمیم مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS می‌تواند با استفاده از نقشه‌های موجود، مکان دقیق وقوع حادثه و حریق را تعیین و بهترین و کوتاه‌ترین مسیر برای تیم عملیاتی را مشخص سازند تا در کوتاه‌ترین زمان ممکن امداد رسانی صورت پذیرد.



تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر صمیمانه خود را از راهنمایی آقای دکتر علی محمد احمدوند استاد محترم دانشگاه ایوان کی و آقای مهندس مسعود ظهوریان مدیر عامل محترم سازمان آتش نشانی و خدمات ایمنی شهرداری مشهد که ما را در انجام و ارتقای کیفی این پژوهش یاری دادند، اعلام کنند.

منابع و مراجع

- Al-Jarallah, A. (2015). Analysis of Characteristics and Factors Influencing Fire Incidents Response Times in Urban Areas in Saudi Arabia: Case Study of Dammam City .
- Azmi, T., Shahrier, P., Anton, A. K., Mohd, F. H., Habibah, H. L., & Kanis, F. F. (2014). An analysis of variation of turn out time and response time in Penang State Fire and Rescue Department. *Journal of Environmental Science and Technology*, 7(4), 200-208 .
- Brebbia, C. A. (2012). *Risk Analysis VIII* (Vol. 167): WIT Press.
- Chhetri, P., Corcoran, J., & Stimson, R. (2009). Exploring the spatio-temporal dynamics of fire incidence and the influence of socio-economic status: A case study from south east Queensland, Australia. *Journal of Spatial Science*, 54(1), 79-91 .
- Griffin, R., & McGwin Jr, G (2013). Emergency medical service providers' experiences with traffic congestion. *The Journal of emergency medicine*, 44(2), 398-405 .
- Handy, S., Paterson, R. G., & Butler, K. (2003). Planning for street connectivity. *Getting from here to there. American Planning Association, Planning Advisory Service (Planning Advisory Service report, no. 515), Chicago .*
- Katirai, M. (2009). Sprawl, equity and fire department response times across the US .
- KC, K., Corcoran, J., Higginson, A., & Chhetri, P. (2015). Temporal and spatial patterns of fire incident response time: a case study of residential fires in Brisbane .
- Kiran, K., & Corcoran, J. (2017). Modelling residential fire incident response times: A spatial analytic approach. *Applied Geography*, 84, 64-74 .
- Kiran, K., J. Corcoran, and P. Chhetri (2020). Measuring the spatial accessibility to fire stations using enhanced floating catchment method. *Socio-Economic Planning Sciences*, 69: p. 100673.
- Lambert, T. E., & Meyer, P. B. (2008). New and fringe residential development and emergency medical services response times in the United States. *State and Local Government Review*, 40(2), 115-124 .
- Lambert, T. E., Srinivasan, A. K., & Katirai, M. (2012). Ex-urban sprawl and fire response in the United States. *Journal of Economic Issues*, 46(4), 967-988 .
- Marshall, W. E., Piatkowski, D. P., & Garrick, N. W. (2014). Community design, street networks, and public health. *Journal of Transport & Health*, 1(4), 326-340 .
- Sufianto, H., & Green, A. R. (2012). Urban fire situation in Indonesia. *Fire technology*, 48(2), 367-387 .
- Trowbridge, M. J., Gurka, M. J., & O'connor, R. E. (2009). Urban sprawl and delayed ambulance arrival in the US. *American journal of preventive medicine*, 37(5), 428-432 .
- Turner, M. (2011). *Station Placement Study*. Crossville Fire Department.



United States fire administration - national fire data centre. Structure Fire Response Times (2006). Retrieved from <http://nfa.usfa.dhs.gov/downloads/pdf/statistics/v5i7.pdf>

حسینی، سید محمد جعفر، 1394، اهمیت ایمنی شهری از منظر حریق، کنفرانس بین المللی عمران، معماری و زیرساخت های شهری، تبریز، <https://civilica.com/doc/448128>

رضایی مقدم، علی، 1393، بررسی تأثیر کاربری زمین بر محیط زیست شهری، ششمین کنفرانس ملی برنامه ریزی و مدیریت شهری با تأکید بر مولفه های شهر اسلامی، مشهد، <https://civilica.com/doc/349450>

سجادی، ژ. پورموسوی، س. و اسکندری، م. (1392). هسازی و نوسازی بافت های فرسوده شهری با تأکید بر مشارکت مردمی، مطالعه موردی: محله دولاب تهران. فصلنامه جغرافیایی آمایش محیط، 14، 143-164.

سیاح مفضلی، ا. (1394). کاربردهای آینده نگاری در مدیریت شرایط اضطراری و خدمات ایمنی شهری در مناطق شهری. اولین همایش ایمنی و آتش نشانی.

عندلیب، علیرضا و مسعود، محمد و یوسفی آذر، سوگند، 1393، تأثیر توسعه شهر تهران بر گسترش بافت های فرسوده (مشکلات و تنگناهای محله هفت چنار- بریانک از منظر گسترش بافت فرسوده) (<https://civilica.com/doc/487547>)

مروتی، ل. و کیا، ن. (1396). بررسی و مقایسه مشکلات تیم عملیات آتش نشانی برای رسیدن به محل حریق یا حادثه در سطح برخی از مناطق با استفاده از روش AHP (مطالعه موردی: مناطق 2، 4، 5، 8، 12، 14، 18، 20 در محدوده عملیاتی 1 تا 8 سازمان آتش نشانی). سومین همایش ملی آتش نشانی و ایمنی شهری.



Modeling the Dynamics of an Urban Firefighting services system

Hassan Salmani Bideskan¹

PhD student in Industrial Engineering, University of Eyvanekey

Sahar Akhgar^{2*}

Master of Industrial Engineering, Ferdowsi University of mashhad

Abstract

Fire stations are among the elements and service areas of cities that play an important and vital role in protecting the lives and property of people against various accidents, especially fires. When firefighters arrive at the scene of the operation determines the likelihood that the victims caught in the fire will survive. One of the duties of fire stations is to ensure the life and financial security of citizens against incidents, especially fires at standard times and with the help of equipment appropriate to the type of incident.

In this paper, after conducting preliminary studies on existing documents, the factors affecting the arrival time of operational teams to the scene of the accident and fire are identified. Also, the relationships between variables is determined via system dynamics approach. Then, using causal loop diagrams and stock and flow diagrams, the model is analyzed and then solutions to reduce the effect of key indicators in increasing the time arrival of operational team to the scene of an incident or fire are presented.

Keywords: Firefighting, Time Arrival of Operational Team, System Dynamics

¹ ha.salmani.b59@gmail.com

^{2*} Corresponding author: saharakhgar70@yahoo.com