



# ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

زمان پذیرش نهایی: 99/07/20

شماره مجوز مجله: 80400

## ارائه روشی جدید جهت تخمین مقدار آب مورد نیاز در مقابله با آتش سوزی های گسترده ناشی از زلزله در مناطق شهری

بهنام محمدزاده<sup>1</sup>، بابک امیدوار<sup>2\*</sup>

1- کارشناس ارشد مدیریت در سوانح طبیعی، دانشکده محیط زیست، پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران

2- دانشیار دانشکده محیط زیست، پردیس دانشکده های فنی، دانشگاه تهران

### چکیده

تخمین مقدار آب مورد نیاز واحدهای آتش نشانی در آتش سوزی های ناشی از زلزله یکی از کلیدی ترین موارد در برنامه ریزی های مدیریت بحران محسوب می گردد. در این مقاله با بکارگیری یک مدل شبیه سازی آتش سوزی ناشی از زلزله و نرم افزار آن به پیشنهاد یک شیوه بومی سازی شده متناسب با شهرهای ایران به منظور برآورد مقدار آب لازم جهت مصارف آتش نشانی در یک منطقه شهری اقدام گردیده است. مدل مذکور که یک مدل فیزیکی می باشد به بررسی چگونگی ایجاد و گسترش حریق در مناطق شهری می پردازد. در این شبیه سازی، ساختمان ها در ابعاد واقعی و به شکل سه بعدی مدل شده و اتاق ها و فضاهای داخلی ساختمان به صورت خودکار در ساختمان ها ایجاد گردیده و جزییات معماری دیوار و بازشوها به اتاق ها تخصیص داده می شوند. همچنین بر حسب کاربری و ابعاد هر اتاق، مقدار مواد سوختنی موجود در اتاق تخمین زده می شود. مطابق الگوریتم بکار رفته در مدل، چگونگی ایجاد و گسترش حریق بین ساختمان ها و در طول زمان محاسبه می شود. ابتدا گسترش آتش در داخل ساختمان ها و از اتاقی به اتاق دیگر صورت گرفته و پس از آن انتقال آتش در بین ساختمان ها بررسی می گردد. به این ترتیب، در هر زمان مشخص، میزان گسترش آتش سوزی، کل مساحت سوخته ساختمان ها، موده های گسترش آتش و همچنین حالت آتش سوزی برای هر اتاق قابل تعیین می باشد. مقدار آب مورد نیاز برای مهار آتش از روش ارائه شده در استاندارد NFPA1142 با اعمال تغییراتی متناسب با کدهای ساختمانی و مقادیر ورودی از شبیه سازی محاسبه شده و بدین ترتیب میزان آب لازم جهت مهار آتش سوزی ناشی از زلزله تخمین زده می شود.

کلمات کلیدی: آب، آتش سوزی، زلزله، آتش نشانی، مدیریت بحران

### 1- مقدمه

آتش سوزی های بزرگ مقیاس در مناطق شهری و صنعتی همواره به عنوان یکی از مخرب ترین سوانح به شمار آمده که جان و مال انسان ها را در معرض تهدید قرار می دهد. آتش سوزی های 1666 لندن و 1871 شیکاگو از آتش سوزی های عظیمی هستند که خسارات فراوانی برجای گذاشته و همواره به عنوان نمونه هایی مرگبار ترین حوادث در طول تاریخ از آنها یاد می شود. در قرن بیستم و در سال 1906 و پس از گذشت 6 ماه از وقوع زلزله ویرانگر سانفرانسیسکو اعلام شد که بیش از



# ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

نیمی از خرابی های ایجاد شده در اثر وقوع آتش سوزی می باشد. در سال 1923 با وقوع زلزله توکیو این پدیده دوباره تکرار شد و مجموعاً بر اثر آتش سوزی در این دو زمین لرزه، بیش از یکصد و چهل هزار نفر جان خود را از دست دادند. همچنین آتش سوزی و تشدید حریق به دفعات در پالایشگاه های نفتی و سایر مراکز صنعتی رخ داده است که از نمونه های آن می توان به آتش سوزی پالایشگاه هامبر در انگلستان در سال 2001، سانحه بانس فیلد در جنوب انگلستان در سال 2005 و آتش سوزی و انفجار کاپکو در پورتوریکو در اکتبر 2009 اشاره نمود. پس از آن با ظهور تجهیزات جدیدتر و به وجود آمدن ارتباطات، مراکز آتش نشانی به تجهیز خود پرداخته و تمرینات مؤثری در فرو نشانیدن آتش سوزی ها انجام دادند تا جایی که گمان میرفت وقوع آتش سوزی های بزرگ مقیاس در نواحی شهری امری محال می باشد. اما در سال 1991 بر اثر وقوع آتش سوزی در بندر بای هیلز بیش از 3500 ساختمان طعمه حریق شد (کرباسی و همکاران، 1395). همچنین آتش سوزی مهیب سال 2018 در کالیفرنیا که از مناطق جنگلی شروع شد به چند شهر در این ایالت سرایت کرد و علاوه بر سوزاندن 153 هزار هکتار از اراضی جنگلی موجب از بین رفتن بیش از 18000 ساختمان و تخلیه اضطراری بیش از 300 هزار نفر گردید. پس از آن آتش سوزی مشابه دیگری در سال 2020 در استرالیا رخ داد. ثبت این حوادث بعنوان مخرب ترین آتش سوزی های دنیا که در سال های 2018 و 2020 آن هم کشورهای پیشرو در زمینه آتش نشانی نشان دهنده خطر بالقوه ای است که شهرهای بزرگ دنیا را تهدید می کند. در مورد آتش سوزی های ناشی از زلزله مسأله حتی پیچیده تر می شود چرا که بسیار محتمل است زیرساخت های تأمین آب واحدهای آتش نشانی بر اثر زمین لرزه دچار خسارت شده و از سرویس خارج شوند. در این حالت می بایست منابع آب جایگزین به مقدار کافی و از قبل برای مصارف آتش نشانی پیش بینی و مکان یابی شده باشد. بنابراین این انجام تحقیقات علمی و بررسی جوانب مختلف آتش سوزی های گسترده به منظور اقدامات پیشگیرانه و افزایش آمادگی در مقابله و کنترل حریق از ضروریاتی است که می بایست مورد توجه پژوهشگران واقع گردد.

## 2- متدولوژی

به منظور تحلیل پیامد آتش سوزی ناشی از یک مدل شبیه سازی آتش سوزی ناشی از زلزله و از نوع فیزیکی است استفاده می شود. مدل ارائه شده که شامل اطلاعات کامل ساختمان ها می باشد به نرم افزار وارد می گردد. همچنین به منظور تحلیل پیامد از نرم افزار سیستم اطلاعات مکانی<sup>1</sup> بهره گرفته می شود (محمدزاده، 1390). در مدل سازی، ساختمان ها به شکل سه بعدی و در ابعاد واقعی خود مدل می گردند. اتاق ها و فضاهای داخلی ساختمان به صورت خودکار در ساختمان ها ایجاد گردیده و جزییات معماری دیوار و بازشوها به اتاق ها اختصاص داده می شود. همچنین بر حسب کاربری و ابعاد هر اتاق، مقدار مواد سوختنی موجود در اتاق تخمین زده می شود. زلزله طرح باتوجه به شرایط منطقه مورد مطالعه به صورت بیشینه شتاب زمین درنرم افزار وارد شده و اشتعال های اولیه تخمین زده می شوند. اتاق ها و فضاهای داخلی ساختمان به صورت خودکار در ساختمان ها ایجاد گردیده و جزییات معماری دیوار و بازشوها به اتاق ها اختصاص داده می شود. همچنین بر حسب کاربری و ابعاد هر اتاق، مقدار مواد سوختنی موجود در اتاق تخمین زده می شود. سپس زلزله به ساختمان ها وارد شده و بر اساس مشخصات زلزله و ساختمان ها، امکان ایجاد آتش سوزی در ساختمان ها بررسی می گردد. پس از شروع آتش سوزی در ساختمان ها، مدل به محاسبه چگونگی گسترش آتش سوزی در طول زمان می پردازد. ابتدا گسترش آتش در داخل ساختمان ها و از اتاقی به اتاق دیگر صورت گرفته و سپس انتقال آتش در بین ساختمان ها بررسی می شود. مکانیسم های اصلی انتقال حرارت در گسترش آتش سوزی ساختمان ها عبارتند از: هدایت (رسانایی)، تشعشع (تابش) و تماس مستقیم شعله. شایان ذکر است که انتقال گرما از طریق همرفت به دلیل سرعت پایین در مقایسه با سایر مکانیسم های انتقال، در بیشتر مدل سازی ها دخالت داده نشده است چرا که دارای تأثیر قابل چشم پوشی در گسترش آتش سوزی در بین ساختمان ها می باشد. به این

<sup>1</sup> GIS



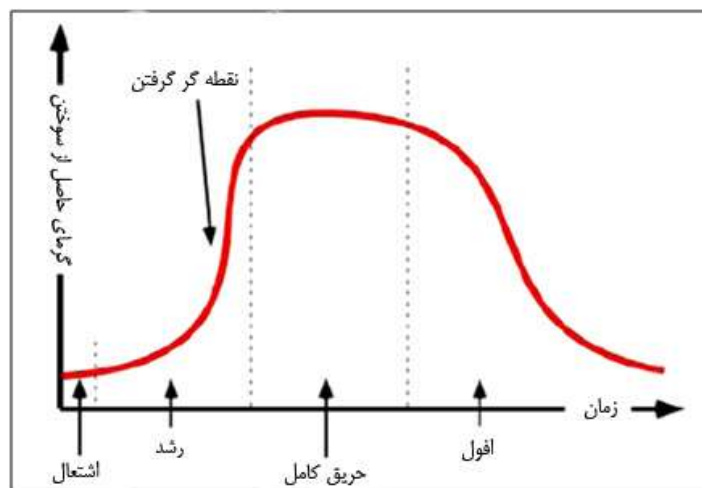
# ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

ترتیب مودهای انتشار آتش در بین اتاق ها عبارتند از: انتقال آتش از طریق وجود باز شو یا ترک در بین دو اتاق، افزایش دمای دیوار یا کف مشترک بین دو اتاق و انتقال آتش از اتاق های پیرامونی ساختمان دارای پنجره به اتاق فوقانی توسط زبانه آتش خارج شده از پنجره می باشد. همچنین مودهای انتشار آتش در بین ساختمان ها شامل تشعشع، ذرات شعله ور بلند شده از بام های شعله ور (آتشپاره) و تماس مستقیم شعله می باشند. جدول شماره (1) بیانگر مودهای انتقال آتش سوزی در داخل و مابین ساختمان ها می باشد (محمدزاده و همکاران، 2012). در محاسبه گسترش آتش سوزی، میزان دما و انرژی گرمایی که هر اتاق در هر لحظه و از سایر اتاقهای در حال سوختن دریافت می نماید، محاسبه شده و اگر میزان انرژی به حد بحرانی برسد، اشتعال ایجاد می شود. به این ترتیب، در هر زمان مشخص، میزان گسترش آتش سوزی و شدت آتش سوزی هر اتاق قابل مشاهده می باشد.

جدول شماره (1). مودهای انتشار آتش سوزی در ساختمان ها (محمدزاده، 2012)

مقیاس	روش انتقال	نام مکانیسم
داخل ساختمان ها	انتقال شعله از یک اتاق به اتاق دیگر به طور آبی	از طریق باز شو
	انتقال از یک اتاق به اتاق دیگر از طریق گرمایش دیوار یا کف مشترک بین دو اتاق	گرمایش دیوار و کف
	انتقال از یک اتاق دارای پنجره به اتاق مشابه در طبقه فوقانی از طریق زبانه آتش خارج شده از پنجره	شعله پنجره
بین ساختمان ها	انتقال از طریق تماس شعله خارج شده از پنجره	شعله پنجره
	انرژی ساطع شده ناشی از شعله بیرون زده از بازشویهای ساختمان	تشعشع
	انرژی ساطع شده از گازهای داغ موجود در ساختمان	تشعشع
	انرژی ساطع شده از شعله بام در حال سوختن	تشعشع
	ذرات شعله ور پرتاب شده از بام های شعله ور	آتشپاره

گسترش آتش اتاق در سه فاز (رشد، حریق کامل، افول) طبقه بندی می گردد. شکل شماره (1) مراحل گسترش آتش سوزی در اتاق را نشان می دهد.



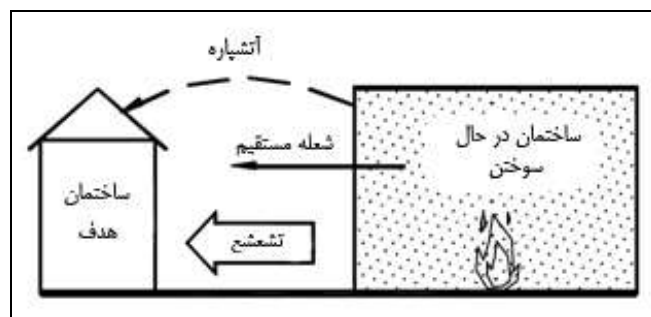
شکل شماره (1) : نمودار انرژی- زمان اتاق در حال سوختن (کرباسی و همکاران، 1395)



# ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

همانطور که از این شکل مشخص است، پس از شروع اشتعال، مواد سوختنی شروع به سوختن نموده و در صورت مهار نشدن حریق وارد فاز رشد می شود. در این فاز شعله با سرعت ناچیزی شروع به رشد نموده اما با گذشت زمان سرعت گسترش شعله به صورت تصاعدی افزایش می یابد. هنگامی که دمای گازهای موجود در اتاق به حدود 500 درجه سانتیگراد بالغ گردد حریق به نقطه گرگرفتن می رسد. در این مرحله دمای گازهای موجود در اتاق بالا رفته و به حدی می رسد که تشعشع صادره از شعله و گازهای داغ به سایر مواد سوختنی موجود تاثیر چشمگیری داشته و حریق با سرعت بسیار بیشتری توسعه می یابد. با گذشت زمان تمامی مواد سوختنی موجود طعمه حریق شده و شروع به سوختن می نمایند. در این مرحله که دما به مقدار بیشینه خود رسیده است آتش وارد فاز حریق کامل می گردد. دمای گازهای داغ موجود در اتاق در این مرحله به بیش از 1000 درجه سانتیگراد می رسد که قدرت مخرب حریق را هرچه بیشتر نمایان می سازد. در همین فاز از حریق می باشد که آتش سوزی قادر به انتقال از اتاقی به اتاق دیگر و یا حتی به ساختمان دیگر خواهد بود. اما با گذشت زمان و اکسید شدن مواد سوختنی موجود، زبانه های آتش رو به خاموشی نهاده و حریق وارد فاز افول می گردد. میزان دما و شار گرمایی در مراحل رشد و افول، در مقایسه با مرحله حریق کامل بسیار کمتر بوده و نمی تواند باعث آسیب سازه ای شود. بنابراین این در مدل سازی تنها فاز حریق کامل می تواند باعث انتقال آتش گردد (لی<sup>1</sup> و همکاران، 2008). آتش سوزی به سه شیوه می تواند از یک اتاق به اتاق دیگر در ساختمان انتشار یابد: 1. از طریق بازشوها 2. از طریق گرمایش دیوار یا سقف ها، یا 3. بعلت شعله ای که از پنجره خارج شده و بطور مستقیم شروع به سوزاندن اتاق مذکور در بالا را نموده است. همانطور که ذکر شد، در همه موارد، انتشار آتش فقط می تواند در زمانی رخ دهد که اشتعال اتاق در فاز حریق کامل است. در مدل سازی فرض می گردد که هیچ بازشوی دیگری در دیوارهای داخلی وجود نداشته و احتمال اینکه هر درب باز یا بسته باشد مساوی 0.5 در نظر گرفته می شود (داویدسون<sup>2</sup> و لی، 2010).

در صورتی که بازشو باز باشد، انتقال آتش به محض اینکه آتش به فاز حریق کامل رسید به اتاق مجاور صورت می گیرد و در غیر این صورت، دربهای بسته مانند یک مانع عمل می کنند و با افزایش دما پس از زمان معینی باعث انتقال آتش می شوند، اما چون دربهای از نظر آتش سوزی ارزیابی نشده اند، نیمی از زمان تخمین زده شده دیوار برای آنها منظور می شود (لی و همکاران، 2008). شکل شماره (2) نشانگر مدهای انتشار آتش از یک ساختمان به ساختمان دیگر می باشد. انتقال ما بین ساختمان ها به سه شیوه تماس شعله، تشعشع و ذرات شعله و پرتاب شده (آتشپاره) صورت می پذیرد. همچنین تشعشع به گونه مجزا از سه منبع مختلف شامل آتش پنجره، آتش بام و تشعشع ناشی از گازهای داغ می تواند موجب انتقال آتش سوزی گردد.



شکل شماره (2) : مدهای انتقال آتش در بین ساختمان ها (کرباسی و همکاران، 1395)

<sup>1</sup> Lee, S

<sup>2</sup> Davidson, R



# ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

میزان آب مورد نیاز به منظور مهار آتش در آتش سوزی های گسترده بر خلاف آتش سوزی های معمولی دارای حجم بالایی می باشد که از روش های مخصوص محاسبه می گردد. میزان آب مورد نیاز به دو روش محاسبه می گردد. یکی دبی لازم برای مهار آتش و دیگری زمان مورد نیاز که باید آب بر آتش ریخته شود (آژانس مدیریت اضطراری فدرال<sup>1</sup>، 2012). با توجه به اینکه در تجربیات زمین لرزه های اخیر کشور از جمله زمین لرزه 1396 سرپلذهاب، سیستم آبرسانی شهری پس از زلزله دچار شکستگی های متعدد و اختلال در شبکه توزیع می گردد می بایست جهت تخمین مقدار آب مورد نیاز آتش نشانی از روش استفاده گردد که فاقد متغیرهای وابسته به سیستم شبکه توزیع آب شهری است (محمدزاده و همکاران، 1398). یکی از روش های دارای این مشخصه روش NFPA1142 می باشد (بنفر<sup>2</sup> و شفلی<sup>3</sup>، 2015). این روش که ابتدا به منظور برآورد مقدار آب مورد نیاز آتش نشانی در مناطق حومه شهر و روستایی که عمدتاً فاقد شیرهای هیدرانت آتش نشانی و سیستم های ثابت آتش نشانی هستند طراحی شده و در استاندارد بین المللی حریق<sup>4</sup> برای مناطق شهری فاقد سیستم آبرسانی جهت مصارف آتش نشانی مورد ارجاع واقع گردیده است. به دلیل توصیه و استفاده گسترده از استاندارد آژانس حفاظت حریق ملی ایالات متحده<sup>5</sup> در آیین نامه های مقررات ملی ساختمان و آیین نامه های ایمنی در صنعت و همچنین تطابق مشخصات روش NFPA1142 با اهداف این مدل سازی، این روش به منظور تخمین مقدار آب مورد نیاز انتخاب شد. در این روش دو رابطه ارائه گردیده است که یکی مربوط به ساختمان های در حال سوختن است که ساختمان دیگری تا فاصله 15 متر در همسایگی آنها وجود نداشته و دیگری مربوط به ساختمان هایی است که دارای ساختمان های دیگری در همسایگی خود تا شعاع 15 متر می باشند که در این صورت می بایست حجم آب بدست آمده جهت کنترل حریق در ساختمان مجاور به مقدار پنجاه درصد افزایش یابد. اما با توجه به اینکه در پژوهش حاضر با استفاده از یک الگوریتم مدل سازی، گسترش حریق در تمامی ساختمان ها با جزئیات دقیق تر نسبت به روش NFPA1142 بررسی گردیده و مقدار آب جهت تمامی ساختمان های در حال سوختن بطور جداگانه محاسبه می گردد بنابراین از رابطه اول برای تمامی ساختمان ها استفاده گردیده است. بنابراین مقدار آب مورد نیاز برای کنترل حریق یک ساختمان با کاربری مشخص از رابطه 1 قابل محاسبه است.

$$WS_{min} = \frac{VS}{OHC} CC * 133.74 \quad (1)$$

که در رابطه 1،  $WS_{min}$ ، حداقل مقدار آب مورد نیاز یک ساختمان برحسب لیتر؛  $VS$ ، حجم ساختمان در حال سوختن بر حسب متر مکعب؛  $OHC$ ، ضریب کلاس خطر حریق (از 3 تا 7)؛  $CC$ ، ضریب ساختار ساختمان (از 0/5 تا 1/5) می باشد.

بمنظور در نظر گرفتن بار حریق مبلمان و وسایل داخلی ساختمان در مدل سازی از ضریب  $OHC$  استفاده گردیده است. این ضریب که تابعی از نوع کاربری ساختمان می باشد از جدول شماره (2) محاسبه می شود. در این جدول میزان بار حریق و یا کلاس خطر ساختمان ها بر اساس استاندارد NFPA1142 به پنج دسته تقسیم بندی گردیده که با پارامتر  $i$  مشخص می گردد. در صورتی که یک ساختمان دارای چند نوع کاربری مختلف باشد، بیشترین مقدار  $i$  برای کل ساختمان در نظر گرفته می شود.

در تعیین ضریب ساختار ساختمان بدلیل مطابقت کلاس بندی NFPA1142 با دسته بندی انواع ساختارهای ساختمانی در مبحث سوم مقررات ملی ایران، مقدار عددی  $CC$  به انواع ساختار های تعریف شده در این مقررات که با پارامتر  $j$  مشخص می گردد نسبت داده شده و از جدول شماره (3) بدست می آید.

<sup>1</sup> FEMA (Federal Emergency Management Agency)

<sup>2</sup> Benfer

<sup>3</sup> Scheffey

<sup>4</sup> IFC (International Fire Code)

<sup>5</sup> NFPA (National Fire Protection Agency)



# ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

جدول شماره (2). ضریب کلاس خطر حریق

کلاس خطر (i)	میزان خطر	نوع کاربری ساختمان	ضریب کلاس خطر حریق (OHC)
1	کم خطر	مسکونی ویلایی و آپارتمانی، اداری، آموزشی، هتل و اقامتگاه های طولانی مدت، مراکز درمانی	7
2	خطر متوسط	پارکینگ خودرو، اماکن تجاری، فرهنگی و یا مذهبی کوچک، کارگاه ها و مراکز صنعتی دارای محصولات غیر قابل اشتعال، مراکز اداری و درمانی حاوی تجهیزات خاص	6
3	نسبتاً پر خطر	اماکن تفریحی و تجمعی کوچک، پارکینگ های بزرگ، انبار و مراکز صنعتی با محصولات خطر اشتعال کم	5
4	پر خطر	فروشگاه های بزرگ، اماکن تجمعی تفریحی، فرهنگی و مذهبی، انبار مواد اشتعال پذیر، کارگاه های صنعتی و کارخانجات مواد قابل اشتعال بغیر از مواد خطرناک	4
5	بسیار پر خطر	انبارها و مراکز صنعتی محتوی مواد خطرناک از قبیل مایعات سریع الاشتعال و مواد منفجره	3

جدول شماره (3). ضریب ساختار ساختمان (آژانس حفاظت حریق ملی، 2012)

نوع ساختار (j)	تعریف ساختار	ضریب ساختار ساختمان (CC)
1	غیر قابل سوختن (نوع 1)	0.5
2	غیر قابل سوختن (نوع 2)	0.75
3	ساختار با دیوار خارجی غیر قابل سوختن	1
4	ساختار چوبی سنگین با دیوار خارجی غیر قابل سوختن	1.25
5	ساختار با اجزای قابل سوختن	1.5

با توجه به اینکه رابطه 1 مقدار آب مورد نیاز برای کنترل آتش سوزی در یک ساختمان را ارائه داده و مدل سازی گسترش حریق در مقیاس بزرگ شامل چندین ساختمان با ابعاد و اشکال مختلف می باشد، به منظور ساده سازی و اینکه محاسبه حجم دقیق تمامی ساختمان ها به سادگی امکان پذیر نبوده و تفاوت قابل ملاحظه ای در نتایج ایجاد نمی گردد، حجم کل ساختمان های در حال سوختن در کلاس خطر i ام ( $VS_i$ ) بر حسب متر مکعب برابر مجموع حجم تک تک ساختمان ها بوده و از رابطه 2 محاسبه می گردد.

$$VS_i = \sum (a * h) \quad (2)$$

که در این رابطه  $a$ ، مساحت تصویر ساختمان بر روی زمین بر حسب متر مربع و  $h$ ، ارتفاع آخرین سقف دارای کاربری از تراز پی بر حسب متر می باشد. بنابراین مقدار آب مورد نیاز جهت کنترل حریق در ساختمان های در حال سوختن در کلاس خطر i ام ( $(WS_{min})_i$ ) بر حسب لیتر از رابطه 3 بدست می آید.

$$(WS_{min})_i = \frac{VS_i}{OHC} CC * 133.74 \quad (3)$$



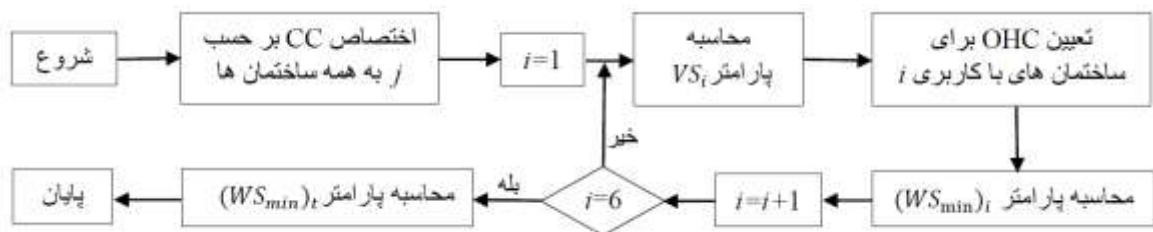
# ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



در نهایت مقدار آب مورد نیاز جهت کنترل حریق در کل ساختمان های در حال سوختن  $(WS_{min})_t$  بر حسب لیتر از رابطه 4 قابل محاسبه می باشد.

$$(WS_{min})_t = \sum_{i=1}^5 (WS_{min})_i \quad (4)$$

به دلیل تعداد زیاد ساختمان ها و به کارگیری مدل نرم افزاری برای شبیه سازی گسترش آتش سوزی، از الگوریتم شکل شماره 3 بعنوان یک الگوریتم ثانویه در محاسبه پارامتر  $(WS_{min})_t$  استفاده می گردد.



شکل شماره (3) : الگوریتم محاسبه حجم آب مورد نیاز آتش نشانی در آتش سوزی ناشی از زلزله

### 3- مطالعه موردی

به دلیل در دسترس بودن اطلاعات مورد نیاز و همچنین اهمیت خاص دانشگاه تهران به عنوان اولین دانشگاه کشور، وجود میراث تاریخی و فرهنگی موجود در پردیس مرکزی این دانشگاه، جایگاه علمی و استراتژیک و نمادین آن و همچنین لزوم ارزیابی ریسک آتش سوزی و از جمله آتش سوزی ناشی از زلزله، پردیس مرکزی دانشگاه تهران به عنوان مطالعه موردی این پژوهش انتخاب گردید. همچنین به منظور دخالت سایر انواع ساختمان و کاربری ها که در محوطه پردیس مرکزی وجود ندارد، محدوده طرح توسعه دانشگاه تهران که در اطراف پردیس مرکزی قرار گرفته به آن اضافه گردید. شکل شماره (4) تصویر هوایی این منطقه را نشان می دهد که حدود منطقه مورد نظر با هاشور قرمز مجزا گردیده است.





# ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



شکل شماره (4): محدوده مورد بررسی در مطالعه (محمدزاده و همکاران، 2012)

همان طور که در شکل شماره 4 مشاهده می شود، منطقه طرح توسعه پردیس مرکزی دانشگاه تهران در سه سمت شمالی، شرقی و غربی محوطه پردیس مرکزی واقع شده و از شمال به بلوار کشاورز، از سمت شرق به خیابان وصال شیرازی و از غرب نیز به خیابان کارگرشمالی محدود می شود، به منطقه مورد مطالعه اضافه گردیده که شامل ساختمان های گوناگونی از نظر ساخت، ابعاد و کاربری می باشد که خود می تواند در بررسی کارآمدی مدل در دیگر مناطق شهری تأثیر بسزایی داشته باشد. فایل ورودی برنامه بصورت سه بعدی بر پایه تصویر گرفته شده از نرم افزار گوگل ارت<sup>1</sup> و با کمک نرم افزار اتوکد<sup>2</sup> ایجاد شده است که در شکل شماره 5 نشان داده می شود. همانطور که در این شکل دیده می شود ساختمان ها بر اساس تصاویر ماهواره ای بصورت سه بعدی و با ابعاد واقعی مدل می گردند. همچنین تعداد طبقات ساختمان ها نیز بر اساس اطلاعات موجود و یا ارتفاع ساختمان در مدل ایجاد می گردد. به منظور تقسیم طبقات به اتاق های داخلی هر طبقه، یک زیر مدل در نرم افزار قرار گرفته است که با ورود طول ثابت دیوارهای داخلی توسط کاربر، هر یک از طبقات را به فضاهای کوچکتری شامل اتاق ها و راهرو تقسیم می نماید. مساحت کلی زمین ساختمان ها در منطقه برابر 170980 متر مربع می باشد. تعداد کل ساختمان های موجود در منطقه مطالعه موردی که در شکل شماره 5 نشان داده شده است برابر 414 ساختمان با ابعاد و ارتفاع متفاوت می باشد. زیربنای کل ساختمان ها نیز که شامل مساحت طبقات می باشد برابر 880690 مترمربع محاسبه شده است.

<sup>1</sup> Google Earth

<sup>2</sup> AutoCAD



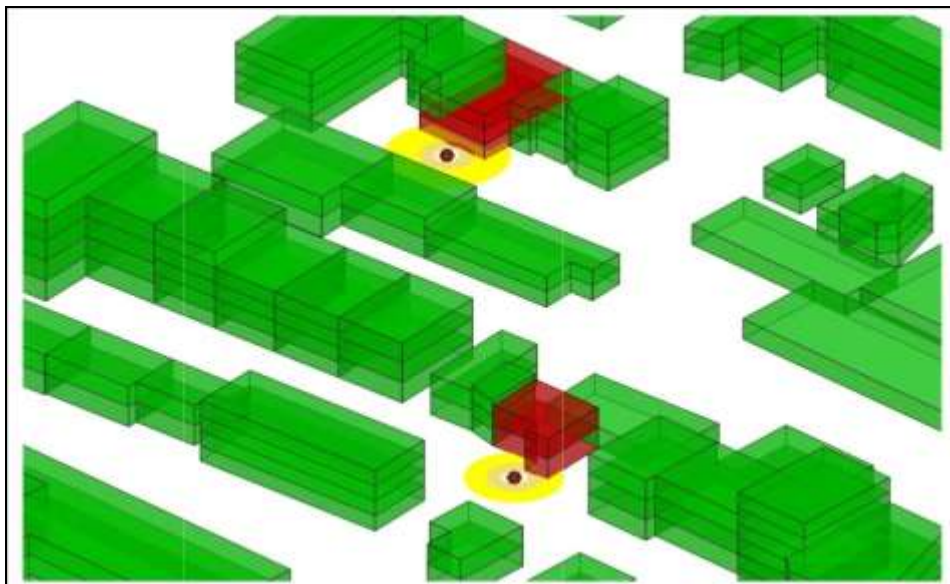


# ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



شکل شماره (5) : مدل سه بعدی از منطقه مورد بررسی (محمدزاده، 1390)

زلزله طرح بر اساس مطالعات جایکا و طبق نقشه شدت لرزش برای گسل ری واقع در جنوب تهران بررسی گردیده و شدت لرزش در منطقه مورد نظر از شهر تهران بین 8 تا 9 در مقیاس مرکالی اصلاح شده به دست آمده است. همچنین با توجه به مشاهدات، در منطقه مورد بررسی، کاربری ساختمان ها شامل آموزشی، اداری، مسکونی و تجاری می باشد که به هر ساختمان به طور جداگانه نوع کاربری اختصاص داده شده است. در آنالیز، یک هزار و پانصد گام زمانی در نظر گرفته می شود که طول هر گام یک دقیقه می باشد. تعداد اشتعال های اولیه طبق مدل اشتعال اولیه شامل پنج اشتعال می باشد که بطور اتفاقی در نقاط مختلف منطقه مورد مطالعه رخ می دهند که سه تای آن ها در زمان وقوع زلزله رخ داده و دو تای دیگر با گذشت زمان به ترتیب 500 و 900 دقیقه پس از زلزله رخ می دهند. شکل شماره 6 نمای نزدیکی از اشتعال های اولیه را نشان می دهد.





# ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

شکل شماره (6) : نمای نزدیک از ساختمان هایی که شروع کننده آتش سوزی می باشند

نرم افزار پیشرفت فاز آتش سوزی اتاق ها را در پلان دو بعدی نمایش داده و در هر لحظه، جدید ترین تراز در حال سوختن از ساختمان را نمایش می دهد که در انتها تمامی اتاق های سوخته در طبقات مختلف ساختمان در یک پلان واحد نمایش داده می شوند. شکل شماره 7 بیانگر چگونگی پیشرفت گسترش آتش در منطقه پس از اجرای شبیه سازی می باشد. پس از تکمیل اطلاعات ورودی، شبیه سازی چگونگی گسترش آتش در بین ساختمان ها با اجرای الگوریتم گسترش توسط نرم افزار آغاز می گردد. شبیه سازی در محیط نرم افزار GIS صورت گرفته و پیشرفت گسترش آتش سوزی در طول زمان به صورت دیداری قابل مشاهده می باشد. همان طور که در شکل شماره 7 دیده می شود در زمان شروع سانحه و هر پانصد دقیقه پس از گذشت سانحه یک تصویر از نرم افزار در حال اجرا گرفته شده است. شایان ذکر است که مدل سازی پیشرفت آتش سوزی توسط نرم افزار به طور پیوسته صورت گرفته که در این تصویر لحظات 0، 500، 1000 و 1500 دقیقه از گذشت سانحه نمایش داده شده است. البته باید توجه داشت که این خروجی تنها به دلیل توصیف دیداری چگونگی پیشرفت آتش سوزی در منطقه بوده و علاوه بر این نوع خروجی، پس از پایان یافتن روند شبیه سازی، اطلاعات کامل منطقه شامل حالت آتش سوزی تمامی اتاق های موجود، مساحت کلی از ساختمان ها که طعمه حریق شده اند، زمانی که هر اتاق اشتعال یافته و زمانی که به طور کامل آتش گرفته و به طور کلی هر نوع اطلاعات تفکیکی قابل ایجاد می باشد. افزایش تعداد اشتعال در یک منطقه به طور تصاعدی بر گسترش آتش سوزی مؤثر است. یعنی هرچه تعداد اشتعال های اولیه بیشتر می شود، آتش سوزی از چندین بعد مختلف در منطقه گسترش یافته که این امر خود بر شدت آتش سوزی افزوده و همچنین مهار آتش توسط آتش نشانان به تجهیزات و نفرات بیشتری احتیاج دارد. برخی از پارامترهای مربوط به ساختمان ها شامل نوع و میزان مواد سوختنی در اتاق، وجود سیستم های اعلام و اطفاء و همچنین میزان جمعیت ساکن در ساختمان بر اساس نوع کاربری ساختمان ها تعیین می شوند. بنابر این بررسی تحلیلی دخالت کاربری ها در شدت و گسترش آتش سوزی دارای اهمیت می باشد. به همین منظور با اختصاص یک نوع کاربری به تمامی ساختمان ها و اجرای مدل، میزان تأثیر هر کاربری در ایجاد آتش سوزی تعیین می شود.





# ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر



شکل شماره (7): نحوه گسترش حریق در مدل سازی انجام گرفته

#### 4- خروجی مدل سازی

در مدل سازی های صورت گرفته، میانگین مساحت کل زیربنای ساختمان ها که طعمه حریق شده اند برابر 144942 مترمربع محاسبه شده است. تعداد بناهای طعمه حریق شده مطابق خروجی نرم افزار و به تفکیک نوع و کاربری ساختمان در جدول شماره 4 نشان داده شده است.

جدول شماره (4). تعداد و مشخصات تفکیکی ساختمان های سوخته

نوع کاربری	تعداد ساختمان های سوخته	ضریب کلاس خطر حریق (OHC)	ضریب ساختار ساختمان (CC)	مساحت کل (متر مربع)
مسکونی یک و دو طبقه	64	7	0/5	13514
آپارتمانی مسکونی و اداری	118	7	0/5	97482
آموزشی	10	7	0/5	32562
تجاری و صنعتی	3	6	0/5	1384

در مدل سازی آتش سوزی، برخی از پارامترهای مربوط به ساختمان ها شامل نوع و میزان مواد سوختنی در اتاق، وجود سیستم های اعلام و اطفاء و همچنین میزان جمعیت ساکن در ساختمان بر اساس نوع کاربری ساختمان ها تعیین می شوند. بدین ترتیب که با توجه به مشاهدات صورت گرفته از منطقه مطالعه موردی برای هر کاربری چندین نوع مختلف از دیوار، درب و پنجره با ابعاد و زمان مقاومت در برابر حریق متفاوت، نوع مواد سوختنی موجود در هر کاربری، ابعاد اتاق ها و سایر فضاهای داخلی و زمان انتقال حریق از دیوار و کف ها و همچنین درب های بسته تعریف می شود. سپس به هر المان موجود در مدل وارد شده به نرم افزار، با توجه به نوع کاربری المان، یکی از این خواص از پیش تعریف شده به آن اختصاص داده می شود. بنابر این بررسی تحلیلی دخالت کاربری ها در شدت و گسترش آتش سوزی دارای اهمیت می باشد.

#### 4- محاسبه مقدار آب مورد نیاز در منطقه مورد مطالعه

با توجه به نتایج به دست آمده از شبیه سازی میزان خسارت وارده به ساختمان ها توسط آتش سوزی تخمین زده شد که در جدول شماره 4 توصیف گردید. بنابراین با توجه به سطح خسارت وارده مقدار آب مورد نیاز برای جلوگیری از گسترش آتش و اطفای آن در جدول شماره 5 محاسبه گردیده است.





# ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

جدول شماره (4). مقادیر آب و تراک‌های مورد نیاز برای مهار آتش

نوع کاربری	تعداد ساختمان‌های سوخته	میزان آب مورد نیاز برای هر کاربری (لیتر)	مقدار کل آب مورد نیاز (لیتر)
مسکونی یک و دو طبقه	64	387291	4160439
آپارتمانی مسکونی و اداری	118	2793694	
آموزشی	10	933180	
تجاری و صنعتی	3	46274	

## 5- نتیجه‌گیری

در این پژوهش راهکاری به منظور تخمین مقدار آب مورد نیاز جهت مقابله با آتش سوزی ناشی از زلزله در مناطق شهری بر اساس روش NFPA1142 ارائه گردید. روش پایه دارای دو رابطه است که یکی مربوط به ساختمان‌های در حال سوختن می‌باشد که ساختمان دیگری تا فاصله 15 متر در همسایگی آنها وجود نداشته و دیگری مربوط به ساختمان‌هایی است که دارای ساختمان‌های دیگری در همسایگی خود تا شعاع 15 متر می‌باشند که در این صورت می‌بایست حجم آب بدست آمده جهت کنترل حریق در ساختمان مجاور به مقدار پنجاه درصد افزایش یابد. اما با توجه به اینکه در پژوهش حاضر با استفاده از یک الگوریتم مدل سازی، گسترش حریق در تمامی ساختمان‌ها با جزئیات دقیق تر نسبت به روش NFPA1142 بررسی شده و مقدار آب جهت تمامی ساختمان‌های در حال سوختن بطور جداگانه محاسبه می‌گردد بنابراین با اصلاحاتی در رابطه اول یک رابطه جدید برای تخمین مقدار آب لازم ارائه شده است که قابلیت استفاده در آتش سوزی‌های بزرگ مقیاس در مناطق شهری را دارا بوده و همزمان حجم آب لازم برای مقابله با آتش سوزی تعداد زیادی از ساختمان‌ها را محاسبه می‌کند. پس از ارائه روابط مربوط به محاسبه مقدار آب لازم الگوریتمی طراحی شد که از روابط بدست آمده بتوان در نرم افزارهای شبیه سازی استفاده نمود که این الگوریتم در شکل شماره 3 ارائه شد. بدین ترتیب مقدار آبی که توسط آتش نشانان می‌بایست در یک آتش سوزی گسترده شهری استفاده گردد بوسیله نرم افزار و در زمان کوتاهی قابل محاسبه است. پس از کاربرد روش ارائه شده در این پژوهش در منطقه مورد مطالعه شامل پردیس مرکزی دانشگاه تهران و منطقه طرح توسعه مقدار آب مورد نیاز برای مهار آتش سوزی گسترده ناشی از زلزله برابر 4160439 لیتر برآورد گردید. از نتایج این پژوهش در دو حالت می‌توان استفاده نمود، یکی در زمان بروز آتش سوزی گسترده شهری که با در دست داشتن اطلاعات مختصری از ساختمان‌های در حال سوختن شامل نوع، حجم و کاربری ساختمان و همچنین شدت حریق که توسط تیم ارزیابی آتش نشانی بدست می‌آید می‌توان مقدار آب لازم را جهت انتقال به صحنه عملیات برآورد نمود. حالت دوم به منظور برنامه ریزی، طراحی شهری و مدیریت بحران می‌باشد بدین ترتیب که با در نظر گرفتن سناریوهای محتمل آتش سوزی گسترده در مناطق شهری، طراحان و برنامه ریزان به طراحی خطوط شبکه آبرسانی و در نظر گرفتن منابع آب ثابت و متحرک برای استفاده در زمان بروز حادثه اقدام می‌نمایند.

## مراجع

1. کرباسی، عبدالرضا، دارابی، حسن، امیدوار، بابک، محمدزاده، بهنام، پرداختی، علیرضا، مخاطرات محیطی شهر تهران، چاپ اول، تهران: انتشارات دانشگاه تهران، 1395.
2. محمدزاده، بهنام. (1390)، "ارزیابی و مدیریت ریسک آتش سوزی ناشی از زلزله در مناطق شهری"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران، تهران.



# ماهنامه علمی تخصصی پایا شهر

3. محمدزاده، بهنام، مرادی، علی، رزلانسری، یونس، استواری، شهرام، "ارائه مدل مکانیابی جهت تعیین محل دقیق ایستگاه های آتش نشانی به روش تحلیل سلسله مراتبی با استفاده از نرم افزار GIS (مطالعه موردی: شهر کرمانشاه)", دومین همایش بین المللی و پنجمین همایش ملی آتش نشانی و ایمنی، تهران، ۱۳۹۸.
4. محمدزاده، بهنام، مرادی، علی، زارعی، طاهره، "ارزیابی عملکرد سازمان های آتش نشانی مشارکت کننده در امداد رسانی زمین لرزه سرپل ذهاب", شمین کنفرانس ملی پژوهش های کاربردی در مهندسی عمران، معماری و مدیریت شهری، تهران، ۱۳۹۸.
5. Benfer, Matthew E., and Joseph L. Scheffey. 2015. "Evaluation of Fire Flow Methodologies." Evaluation of Fire Flow Methodologies, no. January: 1–50. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2889-7>.
6. Hazus. 2012. "Hazus–MH 2.1: Technical Manual." Federal Emergency Management Agency, 718. [www.fema.gov/plan/prevent/hazus](http://www.fema.gov/plan/prevent/hazus).
7. Lee, Selina, Rachel Davidson, Norihito Ohnishi, and Charles Scawthorn. 2008. "Fire Following Earthquake - Reviewing the State-of-the-Art of Modeling." Earthquake Spectra 24 (4): 933–67.
8. Lee, Selina W., and Rachel A. Davidson. 2010. "Physics-Based Simulation Model of Post-Earthquake Fire Spread." Journal of Earthquake Engineering 14 (5): 670–87. <https://doi.org/10.1080/13632460903336928>.
9. Mohamadzadeh, Behnam, Babak Omidvar, and Reza Ghasemi. 2012. "A Review of Fire Following Earthquake Models and Their Application to Urban Design against Fire Spreading." In 4th International Conference on Seismic Retrofitting. Tabriz, Iran. 2012.
10. National Fire Protection Association. 2012. NFPA 1142 Standard on Water Supplies for Suburban and Rural Fire Fighting.