طراحی و شبیه‌سازی مدل صف عملیات امداد و نجات زلزله به کمک سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (GIS)

ابوالفضل راسخ* - کارشناس ارشد سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران Email: A.Rasekh@srbiau.ac.ir

علیرضا وفایی‌نژاد - استادیار، گروه سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور، دانشکده محیط زیست و انرژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران

چکیده

زلزله بشر را، در طول زمان، با خسارات جبران‌ناپذیری مواجه ساخته است. از طرفی دیگر، تصمیم‌گیرندگان همواره سعی در مدیریت بحران و چالش‌های ناشی از آن داشته‌اند. یکی از این چالش‌ها، عملیات امداد و نجات پس از زلزله است. هدف این پژوهش شبیه‌سازی مدلی است که بتواند میان تعداد گروه‌های امدادی در منطقه و توان عملیاتی آن‌ها یک حالت تعادل ایجاد نماید. ازاین‌رو، با توجه به محبوبیت روش‌های تحقیق در عملیات، از جمله نظریه‌ی صف در زمینه‌ی عملیات امداد و نجات، با بهره‌گیری از مفاهیم نظریه‌ی صف، مدل صف متناسب با عملیات امداد و نجات شبیه‌سازی گردید. از سویی دیگر، با استفاده از مدل نرخ بقای افراد زیر آوار، بر اساس نوع سازه، عامل مؤثری برای تحلیل مدل صف شبیه‌سازی شده در محیط GIS فراهم شد. با در نظر گرفتن عامل مدت زمان زنده ماندن افراد در زیر آوار که با استفاده از مدل نرخ بقا به دست آمده است و همچنین با به کارگیری دیگر عوامل ارائه شده توسط نظریه‌ی صف از قبیل توان عملیاتی، تعداد مجروحان خارج شده در مدت زمان اجرا از سیستم و تعداد سرویس‌دهندگان (امدادرسانان)، خروجی مدل شبیه‌سازی شده تحلیل گردید. نتیجه‌ی به دست آمده، گویای این نکته است که تلفیق نظریه‌ی صف و GIS امکان‌پذیر است و نتیجه‌ی آن تخصیص تعداد و ترکیب مناسب نیروهای امداد و نجات در منطقه‌ی مورد مطالعه است.

واژه‌های کلیدی: *سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی (GIS)، نظریه‌ی صف، شبیه‌سازی، تخصیص منابع، نرخ بقا*

Design and Simulation of Earthquake Relief & Rescue Operation Queuing Model with the Aid of Geographic Information System (GIS)

Abolfazl Rasekh*[1] Alireza Vafaie Nejad[2]

Abstract

Over the time, mankind has encountered irrecoverable damages created by earthquakes. On the other hand, policy makers have always struggled against disaster management and its challenges. One of these issues is the relief and rescue operation after the earthquake. The aim of this research is to simulate a model that could balance between the number of rescue groups and their operational efficiency. Thus, considering the popularity of the operation research methods, especially the queuing theory method for relief & rescue operations, by applying the principles of queuing theory, the relief & rescue queuing model was simulated. Additionally, by utilizing the entrapped occupants' survival rate model based on the type of building structure, an essential factor for the analysis of our queuing model was developed within the framework of the geographic information system (GIS). Considering the entrapped occupants life span parameter which was achieved by the survival rate model in the first step and also by applying other parameters such as the number of servers (Rescue Groups), number of customers (injured occupants) and service time, which have been achieved by the applying queuing theory, the output of our simulated model was analyzed. The results demonstrate the fact that the combination of GIS techniques and queuing theory method is, in fact, an appropriate means of allocation for earthquake rescue & relief teams within the operation area.

Key words: *GIS, Queuing Theory, Simulation, Resource Allocation, Survival Rate*

1 MSc in Geographic Information System (GIS), Faculty of Environment and Energy, Islamic Azad University -Science and Research Branch, Tehran, Iran; Email: A.Rasekh@srbiau.ac.ir

2 Assistant Professor, Department of Geographic Information System (GIS), Faculty of Environment and Energy, Islamic Azad University -Science and Research Branch, Tehran, Iran.

مقدمه

مخاطرات طبیعی تنها زمانی تبدیل به یک فاجعه می‌شوند که بر یک جامعه‌ی انسانی بی‌پناه و آسیب‌پذیر اثر گذارند. وقوع و وسعت یک فاجعه به سه عامل بستگی دارد:

۱. مخاطرات (پدیده‌های طبیعی همچون زلزله، گردباد و فوران آتش‌فشان‌ها)؛
۲. در معرض خطر قرارگیری (ساختمان‌ها، انسان‌ها و دیگر موجودات)؛
۳. آسیب‌پذیری (گرایش به جان‌باختگی در برابر حوادث).

با توجه به قرارگیری روزافزون ساختمان‌ها در موقعیت‌های آسیب‌پذیر می‌توان این‌گونه برآورد کرد که عامل دوم (در معرض خطر قرارگیری) افزایش یافته است. مواردی که در این امر سهیم‌اند عبارتند از: رشد سریع جمعیت، گرایش به شهرسازی و گسترش فعالیت‌های بشر به مناطق ساحلی و دیگر مناطق خطرساز [۱، ۲].

این‌گونه که مشاهده می‌شود، در سال‌های اخیر تعداد وقوع بلایای طبیعی و تلفات انسانی ناشی از آن‌ها به صورت جهانی افزایش یافته است. برای نمونه، تعداد بلایای طبیعی رخ داده در بازه‌ی زمانی سال‌های ۲۰۰۴ - ۲۰۰۰ به میزان ۵۵٪ بیشتر از سال‌های ۱۹۹۹ - ۱۹۹۵ بوده است. به همین ترتیب جامعه‌ی انسانی آسیب‌دیده نیز ۳۳٪ افزایش داشته است [۳].

زلزله‌های شدید منجر به فروریزی ساختمان‌های بزرگ در مناطق شهری می‌شوند و نتیجه‌ی این اتفاق تلفات و مجروح و محبوس شدن تعداد بی‌شماری از ساکنان ساختمان‌ها است. نجات افراد حبس شده در زیر آوار و ساختمان‌ها متکی بر نحوه‌ی اجرای عملیات امداد و نجات توسط گروه‌های زنده‌یاب و آواربردار است [۴].

مرور بلایا و بحران‌های طبیعی پیشین، اهمیت واکنش‌های امدادی مؤثر را مشخص و برجسته می‌سازد [۵]. امداد و نجات، بخش اصلی عملیات واکنش در مقابل بحران را در بر می‌گیرد و هدف اصلی آن در ساعات اولیه‌ی پس از زلزله، کاهش تلفات ناشی از این بلای طبیعی است. بدین علت عملکرد نیروهای امداد و نجات در مدت زمانی که افراد در زیر آوارها زنده هستند (بازه‌ی زمانی که در آن احتمال زنده ماندن بالایی وجود دارد) از اهمیت بالایی برخوردار است [۶]. یکی از چالش‌های موجود در این بازه تعیین تعداد و ترکیب گروه‌های امداد و نجات برای هر منطقه‌ی عملیاتی است. سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی با دارا بودن قابلیت به‌نمایش‌گذاری داده‌های مکانی و همچنین توانایی آن به‌منزله‌ی یک ابزار اساسی برای نمایش موقعیت افراد یا اشیا، ارزیابی خسارات، تلفات و تصمیم‌گیری، می‌تواند کارایی مطلوبی در زمینه‌ی مدیریت بحران داشته باشد [۱، ۷، ۸، ۹].

«مدیریت منابع توزیع‌شده» در نقاط مختلف جغرافیایی به‌منزله‌ی یکی از مهم‌ترین و اساسی‌ترین چالش‌های مدیریت بحران شناخته شده است. این چالش‌ها عبارتند از تشخیص نقاط حادثه، تخصیص و توزیع نیروها. برای مثال، پس از حملات ۱۱ سپتامبر، سازمان‌های ذیربط از منابع موجود به‌درستی مطلع نبودند؛ در نتیجه، منابع به شکل ناصحیح توزیع شد و در نهایت کارایی عملیات نجات را تحت تأثیر خود قرار داد [۱۰]. برای بالا بردن کارایی عملیات امداد و نجات باید چالش‌های موجود در زمینه‌ی تخصیص منابع توزیع‌شده‌ی مکانی را بررسی کرد [۱۱].

توزیع مناسب منابع در هنگام عملیات امداد و نجات حوادث غیرمترقبه، همواره دارای کاستی‌هایی بوده است که مانع تصمیم‌گیری‌های مؤثر و کارا می‌شود. چالش‌های موجود عبارتند از اولویت‌بندی منابع موجود، تعیین مسیر تردد خودروهای امدادی و موقعیت‌یابی منابع (NCR[1]).

مبانی نظری

با توجه به چالش‌های ذکر شده و با در نظر گرفتن این مطلب که مرگ و میرهایی که در اثر رخداد اولیه‌ی زلزله نبوده‌اند، حاصل تأخیر در امداد و نجات، فقدان مداوای پزشکی و پس‌لرزه است، می‌توان دریافت که سه گروه کاری تأثیر بسزایی بر تعداد کشته‌شدگان دارند [۱۲، ۱۳]. این سه گروه کاری عبارتند از:

۱. وظایف گروه‌های امداد و نجات برای بیرون کشیدن افراد از زیر آوار؛
۲. وظایف مرتبط با امن‌سازی منطقه برای جلوگیری از فجایع ثانویه (آتش‌سوزی، پس‌لرزه‌ها و خرابی سدها)؛
۳. بازسازی و راه‌اندازی فوری شبکه‌ی راه‌های شهر برای سرعت‌بخشی به عملیات امداد [۶].

در زمینه‌ی مدیریت و واکنش نسبت به بحران (زلزله)، تحقیقات بسیاری صورت گرفته است؛ از جمله پژوهش حقانی و اوه[2] که در آن مسئله‌ی جابه‌جایی اقلام مختلف با به‌کارگیری روش‌های OR[3] مدل‌سازی گردیده است [۱۴].

فیدریش و همکارانش[4] به این نکته دست یافتند که تثبیت وضعیت زیرساخت‌ها برای جلوگیری از اتفاقات ثانویه و راه‌اندازی سریع مسیرهای حمل و نقل بیشترین تأثیر را در کاهش تلفات پس از زلزله دارد. برای این منظور آنان یک مدل پویای بهینه‌ی تخصیص طراحی کردند [۶].

باتا و مانور[5] به این نکته اشاره کردند که در بلایای طبیعی وسیع گروه‌های امدادی چندمنظوره مورد نیاز خواهند بود تا بتوان نیاز مورد نظر منطقه‌ی حادثه‌دیده را پوشش داد. آن‌ها همچنین مدلی برای برنامه‌ریزی و آمادگی برای پوشش مناسب منطقه‌ی امدادی ارائه دادند [۱۵].

براون و واسیلو[6] یک مدل سلسله‌مراتبی را با به‌کارگیری روش برنامه‌ریزی اعداد صحیح برای تخصیص وظایف و روش برنامه‌ریزی خطی با هدف تخصیص منابع، شبیه‌سازی و طراحی کردند [۱۶].

باربارا‌وسوقلو و همکارانش[7] با تمرکز بر برنامه‌ریزی زمانی بالگردها، یک مدل ترکیبی سلسله‌مراتبی و برنامه‌ریزی اعداد صحیح را برای تحلیل چندمعیاره‌ی اهداف موجود ارائه کردند [۱۷].

نرخ بقا

مدت زمانی که افراد گرفتار در ساختمان‌های ویران یا نیمه‌ویران می‌توانند زنده بمانند، تابع عوامل زیادی است. یکی

از مهم‌ترین عوامل «نوع و شدت آسیب‌دیدگی افراد» است. بدین لحاظ ممکن است افراد گرفتار کاملاً سالم یا کمی آسیب‌دیده (نظیر زخم‌های سطحی) باشند یا آسیب شدید (نظیر خونریزی شدید و آسیب‌های مغزی) دیده باشند.

«میزان تأمین هوا» در فضایی که فرد گرفتار در آن قرار دارد هم مهم است. اگر تأمین هوا صورت نگیرد، فرد حتی اگر سالم هم باشد، در اثر خفگی تلف می‌شود.

یکی دیگر از عوامل تأثیرگذار «میزان گرد و غبار» موجود در محیط است. در صورت محبوس شدن فرد در فضایی با گرد و غبار زیاد به علت ازکارافتادگی ریه، ادامه‌ی حیات ممکن نخواهد بود.

اندازه‌ی فضایی که فرد در آن گرفتار است نیز عامل دیگری است. عاملی که در این مورد معرفی می‌شود، نسبت حجم آوار به حجم فضای خالی است که به عواملی نظیر نوع ساختمان و میزان آسیب ارتباط دارد. ساختمان‌های بنایی عادی (خشتی، گلی، سنگی و آجری) معمولاً فضای خالی کمتری ایجاد می‌کنند. به طور تجربی ثابت شده است که ۶ ساعت پس از وقوع حادثه هنوز حدود ۵۱ درصد افراد گرفتار زنده‌اند. علاوه بر موارد ذکر شده، عواملی دیگر نیز دخیل‌اند که عبارتند از عفونت زخم‌ها، از دست رفتن آب بدن، گرسنگی، سرما و گرمای شدید. همچنین این مدت زمان متأثر از مشخصه‌ی سنی فرد گرفتار نیز هست. بدیهی است که در شرایط یکسان افراد پیر و ضعیف زودتر تلف می‌شوند. به طور کلی، تجربه‌ها حاکی از آن است که احتمال زنده ماندن یک فرد، در ۲۴ ساعت اول حدود ۸۰٪ است و در ۲۴ ساعت دوم این احتمال به۵۰٪ کاهش می‌یابد، ازاین‌رو در مدیریت بحران پس از وقوع زمین‌لرزه، ۲۴ ساعت اولیه‌ی امدادرسانی دارای اهمیت بالایی است.

بدین ترتیب، با درنظرگیری هدف اصلی عملیات امدادی، سه نوع وظیفه دارای اولویت هستند:

- عملیات امداد و نجات؛
- ایجاد فضای آرامش و تثبیت؛
- راه‌اندازی مجدد خطوط حمل و نقل [۶].

تعداد نیروهای کاری برای اجرای این امور اغلب محدود است و این امر منجر به یک انتخاب میان منابع موجود گشته است. در راستای بهینه‌سازی عملکرد مرحله‌ی جستجو و نجات، تصمیم‌گیران باید به نحوی منابع موجود را تخصیص دهند که میزان تلفات کاهش یابد. تا کنون فرایند تصمیم‌گیری بر اساس دانش و تجربیات تصمیم‌گیران استوار بوده است، اما به علت پیچیدگی مسئله، تعداد بالای اطلاعات ورودی و محدودیت‌های زمانی، این مسئله تنها می‌تواند به گونه‌ای حل گردد که تعادلی میان هزینه‌ی سیستم (تعداد منابع به کار گرفته شده) و زمان انتظار (مدت زمان سپری‌شده در زیر آوار تا لحظه‌ی نجات) برقرار سازد. شبکه‌های پشتیبانی از تصمیم‌گیری مبتنی بر رایانه ابزاری مناسب برای بهبود معیارهای امدادی هستند. سامانه‌های GIS محور (Hazus)[8] و دیگر سامانه‌های مبتنی بر پایگاه داده (SUMA)[9] در زمینه‌ی مدیریت بحران در حال پیشرفت و به‌روزرسانی است، اما این سامانه‌ها عموماً تنها در حد یک شبکه‌ی اطلاعاتی ظاهر شده‌اند و توانایی پشتیبانی عملی تصمیم‌گیری‌ها را دارا نیستند [۶].

در تحقیق حاضر، تمرکز بر وظایف گروه‌های امداد و نجات برای افزایش کارایی و بیرون کشیدن افراد بیشتری از زیر آوار است.

روش تحقیق

ماهیت پژوهش حاضر کاربردی است و با بهره‌گیری از نظریه‌ی مزایده‌گذاری اقتصادی[10] و همچنین منطق ریاضی تئوری صف[11] انجام شده است. در مرحله‌ی اول، با به‌کارگیری روش مناقصه و مزایده‌گذاری اقتصادی، تخصیص وظایف و کارهای موجود در نقاط مختلف منطقه‌ی زلزله‌زده انجام می‌شود. این روش افراد گروه‌ها را به صورت اقتصادی مدل می‌کند و هدف نهایی آن به دست آوردن حداکثر سود ممکن است. در این روش افراد گروه به‌مثابه‌ی عناصری اقتصادی تمایل دارند که بیشترین سود ممکن را عاید خود و گروهشان کنند.

در مرحله‌ی دوم مدت زمان سپری‌شده برای ارائه‌ی خدمات یا همان عملیات امدادی در هر نقطه از آن مشخص می‌شود که به‌منزله‌ی عامل ورودی در مدل صف در نظر گرفته می‌شود.

مرحله‌ی اول: پیاده‌سازی الگوریتم تخصیص وظایف نیازمند محاسبه‌ی تابع هزینه است. در تخصیص وظایف به افراد بر اساس روش ذکر شده، توجه به چند نکته ضروری است:

اگر C_{ij} هزینه‌ی امدادگر شماره‌ی j برای انجام فعالیت i و n_j تعداد فعالیت‌ها برای امدادگر شماره‌ی j باشد، بدیهی است که تابع هزینه‌ی کل امدادرسانی برای امدادگر شماره‌ی j مطابق رابطه‌ی ۱ است و تابع هزینه‌ی کل گروه نیز مطابق رابطه‌ی ۲ خواهد بود که در این رابطه m بیانگر تعداد امدادگران است.

رابطه‌ی ۱: $\mathrm{Cost\ (j)} = \sum_{i=1}^{nj} C_{ij}$

رابطه‌ی ۲: $\mathrm{T\ Cost} = \sum_{j=1}^{m} \mathrm{Cost\ (j)}$

با برگزاری جلسات مختلف کارشناسی، استفاده از تجربیات متخصصان و توجه به عوامل تأثیرگذار در این پژوهش، تابع اولیه‌ی هزینه (قیمت) برای انجام فعالیت‌ها به صورت رابطه‌ی ۳ پیشنهاد گردید:

رابطه‌ی ۳: $\mathrm{Cost} = X + (10 \times Y) + (10 \times Z) + (10 \times K) + T$

در رابطه‌ی ۳، X بیانگر مدت زمانی است که طول می‌کشد تا فرد از محل خود به موقعیت انجام فعالیت برسد، Y مبین ضریب سختی، Z بیان‌کننده‌ی ضریب اولویت انجام فعالیت توسط هر فرد، T نشان‌دهنده‌ی مدت زمان انجام هر فعالیت و K بیانگر ضریب خستگی است که همگی عوامل باید از یک واحد تبعیت نمایند. بدیهی است قیمت نهایی فعالیتی که برای انجام آن به چند نفر احتیاج است، از حاصل جمع قیمت‌های تک‌تک افرادی که آن فعالیت را انجام می‌دهند به دست خواهد آمد. گروهی در یک مزایده برنده می‌شود که کمترین هزینه را داشته باشد [۱۸].

با اجرای مدل تخصیص وظایف و برگزاری بیش از ۲۰ مزایده (بدین معنا که در هر مرحله‌ی مزایده تابع هزینه برای انتخاب و اعزام مناسب‌ترین گروه به یک نقطه‌ی حادثه‌دیده محاسبه

جدول ۱: نمایی از جدول هزینه[۱۲] در محیط GIS [نگارندگان]

Attributes of Costs_7

Costs_7.UIDCost	Costs_7.FinalBenef	Costs_7.CostTotal	Costs_7.UIDdi	Costs_7.UID	Costs_7.TimePri	Costs_7.CostDist
146	3267	177	14	6	1	469
147	3269	175	14	7	1	348
148	3270	174	14	8	1	300
246	3272	172	24	6	1	218
247	3269	175	24	7	1	342
248	3262	182	24	8	1	718
286	3272	172	28	6	1	223
287	3269	175	28	7	1	347
288	3262	182	28	8	1	723

Record: 0 | Show: All Selected | Records (0 out of 9 Selected) | Options

می‌شود) وظایف و کارهای موجود به گروه‌های امداد و نجات در محیط GIS تخصیص داده می‌شود. جدول ۱، یکی از مراحل روش مزایده‌محور را با نام جدول هزینه در محیط GIS نمایش می‌دهد. با پیشرفت کارها و اتمام هر کار توسط یک گروه، مزایده‌ی جدیدی برای آن گروه برگزار می‌شود و اطلاعات این جدول به‌روز می‌شوند. همچنین فرض می‌شود هر گروه شامل ۳ نفر امدادرسان است و ترتیب اولویت‌دهی تخصص‌های افراد هر گروه با سرگروه یکسان است.

پس از اجرای مدل مزایده‌محور حال باید برای رسیدن به هدف نهایی این تحقیق (به دست آوردن مناسب‌ترین تعداد گروه‌های امداد و نجات)، مطلوب‌ترین مدل تحلیلی را برای سیستم صف تعیین کنیم.

مرحله‌ی دوم: با به‌کارگیری مبانی تئوری صف، سیستم امدادرسانی به‌منزله‌ی یک سیستم صف در نظر گرفته می‌شود. به شکلی که در این سیستم مجروحان و به شکل خاص در تحقیق جاری مجروحانی که زیر آوار بر اثر زلزله محبوس شده‌اند، به‌منزله‌ی مشتری‌ها فرض می‌شوند و در مقابل امدادرسان‌ها نقش خدمات‌رسانان را ایفا می‌کنند.

الف. مجروحان و نرخ ورود مشتری (λ)

مجروحان (مشتری‌ها) در زیر آوار در انتظار دریافت خدمات هستند. بدین ترتیب، موقعیت آن‌ها در محیط GIS توسط نقاط خسارت[۱۳] تعیین می‌گردد (تصویر ۱). این نقاط در واقع نماینده‌ای از تمام مجروحان ساختمان‌های آن کوچه در نقطه‌ی میانی کوچه‌ها هستند. نقاط خسارت حاوی اطلاعاتی از قبیل تعداد مجروحان کوچه‌ی مورد نظر، تعداد بلوک‌های ساختمانی موجود در کوچه و همچنین مجموع شدت خسارت وارد شده بر اساس تعداد کل مجروحان است. با استفاده از دسته‌بندی خطی، چگونگی طبقه‌بندی سطوح تخریب محاسبه گردید. جدول ۲ محدوده‌ی دسته‌بندی مناطق را نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن فرضیات و هدف این پژوهش، برای سادگی و کاهش حجم اطلاعات محاسباتی تنها نقاط خسارت با شدت تخریب بالا به مثابه‌ی مشتری‌ها (جمعاً ۲۰ نقطه در منطقه‌ی مورد مطالعه) لحاظ می‌شوند. همچنین با در نظر گرفتن تنها سه مورد (ایمن‌سازی منطقه‌ی عملیاتی با قطع برق و آب و گاز، جستجو و زنده‌یابی، نجات افراد زیر آوار مانده) از شش وظیفه‌ی ذکر شده به علت کاهش زمان و پیچیدگی فرایند شبیه‌سازی در بخش‌های بعدی برای هر نقطه، مجموع کل وظایفی که در منطقه باید خدمات‌رسانی شوند و پیش از آن به مزایده گذاشته شوند، به عدد ۶۰ می‌رسد. برای تعیین مقدار λ نرخ ورود مجروحان (مشتری‌ها) به سیستم صف باید به این نکته توجه کرد که در لحظه‌ی $t = 0$ پس از زلزله، تمامی افراد محبوس در زیر آوار در انتظار دریافت خدمات، که همان عملیات امدادی است، هستند. در نتیجه، تمامی ۶۰ وظیفه‌ی یاد شده (۲۰ نقطه) با هم در لحظه $t = 0$ وارد سیستم می‌شوند. ازاین‌رو، نرخ ورود برابر است با:

رابطه‌ی ۴:

$$\lambda = f(t) = \begin{cases} 20, & t = 0 \\ 0, & t > 0 \end{cases}$$

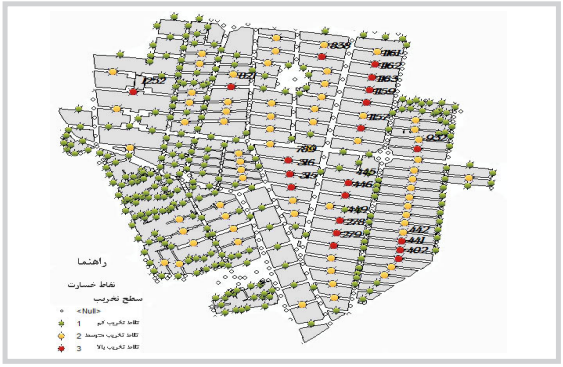
بر اساس رابطه‌ی ۴ نرخ ورود در لحظه t=0 (بلافاصله پس از زلزله) برابر است با ۲۰ وظیفه در واحد زمان و در لحظات پس از آن برابر با صفر است. نرخ ورود فوق در شرایطی حاصل شده است که تلفات ناشی از آتش‌سوزی‌ها و پس‌لرزه‌ها در فرضیات لحاظ نگردیده است (به علت پیچیدگی محاسبات تلفات ناشی از آن‌ها و عدم دسترسی به چنین اطلاعاتی).

جدول ۲: محدوده‌ی دسته‌بندی مناطق در سطوح تخریب مختلف [نگارندگان]

سطح تخریب	تعداد زخمی‌شدگان
۳- منطقه با تخریب بالا	۴۰-۲۸
۲- منطقه با تخریب متوسط	۲۷-۱۵
۱- منطقه با تخریب کم	۱۴-۱

ب. امدادرسانان و نرخ سرویس‌دهی (μ)

فرض بر آن است که امدادرسانان (سرویس‌دهندگان) برای عملیات امداد و نجات در منطقه پراکنده شده‌اند. نحوه‌ی نمایش آن‌ها در محیط GIS به صورت نقاط است و موقعیت آن‌ها لحظه به لحظه در حال به‌روزرسانی است. برای تعیین μ (نرخ سرویس‌دهی هر گروه امدادی)، باید مشخص شود که نرخ سرویس‌دهی شامل چه فرایندی است. در واقع یک سرویس در عملیات امداد و نجات زلزله در محیط GIS از لحظه‌ای آغاز می‌شود که گروه امدادی از موقعیت خود به سمت نقطه‌ی خسارت‌دیده عازم می‌شود. با این تفاسیر نرخ سرویس‌دهی شامل دو فرایند طی کردن مسیر تا نقطه‌ی خسارت و فرایند عملیات جستجو و نجات در محل حادثه (نقطه‌ی خسارت) است. پس اگر T۱ مدت زمان



تصویر۱: نقشه‌ی سطوح تخریب منطقه‌ی مطالعاتی و نقاط خسارت [نگارندگان]

تصویر۲: مدت زمان صرف شده برای ارائه‌ی یک سرویس [نگارندگان]

طی مسیر تا رسیدن به مجروحان (مشتری‌ها) باشد و T۲ مدت زمان صرف‌شده برای عملیات امداد و نجات در نقطه‌ی مورد نظر باشد (مدت زمان عملیات امداد و نجات در هر نقطه شامل کل زمان امدادرسانی در نقطه‌ی مورد نظر تا لحظه‌ی نجات آخرین فرد است)، در نتیجه مقدار μ نرخ سرویس‌دهی برای هر کار از رابطه‌ی ۵ به دست می‌آید. تصویر ۲ نشان‌دهنده‌ی دو فرایند تعیین‌کننده‌ی مدت زمان هر سرویس است.

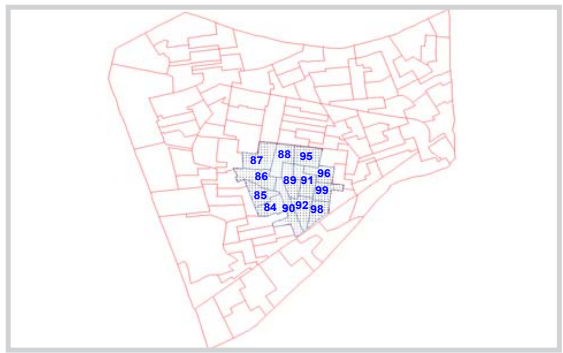
رابطه‌ی ۵: $1/\mu = T1 + T2$

برای تعیین دو متغیر T۱ و T۲ به ترتیب باید به کمک تحلیل شبکه در GIS، T۱ را برای هر وظیفه‌ی تخصیص داده شده به دست آورد و با محاسبه‌ی زمان فعالیت به کمک جدول وظایف[۱۴] و کدنویسی VBA در محیط GIS، با توجه به مدت زمان هر وظیفه که طی جلسات مصاحبه با کارشناسان و متخصصین در این امر حاصل شده است و همچنین تعداد مجروحان در نقطه‌ی مورد نظر، T۲ را محاسبه کرد.

محدوده‌ی مطالعاتی نمونه

برای پیاده‌سازی شبیه‌سازی‌های سازه‌ای و انسانی و آماده‌سازی اطلاعات مورد نیاز برای انجام مرحله‌ی تقسیم و تخصیص وظایف، منطقه‌ای نمونه انتخاب گردید. محدوده‌ی فوق به نحوی انتخاب شد که ساختمان‌های آن بسیار شبیه به ساختمان‌های بررسی‌شده در خسارات سازه‌ای مدل موجود باشند (ساختمان‌های بنایی کم‌مرتبه‌ی فرسوده). بر اساس مطالعات، بخش مرکزی منطقه‌ی ۱۷ تهران (تصویر ۳) به‌منزله‌ی منطقه‌ی نمونه‌ی آزمایشی انتخاب گردید. این منطقه شامل ۱۳ حوزه‌ی آماری با شماره‌های ۸۴، ۸۵، ۸۶، ۸۷، ۸۸، ۸۹،۹۰، ۹۱، ۹۲، ۹۵، ۹۶، ۹۸ و ۹۹ است. این حوزه‌ها در مجموع به ۱۵۰ قطعه‌ی مسکونی تقسیم می‌شوند. جمعیت کل این حوزه‌ها ۳۲/۲۳۹۲ نفر با تراکم جمعیتی معادل ۴۶۵ نفر در هکتار است. تعداد کل ساختمان‌ها نیز ۴/۸۴۳ واحد است.

مکان جغرافیایی محدوده‌ی مطالعاتی، بخش جنوبی شهر تهران است؛ جایی که پایین‌ترین لبه‌ی مخروط‌افکنه‌ی بزرگ آبرفتی در اثر فرایندهای رسوبی شمالی ـ جنوبی رودهایی که



تصویر۳: نمایی از منطقه‌ی مطالعاتی (قسمت مرکزی منطقه‌ی ۱۷) [نگارندگان]

از کوه‌های البرز سرچشمه می‌گیرند، تشکیل شده است. ارتفاع توپوگرافی محدوده، از ۱۱۱۰ تا ۱۱۲۰ متر بالای سطح دریا، متغیر است و سطح زمین دارای شیب ملایمی از شمال به جنوب است. زمین منطقه به‌طور عمده شامل خاک رس نرم است.

در نتیجه‌ی تمرکز جمعیت در تهران، شهرنشینی در این محدوده از دهه‌ی ۴۰ توسعه یافته است. قبل از پدیده‌ی شهرنشینی، این محدوده به‌طور عمده به‌منزله‌ی زمین کشاورزی مورد استفاده قرار می‌گرفته است. توسعه‌ی ساختمانی در این محدوده به‌طور عمده با هدف استفاده‌ی مسکونی صورت گرفته و تقریباً بیشتر ساختمان‌ها در کمتر از ۳ طبقه ساخته شده‌اند. تعداد معدودی از ساختمان‌های این محدوده بیش از پنج طبقه دارند که به‌طور عمده کاربری آن‌ها مسکونی است. اما اطراف رو به خیابان آن‌ها، کاربری تجاری و بازرگانی (مانند مغازه‌های کوچک و صنایع با مقیاس کوچک) دارند. مصالح ساختمانی در اغلب ساختمان‌های این منطقه به نحوی است که در برابر زمین‌لرزه‌ی نیرومند، بسیار ضعیف هستند. منطقه‌ی مورد مطالعه پس از شبیه‌سازی زلزله‌ی فرضی به سه قسمت تخریب بالا، متوسط و پایین تقسیم خواهد شد.

مدل‌های تحلیلی صف

به صورت کلی دو مدل متداول صف وجود دارد. فرموله‌سازی مدل‌ها بر اساس کندال نوتیشن[۱۵] است. در مدلی به شکل M/M/n، از چپ به راست به ترتیب اولین حرف، M، معرف آن

است که نرخ ورودی صف توزیع پواسن است و دومین حرف، M، نشان‌دهنده‌ی آن است که زمان سرویس‌دهی (نرخ خروجی) صف از توزیع نمایی تبعیت می‌کند و در نهایت n بیان‌گر تعداد سرویس‌دهندگان است [۱۹].

الف. مدل تک‌کاناله با زمان سرویس‌دهی نمایی (نامتناهی) M/M/1؛

ب. مدل چندکاناله با زمان سرویس‌دهی نمایی (نامتناهی) M/M/n.

از میان دو مدل مذکور، مدل منطبق بر سیستم امداد و نجات پس از زمین‌لرزه، مدل صف چندکاناله با زمان سرویس‌دهی نمایی (نامتناهی) است. طبق علائم اختصاری کندال مدل مذکور M/M/c است.

در این تحقیق، پارامترهای M در مدل M/M/c به‌ترتیب، از چپ به راست، اولین حرف، M، با توجه به حالت ویژه‌ی نرخ ورود مجروحان (مشتریان)، به وسیله‌ی رابطه‌ی ۴ به دست می‌آید (λ). در پایان مرحله‌ی تخصیص وظایف و پس از اختصاص تمامی ۶۰ وظیفه‌ی موجود در منطقه‌ی عملیاتی، جدول وظایف اختصاص داده شده[۱۶] تکمیل و بدین ترتیب داده‌های زمانی این سرویس‌دهی‌ها حاصل می‌شود. با استفاده از محیط تحلیل‌گر نرم‌افزار شبیه‌ساز Arena، توزیع آماری متناسب با مدت زمان سرویس‌دهی برای داده‌های زمان سرویس‌دهی، توزیع نرمال با میانگین Average = ۱۲۱۷/۱۵ و انحراف معیار σ=۱۶۷ است (تصویر ۴). به عبارت دیگر، تابع توزیع نرمال با میانگین و واریانس یاد شده نزدیک‌ترین تابع توضیح احتمال به داده‌های سرویس‌دهی این تحقیق است. برآورد این توزیع آماری دارای میزان خطای ۰/۰۱۹ است (RMSE) = ۰/۰۱۹). بدین ترتیب دومین حرف، M، (توزیع آماری متناسب با نرخ سرویس‌دهی)، برابر با توزیع نرمال NORM = (۱/۲۲e + ۰۰۳/۱۶۷) است.

در نهایت با توجه به مدل تعیین شده، روابط ۶ و ۷ صادق‌اند.

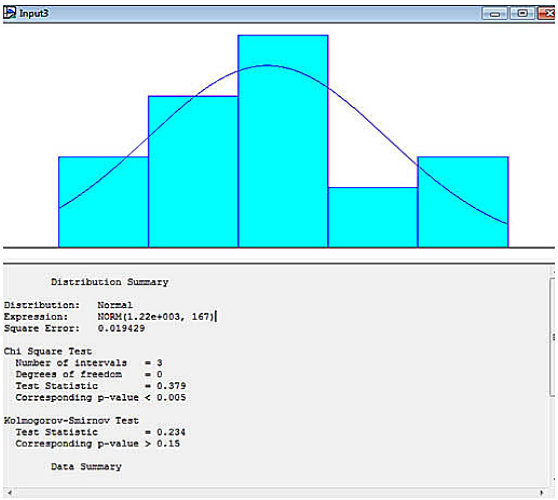
رابطه‌ی ۶: $\rho = \lambda / c\,\mu$

رابطه‌ی ۷: $W_q = L_q / \lambda$

در رابطه‌ی ۶، توان عملیاتی سیستم، C تعداد سرویس‌دهندگان و μ نرخ سرویس‌دهی است. در رابطه‌ی ۷، میانگین زمان انتظار در صف، میانگین تعداد مشتری در صف و نرخ ورود مشتری است.

آماده‌سازی اطلاعات و شبیه‌سازی زلزله‌ی فرضی

با توجه به ماهیت فعالیت‌های گروه‌های نمونه‌ی مد نظر این تحقیق (گروه‌های زنده‌یاب و آوار‌بردار) و عدم امکان قرارگیری



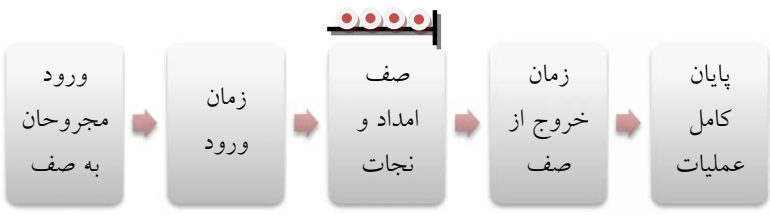
تصویر ۴: توزیع آماری مدت زمان سرویس‌دهی [نگارندگان]

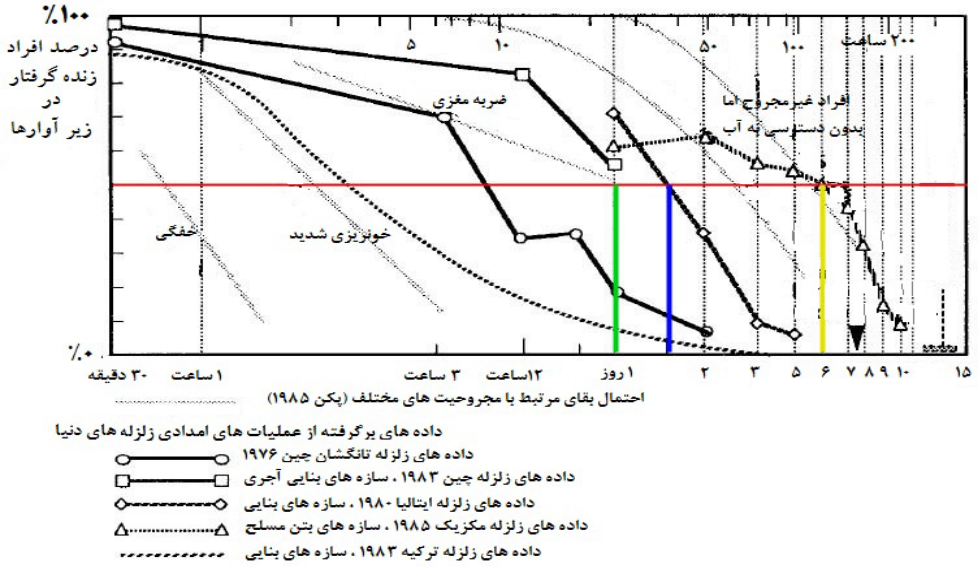
محققان در شرایط واقعی پس از زمین‌لرزه در زمان انجام تحقیق، شبیه‌سازی رخداد زمین‌لرزه به‌منظور فراهم نمودن اطلاعات مکانی و توصیفی منطقه‌ی انجام فعالیت، تعیین فعالیت‌های مورد نیاز و تهیه‌ی اطلاعات موقعیتی و توصیفی نیروی انسانی مد نظر قرار گرفت.

شبیه‌سازی رخداد زمین‌لرزه برای به دست آوردن برآوردهایی تقریبی از تلفات سازه‌ای و انسانی در یک منطقه انجام می‌شود. در این برآوردها می‌توان برای منطقه‌ی مطالعاتی یک سناریوی دلخواه تعریف کرد و با شبیه‌سازی و پیاده‌سازی آن سناریو میزان تلفات سازه‌ای و انسانی در مناطق مختلف را محاسبه کرد. در این پژوهش از روشی که طی طرحی تحقیقاتی در پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله انجام شده استفاده می‌شود. استفاده از این مدل، به دلیل انطباق نتایج آن با منطقه‌ی مطالعاتی مورد نظر تحقیق بوده است [۲۰].

این مدل برآورد آسیب‌پذیری سازه‌ای را در چهار سطح خرابی ارائه می‌کند که بر اساس آن می‌توان میزان آسیب‌پذیری یک ساختمان در زمین‌لرزه‌هایی با شدت‌های مختلف را در این چهار سطح خرابی به دست آورد. برای انجام این مهم، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله در طرحی تحقیقاتی گروهی از توابع آسیب‌پذیری سازه‌ای را برای انواع گروه‌های ساختمانی متداول در ایران تهیه کرده است. برای پیاده‌سازی مدل یاد شده کافی است تا تعداد جمعیت ساکن در یک پلاک ساختمانی در زمان وقوع زمین‌لرزه مشخص باشد و با استفاده از نتایج به دست آمده در

تصویر ۵: نمودار جریان مدل صف [نگارندگان]





تصویر ۶: نرخ بقای افراد حبس شده در زیرآوار بر اساس نوع سازه در کوتاه‌مدت [۱۲].

جدول ۳: کلاس‌های متناظر با کلاس‌های سازه‌های منطقه‌ی مطالعاتی [نگارندگان]

نوع سازه در منطقه‌ی مطالعاتی شبیه‌سازی شده	مدل نرخ بقای منطبق با سازه	مدت زمان زنده ماندن
کلاس ۱- بتن مسلح و فولادی (کد ۰)	بتن مسلح (۱۹۸۵ مکزیک)	۲۴ ساعت
کلاس ۲- بلوک سیمانی با هر نوع سقف (کد ۱)	سازه‌های بنایی آجری (۱۹۸۳ چین)	۱۶ ساعت
کلاس ۳- تمام چوب، خشت و چوب یا خشت و گل (کد ۲)	سازه‌های چوبی (۱۹۹۵ ژاپن)	۲۰ ساعت
کلاس ۴- آجر و فولاد، سنگ و آجر، سنگ و فولاد، آجر و چوب، سنگ و چوب یا تمام آجری (کد ۳)	سازه‌های سنگی (ایتالیا ۱۹۸۰)	۲۴ ساعت

مرحله‌ی قبل (برآورد مقادیر خسارات سازه‌ای) و مدل فوق، تعداد کشته‌شدگان، زخمی‌شدگان و افراد سالم محاسبه گردد.

طراحی مدل صف عملیات امداد و نجات زلزله

برای این منظور از نرم‌افزار شبیه‌ساز Arena استفاده شده است. تصویر ۵، نشان‌دهنده‌ی این مدل است. در سیستم صف مورد بررسی در این تحقیق طبق تعاریف نظریه‌ی صف، مشخص است که با افزایش ظرفیت سیستم (افزایش تعداد گروه‌های امداد و نجات)، هزینه‌های سیستم بالا می‌رود و در طرف مقابل، هزینه‌ی انتظار مجروحان ناشی از زلزله پایین می‌آید. در نتیجه معیارهای سیستم که عبارتند از میانگین تعداد مشتریان در صف، میانگین زمان انتظار در صف، احتمال در صف ماندن مشتری تازه وارد و توان عملیاتی سیستم باید به نحوی تنظیم شوند (تغییر یابند) که مجموع دو هزینه‌ی انتظار و هزینه‌ی به‌کارگیری نیروهای امدادرسان را مینیمم سازد. برای تحلیل مدل صف، ابتدا باید پارامترهای تأثیرگذار بر تعیین تعداد نیروها مورد بررسی قرار گیرند.

تعیین پارامترهای تأثیرگذار در امر تخصیص نیروها پس از زلزله بر اساس تحقیقات مایکل متزگر[۱۸]

عواملی که در امر تخصیص تعداد و مکان نیروهای امداد و نجات پس از زلزله از اهمیت بالایی برخوردارند عبارتند از: زمان، فاصله، شدت زمین‌لرزه، جمعیت، تعداد امدادگران، قدرت ساختمان‌ها، وضعیت آب و هوا.

الف. عامل زمان

بدون تردید، مهم‌ترین متغیر هنگام تخصیص، زمان است. با توجه به این مطلب تمرکز تحقیق تنها بر این عامل (زمان) است. اجرای یک عملیات امدادی پس از زلزله یک رقابت در مقابل زمان است. هر ثانیه در نجات افراد تأثیرگذار است. با گذر زمان تعداد کمتری از افراد زیر آوار احتمال زنده ماندن دارند. یک اصل با نام ۲۴ ساعت طلایی توسط مهندسان زلزله‌ی کشور چین مطرح شده است. این اصل می‌گوید که احتمال زنده ماندن یک فرد پس از ۲۴ ساعت در زیر آوار از ۰/۹۳ به ۰/۵۳ کاهش می‌یابد. ازاین‌رو تسریع بخشیدن تخصیص منابع بسیار ضروری است، تا تعداد نجات‌یافتگان از زیر آوار در این ۲۴ ساعت را افزایش دهد [۴].

ب. نرخ بقا در زیر آوار

برای به دست آوردن تعداد مناسب نیروها برای امدادرسانی هر منطقه‌ی عملیاتی، ابتدا باید به نحوی از مدت زمان زنده ماندن

جدول ۴: سناریوهای تعیین‌شده برای تحلیل معیارهای سیستم صف امدادرسانی [نگارندگان]

شماره‌ی سناریو	تعداد گروه‌های امدادرسان	مدت زمان کل اجرای عملیات (ساعت)	تعداد کل نقاط	تعداد نقاط سرویس‌دهی شده	مدت زمان انتظار در صف (ساعت)	توان عملیاتی
۱	۱۸	۱۸	۲۰	۱۸	۰/۸۵	٪۷۲
۲	۲۰	۲۴	۲۰	۱۷/۸	۰	٪۸۳
۳	۱۸	۲۰	۲۰	۱۷/۷۵	۱/۱۱	٪۸۰

افراد در زیر آوار، برآوردی داشت. با داشتن چنین مدل زمانی، می‌توان بر آن اساس تعداد نیروها را تعیین کرد.

سازه‌های مختلف، مکانیزم‌های فروریختگی و مشخصه‌های حفره‌سازی مختلفی دارند. تعداد فضاهای خالی نسبت به حجم فضاها و نقاط قرارگیری آن‌ها برای یافتن افراد محبوس درون آن‌ها و نجات سریع آن‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است.

نرخ حجم نسبت به تعداد فضاهای خالی در مورد سازه‌های بتن مسلح بسیار مناسب است. اما با ریزش یک سازه‌ی بنایی (آجری، سنگی، گلی) تعداد حفره‌های بسیار کمی ایجاد می‌شود و در بدترین شرایط یک مجروح ممکن است کاملاً در زیر آن آوار دفن شود (احتمال زنده ماندن یک فرد دفن شده در زیر آوار خاک و آجر تقریباً صفر است). برآوردهای آماری از تعداد افرادی که از زیر آوارها در زلزله‌های ایتالیا، ترکیه و چین زنده بیرون آورده شده‌اند، نشان‌دهنده‌ی این است که ۶ ساعت پس از زلزله، کمتر از ۵۰٪ افراد زیر آوار زنده می‌مانند.

بر اساس مدلی که کوبرن و اسپنس[۱۹]، ارائه داده‌اند طبق داده‌های گردآوری شده از زلزله‌های گوناگون با توجه به نوع سازه‌های آوارها، برآوردی از مدت زمان زنده ماندن افراد با توجه به نوع سازه در کوتاه مدت (بر حسب ساعت) ارائه شده است (تصویر ۵) [۱۲].

تطبیق مدل نرخ بقا برای مدل شبیه‌سازی زلزله (منطقه‌ی ۱۷ تهران)

مدل مذکور، با توجه به عدم دخیل دانستن نوع جراحات و بر اساس نوع سازه‌های ذکر شده، برای تحقیق جاری مطلوب است. طبق جدول توصیفی[۲۰] موجود در محیط GIS، انواع سازه‌های منطقه‌ی مطالعاتی (منطقه‌ی ۱۷ تهران)، در چهار کلاس قرار داده شده‌اند. تعداد کل ساختمان‌های موجود در منطقه‌ی مطالعاتی عبارت است از ۴۴۶۶ عدد. کلاس‌های سازه‌ها و تعداد ساختمان‌های موجود از هر کدام در منطقه‌ی مطالعاتی عبارتند از:

۱. بتن مسلح و فولادی (کد ۰)، تعداد ۲۰۳ ساختمان.
۲. بلوک سیمانی با هر نوع سقف (کد ۱)، تعداد ۱۵۰۳ ساختمان.
۳. تمام چوب، خشت و چوب یا خشت و گل (کد ۲)، تعداد ۵ ساختمان.
۴. آجر و فولاد، سنگ و آجر، سنگ و فولاد، آجر و چوب، سنگ و چوب یا تمام آجری (کد ۳)[۲۱]، تعداد ۲۷۵۵ ساختمان.

از طرفی، کلاس‌های ارائه‌شده در مدل نرخ بقای اشاره‌شده طبق تصویر ۶، عبارتند از:

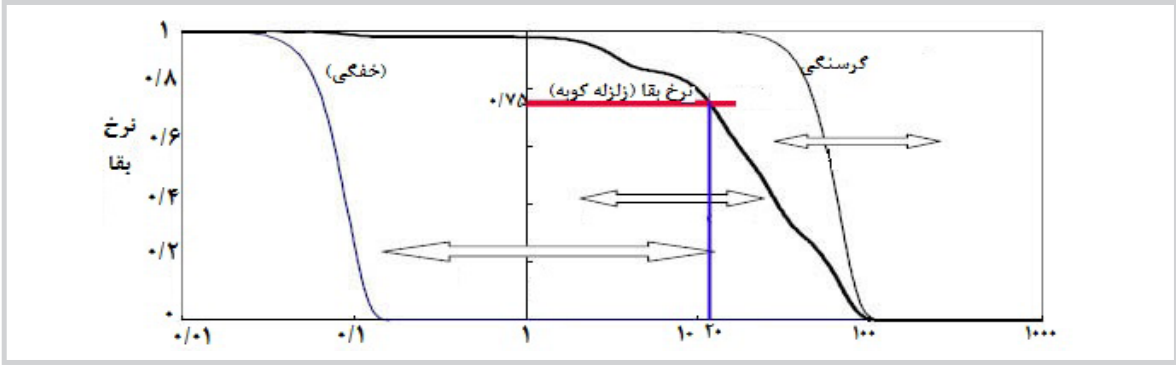
۱. بتن مسلح (زلزله‌ی ۸ ریشتر، ۱۹۸۵ مکزیک).
۲. سازه‌های بنایی سنگی (سقف سنگین)، (زلزله‌ی ۶/۱ ریشتر، ۱۹۸۳ ترکیه).
۳. سازه‌های بنایی سنگی (زلزله‌ی ۶/۵ ریشتر، ۱۹۸۰ ایتالیا).
۴. سازه‌های سنگی (زلزله‌ی ۷/۵ ریشتر، ۱۹۷۶ چین).
۵. سازه‌های بنایی آجری (زلزله‌ی ۶/۲ ریشتر، ۱۹۸۳ چین)[۲۲].

برای تناظریابی میان هر کدام از این کلاس‌ها با کلاس‌های تحقیق جاری باید به چهار نکته توجه کرد؛ اول نوع سازه، دوم شدت زلزله، سوم تعداد طبقات غالب ساختمان‌های زلزله‌ها و چهارم زمان وقوع زلزله، با در نظر گرفتن این مطلب که شدت زلزله‌ی شبیه‌سازی شده در تحقیق حاضر ۶/۵ ریشتر فرض شده است و ساعت وقوع آن ۵:۳۰ بامداد است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در مدل نرخ بقا ۳ کلاس در محدوده‌ی این شدت هستند که عبارتند از کلاس‌های ۲، ۳ و ۵.

هر سه کلاس یادشده از لحاظ نوع سازه متناظر با کلاس ۴ این تحقیق هستند، اما کلاس ۲ (زلزله‌ی ترکیه) با توجه به وجود اختلاف در شدت زلزله و همچنین به علت ۱ طبقه بودن غالب ساختمان‌ها در آن زلزله، کنار گذاشته می‌شود (غالب ساختمان‌های منطقه‌ی مطالعاتی شبیه‌سازی شده، ۳ یا ۲ طبقه است). اما در طرف مقابل خصوصیات زلزله‌ی ایتالیا هم از لحاظ زمانی و شدت زلزله با کلاس ۴ این تحقیق مطابق است.

به علت عدم وجود تشابه کامل مدلی با سازه‌ی کلاس ۲ (بلوک سیمانی)، نزدیک‌ترین نوع سازه در مدل سازه‌های بنایی آجری زلزله‌ی ۱۹۸۳ چین است که برای انطباق با آن انتخاب گردیده است. اما برای کلاس ۱ (بتن مسلح و فولادی) نزدیک‌ترین مدل، سازه‌های بتن مسلح زلزله‌ی مکزیک است. تنها اختلاف موجود، اختلاف در شدت زلزله‌ها است که با توجه به تعداد کم این نوع سازه (بتن مسلح و فولادی) در منطقه‌ی مطالعاتی می‌توان از این اختلاف چشم‌پوشی کرد. آخرین کلاس باقی‌مانده کلاس ۳ (ساختمان‌های تمام چوب) است که با مدل ارائه شده برای زلزله‌ی ۱۹۹۵ ژاپن که در تصویر ۶ نمایش داده شده است، مطابقت دارد [۱۳].

بدین ترتیب مدل‌های نرخ بقا متناظر با ۴ نوع کلاس سازه‌های منطقه‌ی مطالعاتی با رجوع به دو نمودار حاضر در تصاویر ۵ و ۶، طبق جدول ۳ تعیین گردید.



تصویر ۷: نرخ بقا در سازه‌های چوبی زلزله‌ی ۶/۹ ریشتر، ۱۹۹۵ کوبه‌ی ژاپن [۱۳]

با مشخص شدن مدل نرخ بقا برای منطقه‌ی مطالعاتی، در این مرحله باید در محیط GIS ابتدا این نرخ برای هر ساختمان (با توجه به فیلد نوع سازه) اعمال شود.

نکته‌ای که در این مرحله به آن باید توجه شود آن است که مدل شبیه‌سازی صف عملیات امداد و نجات زلزله به شکلی طراحی گردیده است که هر گروه به هر نقطه‌ی خسارت یا به هر کوچه سرویس امدادرسانی ارائه می‌نماید، به همین علت به دست آوردن نرخ بقا تنها برای ساختمان‌های موجود در کوچه‌ها کافی نیست؛ در نتیجه، پس از به دست آوردن نرخ بقای تمامی ساختمان‌ها در محیط GIS، باید به کمک میانگین وزنی، این نرخ بقا را برای هر کوچه (نقطه‌ی خسارت) محاسبه کرد.

محاسبه‌ی نرخ بقا برای هر کوچه (نقطه‌ی خسارت) به شرح زیر است:

با فرض اینکه، در هر کوچه (خیابان) تعداد ۴ نوع سازه وجود داشته باشد به شکلی که:

- تعداد ساختمان‌های از نوع سازه‌ی χ در کوچه‌ی مورد نظر= n_1 ، مدت زمان زنده ماندن افراد در زیر سازه‌ی نوع χ بر اساس = T_1 مقدار چهارک سوم (احتمال ۷۵٪) نرخ بقای مربوطه
- تعداد ساختمان‌های از نوع سازه‌ی y در کوچه‌ی مورد نظر= n_2، مدت زمان زنده ماندن افراد در زیر سازه نوع y بر اساس = T_2 مقدار چهارک سوم (احتمال ۷۵٪) نرخ بقای مربوطه
- تعداد ساختمان‌های از نوع سازه‌ی v در کوچه‌ی مورد نظر= n_3 ، مدت زمان زنده ماندن افراد در زیر سازه‌ی نوع v بر اساس = T_3 مقدار چهارک سوم (احتمال ۷۵٪) نرخ بقای مربوطه

تعداد ساختمان‌های از نوع سازه‌ی z در کوچه‌ی مورد نظر= n_4
مدت زمان زنده ماندن افراد در زیر سازه‌ی نوع z بر اساس = T_4
مقدار چهارک سوم (احتمال ۷۵٪) نرخ بقای مربوطه

تعداد کل ساختمان‌های موجود در کوچه‌ی مورد نظر = N

مدت زمان بقای افراد در نقطه‌ی خسارت مورد نظر = T_L

رابطه‌ی ۸: $T_L = \sum_{i=1}^{4} \left(\frac{n_i}{N} \times T_i\right)$

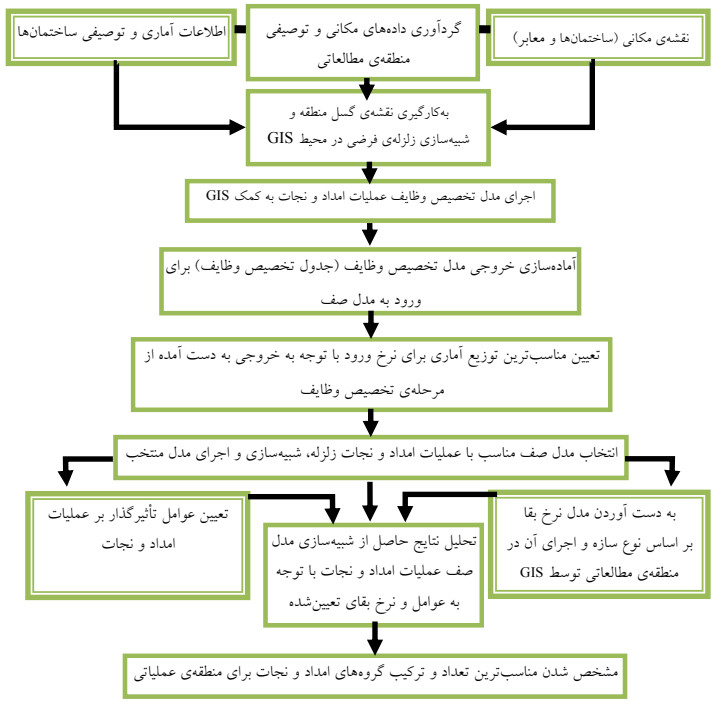
با به‌کارگیری رابطه‌ی ۸ و محاسبه‌ی مدت زمان زنده ماندن[۲۳] در هر نقطه‌ی خسارت و سپس محاسبه‌ی میانگین این فیلد اطلاعاتی(T_L)[۱] برای ۲۰ رکورد (نقاط با میزان خسارت بالا)، میانگین حداکثر زمان موجود برای تکمیل عملیات امداد و نجات به نقاط مربوط به دست می‌آید (۲۱/۵ ساعت). در نتیجه در بدترین حالت عملیات امداد و نجات به تمام نقاط خسارت شدید در منطقه پس از گذشت ۲۱/۵ ساعت، باید تکمیل شود. این عامل به‌منزله‌ی یکی از معیارهای تحلیل سیستم صف مورد توجه قرار خواهد گرفت. با مشخص شدن این عامل، می‌توان به ادامه‌ی تحلیل صف پرداخت.

برای ادامه‌ی فرایند تحلیل، در محیط شبیه‌ساز، ۳ سناریو تعریف می‌گردد که هر سناریو عوامل کنترلی متفاوتی دارد [۲۱]. سه کنترل به کارگرفته شده در سناریوها عبارتند از: تعداد گروه‌های امداد و نجات، تعداد اجراهای شبیه‌سازی و مدت زمان کل عملیات. پاسخ‌های در نظر گرفته شده که در واقع همان معیارهای تحلیل سیستم هستند نیز عبارتند از: تعداد مشتری‌های (نقاط خسارت) وارد شده در سیستم، تعداد مشتریانی (نقاطی) که امدادرسانی به آن‌ها اتمام یافته و خارج شده‌اند، میانگین تعداد مشتریان (نقاط) منتظر در صف، میانگین مدت زمان انتظار مشتریان (نقاط) در صف، میانگین تعداد گروه‌های امدادرسان در حال اجرای عملیات، توان عملیاتی سیستم و میانگین مدت زمان ارائه‌ی سرویس به مشتریان (نقاط). جدول ۴ نشان‌دهنده‌ی سناریوهای تعیین‌شده در محیط شبیه‌ساز Arena است.

تعیین تعداد مناسب نیروهای امداد و نجات

یادآوری می‌شود که در این مرحله هدف ایجاد یک تعادل میان دو عامل تعداد گروه‌های امداد و در طرف مقابل میزان توان عملیاتی و تعداد نقاط امدادرسانی‌شده است.

با بررسی تحلیل حاصل از سناریوهای موجود در جدول ۲، مشخص می‌شود که دو سناریوی ۲ و ۳ بهترین گزینه‌های موجود هستند. تفاوت میان این دو در دو نکته است. سناریوی ۲ دارای ۲۰ گروه امدادرسان ۳ نفره (جمعاً ۶۰ نفر) و در طرف دیگر سناریوی ۳ دارای ۱۸ گروه امدادرسان ۴ نفره (جمعاً ۷۲) است. زمان اتمام سناریوی ۲ پس از ۲۴ ساعت است، اما سناریوی ۳ پس از ۲۰/۲ ساعت از لحاظ توان عملیاتی و تعداد نقاط سرویس داده شده‌ی هر دو سناریو بسیار به هم نزدیک هستند. توان عملیاتی ۲ برابر است با ۸۳٪ و ۳ برابر است با ۸۰٪، تعداد نقاط امدادرسانی شده توسط سناریوی ۲ برابر است با ۱۷/۸۰ و توسط سناریوی ۳ برابر است با ۱۷/۷۵.



تصویر۸: فرایند تخصیص وظایف و مدل صف شبیه‌سازی شده به کمک GIS [نگارندگان]

در نتیجه، به علت قرار گرفتن مدت زمان کل عملیات سناریوی ۳ در محدوده‌ی نرخ بقا، این سناریو مناسب‌ترین گزینه است. به عبارتی دیگر، بهترین ترکیب‌بندی گروه‌های امدادی برای منطقه‌ی مذکور، ۱۸ گروه ۴ نفره (مجموعاً ۷۲ نفر) است.

بدین ترتیب مراحل اجرا و مدل‌سازی در این پژوهش مطابق تصویر ۸ است.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش، با بررسی مدیریت بحران زلزله و کاربردهایی که توسط سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی GIS در این زمینه ارائه می‌شود، یک دید کامل و آشکار در ارتباط با مسئله‌ی تحقیق کسب گردید. سپس به واسطه‌ی آشنایی با فرایندهای موجود در مدیریت بحران زلزله توسط GIS، و با رویکردی مبتنی بر مفاهیم مدیریت بحران جامع به کمک GIS، تمرکز بر روی مرحله‌ی واکنش و پاسخ نهاده شد. در این راستا فعالیت‌های امداد و نجات انتخاب گردید و با توجه به هدف اصلی فعالیت‌های امدادرسانی، که کاهش میزان تلفات و خسارات است، مسئله‌ی پیش رو به منابع این‌گونه عملیات محدود گردید. یکی از مهم‌ترین منابع در عملیات امداد و نجات، تعداد نیروهای اختصاص یافته به هر منطقه‌ی عملیاتی است. ازاین‌رو، ابتدا با به‌کارگیری مدلی، میزان خسارات و تعداد تلفات و مجروحان منطقه‌ی مورد مطالعه در محیط GIS شبیه‌سازی گردید. سپس، با به‌کارگیری مدل تخصیص وظایف مبتنی بر روش‌های مناقصه و ارزش‌گذاری اقتصادی، وظایف کاری موجود در منطقه از سه نوع ایمن‌سازی منطقه، جستجوی زنده‌یابی و نجات افراد زیر آوار مانده توزیع گردید.

با اجرای الگوریتم تخصیص وظایف و به دست آوردن زمان‌های ارائه‌ی سرویس (امدادرسانی) به هر نقطه‌ی خسارت، توزیع آماری متناسب با این زمان سرویس‌دهی، به کمک آزمون‌های آماری تعیین گردید. با در دست داشتن خصوصیات سیستم امداد و نجات زلزله و مفاهیم آن و همچنین مفاهیم نظریه‌ی صف، مدل صف منتخب استخراج شد و در محیط شبیه‌سازی پیاده‌سازی گردید.

پس از بازبینی عملکرد مدل مذکور به کمک روابط نظریه‌ی صف، تحلیل خروجی به دست آمده از مدل آغاز گردید. اما قبل از شروع تحلیل عوامل و معیارهای تأثیرگذار و مورد توجه عملیات مدیریت بحران زلزله باید مشخص گردد. بدین سبب، اهمیت به دست آوردن مدل نرخ بقای متناظر و متناسب با منطقه‌ی مطالعاتی مشخص گشت و با توجه به در دسترس بودن اطلاعات نوع سازه‌های منطقه‌ی مطالعاتی، از میان مدل‌های بقای موجود، مدل بقایی که بر اساس نوع سازه توسعه یافته بود، انتخاب گردید.

نهایتاً، تحلیل مدل صف با به‌کارگیری خروجی‌های مرحله‌ی تحلیل و طرح چندین سناریو (تغییر پارامترهای تأثیرگذار در عملیات) و شبیه‌سازی آن‌ها، مناسب‌ترین ترکیب و تعداد نیروهای امداد و نجات برای منطقه‌ی عملیاتی حاضر در این تحقیق به دست آمد و مناسب بودن به‌کارگیری نظریه‌ی صف در GIS مشخص گردید. چنین سیستم و مدلی می‌تواند برای پشتیبانی تصمیم‌گیری مدیران بحران بسیار سودمند واقع گردد.

در این راستا و برای توسعه‌ی تحقیق جاری در گام‌های بعدی موارد زیر پیشنهاد و توصیه می‌گردد:

به‌کارگیری و اجرای مدل نرخ بقا در الگوریتم تخصیص وظایف مبتنی بر روش ارزش‌گذاری. برای بالا بردن کارکرد این الگوریتم، این عمل می‌تواند به کمک مبانی الگوریتم‌های عقب‌گرد[۲۴] پیاده‌سازی شود.

فرضیات مسئله گسترش یابد و وقایع ثانویه‌ی محتمل پس از وقوع زلزله از جمله آتش‌سوزی‌های رخ داده به علت صدمه‌دیدگی لوله‌های گاز و پس‌لرزه‌های ایجاد شده نیز لحاظ شوند و بدین ترتیب نرخ ورود این دو حادثه نیز در مدل صف در نظر گرفته شود.

به‌کارگیری مدل حاضر و بسط آن به دیگر عملیات تخصیص منابع در عملیات امداد و نجات پس از زلزله همچنین اعمال طیف بیشتری از وظایف امدادرسانی پس از زلزله به کمک مدل حاضر.

طراحی و توسعه‌ی مدل نرخ بقا با به کار گرفتن متغیرهای تصادفی[۲۵] و دیگر عوامل تأثیرگذار در این امر (پیش‌بینی نوع جراحات به کمک مدل‌های تصادفی).

پی‌نوشت

1. National Research Council, 1999
2. Haghani A, Oh SC.
3. Operation Research
4. Fiedrich et al.
5. Batta and Mannur
6. Brown and Vassiliou
7. Barbarosoglu et al.
8. Hazus. (1997). National Institute of Building Science.
9. SUMA. (1999). Pan American Health Organization.
10. Auction-Based Theory
11. Queuing theory
12. Cost
13. Damage Point
14. Tasks
15. Kendall's Notation
16. Task List
17. Kolmogorov-Smirnov Test
18. Michael D. Metzger
19. Coburn & Spence
20. Attribute Table
21. کدهای اختصاص‌یافته به هر سازه در محیط GIS.
22. منبع شدت زمین‌لرزه‌ها از سایت USGS.gov است.
23. Total Lifespan
24. Back Tracking
25. Stochastic

منابع

1 .Cutter ,S .L .(2003) .GI science ,disasters ,and emergency management .*Transactions in GIS*, 7(4), 439-446.

2. Cutter, S. L. & Finch, C. (2008). Temporal and spatial changes in social vulnerability to natural hazards. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 105(7), 2301-2306.

3. Balcik, B. & Beamon, B. M. (2008). Facility location in humanitarian relief. *International Journal of Logistics*, 11(2), 101-121.

4. Metzger, M. D. (2004). *Formulating earthquake response models in Iran* (Doctoral dissertation, Massachusetts institute of Technology).

5. Nourjou, R. & Hatayama, M. (2013). Analyze the Action Planning Problem in Disaster Responder Teams. *Annuals of Disas. Prev. Res. Inst.*, Kyoto Univ., No. 56 B. 37- 43.

6. Fiedrich, F., Gehbauer, F. & Rickers, U. (2000). Optimized resource allocation for emergency response after earthquake disasters. *Safety Science*, *35*(1), 41-57.

7. Alesheikh, A. A., Soltani, M. J., Nouri, N. & Khalilzadeh, M. (2008). Land assessment for flood spreading site selection using geospatial information system. *International Journal of Environmental Science and Technology, 5(4), 455-462.*

8. Markus, M., Fiedrich, F., Leebmann, J., Schweier, C. & Steinle, E. (2004). Concept for an integrated disaster management tool. In *Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering* (Vol. 1, No. 6).

9. Pradhan, A. R., Laefer, D. F. & Rasdorf, W. J. (2007). Infrastructure management information system framework requirements for disasters. *Journal of computing in civil engineering*, 21(2), 90-101.

10. SBC., (2006). *Final Report of the Select Bipartisan Committee to Investigate the Preparation for and Response to Hurricane Katrina*, Washington Dc.: US Government Printing Office.

11. Chen, A. Y., Peña-Mora, F. & Ouyang, Y. (2011). A collaborative GIS framework to support equipment distribution for civil engineering disaster response operations. *Automation in Construction*, 20(5), 637-648.

12. Coburn, A. & Spence, R. (2006). *Earthquake Protection*, John Wiley, Chichester, U.K.

13. Ohta, Y., Murakami, H., Watoh, Y. & Koyama, M. (2004). A model for evaluating life span characteristics of entrapped occupants by an earthquake. *In 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancover, Canada*.

14. Haghani, A. & Oh, S. C. (1996). Formulation and solution of a multi-commodity, multi-modal network flow model for disaster relief operations. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 30(3), 231-250.

15. Batta, R. & Mannur, N. R. (1990). Covering-location models for emergency situations that require multiple response units. *Management Science*, 36(1), 16-23.

16. Caunhye, A.M., Nie, X. & Pokharel, S. (2012). Optimization models in emergency logistics: A literature

review. *Socio-Economic Planning Sciences*, 46(1), 4-13.

17. Barbarosoğlu, G., Özdamar, L. & Cevik, A. (2002). An interactive approach for hierarchical analysis of helicopter logistics in disaster relief operations .*European Journal of Operational Research*, 140(1), 118-133.

18. Vafaeinezhad, A.R., Alesheikh, A.A., Hamrah, M., Nourjou, R., Shad, (2009) R., Using GIS to Develop an Efficient Spatio-temporal Task Allocation Algorithm to Human Groups in an Entirely Dynamic Environment Case Study: Earthquake Rescue Teams. In: Gervasi et al., (eds) LNCS ICCSA 2009 5592(1), Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 66-78.

19. Vasu, V., Achari, B. K. & Srinivas, V. S. (2013). TestV ing of Basic Laboratory Principals and Procedures Queuing Models. *International Journal of Mathematical Archive (IJMA)* ISSN 2229-5046, 4(3).

20. Mansouri, B., Hosseini, K. A. & Nourjou, R. (2008). Seismic human loss estimation in Tehran using GIS. *In 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing*.

21. Altiok, T., Melamed, B.: Simulation Modeling & Analysis with Arena. Elsevier, USA (2007).