مدیریت تیم‌های امداد و نجات با استفاده از الگوریتم جستجوی ممنوعه و سیستم اطلاعات مکانی

ناهید بهرامی[۱]

[۱] کارشناس ارشد سنجش‌ازدور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی - دانشکده محیط زیست و انرژی - دانشگاه آزاد اسلامی - واحد علوم و تحقیقات تهران
n_bahrami@srbiau.ac.com

(تاریخ دریافت اردیبهشت ۱۳۹۷، تاریخ تصویب مرداد ۱۳۹۷)

چکیده

ایران به دلیل قرارگیری در مناطق زلزله‌خیز جهان و دارا بودن جمعیت نسبتاً بالا، در برابر رخداد زلزله آسیب‌پذیر است. عوامل مختلفی بر میزان خسارت ناشی از زلزله تأثیرگذار هستند. از میان این عوامل می‌توان به زمان و شدت رخداد زلزله، مقاومت سازه‌ها، نوع کاربری سازه‌ها و چگونگی امدادرسانی پس از رخداد زلزله، اشاره نمود. در این راستا و طی پژوهش حاضر، وظایف و فعالیت‌های نیروهای امداد و نجات در زمان وقوع زلزله بررسی گردیده، با توجه میزان خسارات وارده به منطقه مورد مطالعه تحقیق حاضر، اولویت‌های فعالیت-های امداد و نجات تعیین و سپس نیروهای امداد و نجات، با در نظرگیری توانایی‌ها و تخصص‌هایشان به فعالیت‌های منتخب، اختصاص خواهند یافت. به منظور اجرای پژوهش، شبیه‌سازی عملیات امداد و نجات برای یک دسته عملیاتی که خود دارای شش تیم امداد و نجات هشت نفره می‌باشد مدنظر قرار گرفته است. همچنین، جهت تخصیص بهینه نیروهای امداد و نجات به فعالیت‌ها از سیستم اطلاعات مکانی و الگوریتم جستجوی ممنوعه استفاده گردیده است و تابعی تحت عنوان عایدی در این پژوهش معرفی شده است که به عنوان تابع هدف در الگوریتم جستجوی ممنوعه در نظر گرفته شده و بهینه می‌شود. در نهایت نتایج نشان داده‌اند که استفاده از الگوریتم جستجوی ممنوعه جهت بهینه‌سازی تخصیص تیم‌های امداد و نجات پس از زلزله، نسبت به زمانیکه از این الگوریتم برای بهینه‌سازی تابع هدف استفاده نگردد و نیز شبیه‌سازی زلزله، تیم‌ها و فعالیت‌ها طبق مدل ارائه شده در این پژوهش انجام نشود، بهبود ۱/۴۱ برابری خواهد داشت. استفاده از این الگوریتم جهت بهینه‌سازی شبیه‌سازی‌های این پژوهش و نیز پیاده‌سازی ساختار علمی و عملی فعالیت‌ها و تیم‌های عملیاتی امداد و نجات، راهکاری نوین در راستای بهبود کیفیت امداد و نجات پس از زلزله خواهد بود.

واژگان کلیدی: امداد و نجات، تخصیص وظایف، بهینه‌سازی، جستجوی ممنوعه، سیستم اطلاعات مکانی

۱- مقدمه

زلزله یکی از رویدادهای طبیعی است که هر ساله خسارات شدیدی را متحمل کشورهای مختلف می‌کند. آسیب‌پذیری سرزمین ایران در برابر خطرات زلزله، سیل، رانش زمین و سایر حوادث و سوانح طبیعی سبب با اهمیت شدن موضوع مدیریت بحران در کشور شده است. مدیریت بحران شامل اقداماتی در پنج مرحله‌ی کلی شامل آمادگی، پیشگیری، کاهش اثرات، مقابله و بازسازی و بازتوانی است. انجام درست و به‌هنگام اقدامات ضروری در هر یک از این مراحل سبب ایمنی بالاتر و خسارات پایین‌تر در شرایط بحرانی می‌شود[۱].

در بخش مقابله و پاسخگویی، اقدامات و فعالیت‌هایی جهت مقابله با سوانح و ارائه خدمات امداد و نجات صورت می‌گیرد و معمولاً بلافاصله پس از وقوع بحران به مورد اجرا گذاشته می‌شود. در واقع این بخش جهت نجات انسان‌ها و حفاظت از اموال و دارایی‌های جامعه صورت می‌گیرد[۱]. به طور کلی در عملیات امداد و نجات تمامی تلاش‌ها و فعالیت‌ها در راستای دو هدف اصلی؛ نجات جان و سلامت انسان‌ها و نیز حفظ و تداوم حیات انسان‌ها شکل می‌گیرد[۲].

با توجه به اهمیت امداد و نجات در زمان وقوع زمین‌لرزه و اهدافی که برای آن مدنظر می‌باشد، تخصیص درست و مناسب فعالیت‌ها به افراد تیم‌های امداد و نجات امری ضروری به نظر می‌رسد. در راستای بهبود امدادرسانی لازم است، ابتدا فعالیت‌های موجود در رخداد زلزله به درستی بررسی گردیده و نیز، اطلاعات جامع و کاملی از شیوه امداد و نجات پس از زلزله به همراه اطلاعات فردی و تخصصی امدادگران بدست آورد.

به جهت تخصیص بهینه فعالیت‌ها به افراد، استفاده از روش‌های بهینه‌سازی مناسب با شرایط مطروحه در این پژوهش می‌تواند در بهبود و کارایی امدادرسانی پس از زلزله مؤثر باشد. در این راستا، الگوریتم‌های نظریه بازیها، جامعه مورچگان، چکه آبهای هوشمند، روش بازپخت، ازدحام ذرات، برنامه‌ریزی خطی و غیرخطی، الگوریتم تاگوچی و الگوریتم جستجوی ممنوعه بررسی گردید و در نهایت با توجه به روابط پیچیده غیر خطی و احتمالاتی این پژوهش، تلفیقی از برنامه‌ریزی غیر خطی و جستجوی ممنوعه به عنوان روش مناسب انتخاب شد.

اما استفاده از متدهای بهینه‌سازی جهت تخصیص منابع و امکانات، در میان تحقیقات سایر محققین از جایگاه خاصی برخوردار بوده که در ادامه به برخی از تحقیقات انجام شده در این زمینه اشاره شده است. در سال ۲۰۱۶، Lei Xu و همکاران جهت تخصیص منابع برای یک سیستم چند کاربره از الگوریتم شبیه‌سازی بازپخت با ترکیب الگوریتم ژنتیک استفاده نموده‌اند[۳] و نیز، اکبری و رشیدی از یک الگوریتم زمان‌بندی چند هدفه بر پایه الگوریتم فاخته به منظور تخصیص وظایف در سیستم‌های ناهمگن استفاده نموده‌اند[۱۱]، همچنین سرگلزائی و وفایی‌نژاد از الگوریتم فاخته جهت بهینه‌سازی مسیریابی در یک شبکه شهری، در پژوهش خود بهره بردند [۱۲]. در سال ۲۰۱۵ توسط James T. Lin و Chun-Chih Chiu از الگوریتم ترکیبی بهینه‌سازی ازدحام ذرات و جستجوی محلی برای تخصیص منابع استفاده گردیده است[۷]. در سال ۲۰۱۴ الگوریتم جامعه مورچگان توسط Jason Mahdjoub و همکاران به منظور هماهنگی بهتر تیم‌های نجات در مدیریت بحران استفاده شد[۸] و همچنین، الگوریتم ژنتیک توسط محمودی‌راد و همکاران به منظور تخصیص مشتریان به مراکز توزیع در یک محیط فازی مورد استفاده قرار گرفت[۶] و نیز، یک الگوریتم تخصیص منابع فراابتکاری مبتنی بر جستجوی ممنوعه برای سیستم‌های بی‌سیم توسط Hao Zhou و همکاران استفاده گردید[۱۳]؛ همچنین، میران و مرشد یک چارچوب ترکیبی از جستجوی ممنوعه و الگوریتم ژنتیک در مسائل برنامه‌ریزی فروشگاه کار را مورد بررسی قرار داده‌اند[۱۴]. در سال ۲۰۱۳، V. P. Vinay و R. Sridharan از الگوریتم تاگوچی جهت طراحی پارامترهای الگوریتم کلونی مورچه به منظور تخصیص توزیع در یک زنجیره‌ی تأمین دو مرحله‌ای استفاده نموده‌اند [۴] و توسط Giovanni M. Sechi و همکاران برای تخصیص هزینه آب در سیستم‌های پیچیده از نظریه بازی‌ها استفاده شد[۹]. در سال ۲۰۱۲ راسخ و وفائی‌نژاد از تئوری صف با مدل چند کاناله با زمان سرویس‌دهی نمایی جهت برنامه‌ریزی گروه‌های امداد و نجات زلزله استفاده نمودند[۵] و S.H. Niua و همکاران از الگوریتم چکه آب‌های هوشمند به منظور یافتن راه‌حل‌های زمان‌بندی بهینه فروشگاه کار استفاده نموده‌اند[۱۰]. در سال ۲۰۱۰ یک راه‌حل کارآمد جهت مسئله‌ی تخصیص افزونگی با استفاده از الگوریتم

جستجوی ممنوعه توسط Sadan Kulturel-Konak و همکاران ارائه گردید [۱۵]. در سال ۲۰۰۵ یک مدل پویای جستجوی ممنوعه برای مسئله زمان‌بندی فروشگاه کار را Jean-Paul Watson و همکاران ایجاد کرده‌اند [۱۶]. در سال ۲۰۰۰ توسط Wun-Hwa Chen و Chin-Shien Lin با استفاده از الگوریتم جستجوی ممنوعه یک روش ترکیبی ابتکاری برای حل مسئله‌ی تخصیص کار ایجاد گردید [۱۷].

استفاده از یک سیستم اطلاعات مکانی جهت مدلسازی، نمایش و به‌هنگام سازی اطلاعات نیروها، فعالیت‌ها و شرایط منطقه وقوع زلزله، جهت مدیریت بهینه نیروها مناسب‌تر است[۱۸]. این سیستم با شبیه‌سازی رویداد پیش آمده و شرایط محیط از جمله اطلاعات امدادرسانان و فعالیت‌ها، با پیاده‌سازی یک مدل ریاضی (مدل پیشنهادی پژوهش حاضر) مدیر را قادر می‌سازد به صورت کارامدتر به مدیریت تیم‌های عملیاتی بپردازد.

در ادامه ابتدا به بیان مبانی نظری تحقیق حاضر که شامل وظایف تیم‌های امداد و نجات و مراحل انجام عملیات امدادرسانی و نجات و نیز به بیان شرحی بر مبانی الگوریتم جستجوی ممنوعه پرداخته می‌شود؛ در قسمت بعد با عنوان روش اجرا به ارائه تئوری مدل پیشنهادی این پژوهش پرداخته و این مهم بیان می‌شود. پس از آن مراحل پیاده‌سازی مدل پیشنهادی در یک سیستم اطلاعات مکانی با جزئیات ذکر شده و تصاویر مراحل مختلف پیاده‌سازی نمایش داده می‌شود. در نهایت به اختصار مطالب مقاله حاضر جمع‌بندی می‌شود و پیشنهاداتی جهت پژوهش‌های دیگر محققان در آینده، ذکر می‌گردد و در پایان کلیه منابع مطالعاتی تحقیق حاضر در بخش مراجع آورده شده است.

۲- مبانی نظری

۲-۱- وظایف تیم های امداد و نجات

برخی اشخاص جستجو و نجات را شامل چهار جزء مکانیابی، ارزیابی، تثبیت و انتقال می‌دانند [۱۹]. ابتدا مکانیابی و رهاسازی افراد و بعد ارزیابی پزشکی و در صورت نیاز به کارگیری کمک‌های اولیه، درمان اضطراری (تثبیت) و انتقال به مراکز درمانی انجام می‌شود [۲۰]. گروه نجات می‌بایست برنامه دقیقی برای انجام عملیات نجات افراد محبوس در آوار داشته باشد که این برنامه را می‌توان به ترتیب مراحل زیر به پنج گام تقسیم‌بندی نمود [۲۱]:

- شناسایی ابتدایی- جمع‌آوری اطلاعات (ارزیابی مقدماتی)

فعالیتهایی که طی این مرحله انجام می‌شوند عبارتند از: جمع‌آوری اطلاعات مربوط به تعداد افراد زیر آوار، موقعیت مصدومین، شناسایی انواع خطرات ثانویه احتمالی در منطقه و محل بروز آن، تعیین محل استقرار مردم قبل از حادثه، تعیین میزان خرابی سازه-ها، تشخیص مناطق امن درون ساختمان، تعیین مناطقی که جستجوهای اولیه در آنها باید انجام شود و مشخص نمودن محل ورودی آب، گاز و برق.

- ارزیابی منطقه به طور سریع (بازدید فنی)

در این مرحله، مواردی از قبیل جستجوی منطقه به طور سطحی، اعزام مصدومان سرپایی به محل تریاژ، خارج کردن افرادی که وضعیت بحرانی ندارند و دسترسی به آنها در زیر آوار آسان است، علامت‌گذاری معابر و اماکن صورت می‌پذیرد

- جستجو و نجات سطحی در منطقه آسیب دیده (نجات اولیه)

توجه به مکان‌هایی با احتمال بیشتر وجود افراد، جستجو برای یافتن فضاهای خالی، نجات افراد از زیر آوار، تحلیل اطلاعات به‌دست آمده و تشکیل واحد اضطراری گشت‌زنی در منطقه عملیات برای مقابله با موارد پیش‌بینی نشده در این گام قرار می‌گیرند.

- جستجو و نجات توسط وسائل فنی (نجات ثانویه)

این گام شامل مراحلی از قبیل؛ جابه‌جایی نخاله‌ها با تجهیزات سبک و کنترل محل‌های علامت‌گذاری شده، ادامه جستجو در زیر آوار، نجات مصدومان بیرون آمده از زیر آوار، شمعک‌گذاری در محل‌هایی که خطر ریزش در آنها وجود دارد، استفاده از تجهیزات الکترونیکی موقعیت‌یاب، تعیین زمان استفاده از ابزار و تجهیزات فنی، کنترل اطلاعات میزان پایداری و تخریب ساختمان‌های منطقه می‌باشد

- برداشت سیستماتیک آوار (آواربرداری نهایی)

استفاده از ماشین‌آلات سنگین با در نظر گرفتن پایداری ساختمان‌ها و شمعک‌ها، تمرکز بر مناطق خاص جهت کاهش تعداد مأموران نجات تحت خطر، علامت‌گذاری کلیه مناطق آواربرداری شده، اعلام پایان

عملیات پس از قطعیت یافتن خروج افراد زیر آوار و اتمام مرحله پاکسازی کامل آوار توسط مدیر عملیات فعالیت‌هایی هستند که در این گام انجام می‌گیرند.

۲-۲- جستجوی ممنوعه

جستجوی ممنوعه یا تابو، یک الگوریتم جستجوی مستقیم برای بهینه‌سازی مسائل پیچیده غیر خطی می‌باشد. در این روش، انتقال از یک جواب امکان‌پذیر اولیه به یک جواب امکان‌پذیر ثانویه یک حرکت خوانده می‌شود. در این روش که بر اساس فرآیند حافظه انسان پیشنهاد گردیده است؛ فهرستی از آخرین نقاطی که مورد بررسی قرار گرفته است، فهرست تابو نامیده می‌شود. هدف از تهیه این فهرست، جلوگیری از انتقال به نقاطی است که قبلاً بررسی شده‌اند. این موضوع می‌تواند ناحیه جستجوی روش را گسترش دهد.

در ابتدا الگوریتم یک جواب اولیه به صورت تصادفی انتخاب می‌نماید، سپس تمامی نقاط همسایگی شناسایی شده و مقدار تابع هدف برای آن‌ها محاسبه می‌گردد. در این مرحله نقطه اولیه به بهترین نقطه در همسایگی آن در صورتی که این جواب در فهرست ممنوعه قرار نداشته باشد منتقل می‌گردد [۲۲]. پس از حرکت الگوریتم به جواب همسایه، فهرست ممنوعه بروزرسانی می‌شود؛ به این معنا که حرکت قبل در فهرست ممنوعه قرار داده می‌شود تا از بازگشت مجدد الگوریتم به آن جواب جلوگیری گردد.

فهرست ممنوعه ابزاری در الگوریتم جستجوی ممنوعه‌است که توسط آن از قرار گرفتن الگوریتم در بهینه‌ی محلی جلوگیری می‌شود. فهرست تابو دارای ظرفیت محدود است، در نتیجه پس از قرار دادن حرکت قبلی در فهرست ممنوعه، حرکت‌های ابتدایی که قبلاً در فهرست ممنوعه قرار گرفته بودند از فهرست خارج می‌شوند. حرکت از جواب فعلی به جواب همسایه تا جایی ادامه می‌یابد که شرط خاتمه دیده شود. شرط‌های خاتمه متفاوتی می‌توان برای الگوریتم در نظر گرفت. به طور مثال محدودیت تعداد حرکت به جواب همسایه می‌تواند یک شرط خاتمه باشد.

به منظور افزایش قدرت الگوریتم از استراتژی‌های فهرست کاندید[۱]، تقویت[۲]، تنوع بخشی[۳] و مجوز دادن به جواب‌های نشدنی که معروف به استراتژی‌های پیشرفته جستجوی ممنوعه هستند استفاده می‌شود [۲۰].

۳- روش اجرا

با بررسی‌های انجام شده در رابطه با پژوهش حاضر، مشخص گردید پارامترهای مدت زمان انجام هر فعالیت، فاصله افراد تا مکان فعالیت‌ها، سرعت افراد هنگام حرکت به سمت هدف، اولویت‌های تخصصی افراد امدادرسان، احتمال وجود مصدوم در محل فعالیت، احتمال یافتن مصدومان، احتمال موفقیت یک امدادرسان در انجام وظیفه محوله [۵، ۲۳، ۲۴]، میزان آسیب وارده به سازه و سطح تخریب آن سازه، تعداد افراد آسیب دیده در هر سازه و میزان آسیب وارده به آن‌ها، زمان وقوع رخداد زلزله، شرایط آب و هوایی زمان وقوع زلزله، جنسیت و سن افراد گیر افتاده در آوار، در مدیریت صحیح و کارآمد تیم‌های امداد و نجات اثرگذار هستند [۲۱].

در همین راستا، جهت مدیریت بهینه تیم‌های امداد و نجات، ابتدا زلزله‌ای فرضی در سیستم اطلاعات مکانی شبیه‌سازی گردید و در طی آن میزان خسارات سازه‌ای و انسانی ناشی از زلزله و همچنین وظایف امدادرسانان در بحران زلزله مشخص گردید که شامل: تجسس و زنده‌یابی، می‌باشدارزیابی اولیه منطقه، آواربرداری، ارزیابی ساختمان‌ها، نشانه‌گذاری، قطع آب و برق و گاز، کمک‌های اولیه، ثبت تعداد فوتی‌ها و مشخصات آنها، شمعک زنی، هوارسانی در آوار می‌باشد [۵، ۲۱]، همچنین اولویت انجام این فعالیت‌ها با توجه به میزان خسارت وارده به هر مکان مشخص گردید. در ادامه رابطه‌ای جهت مدلسازی و بهینه‌سازی فعالیت‌های مذکور، با نام عایدی (Revenue) ایجاد می‌گردد و به عنوان تابع هدف، جهت بهینه‌سازی و تخصیص وظایف به افراد، وارد الگوریتم جستجوی ممنوعه می‌شود و در نهایت از سیستم اطلاعات مکانی جهت بصری‌سازی نتایج استفاده می‌گردد.

پیرامون طراحی رابطه مناسب و مؤثر در امر تخصیص امدادرسانان به فعالیت‌های امداد و نجات زلزله که جمیع پارامترهای ذکر شده را پوشش دهد، بررسی‌های گسترده‌ای انجام گردید. در نهایت با توجه به پارامترها و اولویت‌هایی که می‌بایست برای اجرای بهتر تخصیص نیروهای امدادرسان به فعالیت‌ها مدنظر قرار گیرند، رابطه‌ای

---

۱ Candidate List Strategy
۲ Intensification Strategy
۳ Diversification Strategy

غیرخطی و احتمالاتی جهت محاسبه میزان عایدی هر تخصیص معرفی گردید (رابطه ۱). با توجه به اینکه الگوریتم جستجوی ممنوعه بر اساس یک رابطه نهایی به عنوان تابع هدف کار خود را انجام می‌دهد، رابطه مذکور در نهایت با این نام در الگوریتم جستجوی ممنوعه استفاده می‌گردد. رابطه ویژه‌سازی شده در ذیل یکی از مهم‌ترین قسمت‌های طراحی الگوریتم پیشنهادی می‌باشد.

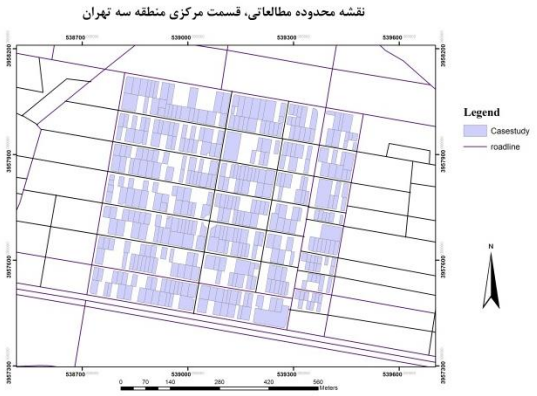
$$\text{Revenue} = \left(1/_{MI}\right) * \left(1/_{P}\right) * \left(1 - e^{-\left(ST*SS*N*D/_{AA}\right)}\right) \quad (۱)$$

در رابطه بالا، MI، بشترین تعداد مجروح در بین مجروحان هر سازه مسکونی، AA، مساحت ناحیه‌ای که فعالیت در آن قرار دارد؛ N، تعداد تکرار انجام یک فعالیت، D فاصله امدادرسان تا محل فعالیت، SS سرعت حرکت هر امدادرسان، ST مدت زمان انجام هر فعالیت و P ظریب اولویت فعالیت نسبت به تخصص امدادرسان می‌باشد که همگی پارامترها می‌بایست از یک واحد یا دیمانسیون تبعیت نمایند [۲۵]. و همانطور که بیان گردید با توجه به احتمالاتی بودن این رابطه، پاسخ حاصله هر چه به ۱ نزدیک‌تر باشد، تخصیص بهتری صورت گرفته است و هر چه به صفر نزدیک‌تر باشد، تخصیص انتخاب شده، تخصیص مناسبی نخواهد بود.

لازم به ذکر است، اگر امدادگری به منطقه ای که تخمین زده می شود ۴ نفر زیر آوار هستند اعزام شود، مدت زمان انجام فعالیت‌ها در عدد ۴ ضرب خواهد شد. بدیهی است عایدی نهایی فعالیتی که برای انجام آن به چند نفر احتیاج است، از حاصل جمع عایدی تک تک افرادی که آن فعالیت را انجام می دهند، بدست خواهد آمد.

۴- پیاده‌سازی

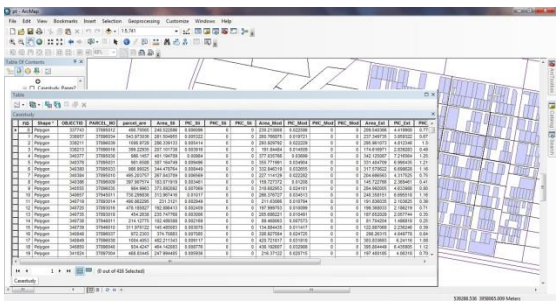
قسمت مرکزی محله داوودیه، واقع در منطقه سه تهران، حد فاصل خیابان میرداماد و خیابان ظفر به عنوان محدوده مطالعاتی این پژوهش در نظر گرفته شده است و شبیه سازی زلزله و پیاده‌سازی مدل پیشنهادی در آن محدوده انجام گردیده است.



شکل۱- نقشه محدوده مطالعاتی

با توجه به ماهیت فعالیت‌های گروه‌های امداد و نجات و عدم امکان قرارگیری محققان در شرایط واقعی پس از زلزله، شبیه‌سازی رخداد آن به منظور فراهم نمودن اطلاعات مکانی و توصیفی منطقه انجام فعالیت و نیز برآورد تقریبی از خسارات سازه‌ای و انسانی و تلفات ناشی از زلزله انجام شد. این شبیه‌سازی با استفاده از درونیابی داده‌های شتاب‌نگاری و داده‌های مربوط به سال ساخت، تعداد طبقات و نوع سازه‌ها و الگوریتم‌های ساختمانی آسیب‌های سازه‌ای تعیین گردید.

در ادامه بر اساس داده‌های جمعیتی محدوده‌ی مطالعاتی و آسیب‌های سازه‌ای محاسبه شده، آسیب‌های جمعیتی محاسبه شد. در نهایت، آسیب‌ها در سه دسته‌ی آسیب کم، آسیب متوسط و آسیب شدید، تقصیم‌بندی گردید. میزان خسارت انسانی و سازه‌ای هر ساختمان، پارامتر مهمی در شناسایی فعالیتهای مورد نیاز و اولویت-بندی فعالیت‌ها در امدادرسانی پس از زلزله است.

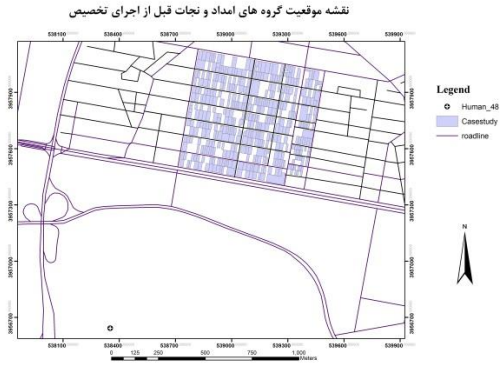


شکل۲- نمایش محدوده زلزله شبیه‌سازی شده به همراه اطلاعات محاسبه در آن

مورد دیگر در این پژوهش شبیه‌سازی تیم‌های امداد و نجات است. تعداد امدادگران در این پژوهش با در نظر گرفتن مطالعات انجام شده که هر دسته‌ی عملیاتی شامل ۶ تیم عملیاتی ۸ نفره است[۲۱] و شرایط و امکانات

موجود، ۴۸ نفر در نظر گرفته شد که شامل ۶ تیم عملیاتی ۸ نفره می‌باشد و یک دسته‌ی عملیاتی را تشکیل می‌دهد. این افراد از نزدیکترین مرکز مدیریت بحران به محدوده‌ی مطالعاتی رخداد زمین‌لرزه، به محل اعزام می‌شوند.

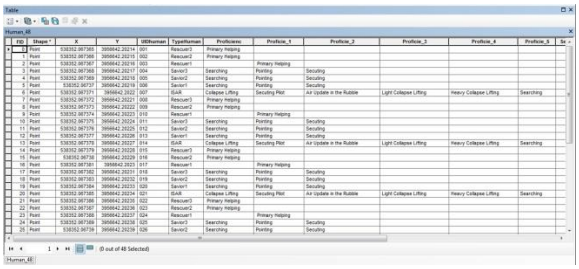
تیم‌های امداد و نجات در ایران شامل افرادی با درجات امدادگر، نجاتگر و ایثار می‌باشد که این افراد دارای سطوح متفاوتی از توانایی انجام فعالیت‌ها دارند، ایثار درجه ایست که به فردی که تمامی مهارت‌ها را دارا می‌باشد و توانایی انجام همه فعالیت‌ها را دارد اطلاق می‌شود، امدادگر بیشتر در زمینه کارهای تدارکانی و کمک‌های اولیه توانایی دارد و نجاتگر توانایی انجام هر فعالیت به جز آواربرداری را دارا می‌باشد[۲۶]. در جدول توصیفی امدادگران با توجه به توانایی‌ها، اولویت‌بندی انجام فعالیت‌ها برای امدادرسانان انجام می‌گردد.



شکل۳- نقشه موقعیت افراد نسبت به محدوده‌ی مطالعاتی، پیش از اعزام به منطقه عملیاتی

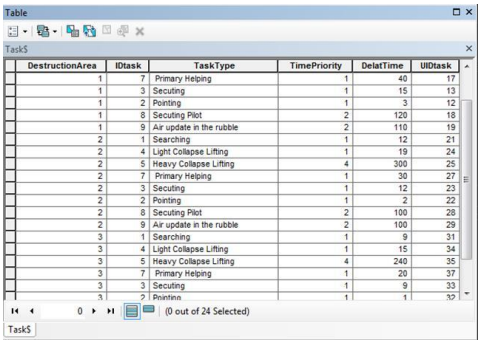
با توجه به شبیه‌سازی انجام شده ارزیابی اولیه منطقه انجام شده فرض می‌گردد و تجسس و زنده‌یابی، آواربرداری سبک، کمک‌های اولیه، قطع آب و برق و گاز، نشانه‌گذاری فعالیت‌های مرحله اول امدادرسانی می‌باشد [۲۱]. همچنین، مکان‌هایی با آسیب بیشتر در اولویت امدادرسانی قرار دارند [۲۱]. برای هر فعالیت زمانی تقریبی در نظر گرفته می‌شود که نیز جهت تخصیص مناسب‌تر فعالیت‌ها به افراد کمک کند. پارامترهای مذکور در اجرای تابع هدف معرفی شده (رابطه ۱) برای الگوریتم جستجوی ممنوعه این پژوهش، در نظر گرفته شده است.

اطلاعات توصیفی هر یک از اعضای گروه‌های امداد و نجات شامل کد منحصر بفرد، تخصص‌های اصلی و فرعی و اولویت انجام فعالیت‌ها، سرعت حرکت و دارای موقعیت مکانی و زمانی مشخص در هر لحظه است. در نهایت جهت پیاده‌سازی و اجرای مدل پیشنهادی و بهبود مدیریت تیم‌ها، تمامی جداول توصیفی (شکل‌های ۴ و ۵) و اطلاعات مطرح شده و خروجی شبیه‌سازی زلزله (شکل ۲) وارد سیستم اطلاعات مکانی گردید.



شکل۴- جدول اطلاعات توصیفی افراد گروه‌های امداد و نجات در سیستم اطلاعات مکانی

در ادامه، فعالیت‌های مورد نیاز با توجه به خسارات و میزان آسیب‌های وارده در محدوده‌ی مطالعاتی و اطلاعات موقعیتی و توصیفی نیروی انسانی با عنایت به مطالعات انجام شده پیرامون امداد و نجات در کشور در رابطه با ساختار تیم‌های امداد و نجات و تخصص‌های افراد تشکیل دهنده تیم‌ها که در دو پاراگراف قبلی ذکر شد، تهیه و تعیین گردید و جداول توصیفی آن‌ها آماده شد که در شکل زیر نمایش داده شده است.



Table

Task$

DestructionArea	IDtask	TaskType	TimePriority	DelatTime	UIDtask
1	7	Primary Helping	1	40	17
1	3	Secuting	1	15	13
1	2	Pointing	1	3	12
1	8	Secuting Pilot	2	120	18
1	9	Air update in the rubble	2	110	19
2	1	Searching	1	12	21
2	4	Light Collapse Lifting	1	19	24
2	5	Heavy Collapse Lifting	4	300	25
2	7	Primary Helping	1	30	27
2	3	Secuting	1	12	23
2	2	Pointing	1	2	22
2	8	Secuting Pilot	2	100	28
2	9	Air update in the rubble	2	100	29
3	1	Searching	1	9	31
3	4	Light Collapse Lifting	1	15	34
3	5	Heavy Collapse Lifting	4	240	35
3	7	Primary Helping	1	20	37
3	3	Secuting	1	9	33
3	2	Pointing	1	1	32

(0 out of 24 Selected)

شکل۵- جدول اطلاعات توصیفی فعالیت‌ها در سیستم اطلاعات مکانی

همانطور که پیشتر بیان گردید، با توجه به میزان خسارات وارده در هر سازه ، فعالیت‌ها دارای درجه‌بندی از نظر اولویت انجام می‌باشند، در نتیجه فعالیت‌هایی که دارای اولویت بالاتر هستند ابتدا تخصیص می‌یابند. و نیز، با توجه به تخصص هر فرد، تخصیصی که در آن فعالیت محوله به تخصص اصلی امدادگر نزدیکتر بوده امتیاز بالاتری را داراست.

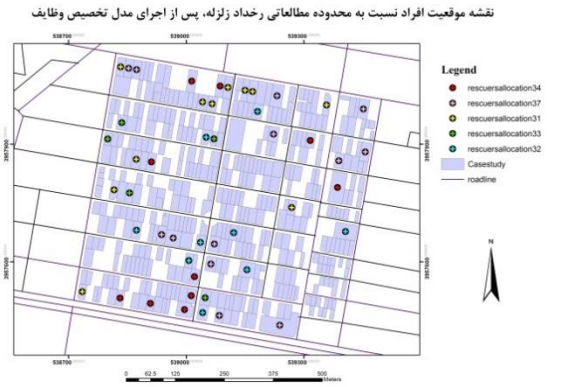
اطلاعات مکانی و موقعیتی امدادگران با استفاده از GPS به صورت آنی به مرکز فرماندهی و برای مدیر ارسال خواهد شد. به عبارت دیگر در این شبیه سازی فرض شده است که در هر لحظه اطلاعات بروز شده در اختیار مدیر گروه‌ها قرار داشته و مدیر با استفاده از داده های یکپارچه، مرکزی و بروز، اقدام به تحلیل و انجام تصمیم گیری نموده و در نهایت دستورات لازم را براساس الگوریتم تخصیص کار برای امدادگران ارسال کرده و آن‌ها را مدیریت خواهد نمود.

با توجه به اینکه در ابتدای امداد و نجات و براساس پیش‌بینی‌های اولیه، در مناطق آسیب‌دیده ۸ نوع فعالیت وجود داشته که افراد برای انجام آن‌ها توزیع می‌شوند (صفحه۶)، اما به دلیل پویایی محیط و با گذشت زمان، ممکن است در نقاط آسیب دیده فعالیت‌های جدیدی ایجاد شوند یا تغییراتی در فعالیت‌های پیش‌بینی شده بوقوع بپیوندند. به همین منظور برای شناسایی فعالیت‌های واقعی مورد نیاز در ادامه عملیات امداد و نجات، از نیروهای نشانه-گذار استفاده می‌گردد که با شناسایی فعالیت‌های واقعی مورد نیاز، آن‌ها را به مرکز کنترل اعلام می‌دارند.

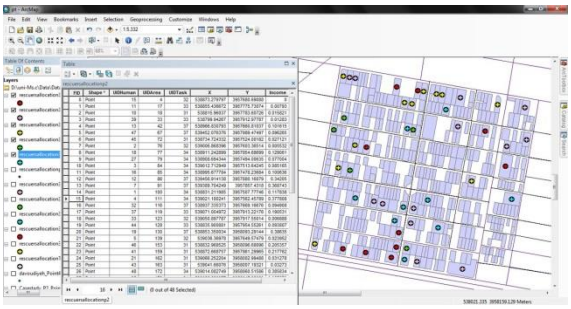
انجام فعالیت‌ها توسط نیروها انجام می‌شود و یک نیرو ممکن است در زمان های مختلف چند کار را در چند محل انجام داده و در زمان‌های مختلف در مکان‌های متفاوتی حضور یابد و یا ممکن است گاهی یک کار توسط چند نفر انجام شود. این قبیل اطلاعات درباره افراد و فعالیت‌ها، در جدولی ذخیره شده و مورد استفاده قرار می-گیرد. این جدول در واقع خروجی اصلی الگوریتم تخصیص وظایف به افراد خواهد بود که طی آن مشخص می‌شود که هر شخص چه فعالیتی را انجام دهد.

جداول اطلاعات توصیفی آماده سازی شده به همراه خروجی شبیه‌سازی زلزله وارد الگوریتم تابوی طراحی شده (کد نوشته شده بر اساس ساختار الگوریتم تابو) می‌گردند. به روش تابوی طراحی شده در این پژوهش، حالت‌های مختلف تخصیص در نظر گرفته می‌شود و مقدار تابع هدف (رابطه ۱) که به تفصیل شرح داده شد، در حالت‌های مختلفی که الگوریتم پیشنهاد می‌دهد محاسبه می‌گردد.

در این مسئله ۴۳۲۵ حرکت[1] طراحی می‌گردد که منجر می‌شود، این تعداد حالت تخصیص برای یک دسته عملیاتی ۴۸ نفره‌ی مدنظر این پژوهش، ایجاد گردد و برای تمامی حالت‌ها تابع هدف برای تک تک افراد و برای کل دسته محاسبه می‌گردد. در طی این محاسبه مقایسه‌ای هم بین نتایج صورت می‌گیرد و بهترین نتیجه و بهترین چینش افراد ذخیره می‌گردد. در نهایت حرکت ۱۲۸۱ ام به عنوان بهترین تخصیص در ۴۳۲۵ تخصیص در نظر گرفته شده معرفی می‌شود و نتیجه آن در سیستم اطلاعات مکانی به صورت ذیل به نمایش در آمده است و بهنگام‌سازی می‌شود و مجموع عایدی این تخصیص ۱۰/۶۰ محاسبه گردیده است.



شکل۶- نقشه موقعیت افراد در منطقه مطالعاتی پس از اجرای مدل تخصیص



شکل۷- نقشه موقعیت افراد نسبت به منطقه مطالعاتی رخداد زلزله، پس از اجرای مدل تخصیص وظایف به همراه جدول توصیفات افراد امدادرسان

در محدوده مطالعاتی تصویر بالا؛ نقاط قرمزرنگ مربوط به امدادرسانانی است که به فعالیت آواربرداری سبک اختصاص یافته‌اند؛ نقاط آبی‌رنگ، امدادرسانانی که مشغول به فعالیت نشانه‌گذاری هستند و نقاط زردرنگ، امدادرسانان اختصاص یافته به فعالیت جستجو و زنده‌یابی می‌باشد. همچنین نقاط سبز رنگ مربوط به امدادرسانان مشغول به فعالیت قطع آب و برق وگاز و نقاط به رنگ صورتی امدادرسانانی هستند که به فعالیت کمک‌های اولیه مشغولند.

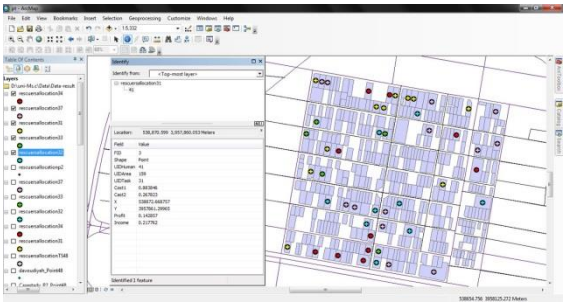
[1] Auction

تخصیص افراد با توجه به اینکه فعالیت‌های اولویت‌دار ابتدا تخصیص می‌یابند و مکان‌های مسکونی‌ای که میزان خسارت بیشتر دارند در اولویت امدادرسانی هستند، و با محاسبه تابع هدف غیرخطی و احتمالاتی با استفاده از الگوریتم جستجوی ممنوعه در ترکیب با برنامه‌ریزی غیرخطی، انجام گردیده است. و در نهایت این مدل که برای بهینه کردن امداد و نجات پس از زلزله در یک سیستم اطلاعات مکانی طراحی شده است به عنوان یک سیستم مدیریت امداد و نجات پس از زلزله استفاده می‌شود.

همچنین فیلدهای جدول توصیفات افراد امدادرسان شامل کد اختصاصی فرد، کد منحصر به فرد هر سازه مسکونی، مختصات هر فرد، نوع فعالیت اختصاص داده شده به هر فرد امدادرسان، محاسبه مقدار تابع هدف می‌باشد. به عنوان مثال سطر پانزدهم این جدول نشان می‌دهد که فردی با کد اختصاصی ۴، در منطقه مسکونی به شماره ۱۱۱ با مختصات مشخص شده در جدول، عایدی ۰,۳۷۸ برای فعالیت آواربرداری سبک تخصیص داده شده است.

این اطلاعات با استفاده از سیستم‌های مخابراتی برای نیروها اعلام می‌گردد و نیروها به موقعیت اعزام شده می‌روند و مشغول به فعالیت اعلامی توسط مدیر عملیات می‌گردند که با استفاده از این مدل مشخص شده است.

در ادامه اطلاعات توصیفی یک امدادگر که مشغول به فعالیتی است که با این مدل برایش مشخص گردیده، نمایش داده شده است. این تصویر موقعیت امدادگر شماره ۴۱ را نشان می‌دهد که به محل ۱۵۹ اعزام شده و مشغول به انجام فعالیت محوله به کد۳۱ که مشخصه فعالیت جستجو و زنده‌یابی است، نشان می‌دهد.



شکل۸- بازیافت اطلاعات توصیفی تکمیلی و موقعیت مکانی نیرویی شماره ۴۱ که فعالیت با کد ۳۱ در محل آسیب دیده شماره ۱۵۹ به او تخصیص داده شده است

جهت بررسی میزان کارایی مدل پشنهادی این پژوهش که شامل رابطه شماره ۱ و در نظرگیری کلیه پارامترها، اولویت‌ها و تخصص‌های امدادرسانان که در صفحات ۴ و ۵ و ۶ ذکر گردید می‌باشد. با عنایت به اینکه امکان قرارگیری در شرایط وقوع زلزله وجود ندارد و همچنین رخداد این بحران در گستره وسیع و در نتیجه‌ی آن وجود تعداد زیادی امدادرسان، قابلیت محاسبه تک به تک افراد در رابطه ۱ بدون استفاده از یک روش بهینه-سازی که در این پژوهش از الگوریتم جستجوی ممنوعه استفاده شد، و در نظرگیری تک تک حالت‌ها و مقایسه‌ی آنها و در نهایت تخصیص وظایف، به علت صرف زمان بسیار و مهم بودن زمان در امر امدادرسانی در زلزله، مقرون به صرفه نخواهد بود. در نتیجه نتایج تخصیص با استفاده از مدل ارائه شده با حالتی که از اولویت‌بندی‌های مدل مذکور استفاده نگردد و نیز از الگوریتم جستجوی ممنوعه برای بهینه‌سازی تخصیص استفاده نشود، مقایسه گردید و میزان عایدی کل در هر دو حالت محاسبه شد و نتایج به صورت ذیل بدست آمد.

مدل استفاده شده	میزان عایدی محاسبه شده برای کل دسته
استفاده از رابطه ۱ و در نظرگیری جمیع پارامترها و اولیت‌بندی‌های مدل ارائه شده	۱۰/۶۰
استفاده از رابطه ۱ بدون در نظرگیری پارامترها و اولویت-بندی‌های مدل ارائه شده	۷/۵۴

۵- بحث و نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر برای انجام تقسیم و تخصیص وظایف به افراد، روشی با استفاده از الگوریتم جستجوی ممنوعه و با ترکیب برنامه‌ریزی غیرخطی ارائه گردید. از آنجاییکه الگوریتم جستجوی ممنوعه، الگوریتم مناسبی برای حل مسائل پیچیده غیر خطی می‌باشد و همانگونه که در صفحه ۴ بیان گردید؛ این روش با توجه به پارامترهای بررسی شده که در امر مدیریت تیم‌های امداد و نجات مؤثر بودند و نیز رابطه غیر خطی و احتمالاتی ای که با توجه به همان پارامترهای اثرگذار طراحی و ویژه-سازی گردیده بود (رابطه ۱)، انتخاب شد.

با اطلاعات جمع‌آوری شده از امدادرسانی در زلزله، یک دسته‌ی عملیاتی شامل ۶ گروه امداد و نجات مد نظر قرار گرفت. در نهایت برای بررسی نحوه‌ی عمل و کارایی مدل ارائه شده جهت بهبود وضعیت امدادرسانی زلزله، خصوصاً در یک محیط شهری، محدوده‌ای از منطقه سه شهر تهران در نظر گرفته شد و زلزله‌ای فرضی بر اساس نوع سازه‌های موجود و اطلاعات جمعیتی آن محدوده شبیه‌سازی گردید و با استفاده از جداول توصیفی طراحی شده برای فعالیت‌ها و امدادرسانان که به جهت اجرای صحیح و کامل مدل پیشنهادی ارائه شده است، مدل مذکور اجرایی گردید.

در نهایت نتایج تخصیص انجام شده با مدل طراحی شده در این پژوهش با حالتی که تخصیص بدون استفاده از مدل و به شکل سنتی انجام گردد مقایسه گردید و تابع هدف (رابطه ۱) که در این پژوهش ارائه گردیده است که به نوعی نشان دهنده راندمان تخصیص هم می‌تواند باشد برای هر دو حالت محاسبه گردید و مدل ارائه شده راندمان بهتری را کسب کرد. طبق این بررسی، میزان عایدی کل دسته عملیاتی در حالتی که از مدل پیشنهادی این پژوهش استفاده گردد ۱۰/۶۰ و در حالتی که از مدل استفاده نگردد ۷/۵۴ محاسبه شد که در نتیجه آن، عایدی تخصیص با مدل ارائه شده در این پژوهش ۱/۴۱ برابر عایدی تخصیص سنتی کل افراد دسته امداد و نجات بود.

لازم بذکر است، مدل ارائه شده در این پژوهش قابل تغییر با استفاده از روش‌های دیگر بهینه سازی، همانند روش بازپخت و نظریه بازی‌ها نیز می‌باشد، همچنین در صورت وجود داده‌های مناسب، می‌توان الگوریتم پیشنهادی را در محدوده‌ی وسیع‌تری به اجرا در آورد.

مراجع

[1] Abdollahi, M. (1391), “Crisis Management in Urban Areas”, Iran's Municipalities and Village Administrators. Tehran, (in Persian).

[2] Sharifi-Sadeh, M. (2010), “Accident Assessment”, Quarterly Journal of Relief & Rescue. Vol. 4, (in Persian).

[3] Lei X., Zhou, X. Z., Li, Q. M., Zhang, X. F. (2016), “Energy-efficient resource allocation for multiuser OFDMA system based on hybrid genetic simulated annealing”, Soft Computing. PP. 1–8. Sprringer

[4] Vinay, V. P.; Sridharan, R. (2013), “Taguchi method for parameter design in ACO algorithm for distribution–allocation in a two-stage supply chain”, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 64, Issue 9, PP. 1333–1343. Springer

[5] Rasekh, A., Vafaeinezhad, A. R. (2012), “Developing a GIS Based Decision Support System for Resource Allocation in Earthquake Search and Rescue Operation”, Computational Science and Its Applications – ICCSA 2012, Volume 7334 of the series Lecture Notes in Computer Science PP. 275-285. Springer

[6] Mahmoodi-Rad, A., Molla-Alizadeh-Zavardehi, S., Dehghan, R., Sanei, M., Niroomand, S. (2014), “Genetic and differential evolution algorithms for the allocation of customers to potential distribution centers in a fuzzy environment”, The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Volume 70, Issue 9, PP. 1939–1954. Springer

[7] Lin, J. T., Chiu, C. C. (2015) “A hybrid particle swarm optimization with local search for stochastic resource allocation problem”, Journal of Intelligent Manufacturing, PP. 1–15. Springer

[8] Mahdjoub, J., Rousseaux F., Soulier E. (2014), “Towards Better Coordination of Rescue Teams in Crisis Situations: A Promising ACO Algorithm”, Information Systems for Crisis Response and Management in Mediterranean Countries, Volume 196 of the series Lecture Notes in Business Information Processing PP. 135-142. Springer

[9] Sechi, G. M., Zucca R., Zuddas P. (2013), “Water Costs Allocation in Complex Systems Using a Cooperative Game Theory Approach”, Water Resources Management, Volume 27, Issue 6, PP. 1781–1796. Springer

[10] Niua, S.H., Onga, S.K., Neea, A.Y.C. (2012), “An improved Intelligent Water Drops algorithm for achieving optimal job-shop scheduling solutions”, International Journal of Production Research, Volume 50, Issue 15. Taylor & Francis

[11] Akbari, M., Rashidi, H. (2016), “A Multi-Objectives Scheduling Algorithm Based on Cuckoo Optimization for Task Allocation Problem at Compile Time in Heterogeneous Systems”, Expert Systems with Applications, Volume 60, PP. 234–248. sciencedirect

[12] Sargolzaei, A., Vafaeinezhad, A. R. (2017), “Finding Shortest Path in a Network by Using Cuckoo Optimization Algorithm and GIS”, Journal of Geomatics Science And Technology, Volume 6, Issue 4, PP. 231-239, (in Persian).

[13] Zhou, H., Ji, Y., Zhao, B. (2015), “Tabu-Search-Based Metaheuristic Resource-Allocation Algorithm for SVC Multicast Over Wireless Relay Networks”, IEEE Transactions on Vehicular Technology Volume 64, Issue 1, PP. 236-247

[14] Meeran, S., Morshed, M.S. (2014), “Evaluation of a hybrid genetic tabu search framework on job shop scheduling benchmark problems”, International Journal of Production Research, Volume 52, Issue 19. Taylor & Francis

[15] Kulturel-Konaka, S., Smith, A. E., Coitc, D. W. (2010), “Efficiently Solving the Redundancy Allocation Problem Using Tabu Search”, IIE Transactions, Volume 35, Issue 6. Taylor & Francis

[16] Watson, J.P., Whitley, L. D., Howe, A. E. (2005), “A Dynamic Model of Tabu Search for the Job-Shop Scheduling Problem”, Multidisciplinary Scheduling: Theory and Applications, PP. 247-266. Springer

[17] Chen, W. H., Lin, C. S. (2000), “A hybrid heuristic to solve a task allocation problem”, Computers & Operations Research, Volume 27, Issue 3, Pages 287-303 (March 2000). Sciencedirect

[18] rad, D. P., Vafaeinejad, A. R. (2015), “Using A Gis Based Decision Support System To Aid Earthquake Crisis Management With Site Selection of Temporary Housing Case Study: District 8 of Isfahan Municipality”, Journal of Geomatics Science And Technology, Volume 5, Issue 2, PP. 231-246, (in Persian).

[19] Eizadi, A. (2011), “Review over the basis of disaster management”, Relief & Rescue organization, Tehran, (in Persian).

[20] Valadbeygi, B., Pour Heydari, Gh. (2011), “Response and Recovery in crises”, Iranian Crescent Institute of Applied Science and Technology & Baqiyatallah University of Medical Sciences, Tehran, (in Persian).

[21] Mazidabadi, Sh. (2003), “Collapsed Structure Search And Rescue”, Nakhl INS, Tehran, (in Persian).

[22] Karamooz, M., Ahmadi, A., Falahi, M. (2014), “Systems engineering”, Amirkabir University of Technology, Tehran, (in Persian).

[23] Mohammadi Yeghaneh, Sh., Mamdooh, H. (2007), “Helicopter in Search & Rescue”, Iranian Crescent Institute of Applied Science and Technology, Tehran, (in Persian).

[24] Mountaineer Area Rescue Group, (2012), “Probability of Detection”, Appalachian Search and Rescue Conference

[25] Vafaeinezhad, A. R., Alesheikh, A. A., Hamrah, M., Nourjou, R., Shad, R. (2009), “Using GIS to Develop an Efficient Spatio-temporal Task Allocation Algorithm to Human Groups in an Entirely Dynamic Environment Case Study: Earthquake Rescue Teams”, Computational Science and Its Applications – ICCSA 2009, Volume 5592 of the series Lecture Notes in Computer Science, PP. 66-78. Springer

[26] Relief & Rescue Organization Of The Red Crescent (2012), “Guideline on rescuers”, Tehran, (in Persian).