مدلی جهت تقسیم بندی مناطق آسیب‌دیده از زلزله در زمان جستجو و نجات

عبدالحمید اشراق‌نیای جهرمی
استادیار دانشکده مهندسی صنایع، دانشگاه صنعتی شریف
eshragh@sharif.edu
محمد دانشور کاخکی
کارشناس ارشد مهندسی صنایع
daneshva@yahoo.com

واژه‌های کلیدی
زلزله، تخصیص مناطق عملیاتی، تیمهای امدادی، برنامه‌ریزی عدد صحیح، منطق فازی، پرولوگ

چکیده
پس از وقوع زلزله باید عملیات جستجو و نجات در مناطق آسیب دیده با سرعتی بالا انجام شود. در مواقعی که مناطق آسیب دیده وسعت زیادی دارد، گروهها و سازمانهای مختلفی در عملیات زنده یابی شرکت می‌کنند. در مدلهای امداد و نجات موجود، رویه خاصی برای تخصیص تیمهای امداد و نجات وجود ندارد و معمولاً این تیمها نزدیکترین محل را برای زنده‌یابی انتخاب می‌کنند. بررسی نشان داده است تخصیص تیمها به نزدیکترین محل بهینه نیست و هدف بیشینه نجات یافتگان با توجه به امکانات موجود را برآورده نمی‌کند. به همین جهت نیاز است که منطقه عملیاتی تقسیم‌بندی شده و به تیمهای جستجو و نجات تخصیص یابد. تقسیم‌بندی بر اساس عواملی همچون سطح تخریب، میزان جمعیت منطقه، موقعیت جغرافیایی تیمها و ... انجام می‌شود. در این مقاله پس از شناسایی پارامترهای دخیل، مدلی برای تخصیص مناطق آسیب‌دیده به تیمهای امداد و نجات ارائه شده است. این مدل پویایی مساله و عدم قطعیت روابط بین اجزاء مختلف مساله را مد نظر قرار می‌دهد. منطق فازی، زبانهای هوش مصنوعی و برنامه-ریزی خطی ابزارهای بکار گرفته شده برای ارائه این مدل هستند.

۱- مقدمه

در اثر وقوع زلزله، بحرانهای مختلفی ایجاد می‌شود. عمده کشورها و مناطق زلزله خیز برنامه‌هایی از پیش تعیین شده برای مقابله با این بحرانها دارند [۱]. نبود برنامه‌های از پیش تعیین شده برای مقابله با بحرانهای پس از زلزله در برخی از کشورها، آمار خسارات این پدیده طبیعی را بالاتر برده است. زلزله‌های دهه گذشته در ایران و ترکیه شاهدی بر این مدعا است. خسارات زلزله در این دو کشور بسیار بیشتر از میانگین مربوط به کشورهای دارای برنامه مقابله با زلزله همچون چین و ژاپن است [۲].

یکی از بحرانهای بعد از وقوع زلزله، بحران زنده‌یابی است . تیمهای امدادی باید در زمانی محدود، تعداد زیادی از افراد گرفتار شده را از زیر آوار نجات دهند. بر اساس بررسی انجام شده، احتمال نجات از زیر آوار در ۳۰ دقیقه اول پس از وقوع زلزله، در حدود ۹۱٪ است. این احتمال در انتهای روز اول به ۸۱٪ کاهش پیدا می‌کند. در روز دوم به ۳۶٪ می‌رسد. در انتهای روز سوم، این احتمال باز هم کاهش پیدا می‌کند [۳]. بطوریکه در برخی شرایط احتمال زنده‌یابی پس از روز سوم به صفر می‌رسد. سه روز پس از زلزله بم تلاشهای رسمی امداد رسانان برای نجات زیر آوار ماندگان متوقف شد. دلیل این امر احتمال ضعیف زنده ماندن زیر آوار ماندگان در اثر خفگی و یا سرمای شدید بود [۴].

در هر زلزله چهار دسته از افراد نیازمند امداد و نجات هستند [۳]: دسته اول، آسیب دیدگانی هستند که در فضای آزاد پراکنده هستند. این افراد در اثر سقوط از ساختمان، برخورد اجسام با بدنشان و یا سایر عوامل دچار آسیب دیدگی شده‌اند. امداد رسانی به این دسته که ۵۰٪ از افراد نیازمند امداد و نجات را تشکیل می‌دهد توسط ساکنان محلی انجام می‌شود. بخش دوم افرادی هستند که زیر اثاث منزل گرفتار شده‌اند و نیازمند کمک هستند. کمک رسانی به این افراد که ۳۰٪ از نیازمندان به امداد و نجات را تشکیل می‌دهند توسط نیروهای امدادی آموزش دیده موجود در منطقه مانند نیروهای آتش نشانی، پلیس، اورژانس و ... انجام می‌گیرد. بخش سوم افرادی هستند که در فضاهای خالی ساختمانهای تخریب شده محبوس شده‌اند. نجات هر کدام از این افراد که ۱۵٪ از کل نیازمندان به امداد و نجات را تشکیل می‌دهند کمتر از چهار ساعت زمان می‌برد. دسته آخر افرادی هستند که در زیر آوار گرفتار شده‌اند و نیازمند امدادرسانی سریع هستند. نجات این افراد که ۵٪ از کل را تشکیل می‌دهند، بیش از چهار ساعت زمان می‌برد. امداد رسانی به دو دسته اخیر نیازمند تیمهای امداد و نجات مجهز است.

بنابراین در حدود ۲۰٪ از افراد آسیب دیده نیازمند کمکهای تیمهای امداد و نجات خارج از منطقه هستند. در زلزله بم، تیمهای امداد و نجات توانستند جان ۲۰۰۰ نفر را نجات دهند. این حادثه ۴۳۲۰۰ کشته و ۲۰۰۰۰ مجروح داشته است [۴]. بخشی از کشته شدگان را می‌توان به عملکرد ضعیف تیمهای امداد و نجات نسبت داد. دیر رسیدن تیمها، نبود نیروهای آماده و آموزش دیده، نبود ابزارهای کافی، نبود برق و روشنایی و توقف عملیات امداد و نجات در شب، سرمای هوا و تخصیص نامناسب تیمهای امدادی از عوامل بالا بودن کشته‌شدگان این حادثه بوده است [۴].

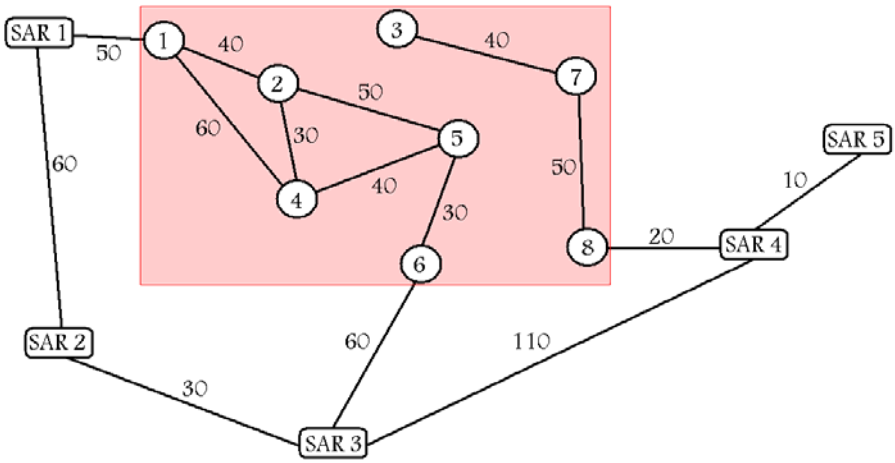
تخصیص نامناسب تیمهای امداد و نجات یکی از مسائل عمده بالا بودن آمار تلفات در منطقه بوده است. مطالعات میدانی در زلزله‌های اخیر نشان دهنده این امر است که در زمان بروز زلزله تخصیص امکانات با اختلال و سردرگمی زیادی مواجه است [۵]. صلیب سرخ در گزارش سالانه خود در مورد حادثه بم می‌نویسد: "... مدیریت بحران فاقد اقتدار لازم بود" [۶]. در زلزله بم و بر اساس مشاهدات انجام شده در ساعات پس از وقوع بحران، تیمهای امدادی همگی در مناطقی خاص تمرکز کرده بودند در حالی که در محله‌هایی که نیاز شدید به امدادگرها داشته‌اند خبری از گروههای امدادی نبوده است [۷].

در این مقاله فرض بر این است که شهر یا مجموعه‌ای از مناطق (روستاها و نقاط مسکونی) در اثر وقوع زلزله نیازمند تیمهای جستجو و نجات برای نجات افراد گرفتار شده در زیر آوار هستند. شهرها و نقاطی وجود دارند که به منطقه آسیب دیده امداد رسانی می‌کنند. شکل ۱ نشان دهنده چگونگی قرار گیری نقاط امداد رسان و نقاط آسیب دیده است. فاصله زمانی بین هر دو گره بر روی یال رابط آنها نوشته شده است. مربع نشان داده شده در شکل محدوده وقوع زلزله است و نقاط داخل آن بخشهای آسیب دیده از وقوع زلزله هستند. این نقاط ممکن است مناطق مختلف یک کلان‌شهر و یا روستاها و شهرهای مجاور هم در منطقه آسیب دیده باشند. شکلهایی که با SAR[1] مشخص شده‌اند، نقاط امداد رسان هستند. در زمان وقوع زلزله، هر کدام از این نقاط پتانسیل ارسال کمکهایی به نقاط آسیب دیده را دارا می‌باشند.

هدف این مقاله ارائه مدلی است که بتوان بر اساس آن بهترین تخصیص را انجام داد. مدل ارائه شده برای تخصیص تیمهای امداد و نجات و استفاده بهینه از زمان محدود در دسترس است. با توجه به محدودیت زمانی موجود، اجرای مدل و رسیدن به جوابهای مطلوب باید در زمانی کوتاه انجام شود. به این منظور لازم است مدل بدون نیاز به داده‌های دقیق اجرا شود.

---

[1] **Search And Rescue**



شکل ۱: مثالی از موقعیت قرار گیری مناطق آسیب‌دیده، نقاط امداد رسان و مسیرهای ارتباطی در زمان t بعد از وقوع زلزله

۲- مرور ادبیات

بیشتر کشورها و مناطق زلزله خیز برنامه‌هایی برای امداد و نجات پس از وقوع زلزله تدارک دیده‌اند. بررسی برنامه‌های ارائه شده نشان می‌دهد در کلیه این برنامه‌ها تیمهای امداد و نجات به نزدیک‌ترین محل موجود تخصیص می‌یابند [۸] و [۹]. بطور کلی در ارتباط با مساله امداد رسانی در هنگام وقوع زلزله بندرت از روشهای برنامه‌ریزی ریاضی استفاده شده است [۱۰]. سیستم‌های مختلفی برای تخصیص در زمان زلزله وجود دارد که عمدتاً سیستمهای اطلاعاتی بوده و هیچ کدام از روشهای بهینه سازی برای تخصیص منابع محدود استفاده نکرده‌اند [۱۱] و [۱۲]. عمده کارهای انجام شده در زمینه تخصیص به مکانیابی واحدهای امداد رسانی پرداخته‌اند. از طرف دیگر بخش اعظمی از تحقیقات انجام شده در زمینه امداد و نجات به مسائلی همچون سازمان‌دهی امداد و نجات می‌پردازند [۱۳] و [۱۴].

در حالتی که چند منطقه آسیب دیده باشد، مقصد امدادرسانانی که می‌خواهیم اعزام کنیم، نامشخص خواهد بود. متزگر[2] نشان داد که فرستادن نیروها به نزدیکترین محل می‌تواند غیر بهینه باشد و روشی برای تخصیص بهینه نیروها در هنگام صدمه دیدن همزمان دو شهر ارائه کرده است [۲]. فیدریش[3] و همکارانش از مدلهای تحقیق در عملیات جهت تخصیص منابع در دسترس به نواحی مختلف عملیاتی استفاده کرده‌اند [۱۱]. اشراق‌نیا و دانشور یک سیستم کنترل فازی برای اولویت‌بندی نیاز مناطق آسیب دیده به نیروهای امداد و نجات ارائه کرده‌اند [۱۵]. در جستجوهای انجام شده مدل ریاضی دیگری برای تخصیص تیمها در زمان زلزله مشاهده نشد.

مساله طرح شده در دو قسمت حل می‌شود. ابتدا باید کوتاه‌ترین مسیرها پیدا شوند و سپس تخصیص از طریق کوتاه‌ترین مسیر انجام شود. برای یافتن کوتاه‌ترین مسیر به دلیل کاربردهای آن در مدیریت لجستیک و زنجیره تامین، روشهای گوناگونی توسعه داده شده است [۱۶]. ایده‌های مختلفی برای حل انواع مختلف این مساله به کار گرفته شده است. عمده روشهای ارائه شده مبتنی بر توسعه درخت کوتاهترین مسیر از نقطه مبداء تا نقطه مقصد بر مبنای الگوریتم دیجسترا[4] می‌باشند [۱۷]. روش دیگر، توسعه همزمان درخت کوتاه‌ترین مسیر از نقاط مبداء و مقصد است [۱۸]. در این مقاله از ایده ارائه شده در الگوریتم دیجسترا برای توسعه یک برنامه کامپیوتری مبتنی بر زبانهای هوش مصنوعی جهت یافتن کوتاهترین مسیر استفاده شده است.

بخش دوم مساله تخصیص نیرویهای امدادی از کوتاهترین مسیرهای ممکن است. مدلهای مختلف تحقیق در عملیات برای برنامه‌ریزی و تخصیص در شبکه توسعه داده شده است. مدل ارائه شده، شبیه مدل حمل و نقل است که میزان عرضه در آن کمتر از میزان تقاضا است. شکل این مساله حمل و نقل و روشهای مختلف حل آن در کتب تحقیق در عملیات و طراحی سیستم‌های صنعتی ارائه شده است. برای نمونه به مراجع [۱۹] و [۲۰] مراجعه شود.

---

[2] **Metzger**
[3] **Fiedrich**
[4] **Dijkstra**

۳- فرضیات و نکات مطرح در مدل

شرایط پس از وقوع زلزله متغیر است: هر لحظه امکان دارد راههای مسدود شده بازگشایی شوند، در اثر وقوع حوادث ثانویه راهی مسدود شود، در اثر وقوع پس لرزه نیاز به امداد در مناطق مختلف دستخوش تغییر شود و ... . مدلی که ارائه می‌شود باید این توانایی را داشته باشد که شرایط دینامیک مساله را در نظر بگیرد. برای دستیابی به حالت دینامیک در این مساله، لازم است پس از به روز رسانی وضعیت شبکه راهها، نیاز به امداد و نجات در نقاط مختلف و سایر اطلاعات مدل دوباره اجرا شود و نتایج حاصل به کار برده شوند. به دلیل تخصیصهای انجام شده و حرکت تیمها به سمت مقاصد، ایجاد تغییرات لحظه‌ای در برنامه دشوار است. به نظر می‌رسد اجرای مجدد مدل بر اساس اطلاعات به روز شده در فواصل زمانی ثابت ایده مناسبی باشد. بعنوان مثال می‌توان هر هشت ساعت یک بار مدل را بر اساس اطلاعات جدید اجرا کرد و از نتایج بدست آمده در مدت هشت ساعت آینده استفاده نمود.

احتمال زنده ماندن افراد گرفتار شده زیر آوار در هر منطقه آسیب دیده تابع عوامل ذیل است:

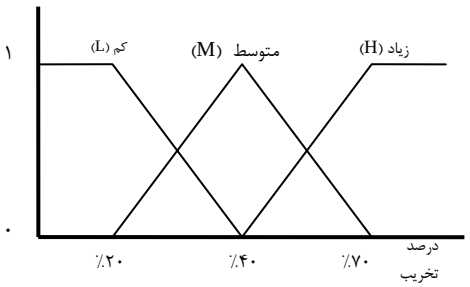
۱- نوع ساختمان
۲- شدت تخریب با توجه به شدت زلزله
۳- زمان سپری شده از زلزله

به دلیل نبود داده‌های کمی، تابع ریاضی خاصی برای مشخص ساختن رابطه هر یک از عوامل فوق با میزان نیاز منطقه به امداد و نجات وجود ندارد. داده‌های مربوط به بند یک را می‌توان قبل از زلزله جمع‌آوری کرد. این داده‌ها عمدتاً در قالب نقشه‌های GIS قابل گردآوری هستند. اطلاعات مربوط به بند ۲ پس از وقوع زلزله قابل جمع‌آوری است. تعیین دقیق میزان خرابی دشوار است. به نظر می‌رسد بکارگیری مقادیر تقریبی این عامل در مدل موجب تسریع در رسیدن به جواب شود. این عامل را می‌توان به صورت کمیتی فازی وارد مدل نمود. با استفاده از قوانین فازی می‌توان رابطه بین این عوامل و احتمال زنده ماندن افراد نیازمند امداد را مشخص نمود.

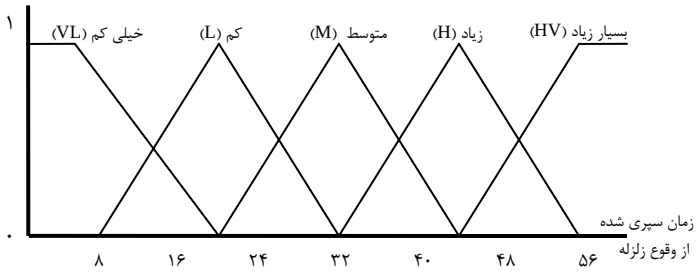
ساختمانها از نظر نوع ساخت و مصالح به کار رفته در ساخت آن در دسته‌های مختلفی قرار می‌گیرند که هر دسته واکنشی متفاوت در برابر شدت زلزله دارد و ساکنین هر دسته از نظر امکان نجات از زیر آوار شانس متفاوتی دارند. پنج دسته ساختمان در شهرهای ایران متداول‌تر هستند [۲۱]:

۱- ساختمانهای خشتی (A)
۲- ساختمانهای بنایی (M)
۳- ساختمانهای اسکلت فولادی (S)
۴- ساختمانهای بتونی (C)
۵- ساختمانهای با اسکلت چوبی (T)

لازم است قسمت‌های فازی متغیر شدت تخریب مشخص شود. به این متغیر سه مجموعه فازی تخصیص یافته است و نمودار آن در شکل ۲ ارائه شده است. برای بیان قوانین فازی، زمان نیز در قالب ۵ متغیر فازی بیان شده است (شکل ۳).



شکل ۲: تابع عضویت میزان تخریب با توجه به نوع ساختمان و شدت زلزله



شکل ۳: تابع عضویت زمان سپری شده از وقوع زلزله

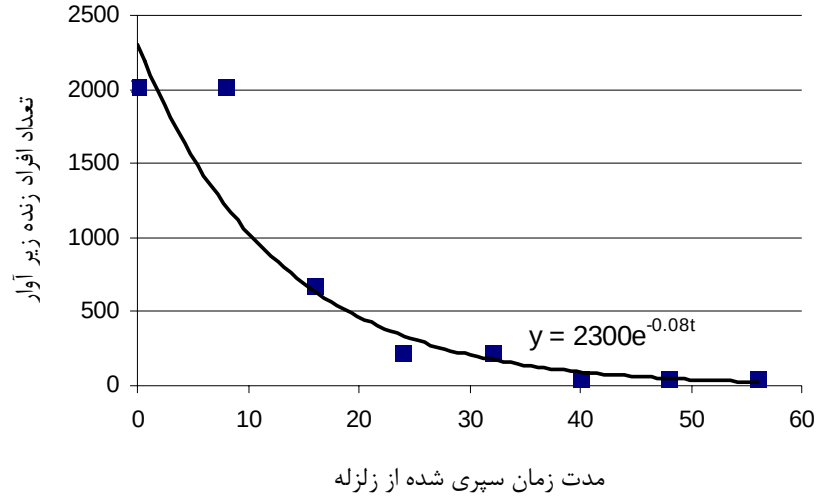
قوانین تعیین احتمال زنده ماندن یک فرد گرفتار در زیر آوارهای ساختمان بنایی در جدول ۱ نمایش داده شده است.

جدول ۱: قوانین فازی برای تعیین میزان نیاز به تیمهای امدادی

	متغیر ورودی			پاسخ خروجی
	نوع ساختمان	میزان تخریب	زمان سپری شده از زلزله	احتمال نجات یافتن
حالت متغیر	M	L	VL	VH
	M	L	L	M
	M	L	M	L
	M	L	H	VL
	M	L	VH	VL
	M	M	VL	VH
	M	M	L	M
	…	…	…	…

حال می‌توان با استفاده از داده‌های مربوط به هر منطقه و استفاده از تکنیکهای دفازی کردن، امید ریاضی تعداد افراد نجات یافته با گذشت زمان را بدست آورد. برای آشنایی بیشتر با سیستم کنترل فازی به منبع [۲۲] و برای آشنایی با محاسبات فازی به منبع [۲۳] مراجعه شود.

بعنوان مثال فرض کنید در منطقه‌ای با ساختمانهای بنایی، در حدود ۲۰٪ ابنیه در اثر وقوع زلزله تخریب شده است. فرض کنیم ۵٪ از جمعیت در زیر آوار گرفتار شده‌اند و نیاز به نیروهای امداد و نجات ماهر دارند (این درصد می‌تواند با توجه به ساعتی که زلزله اتفاق می‌افتد، سرعت فروپاشی ساختمان و ... متغیر باشد). در صورتی که این منطقه ۴۵۰۰۰ نفر جمعیت داشته باشد، شکل ۴ امید ریاضی تعداد افراد زنده زیر آوار را نشان می‌دهد.



شکل ۴: امید ریاضی تعداد نجات یافتگان با گذشت زمان (تخمین روند با تابع نمایی، شکلی شبیه واقعیت ایجاد می‌کند)

برای رسم نمودار شکل ۴، مقادیر فازی به شرح جدول ۲ کمی شده‌اند. کمی سازی بر اساس اطلاعات مربوط به زلزله ترکیه (۱۹۸۳) انجام شده است [۱۱].

جدول ۲: کمی سازی مقادیر فازی

عبارت فازی	VH	M	L	VL
مقدار کمی	۰,۹	۰,۳	۰,۱	۰,۰۲

هر منطقه آسیب دیده ظرفیت پذیرش تعدادی خاص امداد رسان را دارد. در صورتی که تعداد این امداد رسان‌ها از یک حد خاص بیشتر شود، در کار آنها تداخل بوجود می‌آید و عملکرد دچار ضعف می‌شود. برای تعیین حداکثر تعداد امداد رسان، تعداد امداد رسانها را می‌توان برابر درصدی از جمعیت منطقه در نظر گرفت. این درصد متغیر است و بر اساس میزان آسیب دیدگی و تعداد زیر آوار ماندگان تغییر می‌کند. برای نجات هر کدام از زیر آوار ماندگان یک تیم دو نفره با ابزار استاندارد آواربرداری باید ۴ ساعت زمان صرف کند [۳]. با توجه به پیش-بینی انجام شده در مورد تعداد زیر آوار ماندگان منطقه i (x_i)، به $N_i = 8x_i$ نفر ساعت امداد رسانی نیاز است.

برای حل این مساله فرض می‌شود از لحظه شروع به مدت ۸ ساعت وضعیت راهها ثابت باقی بماند. قطع راهها، مناطق نیازمند امداد را به چند دسته تقسیم می‌کند. با توجه به تفاوت متغیرها در نقاط آسیب دیده، تابع نیاز به امداد بر حسب زمان در نقاط مختلف متفاوت است. بعنوان مثال می‌توان شکل ۴ را بر اساس خروجی قوانین فازی با در نظر گرفتن شرایط یک منطقه خاص و با توجه به گذشت زمان به دست آورد.

۴- روند حل مساله

با توجه به قوانین فازی می‌توان مشخص کرد میزان افراد نیازمند امداد در مناطق مختلف در لحظه t به چه میزان است. بنابراین برای بررسی مناسب بودن تخصیص نیرو از یک نقطه امداد رسان به یک منطقه آسیب دیده، باید فاصله زمانی بین این دو نقطه و در نتیجه میزان نیاز منطقه آسیب‌دیده در زمان رسیدن نیروی امدادی تعیین شود. در نتیجه نیاز به ابزاری جهت تعیین کوتاهترین مسیر ممکن از نقطه امدادرسان تا نقطه نیازمند کمک است. به این منظور استفاده از زبان پرولوگ[5] که یکی از زبانهای هوش مصنوعی است، مناسب به نظر می‌رسد. می‌توان با یک برنامه ساده، کوتاه‌ترین فاصله بین نقاط نیازمند امداد را تعیین نمود.

اینک نیاز به توسعه یک مدل برنامه‌ریزی است که قادر باشد بهترین تخصیص را انجام دهد. تخصیص هر نیروی امداد رسان به یک نقطه نیازمند امداد، مطلوبیتی ایجاد می‌کند (این مطلوبیت بر اساس خروجی قوانین فازی تعیین می‌شود). تابع هدف باید به شکلی تعریف شود که تخصیص نیروهای امداد رسان بیشترین مطلوبیت را ایجاد کند. نیاز هر نقطه آسیب دیده به نیروهای امدادی مشخص است. از طرف دیگر میزان نیروهای امدادی موجود در هر نقطه امداد رسان محدود است. این دو مورد محدودیتهای مساله را ایجاد می‌کنند.

۵- معرفی مدل

برای تعیین حداقل مسافت بین نقاط موجود می‌توان از برنامه‌ی ذیل استفاده نمود. داده‌های مورد استفاده در این برنامه از شکل ۱ گرفته شده است و نتایج حاصل از آن در جدول ۳ ارائه شده است. همانطور که بیان شد، این برنامه براساس الگوریتم دیجسترا توسعه داده شده است. پیوست حاوی توضیحاتی جهت آشنایی با زبان برنامه‌نویسی پرولوگ است.

این برنامه کوتاهترین زمان رفتن از SAR1 به نقطه ۵ را نشان می‌دهد. برای این منظور کلیه مسیرهای ممکن را بررسی، زمان مربوط به آنها را با هم مقاسیه و کمترین زمان بدست آمده را بعنوان جواب مطلوب معرفی می‌کند. از چهار مسیر مختلف می‌توان از SAR1 به نقطه ۵ رفت. برنامه فوق کلیه مسیرهای ممکن و زمان مربوط به آنها را بررسی کرده و کوتاهترین زمان را معادل ۱۴۰ دقیقه بدست آورده است.

[5] **PROLOG: Programming in LOGIC**

Rules:

```
route(X,Y).
route(X,Z) :-
        route(X,Y)
        route(X,Z).
distance(X,Y,T) :- route(X,Y).
distance(X,Z,T) :-
        distance(X,Y,T1)
        distance(Y,Z,T2)
        distance(X,K,T3)
        distance(K,Z,T4)
        T is min(T1+T2 , T3+T4).
```

تعریف مسیر بین دو نقطه

اگر بین دو نقطه مسیر مستقیم وجود نداشته باشد، ممکن است رابطه از طریق واسطه برقرار شود.

تعیین فاصله در صورتی ممکن است که بین آن دو نقطه مسیر ارتباطی وجود داشته باشد

در صورتی که بین دو نقطه چند مسیر وجود داشته باشد، زمان حرکت بین دو نقطه برابر کمترین زمان خواهد بود

Facts:

```
route(1,2).
route(1,4).
…
distance(X,X,0).
distance(sar1,sar2, 60).
distance(sar1,sar3, 90).
…
distance(sar1,x1, 50).
…
distance(x1,x2, 40).
distance(x1,x4, 60).
…
```

بین ۱ و ۲ (۱ و ۴) و ... مسیر مستقیم وجود دارد

فاصله یک نقطه تا خودش برابر صفر است

فاصله زمانی بین SAR1 و SAR2 برابر ۶۰ دقیقه است

فاصله زمانی بین SAR1 و مبدا ورودی ۱ برابر ۵۰ دقیقه است

فاصله بین نقطه ۱ و نقطه ۲ برابر ۴۰ دقیقه است

Goals:

```
?-go (sar1,x5, T).
```

زمان رفتن از SAR1 به نقطه ۵ چقدر است.

جدول ۳: کمترین زمان امداد رسانی از منطقه امداد رسان به منطقه آسیب دیده (نتایج برنامه پرولوگ)

از / به	SAR 1	SAR 2	SAR 3	SAR 4	SAR 5
۱	۵۰	۱۱۰	۱۴۰	۲۵۰	۲۶۰
۲	۱۱۰	۱۵۰	۱۴۰	۲۵۰	۲۶۰
۳	۲۹۰	۲۵۰	۲۲۰	۱۱۰	۱۲۰
۴	۱۱۰	۱۶۰	۱۳۰	۲۴۰	۲۵۰
۵	۱۴۰	۱۲۰	۹۰	۲۰۰	۲۱۰
۶	۱۵۰	۹۰	۶۰	۱۷۰	۱۸۰
۷	۲۷۰	۲۱۰	۱۸۰	۷۰	۸۰
۸	۲۲۰	۱۶۰	۱۳۰	۲۰	۳۰

فرض کنید در منطقه i، احتمال زنده ماندن افراد با گذشت زمان از رابطه $g(t_{ij})$ تبعیت کند (حاصل تقسیم رابطه تعیین "امید ریاضی تعداد نجات یافتگان با گذشت زمان" بر "تعداد زیر آوار ماندگان"). با این فرض که هر تیم دو نفره می‌تواند ۸ ساعت به صورت مفید کار کند، تعداد افراد نجات یافته در منطقه jام توسط تیم‌هایی که از منطقه i اعزام می‌شوند، در پریود برنامه‌ریزی kام (۸ ساعت) برابر است با:

$$g(t_{ij}) \times X_{ij} \qquad (۱)$$

که در آن

X_{ij}: تعداد تیمهای دو نفره تخصیص یافته از SAR_i به منطقه آسیب دیده jام است.

t_{ij}: فاصله زمانی بین منطقه امداد رسان i و منطقه آسیب دیده j بر حسب دقیقه است (خروجی برنامه پرولوگ).

در مورد منطقه آسیب دیده نمایش داده شده در شکل ۴، رابطه (۱) به صورت ذیل در می‌آید.

$$1.023\times e^{-0.08(8k+t_{ij}/60)}\times X_{ij} \qquad (۲)$$

تابع هدف عبارت است از حداکثر کردن تعداد نجات یافتگان که به صورت ذیل نوشته میشود.

$$\text{Max } Z:\sum_i\sum_j g(t_{ij})\times X_{ij} \qquad (۳)$$

محدودیتهای این مدل به صورت ذیل نوشته می‌شوند.

$$\sum_j X_{ij}=K_i \quad i=1,2,... \qquad (۴)$$

$$\sum_i X_{ij}\le N_j \quad j=1,2,.... \qquad (۵)$$

$$X_{ij}\ge 0 \quad \text{int eger} \qquad (۶)$$

که در آن:

K_i: تعداد نیروهای موجود در منطقه امداد رسان iام در پریود مورد نظر.

N_j: سقف نیروهای مورد نیاز منطقه j.

معادلات شماره ۴، مربوط به تعداد امداد رسانهای موجود در منطقه امداد رسان iام هستند. تعداد تیمهای امداد رسانی تخصیص داده شده از منطقه i باید برابر با تعداد تیمهای موجود در این منطقه باشد. گروه محدودیتهای شماره ۵، مربوط به میزان نیاز به امدادرسانی در منطقه آسیب دیده jام هستند. میزان تیمهای امدادی اعزامی به منطقه j نباید بیشتر از سقف تعیین شده باشد. با توجه به تعداد زیاد تخصیص، محدودیت عدد صحیح بودن تاثیر چندانی در عملکرد مدل ندارد.

براس استفاده مجدد از مدل در پریودهای جدید، باید داده‌های مربوط به آن را به روز نمود. یعنی در پریود مورد نظر، سقف نیروی امدادی مورد نیاز هر منطقه باید بر اساس تعداد نیروهای عمل کننده در منطقه (نیروهایی که در پریودهای گذشته به منطقه تخصیص یافته‌اند) تعیین و در مدل بکار گرفته شود. همچنین باید در ابتدای هر مرحله با توجه به مسیرهای بازگشایی شده، کوتاهترین زمانها را مجدداً تعیین نمود و در مدل بکار گرفت.

۶- جمع‌بندی

دلیل اصلی تلفات بالای زلزله در ایران، سازماندهی نامناسب تیمهای امداد و نجات است. بخشی از سازماندهی مربوط به نحوه تخصیص این تیمها است. بررسی نشان می‌دهد هیچ مدل ریاضی قابل کاربردی برای این منظور توسعه داده نشده است. معدود مدلهای موجود عمدتاً نیازمند داده‌های کمی دقیقی هستند تا جواب مناسب را ایجاد کنند. داده‌های مورد نیاز این مدلها عمدتاً موجود نیستند. جمع-آوری این داده‌ها هزینه بسیاری دارد و دستیابی سریع به آنها در بحران پس از وقوع زلزله غیر ممکن است. در نتیجه تخصیص انجام شده توسط این مدلها مناسب نیست. مدلی که در این مقاله ارائه شد، با کمترین داده‌های ورودی، پاسخی مناسب ایجاد می‌کند. اگرچه این پاسخ به دلیل تقریبهای بکار گرفته شده بهینه نیست، اما به دلیل سهولت بکارگیری مدل قابل قبول است.

مدل با در نظر گرفتن شبکه ارتباطی در یک منطقه آسیب دیده از وقوع زلزله، زمانهای رفت و آمد بین نقاط امداد رسان و آسیب دیده را محاسبه می‌نماید. این محاسبه بر اساس الگوریتم دیجسترا و با استفاده از زبان برنامه‌نویسی پرولوگ انجام می‌شود. در گام بعد، متغیرهای ورودی مدل به صورت فازی تعریف می‌شوند. با استفاده از داده‌های مربوط به زلزله در قوانین فازی، خروجی مورد نظر ایجاد می‌شود. این خروجی دفازی شده و بعنوان ورودی یک مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح بکار گرفته می‌شود. مدل برنامه‌ریزی عدد صحیح به دنبال حداکثر کردن کارایی تیمهای امداد و نجات پس از تخصیص است.

توسعه مدل ریاضی بگونه‌ای که نیروهای امدادی عمل کننده در هر منطقه را پس از اتمام عملیات به مناطقی که نیاز بیشتری دارند تخصیص دهد، می‌تواند منجر به افزایش کارایی مدل شود. برای کاربردی کردن این مدل، تحقیقات آتی باید بر تعیین دقیق ورودیهای فازی آن متمرکز شود. در این تحقیقات باید مشخص شود که نوع ساختمان و مصالح بکار گرفته شده در آن چه تاثیری بر منحنی احتمال نجات یافتن افراد دارد.

منابع و مراجع

1- Parentela, E. M., and Nambisan, S. S., Emergency response (disaster management), Urban Planning and Development Applications of GIS, 2000, p 181-196
2- Metzger, M. D., "The Two City Optimal Allocation of Earthquake Rescue Workers", Bachelor Thesis, Massachusetts Institute of Technology, Department of electrical engineering and computer science, 2003
3- Todd Turner, WSDOT URBAN SEARCH AND RESCUE TEAM, May 2005, Available at: http://www.wsdot.wa.gov/searchrescue
4- Learning from Earthquakes, Preliminary Observations on the Bam, Iran, Earthquake of December 26, 2003, EERI Special Earthquake Report
5- Nateghi-A. F., Existing and proposed earthquake disaster management organization for Iran, Disaster Prevention and Management, Volume 9, Number 3, 2000, pp. 200- 204
۶- زلزله بم در گزارش سالانه صلیب سرخ جهانی، سایت خبری BBC، ۲۸ اکتبر ۲۰۰۴ آدرس:
http://www.bbc.co.uk/persian/iran/story/2004/10/printable/041028_mj-iran-bam-redcross.shtml
۷- جلسه کمیته مدیریت بحران انجمن فارغ‌التحصیلان دانشگاه صنعتی شریف، ۸۳/۳/۱۴، دانشگاه صنعتی شریف
8- British Columbia Provincial Emergency Program, British Columbia Earthquake Response Plan, 1999 ed. Available at: http://www.pep.bc.ca/eqplan99/eqplan99.html
9- Cunningham, A. R., CALIFORNIA EARTHQUAKE DISASTER SCENARIO, Proceedings - Distribution System Symposium., Seattle, WA, USA
۱۰- خوش نشین، محمد، مساله تخصیص نیروهای نجات برای واکنش در هنگام وقوع زلزله، تز کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شریف، دانشکده مهندسی صنایع، دی ماه ۱۳۸۳
11- Fiedrich, F., Gehbauer, F., Richers, U., Optimized Resource Allocation for Emergency Response After Earthquake Disasters, Safety Science 35 (2000) 41-57.
12- Kurabayashi, D., Asama, H., Noda, K., and Hashimoto, H., An intelligent data carrier system as an information assistant in rescue, Advanced Robotics, v 16, n 6, 2002, p 549-552.
13- Andrews, R., Applications of improved information from earthquake reconnaissance to policy issues, Proceedings of the 1997 15th Structures Congress. Part 2 (of 2), Apr 13-16 1997, Portland, OR, USA.
14- Olson, R. S., Olson, R. A.,URBAN HEAVY RESCUE, Earthquake Spectra, v 3, n 4, Nov, 1987, p 645-658.
15- Eshraghnia Jahromi, A., and Daneshvar Kakhki, M., "Logistics of SAR Teams After Earthquake Using Fuzzy Expert System", Proceedings of 35th Computers and Industrial engineering Conference, Istanbul, Turkey, June 2005.
16- Donati, A. V., Montemanni, R, Gambardella, L. M., and Rizzoli, A. E., Integration of a Robust Shortest Path Algorithm with a Time Dependent Vehicle Routing Model and Applications, CIMSA 2003 - Lugano, Switzerland, 29-31 July 2003.
17- Dijkstra E.W., A note on two problems in connection with graphs. Num.Math 1, p269-271, 1959.
18- Fimland, M., and Johansen, R., The Shortest Path Problem, SINTEF Feb. 2002
۱۹- هیلیر، ف. س.، لیبرمن، ج. ج. برنامه‌ریزی خطی، ترجمه: مدرس یزدی، م.، و آصف وزیری، ا.، نشر تندر، تهران، ۱۳۷۶.
۲۰- طه، ح. ا.، آشنایی با تحقیق در عملیات، ترجمه: بازرگان، م. ب.، مرکز نشر دانشگاهی، تهران، ۱۳۸۳
21- Nateghi-A. F., Earthquake scenario for the mega-city of Tehran, Disaster Prevention and Management, Volume 10. Number 2. 2001. pp. 95-100
۲۲- جرج بوجادزیف، ماریا بوجادزیف، منطق فازی و کاربردهای آن در مدیریت، ترجمه سید محمد حسینی، انتشارات ایشیق، ۱۳۸۱
۲۳- آذر، ع.، فرجی، ح.، علم مدیریت فازی، اجتماع، تهران، ۱۳۸۱
24- BARTÁK, R., ON-LINE GUIDE TO PROLOG PROGRAMMING, Second Edition, 1998j, Available at: http://kti.ms.mff.cuni.cz/~bartak/prolog/

پیوست: پرولوگ [۲۴]

پرولوگ زبان برنامه‌نویسی‌ای است که برای حل مساله‌ای با داده‌های مشخص و روابط معلوم بین آن داده‌ها بکار می‌رود. عناصر کلیدی پرولوگ، داده‌ها (Facts)، قوانین (Rules) و سوالات (Questions) هستند. برنامه‌نویسی پرولوگ شامل موارد ذیل است:

- مشخص کردن چندین واقعیت در رابطه با اشیاء و روابط بین آنها
- بیان یک سری قوانین در رابطه با اشیاء و روابط بین آنها
- پرسیدن چند سوال در رابطه با اشیاء و روابط بین آنها

واقعیات در مورد اشیاء و روابط بین آنها یک بانک اطلاعاتی بوجود می‌آورند. در برنامه ارائه شده در این مقاله، بانک اطلاعاتی ارتباط بین نقاط مختلف و فاصله آنها را مشخص می‌کند.

در پرولوگ هنگامی از قوانین استفاده می‌کنیم که بخواهیم در مورد واقعیتی صحبت کنیم که متکی بر چند واقعیت دیگر باشد. قوانین مورد استفاده در برنامه ارائه شده روشی برای محاسبه فاصله بین نقاط موجود ارائه می‌کنند.

پس از اینکه چند واقعیت گردآوری کردیم و روابط بین آنها را مشخص نمودیم، می‌توانیم در مورد آنها چندین سوال از پرولوگ بپرسیم. هنگامی که از پرولوگ سوالی پرسیده می‌شود، درون بانک اطلاعاتی که قبلاً برایش نوشته‌ایم شروع به جستجو می‌کند و جوابهای مورد نظر را ارائه می‌دهد. این جستجو بر اساس قوانین نیز تکرار می‌شود و استنتاج انجام می‌شود.

به عنوان مثال، در برنامه ارائه شده بخشی از قوانین به صورت ذیل بیان شد:

```
distance(X,Y,T) :- route(X,Y)
distance(X,Z,T) :-
        distance(X,Y,T1)
        distance(Y,Z,T2)
        distance(X,K,T3)
        distance(K,Z,T4)
        T is min(T1+T2 , T3+T4).
```

این قوانین بیان می‌کند در صورتی فاصله بین X و Y معنی دارد که بین آنها مسیر ارتباطی وجود داشته باشد. در قسمت دوم قانون، چگونگی محاسبه فاصله بین X و Z بیان شده است. در این قسمت بیان شده است که کلیه مسیرهای ارتباطی بین X و Z باید مشخص شوند. فاصله زمانی بین X و Z برابر کمترین فاصله زمانی مربوط به بهترین مسیر است. حال دو واقعیت ذیل را در نظر بگیرد.

```
distance(sar1,x1, 50)
distance(x1,x2, 40)
```

این قوانی بیان می‌کنند که فاصله بین SAR1 و نقطه آسیب دیده ۱ برابر ۵۰ دقیقه است. فاصله بین دو نقطه آسیب دیده ۱ و ۲ برابر ۴۰ دقیقه است. حال می‌توانیم فاصله زمانی بین SAR1 و نقطه آسیب دیده ۲ را تعیین کنیم. برای این منظور از سوال ذیل استفاده می‌شود:

```
?- distance(sar1,x2,T)
```

پرولوگ بر اساس منطق خود شروع به جستجو می‌کند. بر اساس قانون ابتدا وجود مسیر بین SAR1 و نقطه آسیب دیده ۲ بررسی می‌شود. چون این ارتباط وجود دارد، زمان بین این دو نقطه از طریق جمع زدن زمانهای ۴۰ و ۵۰ محاسبه می‌شود. مسیرهای مختلفی بین SAR1 و نقطه آسیب دیده ۲ وجود دارد. می‌توان از طریق SAR2، SAR3، ۶ و ۵ به نقطه ۲ رفت. همچنین می‌توان از مسیر SAR2، SAR3، ۶ و ۵ و ۴ به این نقطه رفت. پرولوگ زمان مربوط به مسیرهای مختلف موجود برای این جابجایی را بررسی می‌کند و کمترین زمان که برابر ۹۰ دقیقه است را بعنوان خروجی چاپ می‌کند.