

## ارزیابی آسیب پذیری مناطق شهری در برابر زلزله مبتنی بر روش هوشمند فازی شهودی بهبود یافته با الگوریتم سیاهچاله

(نمونه موردی: مناطق سیزده گانه شهر مشهد)

امیرعزیزی<sup>۱</sup>؛ مهدی یعقوبی<sup>۲\*</sup>؛ سید رضا کامل

۱- دانشجوی دکتری مهندسی کامپیوتر، دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نیشابور

۲- دانشیار دانشکده مهندسی برق، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد

۳- استادیار دانشکده مهندسی کامپیوتر، دانشگاه آزاد اسلامی واحد نیشابور

### چکیده

### واژگان کلیدی

فازی شهودی،  
شهر ایمن، سیاهچاله، مسیر  
بهینه، زلزله، طبقه بندی  
فازی

با بروز بحرانهای طبیعی مانند زلزله و سیل و در نتیجه کاهش توانمندی سازمانهای مسئول به دلیل آسیب دیدگی زیرساختها، نبودن اطلاعات قطعی و قابل استناد، تقاضا برای ارسال نیروهای امدادی متخصص و لجستیک افزایش می یابد. در چنین شرایطی نیاز است فرآیندهایی که در هنگام امداد رسانی پس از وقوع یک بحران به انجام می رسند به نحوی برنامه ریزی شوند تا در کوتاهترین زمان ممکن پاسخگوی نیاز آسیب دیدگان به بهینه ترین شکل ممکن در تحقق شهر ایمن باشند. هدف اصلی در این مقاله طبقه بندی مناطق آسیب پذیر در برابر زلزله با روشی ابتکاری به منظور ارسال تجهیزات و نیازها بر اساس اولویت است در این پژوهش ابتدا و به منظور انتخاب شاخصهای بهینه و موثر از بین شاخصهای متعدد در تخمین خسارت زلزله به منظور طبقه بندی مناطق از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی *Fuzzy Analytic Hierarchy Process (FAHP)* استفاده کردیم. سپس به ارائه روش جدیدی به نام مدل فازی شهودی بهبود یافته با الگوریتم سیاهچاله *Black Hole- Intuitive Fuzzy C Mean (BH-IFCM)* پرداختیم و بوسیله آن پهنه بندی خطرپذیری زلزله در مناطق سیزده گانه شهر مشهد انجام شده است. با توجه به استفاده از مدل فازی شهودی (در شرایط عدم قطعیت اطلاعات در زمان زلزله) و به کارگیری الگوریتم سیاهچاله نتایج عددی نشان دهنده صحت طبقه بندی ۹۷،۳۴٪ بر روی داده های مشهد و ۹۶،۷۳٪ بر روی داده های بم می باشد.



انجمن علمی پدافند غیر عامل ایران



سازمان پدافند غیر عامل کشور

ریشتر در این دوره ایران را لرزانده است که ۱۲ تای آن بالای ۶ ریشتر بوده است. یعنی به طور متوسط هر ۱ تا ۲ سال یک بار زلزله ای بزرگ یکی از مناطق کشور را ویران می کند. بررسی نقشه های زلزله شناسی کشور نشان میدهد که عمده مراکز استانها در مناطقی با خطر بالای زلزله قراردارند. به عنوان مثال پایتخت کشورمان تهران بر روی گسلهای زیادی بنا شده است. بر اساس داده های تاریخی، در منطقه تهران در پیوندهای ۱۷۵ ساله، زلزله هایی به بزرگی ۷ ریشتر روی میدهد. هم اکنون ۱۷۹ سال از آخرین زلزله ای که تهران را لرزانده می گذرد و بنابر تحقیقات انجام شده، زلزله آینده با احتمال ۷۰ درصد بیش از ۷ ریشتر قدرت خواهد داشت. مطالعات انجام شده بیانگر این مساله هستند که وقوع زلزله ای ۷ ریشتری در تهران منجر به مرگ بیش از یک میلیون و چهارصد هزار نفر و مجروح شدن چهار میلیون و سیصد هزار نفر خواهد شد. بررسی حوادث چند سال گذشته مشخص میکنند که روشهای پیش بینی، پیش گیری، امداد رسانی، بازسازی و... در کشور ما توانایی چندانی ندارند. مشاهدات انجام شده در مورد زلزله بم و زلزله مرزن آباد موارد ذیل را روشن می سازند:

۱- اطلاع رسانی دقیقی در مورد چنین حوادثی وجود ندارد به طوریکه تا چند ساعت پس از لرزش تهران مرکز زمین لرزه مشخص نبود.

۲- رسیدن نیروهای امدادی به منطقه حادثه دیده با تاخیر بسیار زیادی صورت میگیرد (نیروهای امدادی روسیه - تنها ۳ ساعت بعد از زلزله بم در محل حاضر بودند در حالی که هلال احمر و سایر ارگانهای ذیربط تا شب حادثه به محل نرسیدند، همچنین در مورد برخی روستاهای حادثه دیده کمک رسانی بعد از سه الی چهار روز شروع شد.

۳- نیروهای مردمی که قبل از نیروهای امدادی به منطقه میرسند آموزشهای امدادی لازم را ندیده اند (گزارشهای بسیاری در مورد نقص عضوهای مصدومین به علت عدم آشنایی امداد رسانیان به گوش میرسد).

## ۱- پیش گفتار

زلزله یکی از فرآیندهای ژئومورفیک درونی است که آثار تخریبی زیادی دارد و برخی از شهرهای کشور ما را نیز تهدید می کند و بی توجهی به آن در مکان گزینی شهرها و عدم رعایت نکات فنی و ایمنی در ساخت تاسیسات و ساختمانها می تواند اثرات زیان باری را به دنبال داشته باشد. بر اساس آمار رسمی در ۲۵ سال گذشته ۶ درصد از تلفات انسانی در کشور ناشی از زلزله بوده است و به طور میانگین هر سال یک زلزله ۶ ریشتری و هر ۱۰ سال یک زلزله به بزرگی ۷ ریشتر در کشور رخ می دهد. اگر چه جلوگیری از وقوع زلزله امکان پذیر نیست ولی کاهش آسیب پذیری ناشی از آن امکان پذیر است و چیزی که بیشتر از همه اهمیت دارد نجات جان انسانهاست. رشد شهری باعث تسهیلات زیادی می شود ولی در عین حال عوامل بحران زا هم بیشتر شده است و تسهیلات محیطی تبدیل به ضرر می شود.

### ۱-۱- اهداف و ضرورت تحقیق

کشور ایران در محل تقاطع سه صفحه تکتونیک در امتداد گسلهای آلپ هیمالیا قرار دارد و در نتیجه در بین کشورهای منطقه بیشترین آمار وقوع زلزله را دارد. این مساله منجر به افزایش ریسک و خطر برای ساختمانها، تاسیسات و تجهیزات شده است. بررسی زمین لرزه های قرن گذشته که مرگ و میر بالای هزار نفر داشته اند نشان میدهد که از بین ۸۴ زمین لرزه با مرگ و میر بالای ۱۰۰۰ نفر که در قرن بیستم روی دادند، ۱۲ زمین لرزه در ایران رخ داده است که در آنها مجموعاً بیش از ۱۴۰ هزار نفر کشته شده اند. بر اساس مطالعات انجام شده بر روی زلزله های بزرگ حادث شده در دوره ۲۵ ساله ۱۹۸۶ تا ۲۰۱۰، بیش از ۱۲۰ زلزله بالای ۵

ایستگاه های امداد و نجات و وارهانه مدلی جهت تخصیص صحیح نیروهای امداد و نجات جهت در زمان زلزله میباشد

## ۲-۱- اهداف ، فرضیات و سئوالات تحقیق

### ۱-۲-۱- بهینه سازی الگوریتم سیاهچاله

اشکالی که در الگوریتم سیاهچاله دیده می شود، جمعیت و پارامترهای تصادفی و همچنین اکتشاف و استخراج ضعیف آن است؛ پارامترهای تصادفی الگوریتم سیاه چاله ممکن است کارایی الگوریتم را تحت تاثیر قرار دهند و نتوانند پوشش سراسری به کل فضای جستجو را تضمین کنند و در نتیجه سرعت و دقت نسبتاً کم خواهد شد که در این تحقیق با روش فوق آشوبناک این مورد نیز بهینه سازی شده است .

### ۱-۲-۲- طبقه بندی اطلاعات در حالت غیر دقیق و مبهم

با بروز بحرانهای طبیعی مانند زلزله و سیل و در نتیجه کاهش توانمندی سازمانهای مسئول به دلیل آسیب دیدگی زیرساختها ، نبودن اطلاعات قطعی و قابل استناد، تقاضا برای ارسال نیروهای امدادی متخصص و لجستیک افزایش می یابد. درچنین شرایطی به منظور ایجاد یک سیستم بهینه با وجود اطلاعات غیر قطعی و مبهم و نادقیق استفاده از مدل فازی شهودی بهبود یافته با سیاهچاله فوق آشوبناک نتایج موثری خواهد داشت.

### ۱-۲-۳- بهترین نحوه ی تخصیص تقاضا در هر دوره

هنگامی که زلزله رخ می دهد و در نتیجه با مرکز فرمان دهی خدمات تماسی برقرار می شود با توجه به دوره ی زمانی که در آن قرار داریم و منطقه ای که حادثه در آن رخ داده است اپراتور باید بداند که از کدام یک از مناطق شهری آسیب بیشتر و کدام یک آسیب کمتری دیده است .

### ۱-۲-۴- مهمترین شاخصها در میزان آسیب پذیری

#### مناطق در برابر زلزله

به منظور انتخاب شاخصهای بهینه و موثر( از بین شاخصهای متعدد) در تخمین خسارت زلزله به منظور طبقه بندی مناطق شهری ، از روش تحلیل سلسله مراتبی

۴- هماهنگی بین گروههای امدادی مختلف وجود ندارد . برای پیشگیری وقوع این مشکلات نیاز به برنامه ریزی برای کنترل بحران است . برنامه ریزی برای کنترل بحران از چهار مرحله تشکیل میشود :نخست باید حوادث ناگوار پیشبینی شوند، سپس باید برنامه های اقتضایی شامل مهندسی ساخت و ساز، برنامه ریزی فیزیکی، برنامه ریزی اقتصادی و سیاست گذاری تنظیم گردند، پس از آن باید گروههای مدیریت بحران سازماندهی شده و آموزش داده شوند، و سرانجام باید برای تکمیل برنامه ها بصورت عملی تمرین شود و برنامه های آموزشی اجرا شود.با توجه به موارد مطرح شده و وضعیت کشور ایران از نظر خطر زلزله و عدم وجود برنامه ایی برای مدیریت بحران زلزله این پژوهش به دنبال اصلی زیر را مورد بررسی و توجه قرار می دهد:

الف ( طبقه بندی مناطق آسیب دیده در برابر زلزله و اولویت بندی بر اساس میزان آسیب پذیری

ب ( تخصیص صحیح نیروهای امداد و نجات با هدف به حداکثر رساندن نقاط مورد تقاضا و کاهش خسارات مالی و جانی با توجه به طبقه بندی صورت گرفته

به طور کلی براساس ویژگیهای کشور ایران، ۲۳ بحران پس از زلزله تعریف شده است .از جمله این بحرانها

می توان به بحران امنیت، بحران کودکان بی سرپرست، بحران اطلاع رسانی و ... اشاره کرد . یکی از بحرانهای بعد از زلزله، بحران تخصیص منابع و تیمهای امدادی است .

تخصیص منابع پس از بحران از مواردی است که در کشور ما با مشکل مواجه است .در صورت تخصیص مناسب منابع پس از بحران میتوان از بسیاری از خسارتهای پیشگیری کرد و آمار تلفات را کاهش داد.با توجه به احتمال بالای وقوع زمین لرزه در ایران و اینکه در حال حاضر سیستم مدیریت بحران فاقد ابزاری مناسب برای مکانیابی صحیح ایستگاههای امداد و نجات و تخصیص امکانات و تیمهای امدادی به مناطق آسیب دیده است، پژوهشگر در این تحقیق به دنبال معرفی یک مدل برای تخصیص مناسب استقرار و جانمایی

## ۲- پیشینه تحقیق

آسیب پذیری شهری را می توان میزانی از تفاوت های ظرفیتی جوامع شهری جهت مقابله با اثرات مخاطرات طبیعی بر اساس موقعیت آن ها در جهان مادی (ساختار فضایی شهر) و ویژگی های اجتماعی آن (ساختار اجتماعی شهر) تعریف نمود. درحالت کمی ارزیابی آسیب پذیری در جستجوی ایجاد یک مقیاس تجمعی است که از صفر (فاقد آسیب پذیری) تا ۱ (آسیب پذیری کامل) می باشد. این مقیاس آسیب پذیری عناصر مختلف در مقایسه با حالت پایدار و دینامیک جنبه های مختلف شهری می باشد. رویکردهای مختلفی در مورد تخمین خسارت و ارزیابی آسیب پذیری زلزله وجود دارد: رویکرد های زیستی - فیزیکی - ساخت اجتماعی و ترکیبی. رویکردهای زیستی و فیزیکی بر مخاطرات طبیعی و چگونگی استقرار واحدهای در معرض خطر و جوامع آن و عواقب ناشی از آن تاکید دارد. و همچنین بر حسب درجه و شدت لرزه ای و آسیب های احتمالی پهنه های متفاوتی را مشخص می سازد و به مخاطرات طبیعی و خسارات کالبدی در فضاهای زیستی از لحاظ خسارت کالبدی و پراکندگی آن توجه دارد در نتیجه این رویکرد بیشتر روی مخاطرات طبیعی، زوال زیست محیطی - فیزیکی و آثار ناشی از آن توجه دارد. دیدگاه ساخت اجتماعی به وضعیت ریشه دار در فرآیند اجتماعی و اقتصادی - تاریخی و فرهنگی که توانایی رسیدن به بحرانها و مدیریت آنها را تضمین می کند توجه دارد تا نگ وون در تحقیقی از تکنیک های هوش مصنوعی برای ارزیابی خطر زلزله در شهر دیانگ در کشور چین استفاده کرد. زنگی آبادی و تبریزی به بررسی میزان آسیب پذیری شهر تهران در برابر زلزله با استفاده از سامانه GIS و نرم افزار SPSS و سطح بندی آماری مناطق شهری با تاکید بر مقاومت مصالح و آسیب پذیری سازه ای در برابر زلزله پرداختند.

فازی (FAHP) Fuzzy Analytic Hierarchy

Process استفاده کردیم. همچنین تجربه و تخصص افراد مطلع و کارشناسان این حوزه در وزندهی و انتخاب شاخص های موثرتر استفاده شده است.

### ۱-۲-۵- بهترین نحوه تخصیص کارآمد نیروی امداد و نجات

با توجه به وقوع زلزله و استقرار تجهیزات و تعیین ظرفیت نیروی امداد و نجات برای هر مرکز که با توجه به وضعیت جغرافیایی و میزان آسیب پذیری مناطق تقاضا می باشند می توان مسئله را حل کرد.

[ کلانشهر مشهد احاطه شده در میان گسلها است. در بخش جنوبی و جنوب غربی گسل جنوبی وجود دارد که طول آن حدود ۱۰۰ کیلومتر است و کمترین فاصله آن تا مشهد ۲ کیلومتر است. هم چنین از شرق و جنوب شرقی کمترین فاصله آن تا گسلی به طول ۱۰۰ کیلومتر و در حدود ۲۰ کیلومتر است و در شمال مشهد نیز گسلی به طول ۲۴ کیلومتر وجود دارد. تحقیق در آمار زلزله های رخ داده در این گستره نیز نشانگر وقوع زلزله های تاریخی قابل توجه در اطراف مشهد است. در این تحقیق بر اساس شاخصهای ۶ گانه احصا شده که می توانند در طبقه بندی مناطق ۱۳ گانه وقوع زلزله احتمالی مشهد موثر باشند با روش نوین و موثر بنام BH-IFCM پهنه بندی شهر مشهد انجام شده است. در انتخاب شاخصها با توجه به تعداد زیاد شاخصهای موثر از روش تحلیل سلسله مراتبی فازی استفاده شده است تا موثرترین شاخصها انتخاب شوند. ساختار مقاله به این صورت است که در بخش ۲ مروری بر پیشینه تحقیق انجام دادیم. در بخش ۳ به مباحث پایه این پژوهش را تشریح کردیم. در بخش ۴ روش پیشنهادی را ارائه کردیم و در بخش ۵ نتایج شبیه سازی و در نهایت در بخش ۶ نتیجه گیری و پیشنهادات آتی آمده است. مراحل انجام تحقیق در پیوست ۳ ذکر شده است

کرستیانو و همکارانش در [22] از منطق فازی و برنامه نویسی غیر خطی به منظور پیدا کردن اولویت بندی و تصمیم گیری در سطح اول برای منابع و اعزام در سطح دوم و برنامه ریزی حمل و نقل در زمان بحران استفاده کرد. کلونی مورچگان توسط یی و کومر در [23] استفاده شد برای انجام عملیات امدادی در زمان بحران. در [24] یوان و ونگ با روش کلونی مورچگان و الگوریتم دایکسترا به ارائه روشی برای پیدا کردن مسیر بهینه در زمان وقوع بحرانهای طبیعی پرداخت. راث در روش خود با استفاده از الگوریتم هیورستیک و Adaptive Epsilon-Constraint Method به ارائه راه حلی برای مکان یابی هوشمند انبارهای مورد نیاز برای زمانهای بحران پرداخت. بررسی مقالات و پژوهشهای انجام شده در طول دهه اخیر (پیوست ۴) نشان می دهد، تا کنون رویکرد نوآورانه در استفاده از الگوریتمهای پردازش تکاملی و به دست آوردن بهینه ترین حالت در طبقه بندی مناطق آسیب دیده در برابر زلزله وجود نداشته است. در برخی مقالات نیز از روش فازی فقط در ساده ترین و پایه ای ترین حالت خود استفاده شده است که نتایج قابل قبولی در پی نداشته است. رویکرد این پژوهش استفاده از الگوریتم نوین بهینه سازی سیاهچاله به منظور ارتقا مدل فازی شهودی است و ترکیب این دو، باعث کارایی و صحت بالای طبقه بندی داده ها در مقایسه با سایر روشهای موجود می باشد. در جدول شماره برخی از مقالات مطرح یک دهه اخیر با یکدیگر مقایسه شده اند.

### ۳- مباحث پایه

#### ۳-۱ - فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP یکی از جامع ترین سیستمهای طراحی شده برای سیستمهای تصمیم گیری چندگانه است. چرا که این روش امکان فرموله کردن

نگارش در مقاله ای سعی بر آن داشت تا که علت زلزله خیزی فلات ایران و اثرات منفی فعالیت گسلها روی برخی از شهرها را به صورت نمونه بررسی و خطرات آنها رایادآوری کند. فرج زاده اصل و همکاران به ارزیابی با استفاده از Topsis Fuzzy پرداختند. جانعلی پور و همکاران در با کمک تصاویر ماهواره ای و روش ANFIS به بررسی میزان خسارت زلزله احتمالی در شهر تهران پرداخت. ناگاتا در با روش فازی به میزان آسیب پذیری خطوط گاز در برابر زلزله احتمالی پرداخت. جانگ در مقاله ای به بررسی میزان آسیب پذیری ساختمانها با روش فازی پرداخت. آرش عندلیب با روش خبره فازی میزان آسیب پذیری ساختمانها در برابر زلزله در محدوده زاگرس را بدست آورد اسماعیل شیعیه به بررسی میزان آسیب پذیری شهر تهران با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی معکوس پرداخت. سید موسی پور با استفاده از GIS و روش Fuzzy AHP میزان آسیب پذیری شهر تهران در برابر زلزله احتمالی را بدست آورد و نتایج را روی منطقه ۳ تهران اجرا کرد. افشار و حقانی در به ارائه روشی برای تامین زنجیره لجستیک در بحرانهای بزرگ با روش بلادرنگ پرداختند. بارباروسوقلو و آردا با استفاده از برنامه نویسی تصادفی دو مرحله ای چارچوبی برای برنامه ریزی حمل و نقل در زمان بحرانهای بزرگ پیشنهاد داد. بن تا و همکاران در با روش بهینه سازی پایدار و الگوریتمهای هیورستیک به ارائه متدی برای برنامه ریزی لجستیک در شرایط اضطرار پرداخت. شئو با استفاده از ترکیب روشهای فازی و برنامه نویسی خطی به ارائه متد جدیدی برای توزیع اقلام امدادی در زمان وقوع حوادث پرداخت. شئو هم با روش برنامه نویسی خطی پویا و استفاده از طبقه بندی فازی نتایج تحقیق خود را بهبود بخشید. فالاسکا و همکارانش منطق فازی را به منظور برنامه ریزی لجستیک در زمان حوادث بزرگ مثل زلزله به کار برد.

که در آن  $v_A(x) \rightarrow [0,1]$  و  $\mu_A(x) \rightarrow [0,1]$  درجات عضویت و عدم عضویت عضو  $x$  در مجموعه  $A$  با شرط زیر هستند:

$$0 \leq \mu_A(x) + v_A(x) \leq 1$$

اگر برای هر عضو  $x$  در مجموعه  $A$  رابطه (۲) برقرار باشد مجموعه  $A$  یک مجموعه فازی معمولی خواهد شد.

$$v_A(x) = 1 - \mu_A(x) \quad (2)$$

برای تمامی مجموعه های فازی شهودی یک درجه تامل  $\pi_A(x)$  نیز تعریف می شود که بر آمده از نبود دانش در تعریف درجه تعلق هر عضو  $x$  در مجموعه  $A$  بوده و به صورت رابطه (۳) تعریف می شود:

$$\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - v_A(x) \quad (3)$$

واضح است که  $0 < \pi_A(x) < 1$  می باشد. با این تعریف مقادیر تابع تعلق در بازه  $[\mu_A(x), \mu_A(x) + \pi_A(x)]$  قرار می گیرند. روش Fuzzy C-Mean معمولی بردارهای ویژگی را از طریق مینیمم کردن تابع هزینه رابطه (۴) خوشه بندی می کند.

$$J_m(U, v; x) = \sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^n (u_{ik})^m d^2(X_k, v_i) \quad (4)$$

به منظور شرکت دادن مجموعه فازی شهودی در FCM و ایجاد روش جدید، ابتدا درجه درنگ با استفاده از رابطه (۵) محاسبه می گردد.

$$\pi_A(x) = 1 - \mu_A(x) - (1 - \mu_A(x)^\alpha)^{1/\alpha} \quad (5)$$

سپس مقادیر تعلق فازی شهودی به صورت رابطه (۶) محاسبه میشود.

$$u_{ik}^* = v_{ik} + \pi_{ik} \quad (6)$$

مساله را به صورت سلسله مراتبی فراهم می کند و همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مساله دارد. این فرآیند گزینه های مختلف را در تصمیم گیری دخالت داده و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیر معیارها را دارد. علاوه بر این بر مبنای مقایسه زوجی بنا نهاده شده است که قضاوت و محاسبات را تسهیل می نماید. همچنین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می دهد که از مزایای ممتاز این روش در تصمیم گیری چند معیاره است. مدل سازی AHP در سه مرحله: ساختن، سلسله مراتب، تنظیم و برقراری ترجیحات از طریق مقایسه زوجی و محاسبات اوزان انجام می شود. در این فرآیند اگر چه افراد خبره از شایستگی ها و توانایی های ذهنی خود برای انجام مقایسات استفاده می نمایند، اما باید به این نکته توجه داشت که فرآیند تحلیل سلسله مراتبی سنتی، امکان انعکاس سبک تفکر انسانی را بطور کامل ندارد. اعداد مورد استفاده در این روش، اعداد مثلثی فازی هستند. چنانگ جهت تعمیم تکنیک AHP به فضای فازی از مفهوم درجه امکانپذیری استفاده کرده است. منظور از درجه امکانپذیری آن است که مشخص شود چقدر احتمال دارد یک عدد فازی بزرگتر از یک عدد فازی دیگر باشد. در این تحقیق و به منظور انتخاب ویژگی های موثر در آسیب پذیری مناطق در برابر زلزله احتمالی از بین تعداد زیادی از شاخصها از این روش استفاده کرده ایم.

### ۲-۳ طبقه بندی فازی شهودی

یک مجموعه فازی با توابع عضویت  $\mu(x)$ ،  $x \in X$  ایجاد می شود. اما مجموعه فازی شهودی IFS هم دارای توابع تعلق  $\mu(x)$  و هم دارای توابع عدم عضویت  $v(x)$  می باشد [27]. یک مجموعه فازی شهودی  $A$  در  $X$  به صورت رابطه (۱) نوشته می شود:

$$A = \{x, \mu_A(x), v_A(x) | x \in X\} \quad (1)$$

### ۳-۳- الگوریتم سیاهچاله

توصیف ذکر شده در بالا گامهای اصلی سیاهچاله به صورت زیر خلاصه می گردد [۲۸].

- ۱- تابع هدف برای هر ستاره تعریف می گردد
- ۲- ستاره ای که بهترین مقدار تطبیق را دارا می باشد به عنوان سیاهچاله انتخاب می شود
- ۳- مکان ستاره ها با توجه به فرمول زیر تغییر می یابد

$$x(t+1) = x_i(t) + rand \times (x_{BH} - x_i(t)) \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (7)$$

$x_i(t)$  و  $x_i(t+1)$  در این فرمول به ترتیب مکانهای ستاره های  $i$  ام در تکرارهای  $t, t+1$  می باشد.

- ۴- در صورتی که مکان ستاره ای در شعاع سیاهچاله که در فرمول (۸) به آن اشاره گردیده است قرار بگیرد با یک ستاره جدید که به طور تصادفی مکان آن تعیین می گردد جایگزین می گردد.

$$R = \frac{f_{BH}}{\sum_{i=1}^N f_i} \quad (8)$$

$f_{BH}$  مقدار Fitness برای سیاهچاله و  $f_i$  مقدار Fitness برای ستاره  $i$  ام و  $N$  تعداد ستاره ها (راه حلهای کاندیدا) است.

- ۵- در صورتی که تعداد تکرار لازم با مقادیر مناسب به دست آید حلقه خاتمه می یابد.

الگوریتم سیاهچاله امروزه برای حل مسائل مختلفی و در زمینه های متفاوتی استفاده می شود. مسائل در حوزه هایی همچون هوش مصنوعی، طراحی مهندسی، تولید، مهندسی نرم افزار، مهندسی عمران، پردازش تصویر، شبکه های بی سیم سنسوری، برنامه ریزی، تخمین پارامترها، سیستمهای برق قدرت،

یکی از روشهای موثر و پرکاربرد در خوشه بندی استفاده از هوش جمعی است که از چند دهه گذشته تحقیقات زیادی جهت بهبود کارایی و توسعه آن انجام شده است. الگوریتم سیاهچاله یکی از جدیدترین روشهای تکاملی مبتنی بر جمعیت الهام گرفته از طبیعت می باشد که در حل مساله بهینه سازی خصوصا خوشه بندی داده ها نتایج بهتری از الگوریتمهای تکاملی دیگر بدست آورده است. در الگوریتم تکاملی سیاهچاله ذرات بدون هیچگونه یادگیری و بازخوردی از محیط تنها به سمتی که بهترین تجربه گروهی در آن نقطه روی داده است با سرعت ثابت در حال حرکت هستند. حرکت تنها به سمت بهینه سراسری روشی بسیار ساده است که توانایی کامل دانش اولیه راجع به مساله و نیز بازخورد سیستم را ندارد بنابراین احتمال گیر افتادن در بهینه های محلی به خصوص در مسائل چند قله ای وجود دارد. این الگوریتم از پدیده سیاهچاله در فضا بر گرفته شده است. جرم بسیار زیاد سیاهچاله سبب جذب بالای آن شده است که هیچ چیز حتی نور نمی تواند از آن فرار کند و هر چیزی را که در شعاع خاصی از آن قرار گیرد می بلعد. در الگوریتم سیاهچاله همانند سایر الگوریتمهای مبتنی بر جمعیت مقادیر اولیه جواب های کاندیدا به صورت تصادفی انتخاب می گردد و در فضای جستجو توزیع می شود و بهترین کاندیدا به عنوان سیاهچاله انتخاب می شود. سپس سیاهچاله شروع به جذب جوابهای کاندیدا اطراف خود که ستاره نامیده می شود می نماید. در صورتی که یک ستاره بیش از اندازه به سیاهچاله نزدیک شود برای همیشه بلعیده می شود. در چنین مواردی یک ستاره جدید (جواب کاندیدا جدید) تولید شده و به صورت تصادفی در فضای جستجو قرار می گیرد و این کار تا رسیدن به میزان خطای کمتر از یک حدآستانه تکرار می گردد. بر اساس

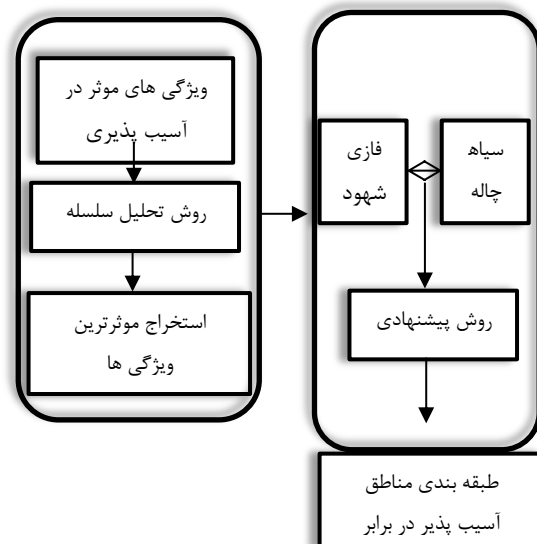
در این پژوهش از ۱۵ شاخص برای ارزیابی آسیب پذیری شهری مشهد در برابر زلزله استفاده شده است. در گام نخست به کمک روش FAHP به بررسی این ۱۵ شاخص و میزان اهمیت هر کدام از آنها پرداختیم که چگونگی پیاده سازی آن در بخش ۴-۱ آمده است. درگام بعدی با استفاده از ۶ شاخص نهایی به کمک مدل فازی شهودی طبقه بندی مناطق سیزده گانه شهر مشهد در برابر زلزله احتمالی و تخمین خسارات و میزان آسیب پذیری آن انجام شده است و در ادامه برای افزایش دقت طبقه بندی از الگوریتم بهینه سازی سیاهچاله استفاده شده است. (شکل ۱). به منظور مقایسه روش پیشنهادی را روی داده های زلزله بم اجرا کردیم که نتایج صحت طبقه بندی مناطق آسیب پذیر با سناریوهای مختلف نشان دهنده بهبود طبقه بندی مناطق آسیب دیده در مقایسه با سایر روشهای موجود است.

آنالیز پزشکی، خوشه بندی داده ها، مسئله Set SCP Covering Problem و تحقیق در عملیات زمینه هایی هستند که امروزه از الگوریتم سیاهچاله برای روشهای بهینه استفاده می کنند. ترکیب سیاهچاله و روش بهینه سازی Biogeography-based [29] Differential evolution-a [30] برای حل مساله توزیع اقتصادی در نیروگاههای بادی (مساله EDIW) در [31] استفاده شده است. در [32] از سیاهچاله به منظور شتاب دادن به خوشه بندی نرم افزار و سخت افزار استفاده شده است. برای خوشه بندی بهینه تر روش سیاهچاله با K-bisecting mean در [33] استفاده شده است. با توجه به تنوع پارامترهای این تحقیق و به منظور بهینه شدن حل مساله در این مقاله از روش سیاهچاله استفاده کردیم که نشان دهنده بهبود نتایج طبقه بندی بر روی داده هست.

#### ۴-روش پیشنهادی

##### ۴-۱-انتخاب ویژگی های موثر با استفاده از AHP فازی

از آنجا که موضوع ارزیابی و تخمین خسارت ناشی از زلزله یک فرآیند تصمیم گیری پیچیده است و عوامل متعددی روی آن موثر است. استفاده از معیارهای تصمیم گیری چند معیاره برای حل مساله می تواند مفید باشد. در این تحقیق برای تجزیه و تحلیل اطلاعات به دست آمده از پرسش نامه و وزن دهی و اولویت دهی شاخص ها و معیارها روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی مورد استفاده قرار گرفت. در این روش ویژگی های اولیه بر اساس نظرات افرادخبره در حوزه زلزله در قالب ماتریس تصمیم گیری جمع آوری می شود (در واقع بر اساس نظر افراد خبره از بین دهها شاخص موثر در آسیب پذیری مناطق در برابر زلزله نهایتاً ۱۵ مورد پیشنهاد می شود). این شاخصها در مرحله اول شامل مواردی همچون:



شکل ۱- بلوک دیاگرام روش پیشنهادی



متخصص و خیره بیان شد. در طبقه بندی کلی تر این شاخصها در چهار گروه اصلی و ۱۵ زیر شاخص دسته بندی شدند. در شکل (۲) هدف، حوزه های اصلی و شاخص های مربوط به این مقاله را برای طبقه بندی مناطق آسیب پذیر در برابر زلزله مشاهده می کنید.

ساختمانها، تراکم جمعیت، میزان آسیب پذیر بودن، تراکم جنسیتی و جمعیتی، تراکم ساختمانی، کاربری زمین، دسترسی به مراکز درمانی، درجه محصوریت (نسبت عرض راه به ارتفاع ساختمانها)، شدت زلزله، فاصله تا کانون زلزله، نوع خاک، قدمت ساختمانها و تعداد طبقات ساختمانها (ارتفاع) توسط افراد

#### ۲-۴- پرسشنامه های اصلی تحقیق

در این پرسشنامه ها به منظور انجام مقایسه های زوجی از اعداد مثلثی استفاده شده است تا اهمیت نسبی یک عدد بر عنصر دیگر را در خصوصیت مورد نظر مشخص کند. در جدول (۱) به معادل کمی و عددهای متغیرهای زبانی که برای بیان میزان ترجیح یک معیار بر معیار دیگر استفاده شده می شود، اشاره شده است [41]. معادل عددی میزان ترجیح و اهمیت بین موارد قید شده در جدول فوق اعداد ۲ و ۴ و ۶ و ۸ می باشند. در پرسشنامه این تحقیق اگر از دیدگاه پاسخ دهنده عامل اول بر عامل دوم برتری داشته باشد درجه برتری را از اعداد سمت راست انتخاب می کند و در غیر اینصورت از اعداد سمت چپ.

پرسشنامه های اصلی این تحقیق با هدف محاسبه وزن و اولویت بندی عوامل تاثیر گذار در میزان آسیب پذیری مناطق شهری در برابر زلزله و بر اساس دیدگاه ۶۷ نفر کارشناسان و مدیران مرتبط در حوزه ایمنی و بحران و زلزله شناس در مشهد و برخی کلانشهرهای کشور طراحی گردیده است. (نمونه ای از پرسش نامه های طراحی شده در پیوست ۱ آمده است.

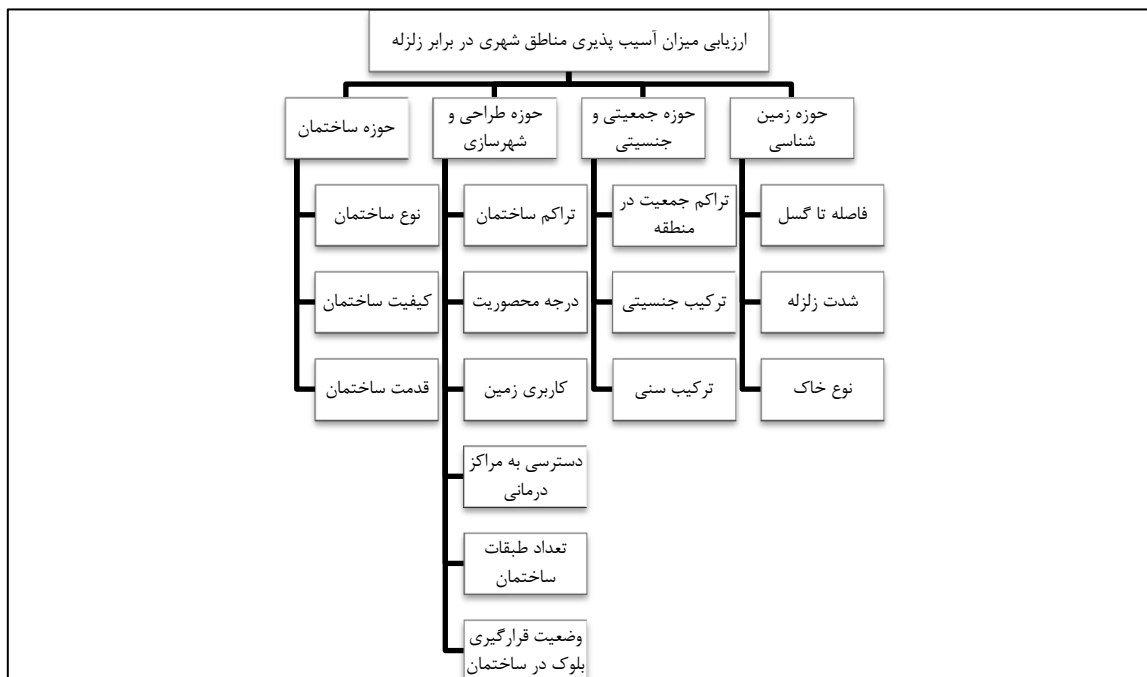
در این پرسشنامه ها به منظور تعیین اولویت معیارها بین آنها مقایسه ی دودویی صورت می پذیرد. پرسشنامه های تحقیق به منظور مقایسه دو به دوی عناصر بر اساس مقایسه ۹ تایی و بر مبنای روش تحلیل سلسله مراتبی فازی طراحی گردیده است.

#### جدول ۱ - معادل عددی متغیرهای زبانی در مقایسه های زوجی

Preference	معادل عددی	متغیرهای زبانی
Extremely Preferred	۹	کاملاً مرجح یا کاملاً مهمتر
Very Strongly Preferred	۷	خیلی مرجح یا خیلی مهمتر
Strongly Preferred	۵	مرجح یا مهمتر
Moderately Preferred	۳	ترجیح متوسط یا به طور متوسط مهمتر
Equally Preferred	۱	ترجیح یکسان یا اهمیت یکسان

سمت راست مقیاس، عدد فازی مثلثی (۷ و ۸ و ۹) خواهد بود. در صورتی که پاسخ دهنده عددی از سمت چپ مقیاس را انتخاب نماید، معادل آن یک عدد فازی مثلثی معکوس است. برای نمونه معادل عدد ۸ از سمت چپ مقیاس به کار رفته در پرسشنامه های تحقیق، به شکل عدد فازی مثلثی معکوس (۱/۷ و ۱/۸ و ۱/۹) خواهد بود.

انجام تجزیه و تحلیل داده ها با الگوریتمهای فازی مستلزم آن است که مقادیر بدست آمده از پرسشنامه های تحقیق، به اعداد فازی مثلثی تبدیل شوند. فازی سازی این مقادیر به این صورت انجام میگیرد، که اگر پاسخ دهنده عددی از سمت راست جداول مقایسه ای در پرسشنامه را انتخاب نماید، معادل فازی آن یک عدد مثلثی معکوس است. برای نمونه معادل عدد ۸ از



شکل ۲- شاخصهای اولیه جهت ارزیابی میزان آسیب پذیری مناطق شهری در برابر زلزله

جدول شماره ۲- نحوه ی فازی سازی پرسشنامه نمونه

مقایسه دو به دو معیارهای حوزه جمعیتی و جنسیتی																			معادل فازی			
۷	۸	۹	ترکیب سنی	۱	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	جمعیت منطقه
۲	۳	۴	ترکیب جنسیتی	۱	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	جمعیت منطقه
۰.۵	۱	۲	ترکیب جنسیتی	۱	۹	۸	۷	۶	۵	۴	۳	۲	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	ترکیب سنی

پس از این مرحله و بر اساس اعداد فازی مثلثی بدست آمده ماتریس مقایسه ای زوجی تشکیل می دهیم. این ماتریس برای داده های مربوط به جدول ۲ بر اساس شبه کد ۱ (پیوست ۲) محاسبه و در جدول ۳ نمایش داده شده است.

محاسبه مقادیر توسعه فازی مصنوعی با رابطه (۹) انجام می شود. و برای این منظور انجام محاسبات بر اساس روابط زیر صورت می گیرد

جدول ۳-مقایسه های زوجی اعداد فازی مربوط به پرسشنامه های نمونه

معیارها	جمعیت منطقه	ترکیب سنی	ترکیب جنسیتی
جمعیت منطقه	۱	۱	۱
ترکیب سنی	۰.۱۱۱	۰.۱۲۵	۰.۱۴۲
ترکیب جنسیتی	۰.۲۵	۰.۳۳	۰.۵

$$V(\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1) = hgt(\tilde{M}_1 \cap \tilde{M}_2) = \mu_{M_2}(d) = \begin{cases} 1 & m_2 \geq m_1 \\ 0 & l_1 \geq u_2 \\ \frac{l_1 - u_2}{(m_2 - u_2) - (m_1 - l_1)} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

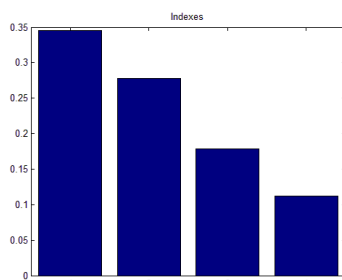
در گام نهایی بر اساس رابطه ۱۳ نرمال سازی انجام شده و طبق رابطه زیر:

$$W = (d(A_1), d(A_2), \dots, d(A_n))^T \quad (13)$$

مقادیر وزن نرمال شده به دست می آید. نتایج بدست آمده در خصوص داده های پرسش نامه نمونه در جدول ۶ آمده است. نحوه انجام محاسبات برای تمامی داده های استخراج شده از پرسشنامه های تحقیق، بر اساس فریند تحلیل سلسله مراتبی فازی و بر پایه الگوریتم تحلیل توسعه ای چانگ، مشابه محاسباتی است که بر روی داده های پرسشنامه نمونه انجام شد. با انجام تجزیه و تحلیل داده های بدست آمده از اولین جدول مقایسه های زوجی پرسشنامه های تحقیق، تلفیق نتایج بدست آمده از تمامی پرسشنامه ها و نرمال سازی آنها، وزن نسبی حوزه های اصلی تعیین و نتایج بدست آمده در جدول ۷ مشخص شده است.

جدول ۷- وزن نسبی بدست آمده برای حوزه های اصلی

معیارها	U	M	L
جمعیت منطقه	۲۲	۲۰	۱۷,۵
ترکیب سنی	۱,۹۲	۱,۸۱	۱,۶۳
ترکیب جنسیتی	۱۷,۵	۱۳,۳۳	۱۱,۲۵
مجموع	۴۱,۴۲	۳۵,۱۴	۳۰,۳۸
معکوس	۰,۰۲۴۱	۰,۰۲۸۴	۰,۰۳۲۹



شکل ۳- وزن نسبی بدست آمده برای حوزه ۴

$$\sum_{j=1}^m M_{gi}^j [\sum_{j=1}^m l_i \sum_{j=1}^m m_i \sum_{j=1}^m u_i] \quad (9)$$

$$[\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gj}^j]^{-1} = \left[ \frac{1}{\sum_{i=1}^n u_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n m_i}, \frac{1}{\sum_{i=1}^n l_i} \right] \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [\sum_{i=1}^n l_i, \sum_{i=1}^n m_i, \sum_{i=1}^n u_i] \quad (11)$$

جدول ۴- محاسبه پارامتر توسعه فازی مربوط به پرسشنامه

معیارها	وزن
جمعیت منطقه	۰,۴۰۲۳
ترکیب سنی	۰
ترکیب جنسیتی	۰

در ادامه با شبه کد ۲ (پیوست) داده های استخراج شده از پرسش نامه نمونه پارامترهای توسعه مصنوعی فازی مربوط به پرسش نامه نمونه (مرحله اول و دوم) را محاسبه کردیم:

جدول ۵ محاسبه پارامتر توسعه مصنوعی فازی مربوط به

	L	M	U	
جمعیت منطقه	S1	۰,۳۲۸۸	۰,۳۵۶	۰,۳۹۲۱
ترکیب سنی	S2	۰,۰۲۷۷	0.0293	۰,۰۳۲
ترکیب جنسیتی	S3	۰,۰۲۱۳	۰,۰۲۴۳	۰,۰۲۹۷۸

برای محاسبه پارامترهای توسعه مصنوعی فازی مربوط به پرسش نامه نمونه (مرحله سوم) از شبه کد ۲ (پیوست) استفاده کردیم و نتایج به شرح زیر است:

جدول ۶- وزن نسبی بدست آمده برای داده های پرسشنامه

ردیف	حوزه های اصلی	وزن نسبی
۱	حوزه شهرسازی	۰,۳۴۵
۲	حوزه زمین شناسی	۰,۲۷۸
۳	حوزه جمعیت و جنسیت	۰,۱۷۹
۴	حوزه ساختمان	۰,۱۱۲

پس از محاسبه  $S_i$  ها درجه بزرگی آنها را نسبت به هم و بر اساس روابط (۱۲) بدست آوردیم.

$$S_i = \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \otimes \left[ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m M_{gi}^j \right]^{-1}$$

$$V(\tilde{M}_2 \geq \tilde{M}_1) = Sup[\min(\mu_{M_1}(x), \mu_{M_2}(y))]$$

۳-۴- طبقه بندی مناطق آسیب پذیر در برابر زلزله با استفاده از روش

فازی شهودی بهبود یافته با سیاهچاله BH-IFCM

روش پیشنهادی در این مقاله در واقع بهینه سازی روش طبقه بندی فازی شهودی با استفاده از الگوریتم سیاهچاله می باشد که ما آن را به اختصار BH-IFCM می نامیم . برای استفاده از الگوریتم سیاهچاله نیاز به تعریف نیاز به تعریف یک تابع هزینه به صورت پارامتری داریم . تابع هزینه مورد استفاده در این مقاله به صورت شبه کد زیر تعریف شده است :

$$E = Cost(m, \alpha)$$

$$\overline{Label} = IFCM(Data, m, \alpha);$$

$$E = 1 - Accuracy(Label, \overline{Label});$$

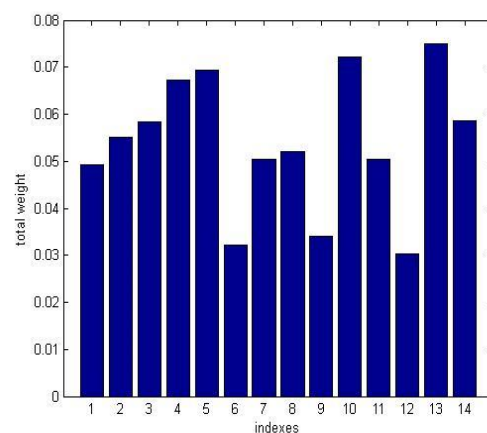
end

تابع هزینه فوق دو پارامتر  $\alpha$  و  $m$  را از ورودی گرفته و با جایگذاری این دو پارامتر در الگوریتم IFCM داده ها را خوشه بندی می کند . و در نهایت با توجه به برجسب حقیقی داده ها و برجسب تخمین زده شده ، صحت خوشه بندی محاسبه شده و خطا (هزینه) مورد نظر به صورت  $1 - Accuracy$  تعریف می شود . به این ترتیب هرچقدر صحت (که عددی بین ۰ و ۱ است ) بالاتر رود خطای این تابع کمتر خواهد شد . این تابع در اختیار سیاهچاله قرار می گیرد . الگوریتم سیاهچاله در تکرارهای مختلف در نهایت دو پارامتر  $a, m$  را به نحوی تنظیم می کند که تابع هزینه (خطای خوشه بندی) حداقل شود . با توجه به عملگرهای به کار رفته در الگوریتم سیاهچاله انتظار می رود که مینیمم حاصل شده تا حد زیادی به مینیمم سراسری تابع خطا نزدیک باشد .

#### ۵- نتایج شبیه سازی شده و تحلیل آن

داده های مورد استفاده در این مقاله به دو بخش تقسیم می شود . در بخش اول داده های مربوط به مناطق سیزده گانه شهرداری مشهد مورد استفاده قرار گرفته است . این داده ها که بر اساس شاخصهای ۶ گانه بدست آمده برای ارزیابی میزان

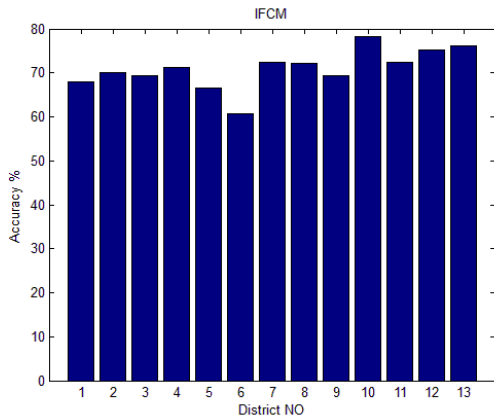
پس از محاسبه وزن نسبی حوزه های اصلی معیارهای زیرمجموعه هر حوزه، در فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی، وزن نهایی) ارزش وزنی (معیارها با لحاظ نمودن وزن نسبی معیارها در هر حوزه و وزن نسبی حوزه های اصلی محاسبه میشود. این امر با استفاده از میانگین موزون و تلفیق وزن نسبی معیارها و وزن نسبی حوزه های اصلی بدست می آید. وزن نهایی محاسبه شده برای 15 شاخص موثر در پهنه بندی شهر مشهد در برابر زلزله به صورت شکل ۴ (جدول ۸) است.



شکل ۴- وزن نهایی محاسبه شده برای شاخص های موثر در طبقه بندی

جدول ۸- وزن نهایی محاسبه شده برای شاخص های موثر

ویژگی مورد نظر	وزن نهایی محاسبه شده
نوع ساختمان	0.04932
کیفیت ساختمان	0.055131
قدمت ساختمان	0.05832
تراکم ساختمان	0.06732
درجه محصوریت	0.069451
کاربری زمین	0.03213
دسترسی به مراکز درمانی	0.05051
تعداد طبقات ساختمان	0.05212
وضعیت قرارگیری ساختمان در بلوک	0.0341
تراکم جمعیت	0.072112
ترکیب جنسیت	0.050415
ترکیب سنی	0.030181
فاصله تا گسل	0.074905
شدت زلزله	0
نوع خاک	0.058491



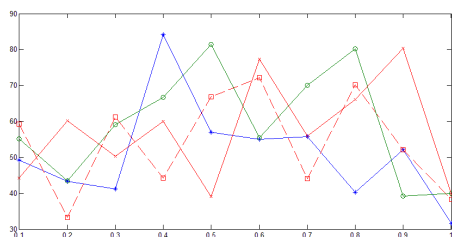
شکل ۶- پیاده سازی روش IFCM

#### ۳-۵: طبقه بندی IFCM بدون بهینه سازی پارامترها

در این سناریو پارامترهای روش خوشه بندی IFCM ثابت هستند. در اینجا مقادیر  $\alpha$ ,  $m$  به ترتیب 0.5, 2 در نظر گرفته شده است. صحت کل این خوشه بندی ۷۰,۹۳ درصد حاصل شده است.

#### ۴-۵: تاثیر پارامترهای IFCM بعد از بهینه سازی در طبقه بندی:

در این سناریو هدف بررسی دو پارامتر  $\alpha$ ,  $m$  است بر نتیجه ی خوشه بندی. برای این منظور مقدار پارامتر  $m$  از ۱ شروع شده و با گام یک واحد تا ۴ افزایش داده می شود. در هر گام از تغییر  $m$  پارامتر  $\alpha$  نیز از مقدار 0.1 شروع شده و با گام هایی به طول 0.1 تا ۱ افزایش می یابد. در هر حالت صحت کل خوشه بندی محاسبه می شود تا مقایسه ای صورت گیرد. شکل ۷ نحوه تاثیر پارامترهای  $m$  و  $\alpha$  را در خوشه بندی نشان می دهد.



آسیب پذیری مشهد می باد شامل ۵۰۰۰ رکورد است که از این داده ها برای سنجش کمی کیفیت طبقه بندی الگوریتم BH-IFCM استفاده می کنیم. در بخش دوم نیز الگوریتم پیشنهادی را با داده های زلزله بیم اجرا و با چند روش شناخته شده مقایسه می نماییم.

#### ۵-۱- معیارهای کمی سنجش طبقه بندی

به منظور سنجش کمی کیفیت طبقه بندی در این مقاله از معیار Accuracy استفاده کردیم. این معیار برای کلیه داده ها محاسبه می شود و به صورت رابطه زیر محاسبه می شود:

$$ACC = \frac{TP + TN}{P + N}$$

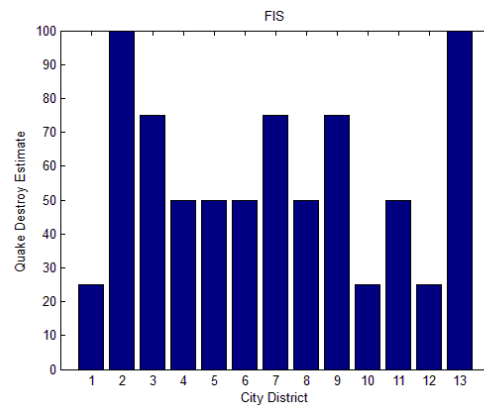
که در آن، TP نشان دهنده مثبت صحیح و TN نشان دهنده منفی صحیح است و P و N به صورت زیر محاسبه می شوند.

$$N = FP + TN \quad \text{و} \quad P = TP + FN$$

در روابط فوق نیز FP نشان دهنده مثبت کاذب و FN نشان دهنده منفی کاذب است.

#### ۵-۲: طبقه بندی FCM

نتایج پیاده سازی روش FCM در نمودار زیر مشخص شده است. صحت طبقه بندی ۷۹,۳۳ درصد می باشد.



شکل ۵- پیاده سازی روش FCM

0.1 3,78

مقدار کل صحت خوشه بندی در این روش ۹۷,۳۴ درصد است که بهبود قابل ملاحظه ای است.

#### ۵-۵- مقایسه روشها

در سناریوی چهارم روش پیشنهادی در این مقاله را با چند روش دیگر یعنی روشهای PSO-IFCM GWO-IFCM روش دیگر مقایسه کردیم که نتایج در جدول ۱۱ مشخص می باشد.

جدول شماره ۱۱ - مقایسه روشها روی داده های شهر

نام روش	درصد صحت طبقه بندی
FCM	۷۹,۳۳
IFCM	۷۰,۹۳
PSO-IFCM	۹۰,۶۱
GWO-IFCM	۹۵,۶۷
BH-IFCM	۹۷,۳۴

۵-۵-۱- بحث

- بهترین نتیجه در صحت طبقه بندی اطلاعات در روش BH-IFCM به دست آمده است .
- CM و IFCM نتایج مناسبی را بر روی داده های فوق نشان ندادند و می توان نتیجه گرفت برای داده های با عدم قطعیت روش مناسبی نمی باشند.
- ترکیب IFCM با متدهای PSO و GWO باعث بهبود نتایج می شود .

۵-۶: تست روش روی داده های زلزله بم :

در این سناریو روش BH-IFCM را بر روی داده های زلزله بم تست کرده و آن را با چند روش مطرح دیگر مقایسه کرده ایم :

جدول شماره ۱۲- مقایسه روشها روی داده های شهر بم

روش	دقت صحت کلی
چینی و همکاران	٪۳۹
گوسلاو و همکاران	٪۷۰
تیموری و همکاران	٪۸۰

شکل ۷- تاثیر پارامترهای مدل در خوشه بندی

همانگونه که در این شکل مشخص است تغییر این دو پارامتر تاثیر زیادی بر نتیجه خوشه بندی دارد . بنا براین بهینه سازی این دو پارامتر برای دستیابی به بهترین نتیجه خوشه بندی ضروری است .

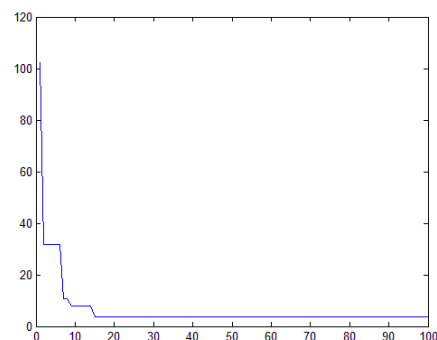
#### ۵-۴ - استفاده از سیاهچاله برای بهبود پارامترها: IFCM

در این سناریو از الگوریتم سیاهچاله برای یافتن پارامترهای بهینه IFCM استفاده شده است . در روش سیاهچاله از پارامترهای جدول ۹ استفاده می کنیم :

#### جدول شماره ۹ - پارامترهای الگوریتم سیاهچاله

تعداد گامهای الگوریتم	$W_{min}$	$W_{max}$	تعداد عملهای جستجو	بازه تغییرات $\alpha$	بازه تغییرات $m$
۱۰۰	۰,۹	۲	۳۰	[0.1,5]	[0.1,10]

در این پیاده سازی تابع برازندگی خطای طبقه بندی در نظر گرفته شده است . نحوه ی کاهش هزینه در این سناریو در شکل زیر مشخص شده است .



شکل ۸- تابع برازندگی IFCM

پارامترهای بهینه نیز در جدول ۱۰ آمده است :

#### جدول ۱۰- پارامترهای IFCM

$\alpha$	$m$
----------	-----

نشاندهنده بهینه ترین حالت ممکن می باشد. استفاده از الگوریتم سیاهچاله نیز در بهینه شدن پارامترهای فازی شهودی بسیار موثر بود. به وضوح می توان از نتایج طبقه بندی و ارزیابی مناطق آسیب پذیر و بر اساس اولیوی که بر اساس شاخصهای احصا شده به دست آمد در توزیع منابع، نیروهای امدادی و سایر موارد مورد نیاز در زمان وقوع یک بحران استفاده کرد. برای توسعه این ابزار و به عنوان پیشنهادات آتی می توان توزیع هوشمند منابع و نیروها را بر اساس ارزیابی مناطق آسیب پذیر که در این تحقیق ارائه شد انجام داد. به عبارت دیگر بر اساس تقاضاهای موجود در زمان وقوع یک بحران و مبتنی بر ارزیابی صورت گرفته در این تحقیق اولویت ارسال منابع و نیروها تعیین شود. بهینه سازی مدل فازی شهودی با سایر الگوریتم های بهینه سازی مثل گرگ خاکستری، الگوریتم وال و سایر روشها نیز می تواند به عنوان راهکاری برای تحقیقات بعدی مورد توجه قرار گیرد.

نیکنام	٪۷۳
صمدزادگان و راستی و بیسی	۷۴
راستی و بیسی و همکاران	۹۰
جانعلی پور و همکاران	۸۹٫۶۲
جانعلی پور و همکاران	۹۰٫۹۶
<b>HCIWBH-IFCM</b>	<b>٪۹۶٫۷۳</b>

## ۶- نتیجه گیری و پیشنهاد برای تحقیقات آینده

در این تحقیق از روش جدیدی بنام مدل فازی شهودی بهبود یافته با الگوریتم سیاهچاله برای طبقه بندی مناطق آسیب پذیر در برابر زلزله استفاده کردیم. با توجه به اطلاعات غیر قطعی و غیردقیق در زمان وقوع زلزله کارایی مدل فازی شهودی در این تحقیق کاملا مشهود بود. صحت طبقه بندی اطلاعات بر روی داده های مناطق سیزده گانه مشهد و همچنین داده های موجود زلزله بم

## مراجع

- Afshar, A. a. (2012). Modeling integrated supply chain logistics in real-time large-scale disaster relief operations. *Socio-Economic Planning Sciences*, 327-338.
- Ahadnezhad, M. (2009). *Modeling the vulnerability of cities to earthquakes (Case Study:Zanjan City)*. Tehran University.
- Alipour, M. ., (2017). Building change detection after earthquake using multi-criteria decision analysis based on extracted information from high spatial resolution satellite images. *International Journal of Remote Sensing*, 82-99.
- Alipour.M, M. (2017). A Fuzzy-GA Based Decision Making System for Detecting Damaged Buildings from High-Spatial Resolution Optical Images.
- Andalibi, A. Z. (2009). A Fuzzy Expert System For Earthquake Prediction , Case Study :The Zagros Range. *3rd International Conference on Modeling, Simulation and Applied Optimization*.



- Barbarosoglu, G. a. (2004). A two-stage stochastic programming framework for transportation planning in disaster response. *Journal of the Operational Research Society*, 43-53.
- Ben-Tal, A. C. (2007). Robust optimization for emergency logistics planning: risk mitigation in humanitarian relief supply chains. *Transportation Research Part B:Methodological*, 1177-1189.
- Boughton, G. (1998). The community: central to emergency risk management. *Australian Journal of Emergency Management*.
- C.-W. Tsai, C.-H. H.-C. (2015). Parallel black hole clustering based on MapReduce. *IEEE International Conference on the Systems and Cybernetics (SMC)*.
- CH, J. a. (1986). Fuzzy Logic For Estimation Intensity Based on Building Damage. *Civil Engineering system journal*, 187-191.
- Chaira, T. (2011). A Novel Intuitionistic Fuzzy C- means Clustering Algorithm and its Application to Medical Images. *Applied Soft Computing*, 1711-1717.
- El-Hawary, Z. H. (2016). Economic dispatch incorporating wind energy by BH, BBO and DE. *IEEE Canadian Conference on the Electrical and Computer Engineering (CCECE)*.
- F. Samadzadegan, M. k. (2008). Extraction of damage buildings due to earthquake from high resolution imagery using texture analysis .
- Falasca, M. (2009). *Quantitative decision models for humanitarian logistics*. Virginia: Ph.D. dissertation, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, VA.
- Falasca, M. Z. (2009). An optimization model for humanitarian relief volunteer management. *6th International ISCRAM Conference*. Gothenburg.
- Farajzadeh, M. a. (2011). Assessing the Vulnerability of Urban Housing Against Earthquakes (Case study of District 9 of Tehran Municipality ). *Urban Studies and Research in the Region* , 19-36.
- Ford, J. (2002). *Vulnerability: Concepts and issues; A literature Review of the Concept of Vulnerability, its Definition and Application in Studies Dealing With Human- Environment Interactions*. University of Guelph.
- Hatamlou, A. (2013). Black hole: A new heuristic optimization approach for data clustering. *Information sciences*, 175-184.
- Janalipour, M. M. (2012). Determining the rate of destruction of buildings after the earthquake by using Anfis and GIS. *GIS Journal* , 79-91.
- Kristianto, Y. G. (2014). A model of resilient supply chain network design: a two-stage programming with fuzzy shortest path. *Expert Systems with Applications*, 39-49.
- L. Gusella, C. K. (2005). Damage assessment with very-high resolution optical Imagery . Bam.
- M. Chini, C. B. (2008). Quickbird Panchromatic Images for Mapping Damage at Building Scale Caused by the 2003 Bam Earthquake. *IGARSS- IEEE International*, (pp. 1029-1031).





- M. Eskandarzadehalamdary, B. M. (2014). A new hybrid algorithm based on black hole optimization and bisecting k-means for cluster analysis. *22nd Iranian Conference on the Electrical Engineering (ICEE)*.
- M. Teimouri, M. D. (2008). A SDSS-based earthquake damage earthquake. *3rd International Workshop on Remote Sensing for Post-Disaster Response*. Chiba, Japan.
- Mahdavi Adeli, M. a. (2011). Analysis and Assessment of Earthquake risk in different areas of the holy city of Mashhad. *3rd Conference on Urban Planning and Management*. Mashhad.
- MousaPour, S. (2013). Assess the vulnerability of buildings Using Fuzzy AHP and GIS(Case Study: Zone 3, Tehran City). 121-138.
- Nakabayashi, I. (1993). Urban Planning based on Disaster risk assessment . in Disaster management in metropolitan areas for the 21 st century. (pp. 1-4). Aichi/Nagoya: proceeding of the IDNDR International Conference.
- Negaresh, H. (n.d.). Application of Geomorphology in the Location of Cities and their Consequences. 134-150.
- Niknam, A. (2013). *A Fuzzy System Design for Building Damage Assessment after Earthquake Using Remote Sensing Data(in Persian. assessment for emergency response:case study in Bam*. K.N. Toosi University of technology.
- R. Storn, a. K. (1997). Differential Evolution—a simple and efficient heuristic for global optimization over continuous spaces. *Journal of global optimization*, 341-350.
- Ranjbar, M. a. (2005). Provide a Model Database For Locating Earthquake-Affected Populations ., (pp. 86-88). 1st conference on Natural Hazard.
- Rastiveisi, H. (2007). *Determination of Earthquake Destruction of Building, Using High Resolution Satellite Imagery* . university of Tehran.
- Rath, S. a. (2014). A math-heuristic for the warehouse location–routing problem in disaster relief. *Computers and Operations Research*, 25-39.
- S, S. (2000). *The human dimensions of climate change: The political ecology of vulnerability*.
- Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting. *Resource Allocation*.
- Sheia, E. (2010). Investigating The Vulnerability Of Cities to Earthquakes Using AHP. *4rd International Conference of Geographers of the Islamic world*.
- Sheu, J. B. (2005). A novel model for quick response to disaster relief distribution. *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, 2454-2462.
- Sheu, J. B. (2007). Challenges of emergency logistics management. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation*, 655-659.
- Shigeru, N. a. (1993). Earthquake Damage Estimation and decision analysis for emergency shut off of city gas network using fuzzy set theory. *Structural Safety*, 1-19.
- Simon, D. (2008). Biogeography-based optimization. *IEEE transactions on Evolutionary Computation*, 702-711.



- Tang, A. a. (2009). An Intelligent Simulation System for Earthquake Disaster Assessment. *A Computers & Geosciences*, 871– 879.
- Weichselgartner, J. (2001). Disaster Mitigation: the concept of vulnerability revisited. *Disaster Prevention and Management*.
- Wisner, B. (2005). Tracking Vulnerability: History, Use, Potential and Limitations of a Concept, Invited Keynote Address. *Research Conference*. Stockholm: Stockholm University.
- Yamin F., R. A. (2005). *Vulnerability, Adaptation and Climate Disasters: A Conceptual overview*. IDS Institute of Development Studies Bulletin.
- Yi, W. a. (2007). Ant colony optimization for disaster relief operations. *Transportation Research*, 660-672.
- YongChang, D. (1996). Applications of the extent analysis method on fuzzy AHP. *European Journal of Operational Research* , 649-655.
- Yuan, Y. a. (2009). Path selection model and algorithm for emergency logistics management. *Computers and Industrial Engineering*, 1081-1094.
- ZangiAbadi, A. a. (2005). Assessing the Vulnerability of Urban Housing Against. *Journal of Geographical Research*, 56.





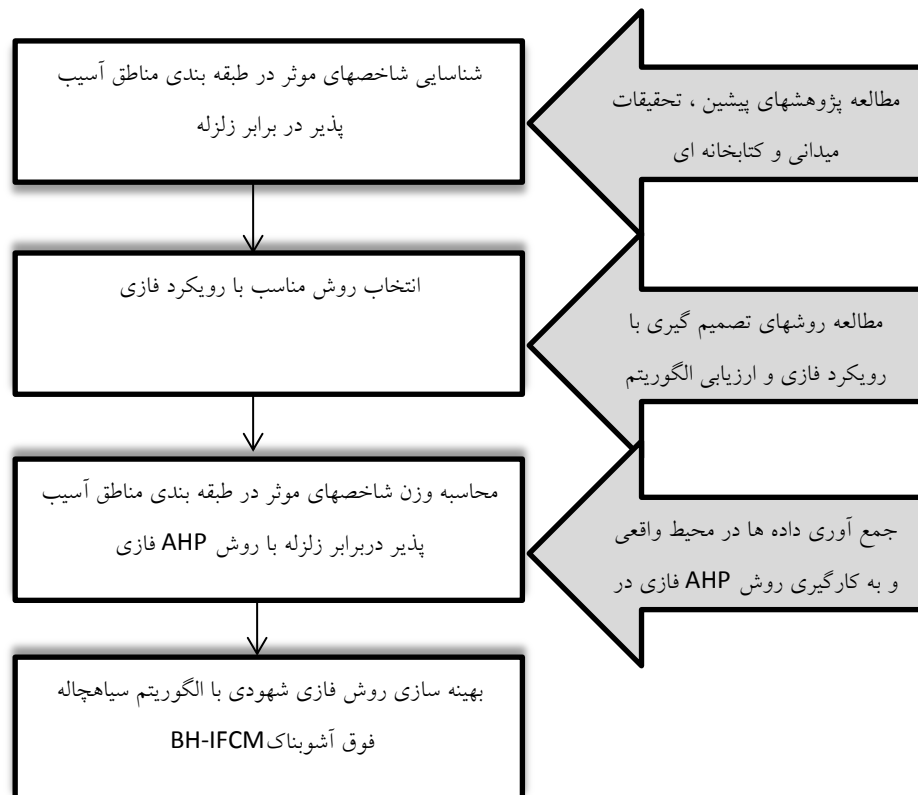


```
%valSum(1,j) = val*vec(1,j);
valSum(1,j) = (vec(1,j))*(1/val)
end
mExtendAnalysis{1,i} = valSum
end
```

۲- محاسبه پارامترهای توسعه مصنوعی فازی (مرحله سوم)

```
for i=1:m
for j=1:m
if i~=j
degreeOfPossibility(rowIndex,[1 2]) = [i j]
M1 = mExtendAnalysis{1,i}
M2 = mExtendAnalysis{1,j}
if M1(1,2) >= M2(1,2)
degreeOfPossibility(rowIndex,3) = 1
elseif M2(1,1) >= M1(1,3)
degreeOfPossibility(rowIndex,3) = 0
else
degreeOfPossibility(rowIndex,3) = (M2(1,1)-M1(1,3)) / ((M1(1,2)-M1(1,3)) - (M2(1,2)-M2(1,1)))
end
rowIndex = rowIndex + 1
end
end
```

پیوست شماره ۳: روند و مراحل الگوریتم پیشنهادی



پیوست شماره ۴: مروری بر مقالات مرتبط

ردیف	عنوان مقاله	مساله اصلی	مدل ریاضی	الگوریتم حل مساله
۱	A two-stage stochastic programming framework for transportation planning in disaster response,	حمل و نقل در بحران	برنامه نویسی خطی	روش دقیق
۲	Emergency logistics planning in natural disasters,	حمل و نقل در بحران	برنامه نویسی خطی صحیح	الگوریتم هیورستیک (لاگرانژ)
۳	A novel model for quick response to disaster relief distribution,	توزیع اقلام امدادی در بحران	برنامه نویسی خطی فازی	کلاسترینگ فازی
۴	A modeling framework for facility location of medical services for large-scale emergencies	مکان یابی بیمارستان در بحران	برنامه نویسی خطی صحیح	روش دقیق
۵	Shelter location-allocation model for flood evacuation planning	مکان یابی سوله های بحران در سیل	ترکیب برنامه نویسی غیر خطی و صحیح	روش دقیق
۶	Designing and prepositioning humanitarian assistance pack-up kits (HA PUKs) to support pacific fleet emergency relief operations	طراحی پک امداد و نجات	برنامه نویسی خطی صحیح	روش دقیق
۷	Rapid distribution of medical supplies. In: R. Hall (ed.), <i>Patient Flow: Reducing Delay in Healthcare Delivery</i>	توزیع دارو در بحران	برنامه نویسی صحیح	الگوریتم هیورستیک
۸	scenario planning approach for the flood emergency logistics preparation problem under uncertainty,	توزیع لجستیک در سیلاب	برنامه نویسی احتمالی	الگوریتم هیورستیک (تخمین میانگین نمونه)
۹	A two-stage multi-criteria stochastic programming model for location of emergency response and distribution centers	مکان یابی مرکز اضطراری	برنامه نویسی هدف	روش دقیق
۱۰	Solution approaches for facility location of medical supplies for large-scale emergencies,	مکان یابی بیمارستان در بحران	برنامه نویسی صحیح	الگوریتم هیورستیک (ژنتیک - لاگرانژ)
۱۱	Ant colony optimization for disaster relief operations	توزیع اقلام در بحران	برنامه نویسی ترکیبی صحیح	کلونی مورچگان
۱۲	A decision-making model for oil spill response at the tactical level	توزیع بنزین در بحران	ترکیب برنامه نویسی خطی و صحیح	Branch & Bound
۱۳	An emergency logistics distribution approach for quick response to urgent relief demand in disasters	توزیع لجستیک در بحران	برنامه نویسی خطی پویا	کلاسترینگ فازی
۱۴	Multi-objective optimal planning for designing relief delivery systems	سیستم بهینه توزیع اقلام در بحران	برنامه نویسی خطی فازی چندهدفه	الگوریتم هیورستیک
۱۵	A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities	توزیع لجستیک در بحران	برنامه نویسی ترکیبی صحیح	الگوریتم شبه چند جمله ای
۱۶	Facility location in humanitarian relief	مکان یابی پناهگاه در بحران	برنامه نویسی ترکیبی صحیح	روش دقیق
۱۷	Location routing approach for the humanitarian prepositioning	مکان یابی پناهگاه	برنامه نویسی احتمالی	الگوریتم کوتاهترین مسیر

		در بحران	problem	
ترکیب ژنتیک - شبکه عصبی و تپه نوردی	برنامه نویسی احتمالی	مسیریابی بهینه در بحران	Optimum transit operations during the emergency evacuations	۱۸
الگوریتم هیورستیک	برنامه نویسی ترکیبی صحیح	حمل و نقل در شرایط بحران	Optimal scheduling of emergency roadway repair and subsequent relief distribution	۱۹
ترکیب دایکسترا و کلونی مورچگان	برنامه نویسی صحیح	مسیریابی بهینه در بحران	Path selection model and algorithm for emergency logistics management	۲۰
الگوریتم هیورستیک	برنامه نویسی صحیح	توزیع لجستیک در بحران	Application of a humanitarian relief logistics model to an earthquake disaster	۲۱
منطق فازی	برنامه نویسی احتمالی	توزیع لجستیک در بحران	Quantitative decision models for humanitarian logistics	۲۲
روش دقیق	برنامه نویسی صحیح	مدیریت داوطلبان در بحران	An optimization model for humanitarian relief volunteer management	۲۳
روش دقیق	برنامه نویسی خطی	توزیع بهینه اقلام در بحران گردباد	Optimizing hurricane disaster relief goods distribution: model development and application with respect to planning strategies,	۲۴
الگوریتم هیورستیک	برنامه نویسی احتمالی	توزیع بهینه دارو در بحران	Stochastic optimization of medical supply location and distribution in disaster management	۲۵
لاگرانژ و متد L-Shape	برنامه نویسی صحیح با ترکیب احتمالی	مکان یابی پناهگاه در بحران	Pre-positioning of emergency supplies for disaster response	۲۶
Branch & Bound	برنامه نویسی صحیح با ترکیب احتمالی	مکان یابی پناهگاه در بحران	Stochastic optimization for natural disaster asset prepositioning	۲۷
روش دقیق	برنامه نویسی ترکیبی صحیح	مکان یابی پناهگاه در بحران	Pre-positioning of emergency items for care international	۲۸
الگوریتم هیورستیک	برنامه نویسی خطی	توزیع لجستیک در بحران	Robust optimization for emergency logistics planning: risk mitigation in humanitarian relief supply chains,	۲۹
کلاسترینگ هیورستیک چند سطحی	برنامه نویسی صحیح	توزیع لجستیک در بحران	A hierarchical clustering and routing procedure for large scale disaster relief logistics planning	۳۰
الگوریتم هیورستیک (دیاگرام ورورنی)	برنامه نویسی غیر خطی و ترکیب صحیح	مکان یابی پناهگاه در بحران	A Voronoi based heuristic algorithm for locating distribution centers in disasters	۳۱
الگوریتم هیورستیک	برنامه نویسی صحیح	مکان یابی پناهگاه در بحران	A study on emergency supply chain and risk based on urgent relief service in disasters	۳۲
Branch & Cut	برنامه نویسی صحیح	توزیع لجستیک در بحران	Dynamic vehicle routing with anticipation in disaster Relief	۳۳
روش دقیق	برنامه نویسی ترکیبی صحیح	توزیع لجستیک در بحران	Modeling integrated supply chain logistics in real-time large-scale disaster relief operations	۳۴
ژنتیک	برنامه نویسی خطی صحیح	مکان یابی پناهگاه در بحران	Reliable transportation of humanitarian supplies in disaster	۳۵



			response: model and heuristic,	
روش دقیق	برنامه نویسی خطی	مکان یابی پناهگاه در بحران	Stock pre-positioning model with unsatisfied relief demand constraint to support emergency response	۳۶
الگوریتم هیورستیک (تخمین میانگین نمونه)	برنامه نویسی احتمالی	مکان یابی پناهگاه در بحران	Prepositioning emergency supplies to support disaster relief: a stochastic programming approach	۳۷
روش دقیق	برنامه نویسی خطی	توزیع لجستیک در بحران	Multi objective robust optimization model for logistics planning in the earthquake response phase	۳۸
ژنتیک	برنامه نویسی خطی	مکان یابی پناهگاه در بحران	A decision support system for humanitarian network design and distribution operations	۳۹
روش دقیق	برنامه نویسی احتمالی	مکان یابی پناهگاه در بحران	Multiple location and routing models in humanitarian logistics.	۴۰
Branch & Bound	برنامه نویسی خطی صحیح	توزیع لجستیک در بحران	Military logistics planning in humanitarian relief operations	۴۱
NSGA 2	برنامه نویسی خطی	مکان یابی پناهگاه در بحران	Humanitarian logistics in the great Tohoku disasters	۴۲
p-level efficient point	برنامه نویسی احتمالی	مکان یابی پناهگاه در بحران	A secure and efficient inventory management system for disasters	۴۳
روش دقیق	برنامه نویسی ترکیبی صحیح	مکان یابی پناهگاه در بحران	Modeling facility locations for relief logistics in Indonesia.	۴۴
Branch & Cut	برنامه نویسی ترکیبی صحیح	مکان یابی پناهگاه در بحران	a tri-level programming model for disaster relief planning	۴۵
روش دقیق	برنامه نویسی ترکیبی صحیح	توزیع لجستیک در بحران	A multi-objective robust stochastic programming model for disaster relief logistics under uncertainty	۴۶
محدودیت تطبیقی اپسیلون	برنامه نویسی ترکیبی صحیح	مکان یابی پناهگاه در بحران	A math-heuristic for the warehouse location-routing problem in disaster relief	۴۷
کوتاهترین مسیر فازی	برنامه نویسی غیر خطی	مسیریابی بهینه	A model of resilient supply chain network design: a two-stage programming with fuzzy shortest path	۴۸
محدودیت تطبیقی اپسیلون	برنامه نویسی ترکیبی صحیح	مکان یابی پناهگاه در بحران	An exact solution approach for multi-objective location transportation problem for disaster response	۴۹
الگوریتم هیورستیک	برنامه نویسی صحیح	مسیریابی بهینه	Mathematical model for post-disaster road restoration: enabling accessibility and evacuation	۵۰