

مدیریت عدم قطعیت با استفاده از ریاضیات بازه‌ای و محاسبات دانه‌ای در ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای

محمود رضا دلاور^{۱*}، میلاد بهرامی^۲، مهدی زارع^۳

^۱استاد دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی - پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران
mdelavar@ut.ac.ir

^۲دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی - دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی -
پردیس دانشکده‌های فنی - دانشگاه تهران
m.bahrami70@ut.ac.ir

^۳استاد گروه زلزله شناسی مهندسی - پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله
mzare@iiees.ac.ir

(تاریخ دریافت فروردین ۱۳۹۶، تاریخ تصویب تیر ۱۳۹۶)

چکیده

زلزله یکی از مخرب‌ترین بلاهای طبیعی در مناطق شهری به حساب می‌آید و به دنبال آن آسیب‌پذیری فیزیکی و انسانی را به همراه خواهد داشت. یک روش برای کمک به کاهش آسیب‌پذیری، تهیه نقشه آسیب‌پذیری لرزه‌ای است. با توجه به اینکه میزان آسیب‌پذیری هر منطقه به معیارهای متعددی از جمله شدت زمین‌لرزه، شیب زمین، تعداد طبقات و قدمت ساختمان وابسته می‌باشد، ارزیابی آسیب‌پذیری فیزیکی یک مسئله تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد. از جمله مهم‌ترین منابع عدم قطعیت در تعیین میزان آسیب‌پذیری هر حوزه آماری، عدم قطعیت مربوط به نظرات کارشناسان می‌باشد. اگر عدم قطعیت به درستی مدیریت نشود، نقشه آسیب‌پذیری لرزه‌ای قابل اطمینان نخواهد بود. هدف اصلی این مقاله مدیریت عدم قطعیت موجود در مسئله آسیب‌پذیری لرزه‌ای با استفاده از ریاضیات بازه‌ای، الگوریتم ژنتیک و محاسبات دانه‌ای می‌باشد. در این مدل برای کاهش عدم قطعیت موجود در کلاس تصمیم‌گیری مرتبط با نظرات کارشناسان، از دو روش استفاده شده است. یک روش استفاده از نظرات چندین کارشناس در حوزه‌های مرتبط و دیگری از ریاضیات بازه‌ای که یک راهکار مناسب جهت مدیریت عدم قطعیت ناشی از عوامل انسانی در مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد و با توجه به دانش محدود کارشناسان، نظرات آن‌ها دقیق نمی‌باشد. بنابراین در این تحقیق نظرات کارشناسان با استفاده از محاسبات بازه‌ای ارائه می‌شوند. برای رفع ناسازگاری بین نظرات کارشناسان از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است تا یک مقدار قابل اطمینان برای کلاس تصمیم‌گیری درجه آسیب‌پذیری حوزه‌های آماری حاصل شود. از محاسبات دانه‌ای به همراه یک جدول اطلاعات، یک مجموعه قوانین با حداقل ناسازگاری استخراج می‌شود. برای بررسی دقت مدل از شاخص کاپا استفاده شده است. در پایان نقشه آسیب‌پذیری فیزیکی شهر تهران با دقت ۷۶٪ تهیه شده است.

واژگان کلیدی: عدم قطعیت، ریاضیات بازه‌ای، محاسبات دانه‌ای، الگوریتم ژنتیک، ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای فیزیکی

۱- مقدمه

زمین‌لرزه از جمله حوادث غیرمترقبه است که کشورهایی را که بر روی کمربند فعال لرزه‌خیزی قرار گرفته‌اند با خسارت‌های مالی و جانی بسیاری مواجهه می‌کند. کشور ایران نیز از جمله کشورهایی است که بر روی کمربند فعال لرزه‌خیزی قرار گرفته است. تاکنون پیش‌بینی دقیق مکان، زمان، شدت و برآورد دقیق میزان تخریب محتمل ناشی از زلزله امکان‌پذیر نبوده است [۱،۲۸]. کلان شهر تهران نیز نه تنها از خطر زلزله ایمن نیست، بلکه سال‌هاست که در انتظار زلزله‌ای ویرانگر با قدرت بالای ۷ ریشتر به سر می‌برد. بر اساس مطالعات آماری و زلزله‌هایی که پیش از این در ناحیه تهران و ری ثبت شده است به طور متوسط هر ۱۵۰ سال زلزله‌ای ویرانگر در حدود ۶ ریشتر، در این ناحیه رخ داده است. عامل اصلی وقوع زلزله در تهران وجود گسل‌هایی مانند شمال تهران، مشاء، کهریزک و ری در این منطقه است [۲۹].

در همین راستا یک روش برای کمک به کاهش آسیب‌پذیری ناشی از زلزله، تهیه نقشه آسیب‌پذیری لرزه‌ای فیزیکی می‌باشد. با توجه به اینکه میزان آسیب‌پذیری هر منطقه به معیارهای متعددی از جمله قدمت، تعداد طبقات ساختمان، شدت زمین‌لرزه و شیب زمین وابسته می‌باشد، ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای فیزیکی یک مسئله تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد [۳۰]. این مسئله با عدم قطعیت‌هایی همراه خواهد بود که مدیریت آن از اهمیت به سزایی برخوردار است. از جمله مهم‌ترین منابع عدم قطعیت در تعیین میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای هر حوزه آماری، عدم قطعیت مربوط به نظرات کارشناسان می‌باشد. تاکنون پژوهش‌های فراوانی در مدیریت بحران سوانح طبیعی به خصوص زمین‌لرزه صورت گرفته است. راشد و ویکنز با رویکرد تحلیلی مکان مبنا روشی برای اندازه‌گیری آسیب‌پذیری شهری ناشی از زمین‌لرزه تحت شرایط عدم قطعیت برای شهر لس‌آنجلس ارائه نمود. جهت ارائه این روش از تحلیل‌های چند معیاره مکانی و منطق فازی استفاده نموده است. با استفاده از منطق فازی، عدم قطعیت و ابهام ذاتی در مدل را مدیریت نمود و از تحلیل‌های مکانی چند معیاره به عنوان فرایندی جهت تلفیق داده‌های مکانی و محاسبه درجه آسیب‌پذیری

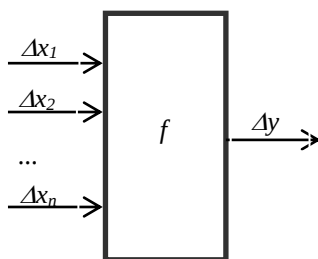
لرزه‌ای استفاده نمود [۲]. پروژه ریز پهنه‌بندی لرزه‌ای تهران در فاصله زمانی ۱۳۷۸ تا ۱۳۷۹ توسط مرکز مطالعات زلزله و زیست محیطی تهران بزرگ و آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن (جایکا) در تهران انجام شد. در این پروژه شرایط اجتماعی و فیزیکی منطقه مورد مطالعه، مورد بررسی قرار گرفته و تحلیل خسارت ناشی از زلزله بر اساس توان بالقوه زلزله‌های بزرگ صورت گرفته است [۳]. آقاپاھر آسیب‌پذیری انسانی شهر تهران را با استفاده از منطق فازی^۱ و تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی^۲ بررسی نموده است [۳۱،۲۶]. سیلاوی برای مدیریت عدم قطعیت در مسئله تعیین آسیب‌پذیری لرزه‌ای از تئوری فازی شهودی^۳ استفاده نموده است [۳۲،۲۵]. امیری با استفاده از تئوری مجموعه‌های زیر^۴ و تئوری شهود، عدم قطعیت موجود در مسئله تعیین آسیب‌پذیری لرزه‌ای فیزیکی و انسانی شهر تهران را مورد بررسی قرار داد [۳۳،۲۴]. هاشمی و آل‌شیخ از یک روش GIS مبنا برای بررسی ارزیابی خطر زمین‌لرزه بر مبنای فعال‌شدن گسل مشاء استفاده نمودند [۴]. علی‌نیا از محاسبات دانه‌ای برای تعیین آسیب‌پذیری لرزه‌ای فیزیکی شهر تهران استفاده کرده است [۲۱،۲۹]. مشکینی و همکاران از یک سیستم استنتاج فازی برای مدیریت عدم قطعیت استفاده نمودند و آن‌ها از این مدل برای بررسی آسیب‌پذیری لرزه‌ای بافت فرسوده شهر زنجان استفاده نمودند [۵]. مرادی، ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای فیزیکی شهر تهران را با استفاده از عملگرهای انتگرال فازی مورد بررسی قرار داد [۲۸]. پژوهش‌های فوق جنبه‌های مختلف عدم قطعیت را مدل نمودند. در این مقاله برای مدیریت عدم قطعیت از ریاضیات بازه‌ای و محاسبات دانه‌ای استفاده شده است. به گونه‌ای که میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای فیزیکی هر حوزه آماری به صورت بازه حاصل خواهد شد و در نتیجه می‌توان انتظار داشت که درجه آسیب‌پذیری لرزه‌ای فیزیکی هر حوزه در داخل این بازه قرار می‌گیرد. دلیل بدست آمدن درجه آسیب‌پذیری به صورت بازه، لحاظ نمودن محدوده برای نظر کارشناسان با استفاده از محاسبات بازه‌ای می‌باشد. هدف اصلی این مقاله تلفیق

^۱ Fuzzy Logic
^۲ Analytical Hierarchy Process
^۳ Intuitionistic Fuzzy Sets
^۴ Rough Sets Theory
^۵ Dempster-Shafer Theory

شود، می‌توان ضمانت نمود که مقدار واقعی کمیت متعلق به دانه زیر می‌باشد [۷]:

$$x_i \stackrel{\text{def}}{=} [\tilde{x}_i - \Delta i, \tilde{x}_i + \Delta i]$$

عدم قطعیت موجود در مقادیر ورودی مدل منجر به عدم قطعیت در نتایج پردازش داده‌ها خواهد گردید. بدین ترتیب عدم قطعیت Δy به دلیل عدم قطعیت Δx_i در ورودی مدل می‌باشد، که به صورت شماتیک در شکل ۱ نشان داده شده است:



شکل ۱- نمایش شماتیک عدم قطعیت داده‌های ورودی

با استفاده از محاسبات بازه‌ای می‌توان عدم قطعیت موجود در خروجی مدل را برآورد نمود. در محاسبات بازه‌ای مقادیر متغیرهای ورودی به صورت بازه و در نتیجه مقدار متغیر خروجی به صورت بازه محاسبه می‌شود [۷]. عدد بازه‌ای یک ابزار مفید، جهت مدیریت عدم قطعیت ناشی از عوامل انسانی در مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد. در مسائل تصمیم‌گیری چند معیاره در دنیای واقعی، استفاده از یک عدد قطعی توسط کارشناسان به عنوان کلاس تصمیم‌گیری آسان نمی‌باشد [۸]. تحلیل بازه‌ای یک فن ساده و شهودی جهت مدیریت عدم قطعیت اطلاعات در مسائل تصمیم‌گیری پیچیده می‌باشد. کارشناسان با استفاده از اعداد بازه‌ای نظر خود را در ارتباط با مسئله بیان می‌کنند [۹].

۲-۱-۱- حساب بازه‌ای

در روش حساب بازه‌ای از بازه‌ها به جای اعداد حقیقی، جهت بیان کمیت‌های نامعلوم استفاده می‌شود [۱۰]. یک عدد به صورت بازه مانند X ، یک مجموعه از اعداد حقیقی می‌باشد که به صورت رابطه ۱ تعریف می‌شود:

$$X = [\underline{X}, \bar{X}] = \{ x \in \mathbb{R} : \underline{X} \leq x \leq \bar{X} \} \quad (1)$$

ریاضیات بازه‌ای با محاسبات دانه‌ای جهت تولید نقشه آسیب‌پذیری لرزه‌ای فیزیکی با قابلیت اطمینان بالا می‌باشد. منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، حوزه‌های آماری شهر تهران می‌باشد. در این تحقیق فرض شده است که گسل شمال تهران به عنوان گسل فعال بوده و آسیب‌پذیری ساختمان‌های هر حوزه آماری برابر با درجه آسیب‌پذیری به دست آمده برای آن حوزه آماری است. در این تحقیق جهت مدل نمودن عدم قطعیت نظرکارشناسان از ریاضیات بازه‌ای، جهت تلفیق نظرات کارشناسان از الگوریتم ژنتیک و برای استخراج قوانین با حداقل ناسازگاری از الگوریتم محاسبات دانه‌ای استفاده شده است.

در این مقاله ابتدا مفاهیم مربوط به ریاضیات بازه‌ای، الگوریتم ژنتیک و محاسبات دانه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است. در ادامه مراحل آماده‌سازی داده‌ها و پیاده‌سازی مدل توضیح داده شده است و در پایان بررسی و تحلیل نتایج ارائه شده است.

۲- مفاهیم پایه تحقیق

در این قسمت مفاهیم ریاضیات بازه‌ای، الگوریتم ژنتیک و محاسبات دانه‌ای توضیح داده می‌شود:

۲-۱- ریاضیات بازه‌ای

محاسبات و تحلیل‌های بازه‌ای در سال ۱۹۵۷ توسط Moor، جهت حل مسائل با مقادیر اولیه اطلاعات به صورت بازه پیشنهاد شد. بنابراین می‌توان آن را به عنوان تئوری اعداد بازه‌ای^۱ در نظر گرفت. در سال ۱۹۹۰ تئوری اعداد بازه‌ای به تئوری مجموعه بازه‌ای^۲ تعمیم داده شد. که ابزار ریاضی مناسبی جهت مقابله با سیستم‌های اطلاعات مبهم و نامشخص می‌باشد [۶].

محاسبات بازه‌ای به عنوان یک بخش مهم از محاسبات دانه‌ای می‌باشد. بخشی از مقادیر داده‌ها ممکن است با استفاده از نظرات کارشناسان تهیه شود. با توجه به دانش محدود کارشناسان، نظرات آن‌ها کاملاً دقیق نمی‌باشد و بدین ترتیب تقریباً یک خطای تقریب در نظرات آن‌ها وجود دارد. اگر خطای تقریب توسط کران Δi مشخص

^۱ Interval Number Theory

^۲ Interval Set Theory

۲-۲- الگوریتم ژنتیک^۱

الگوریتم ژنتیک یک الگوریتم بهینه‌سازی تکاملی بر اساس تولید مثل^۲، ادغام^۳ و جهش^۴ است. این الگوریتم با الهام از نظریه داروین یک الگوریتم تصادفی بر اساس انتخاب طبیعی می‌باشد [۱۳]:

این الگوریتم راه‌حل‌های بالقوه برای حل یک مسئله را در قالب یک ساختار داده کروموزوم مانند کدگذاری می‌کند و بر روی این کروموزوم‌ها اپراتورهای ژنتیکی تقاطع و جهش را اعمال می‌کند. مرحله نخست در پیاده‌سازی الگوریتم ژنتیک، ایجاد جمعیت اولیه می‌باشد. هر عضو از این جمعیت به عنوان یک کروموزوم شناخته می‌شود. در اکثر موارد جمعیت اولیه به صورت تصادفی ایجاد می‌شود. پس از آن هر کروموزوم با استفاده از تابع ارزیابی، مورد ارزیابی قرار گرفته و یک مقدار تناسب به خود اختصاص می‌دهد. از بین آن‌ها کروموزوم‌هایی که نشان‌دهنده‌ی راه‌حل بهتری می‌باشند، شانس بیشتری به تولید مثل نسبت به کروموزوم‌های دیگر دارند. گذشته از نحوه کدگذاری راه‌حل‌ها تعیین تابع ارزیابی بخشی از مسئله می‌باشد [۱۴].

الگوریتم ژنتیک روی جمعیت تعریف شده به صورت $P(t) = (a_0(t), a_1(t), \dots, a_{r-1}(t))$ که شامل r کروموزوم و اینکه طول هر کروموزوم l و $a_k(t) = (a_{k,0}(t), a_{k,1}(t), \dots, a_{k,l-1}(t)) \in \Omega$ می‌باشد با تابع تناسب $f(a_k(t))$ را در نظر بگیرید. برای ایجاد کروموزوم‌های فرزند در هر نسل t از اپراتورهای ژنتیک مانند تقاطع χ و جهش μ و کروموزوم‌های والد که بر اساس مقدار تناسب انتخاب شده‌اند، استفاده می‌شود. شبه کد الگوریتم ژنتیک ساده به صورت زیر می‌باشد [۹]:

```
t := 0;
while end of adaption ≠ ture do
  for k= 0 to r-1 do
    select parental l-tuples b(t) and c(t)
    apply crossover  $\chi$  and mutation  $\mu$ 
     $a_k(t+1) := \mu(\chi(b(t), c(t)))$ ;
    evaluate fitness  $f(a_k(t+1))$ ;
  end
  t := t+1;
end
```

^۱ Genetic Algorithm^۲ Reproduction^۳ Crossover^۴ Mutation

دو بازه $X = [\underline{X}, \bar{X}]$ و $Y = [\underline{Y}, \bar{Y}]$ را در نظر بگیرید، از جمله مهم‌ترین عملیات ریاضی بر روی این دو بازه به صورت روابط ۲ تا ۵ تعریف می‌شود [۱۱].

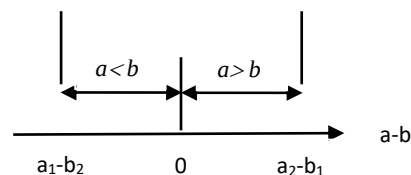
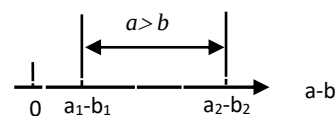
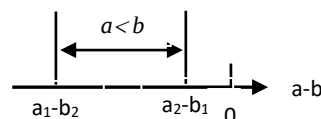
$$X + Y = [X + Y, \bar{X} + \bar{Y}] \quad (2)$$

$$X - Y = [X - \bar{Y}, \bar{X} - Y] \quad (3)$$

$$X \cdot Y = [\min S, \max S], \quad S = \{ \underline{X} \underline{Y}, \underline{X} \bar{Y}, \bar{X} \underline{Y}, \bar{X} \bar{Y} \} \quad (4)$$

$$X/Y = X \cdot (1/Y), \quad 1/Y = [1/\bar{Y}, 1/\underline{Y}], \quad 0 \notin Y \quad (5)$$

جهت مقایسه بازه‌ها، از قانون مقایسه برای اعداد بازه‌ای استفاده می‌شود. رابطه بین دو بازه a و b در شکل ۲ نشان داده شده است [۱۲]:



شکل ۲- انواع روابط بین دو بازه a و b [۱۲]

درجه بزرگ بودن یک بازه نسبت به بازه دیگر به عنوان درجه اولویت معرفی می‌شود. درجه اولویت بازه a نسبت به بازه b به صورت رابطه ۶ تعریف می‌شود [۱۲]:

$$P(a > b) = \frac{\max(0, a_2 - b_1) - \max(0, a_1 - b_2)}{(a_2 - a_1) + (b_2 - b_1)} \quad (6)$$

برای محاسبه فاصله بین دو بازه a و b از روابط ۷ و ۸ می‌توان استفاده نمود [۹]:

$$D^r(A, B) = \int_{-\frac{1}{2}}^{\frac{1}{2}} \{ [(a_1 + a_r)/2 + x(a_r - a_1)] - [(b_1 + b_r)/2 + x(b_r - b_1)] \}^r dx \quad (7)$$

$$D^r(A, B) = [(a_1 + a_r)/2 - (b_1 + b_r)/2]^r + 1/12 [(a_r - a_1) + (b_r - b_1)]^r \quad (8)$$

۲-۳- مدل محاسبات دانه‌ای

محاسبات دانه‌ای به عنوان یک چهارچوب، جهت نمایش و پردازش دانه‌های اطلاعات با سیستم‌های هوشمند ظهور کرده است [۱۵]. هر چند نام محاسبات دانه‌ای نسبتاً جدید است اما مفهوم دانه‌بندی در بسیاری از زمینه‌های مرتبط از قبیل برنامه‌نویسی، تئوری مجموعه‌های زبر و فازی، فضاهای توپولوژیک، محاسبات بازه، پایگاه داده و ... ظاهر شده است. برای پژوهش بر روی محاسبات دانه‌ای یک گروه توسط Lin در BISC^۱ تشکیل شده است [۱۶].

مدل محاسبات دانه‌ای بر روی روش‌ها و تئوری‌های عمومی برای حل مسئله و پردازش اطلاعات با ایجاد سطوح متفاوت دانه‌بندی تمرکز می‌کند [۳۰]. بدین ترتیب که اطلاعات به زیر مجموعه‌هایی تحت عنوان دانه تقسیم می‌شوند [۱]. ارتباط محاسبات دانه‌ای با داده‌کاوی را می‌توان از جنبه شکل‌گیری مفاهیم و شناسایی رابطه بین مفاهیم دید. هر مفهوم به عنوان یک واحد از افکار می‌باشد که از دو بخش به نام‌های کثرت^۲ و ملحقات^۳ تشکیل شده است. کثرت شامل تمام ویژگی‌های معتبر اشیائی است که در تشکیل مفهوم به کار می‌رود و به مجموعه‌ای از اشیاء که در تشکیل مفهوم به کار می‌رود ملحقات گفته می‌شود. روابط بین مفاهیم به شکل قانون بیان می‌گردد و با اندازه‌گیری‌های کمی می‌توان قدرت قوانین را تعیین نمود [۱۷]. جهت فرموله نمودن مسئله، تشکیل مفاهیم و استخراج قوانین، داده‌های آموزشی در قالب جدول اطلاعات ارائه می‌گردد [۱۸].

۲-۳-۱- جدول اطلاعات

در مدل محاسبات دانه‌ای، دانه‌بندی به عنوان دسته‌بندی نمودن عناصر مجموعه مرجع بر اساس اطلاعات موجود در جدول اطلاعات تعریف شده است. در این مدل یک مجموعه محدود از اشیاء تحت نام مجموعه مرجع، توسط یک مجموعه محدود از صفات توصیف شده است و به صورت رابطه^۹ ارائه شده است [۲۱]:

$$S = (U, A_t, L, \{V_a | a \in A_t\}, \{I_a | a \in A_t\}) \quad (9)$$

در رابطه ۹:

U: یک مجموعه غیر تهی از اشیاء

At: یک مجموعه غیر تهی از صفات

L: زبان گفتاری از ویژگی‌های مجموعه At

Va: یک مجموعه مقادیر از ویژگی‌های مجموعه At

Ia: یک تابع اطلاعات، که هر شی از مجموعه مرجع را دقیقاً به یک مقدار ممکن از صفت a در مجموعه مقادیر Va تصویر می‌کند [۲۱].

یک زبان منطق تصمیم‌گیری^۴ برای توصیف اشیاء یا گروهی از اشیاء، از مجموعه مرجع در نظر گرفته می‌شود. در این زبان یک فرمول هسته‌ای^۵ به وسیله (a,v) که $a \in$ At و $v \in V_a$ معرفی می‌شود. اگر ψ و ϕ در این زبان دو فرمول باشند، بنابراین می‌توان روابطی بین آن‌ها به صورت $\neg\phi, \phi \wedge \psi, \phi \vee \psi, \phi \equiv \psi$ و $\phi \rightarrow \psi$ بیان نمود.

برای فرمول ϕ ، مجموعه اشیاء متعلق به این فرمول به صورت رابطه ۱۰ نمایش داده می‌شود [۱۹]:

$$m_s(\phi) = \{x \in U \mid x| = \phi\} \quad (10)$$

در این مقاله، دانه‌ها با استفاده از روابط هم‌ارزی روی مقادیر صفات تشکیل می‌شوند.

۲-۳-۲- ایجاد دانه با استفاده از روابط هم‌ارزی روی مقادیر صفات

دانه‌هایی که با استفاده از رابطه تساوی روی مقادیر صفات تشکیل می‌شوند، ممکن است خیلی بزرگ یا کوچک باشند. برای حل این مسئله دسته‌بندی مقادیر صفات در Va ارائه می‌شود. به طور خاص مقادیر موجود در Va به کلاس‌های مجزا تقسیم می‌شوند. بدین ترتیب یک افراز از Va ایجاد می‌شود و از کلاس‌های هم‌ارزی به عنوان مقادیر جدید صفات استفاده می‌شود.

فرض کنید Ea یک رابطه هم‌ارزی روی مجموعه مقادیر Va برای صفت $a \in A_t$ می‌باشد. این رابطه مجموعه Va را به زیرمجموعه‌های مجزا Va/Ea تحت نام مجموعه خارج قسمت^۶ از Va افراز می‌کند.

^۴ Decision Logic Language

^۵ Atomic

^۶ Quotient Set

^۱ Berkeley Initiative In Soft Computing

^۲ Intension

^۳ Extension

۲-۳-۳-۱-عمومیت^۱

عمومیت، اندازه نسبی یک دانه را تعیین می‌کند. دانه‌ی تعریف شده توسط یک فرمول عمومی‌تر است اگر نمونه‌های بیش‌تری از مجموعه مرجع را پوشش دهد. این اندازه‌گیری به صورت نسبت اندازه دانه به اندازه مجموعه مرجع طبق رابطه ۱۴ محاسبه می‌شود [۲۱]:

$$G(\phi) = \frac{|m(\phi)|}{|U|} \quad 0 \leq G(\phi) \leq 1 \quad (14)$$

۲-۳-۳-۲-حمایت مطلق^۲

حمایت مطلق، درصد نمونه‌هایی که به درستی توسط یک قانون کلاسه‌بندی شده است را مشخص می‌کند. این اندازه‌گیری طبق رابطه ۱۵ محاسبه می‌شود [۲۱]:

$$AS(\phi \Rightarrow \psi) = AS(\psi|\phi) = \frac{|m(\phi) \cap m(\psi)|}{|m(\phi)|} \quad (15)$$

$$0 \leq AS(\psi|\phi) \leq 1$$

مقدار حمایت مطلق برابر ۱ می‌باشد اگر و تنها اگر $m(\phi) \subseteq m(\psi)$ [۱۸].

۲-۳-۳-۳-پوشش^۳

پوشش، قابلیت اجرا یا احتمال فراخوانی قانون را بیان می‌کند. با این اندازه‌گیری مشخص می‌شود که چند درصد از داده‌های موجود در یک کلاس، درست کلاسه‌بندی شده‌اند. مقدار پوشش با استفاده از رابطه ۱۶ محاسبه می‌شود [۱]:

$$CV(\phi \Rightarrow \psi) = \frac{|m(\phi) \cap m(\psi)|}{|m(\psi)|} \quad (16)$$

۲-۳-۳-۴-ناسازگاری شرطی^۴

با در نظر گرفتن فرمول ϕ ، اگر همه اشیای تشکیل دهنده این فرمول در داخل یک کلاس تصمیم‌گیری قرار گیرند. ناسازگاری شرطی برای این فرمول صفر خواهد بود و اشیاء بدون وجود هیچ عدم قطعیتی در داخل آن کلاس

به کلاس هم‌ارزی محتوی v اشاره می‌کند. برای $v \in V_a$ ، دانه‌ها بر اساس روابط هم‌ارزی روی مقادیر صفات طبق رابطه ۱۱ تشکیل می‌شوند [۲۰]:

$$G_E(a, v) = \{x \in U \mid I_a(x) E_a v\}$$

$$= \{x \in U \mid I_a(x) \in [v]_{E_a}\}$$

$$= U\{m(a, v') \mid v' \in V_a, v' \in [v]_{E_a}\}$$

$$= U\{m(a, v') \mid v' \in V_a, v' E_a v\} \quad (11)$$

این دانه شامل اشیائی است که مقدار صفت a آن‌ها هم‌ارز v می‌باشد. رابطه هم‌ارزی تعمیمی از رابطه تساوی می‌باشد. بنابراین در جدول اطلاعات اصلی به جای هر مقدار $v \in V_a$ ، کلاس هم‌ارزی $[v]_{E_a}$ جایگزین می‌شود و بدین ترتیب جدول اطلاعات خارج قسمت ایجاد می‌شود. برای این جدول اطلاعات، قیود تساوی می‌تواند طبق رابطه ۱۲ استفاده شود: برای $[v]_{E_a} \in V_a/E_a$

$$G_e(a', [v]_{E_a}) = \{x \in U \mid [I_a(x)]_{E_a} = [v]_{E_a}\}$$

$$= m(a', [v]_{E_a}) \quad (12)$$

بنابراین مجموعه‌ای از دانه‌ها یک افراز از مجموعه مرجع را طبق رابطه ۱۳ تشکیل می‌دهند [۲۰]:

$$\Pi_{\{a\}} = \{G_E(a, v) \neq \emptyset \mid v \in V_a\} \quad (13)$$

کلاس‌های هم‌ارزی در V_a/E_a می‌تواند باعث تشکیل دانه‌های بزرگتر شود. این فرایند تا زمانی که اندازه مناسبی برای دانه‌ها بدست آید، ادامه داده می‌شود [۲۰]:

۲-۳-۳-اندازه‌گیری‌ها بر روی دانه‌ها

هر دانه توسط جفت-صفت مقدار تشکیل می‌شود [۲۱]. محاسبات دانه‌ای صفات شرطی را به عنوان مفهوم ϕ و صفات تصمیم‌گیری را به عنوان مفهوم ψ در نظر می‌گیرد و قانون به شکل $\phi \Rightarrow \psi$ بیان می‌شود [۲۲]. در داده کاوی، قوانین به طور معمول به لفظ احتمال تفسیر می‌شوند و اندازه‌گیری‌های متفاوتی جهت انعکاس جنبه‌های مختلف قوانین تعریف می‌شوند [۲۳]. از جمله این اندازه‌گیری‌ها، می‌توان به موارد عمومیت، حمایت مطلق، پوشش و ناسازگاری شرطی به شرح زیر اشاره نمود.

^۱ Generality^۲ Absolute Support^۳ Coverage^۴ Conditional Entropy

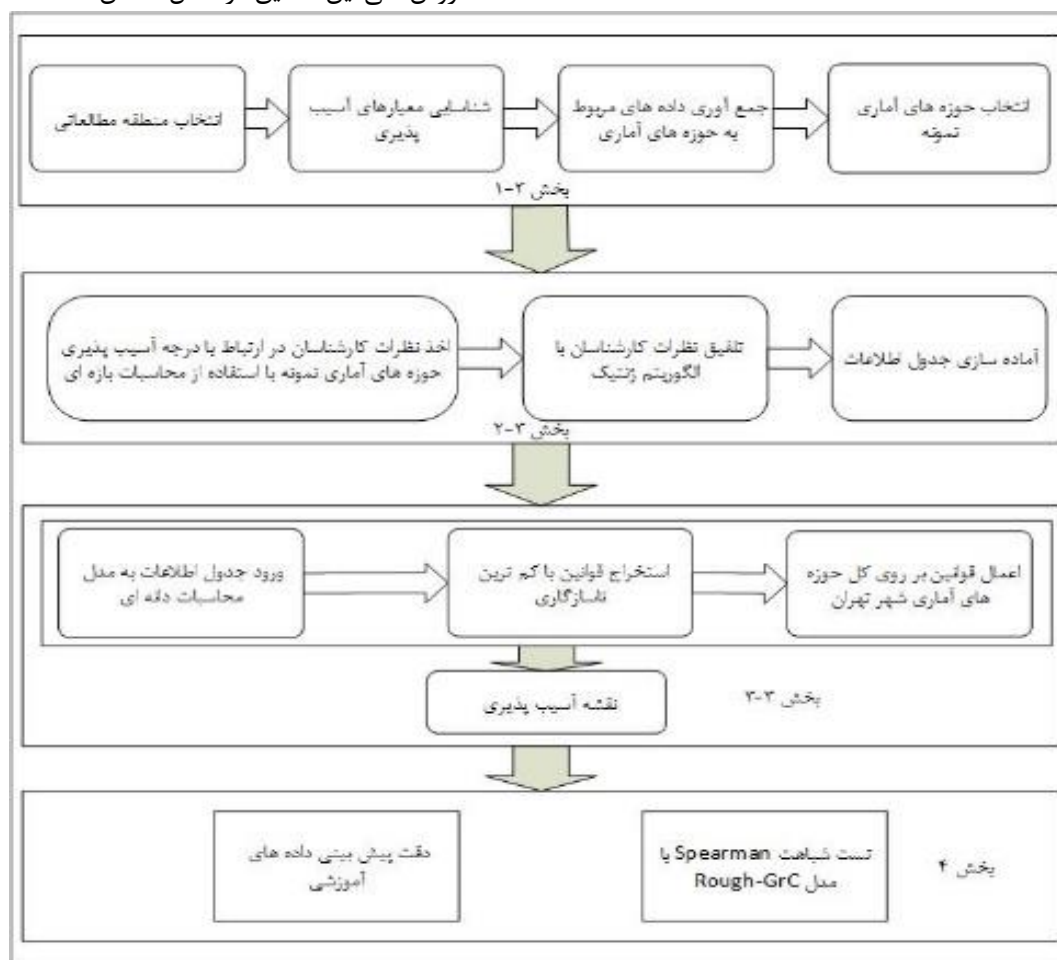
$$H(\psi|\phi) = - \sum_{i=1}^n p(\psi_i|\phi) \log(p(\psi_i|\phi))$$

$$p(\psi_i|\phi) = \frac{|m(\phi) \cap m(\psi_i)|}{|m(\phi)|} \quad (17)$$

اگر ϕ یک فرمول قطعی باشد $p(\psi_i|\phi) = 1$ و به ازای $j \in 1:n$ و $j \neq i$ ، $p(\psi_j|\phi) = 0$ (ناسازگاری به کمترین مقدار خود یعنی صفر می‌رسد) [۱]:

۳- روش تحقیق

روش کلی این تحقیق در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳- روش تحقیق

دو بخش داده‌های مربوط به نظرات کارشناسان و معیارهای تصمیم‌گیری تقسیم نمود. داده‌های مربوط به نظرات کارشناسان در مورد تعیین کلاس آسیب‌پذیری حوزه‌های آماری نمونه با استفاده از یک فرم نظرسنجی جمع‌آوری گردید. معیارهای آسیب‌پذیری لرزه‌ای در نظر گرفته شده به شرح ذیل می‌باشند:

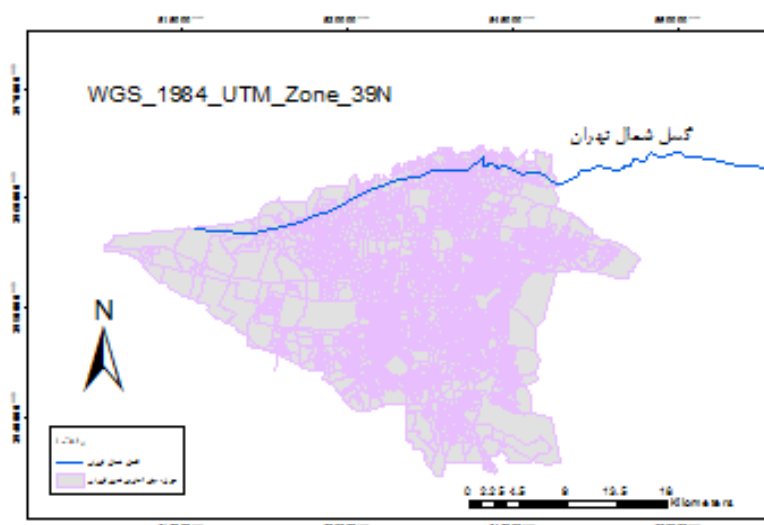
- شیب توپوگرافی زمین (بر حسب درصد)
- شدت زمین لرزه (بر حسب واحد MMI)

۳-۱- آماده‌سازی داده

در این مقاله نقشه آسیب‌پذیری فیزیکی شهر تهران بر مبنای فعال شدن گسل شمال تهران تهیه شده است. موقعیت این گسل و منطقه مورد مطالعه در شکل ۴ نشان داده شده است.

داده‌های جمع‌آوری شده مربوط به حوزه‌های آماری شهر تهران می‌باشند. داده‌های مورد استفاده را می‌توان به

- درصد ساختمان‌های ضعیف چهار طبقه و کم‌تر
- درصد ساختمان‌های ساخته شده قبل از سال ۱۳۴۵
- درصد ساختمان‌های ضعیف بالای چهار طبقه
- درصد ساختمان‌های ساخته شده بین سال ۱۳۴۵ تا ۱۳۶۷



شکل ۴- موقعیت گسل شمال تهران و منطقه مورد مطالعه

کلاس یک معرف مقدار کم، کلاس دو معرف مقدار متوسط، کلاس سه معرف مقدار زیاد و کلاس چهار معرف مقدار خیلی زیاد می‌باشد. برای نمونه، گسسته سازی مقادیر معیار شیب در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- گسسته‌سازی مقادیر شیب

بازه‌ها	کلاس (برچسب)
۰-۴	۱
۴-۱۱,۴	۲
۱۱,۴-۲۳	۳
۲۳-۴۵	۴

جهت استخراج قوانین کلاسه‌بندی و ارزیابی صحت مدل در این مقاله از بین ۳۱۷۴ حوزه آماری شهر تهران، ۱۵۰ حوزه آماری نمونه که به صورت تصادفی انتخاب شده‌اند، استفاده شد. در جدول ۲ اطلاعات مربوط به ۲۰ حوزه آماری نمونه با در نظر گرفتن سه کارشناس ارائه شده است.

۳-۲- ترکیب نظرات کارشناسان

به دلیل عدم دسترسی به داده آموزشی به خاطر عدم وقوع زلزله بالای ۶ ریشتر در تهران در سال‌های اخیر، برای تعیین میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای فیزیکی حوزه‌های آماری نمونه باید از نظرات کارشناسان مربوطه استفاده

داده‌های مربوط به معیار شدت زمین‌لرزه بر حسب واحد مرکالی از داده‌هایی که توسط JICA جمع‌آوری شده بود، تهیه شد. داده‌های مربوط به دیگر معیارهای آسیب‌پذیری لرزه‌ای فیزیکی از سرشماری سال ۱۳۷۵ که توسط مرکز آمار ایران انجام گرفت، جمع‌آوری گردید [۲۸].

از آنجایی که مقادیر مربوط به ویژگی‌های هر حوزه آماری مقداری حقیقی است، تحت چنین شرایطی مدل محاسبات دانه‌ای قوانین زیادی را ایجاد خواهد نمود. لذا جهت ایجاد قوانین مناسب و کاربردی‌تر، یک مرحله پیش‌پردازش یا همان آماده‌سازی جدول اطلاعات انجام شده است که در آن مقادیر حقیقی ویژگی‌ها به کلاس‌های بازه‌ای یا همان دانه‌های بازه‌ای تبدیل شده‌اند. در ادامه برچسب بازه‌ها جایگزین مقادیر واقعی صفات در جدول اطلاعات می‌گردد. بدین ترتیب داده‌ها برای ورود به مدل محاسبات دانه‌ای آماده می‌شوند. برای ایجاد این بازه‌ها و برچسب نظیر آن‌ها از روش شکست طبیعی^۱ در نرم‌افزار ArcGIS استفاده شده است.

برچسب مربوط به بازه‌ها یا همان کلاس‌های مقادیر صفات به صورت زیر می‌باشد:

^۱ Natural Break

شود. بنابراین در این مقاله برای کاهش عدم قطعیت نظرات کارشناسان، علاوه بر استفاده از محاسبات بازه‌ای، از نظرات پنج کارشناس در زمینه‌های مهندسی زلزله، مهندسی عمران و زمین شناسی استفاده شد. نظرات کارشناسان باید از بین بازه‌های [۱ ۲]، [۲ ۳]، [۳ ۴] و [۴ ۵] انتخاب شود. ۱ نشان‌دهنده‌ی میزان آسیب‌پذیری خیلی کم، ۲ آسیب‌پذیری کم، ۳ آسیب‌پذیری متوسط، ۴ آسیب‌پذیری زیاد و ۵ آسیب‌پذیری خیلی زیاد می‌باشد.

برای ۲۰ حوزه آماری نمونه، نظرات کارشناسان در جدول ۲ نشان داده شده است. در این مقاله برای رفع ناسازگاری بین نظرات کارشناسان و تجمیع نظرات آن‌ها از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. نتیجه تجمیع نظرات کارشناسان، بازه‌ای است به صورت $[x_1, x_2]$ که فاصله آن نسبت به تمام نظرات کارشناسان بهینه باشد. برای یافتن بازه مورد نظر از الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. فرض شده است که وزن سه کارشناس برابر می‌باشد.

جدول ۲- جدول اطلاعات حوزه‌های آماری نمونه

شماره حوزه	شیب	شدت	س. ۴. طبقه و کم تر	س. قبل از سال ۴۵	س. بین سال های ۴۵-۶۵	س. بالای ۴ طبقه	کارشناس ۱	کارشناس ۲	کارشناس ۳
۱	۴	۴	۱	۱	۲	۲	[۴ ۵]	[۴ ۵]	[۳ ۴]
۲	۲	۴	۲	۲	۲	۲	[۴ ۵]	[۴ ۵]	[۴ ۵]
۳	۳	۴	۱	۱	۱	۱	[۲ ۳]	[۳ ۴]	[۲ ۳]
۴	۳	۴	۲	۳	۳	۱	[۴ ۵]	[۴ ۵]	[۴ ۵]
۵	۲	۴	۲	۱	۲	۱	[۳ ۴]	[۴ ۵]	[۳ ۴]
۶	۳	۳	۱	۱	۲	۱	[۳ ۴]	[۳ ۴]	[۳ ۴]
۷	۳	۴	۱	۱	۱	۱	[۲ ۳]	[۳ ۴]	[۲ ۳]
۸	۲	۴	۲	۱	۳	۱	[۳ ۴]	[۴ ۵]	[۳ ۴]
۹	۴	۳	۱	۱	۲	۱	[۳ ۴]	[۳ ۴]	[۳ ۴]
۱۰	۳	۳	۱	۱	۱	۱	[۲ ۳]	[۳ ۴]	[۲ ۳]
۱۱	۲	۳	۱	۱	۲	۱	[۳ ۴]	[۳ ۴]	[۲ ۳]
۱۲	۱	۳	۲	۲	۲	۱	[۴ ۵]	[۴ ۵]	[۳ ۴]
۱۳	۲	۳	۲	۲	۳	۱	[۴ ۵]	[۴ ۵]	[۴ ۵]
۱۴	۱	۳	۲	۲	۳	۱	[۳ ۴]	[۴ ۵]	[۳ ۴]
۱۵	۱	۲	۲	۲	۲	۱	[۴ ۵]	[۴ ۵]	[۳ ۴]
۱۶	۱	۲	۱	۱	۳	۱	[۴ ۵]	[۴ ۵]	[۳ ۴]
۱۷	۱	۳	۱	۱	۱	۳	[۳ ۴]	[۳ ۴]	[۲ ۳]
۱۸	۱	۱	۳	۱	۴	۱	[۳ ۴]	[۳ ۴]	[۳ ۴]
۱۹	۱	۱	۲	۱	۳	۱	[۳ ۴]	[۳ ۴]	[۲ ۳]
۲۰	۱	۲	۳	۱	۲	۱	[۲ ۳]	[۳ ۴]	[۲ ۳]

تابع هدف در این الگوریتم، با در نظر گرفتن فواصل بین بازه $[x_1, x_2]$ با نظرات کارشناسان ایجاد می‌شود. در نتیجه مسئله پیدا نمودن مقدار بهینه تابع $F(x_1, x_2)$ تحت قید $a \leq x_1 \leq x_2 \leq b$ می‌باشد. شکل ریاضی این فرآیند با رابطه ۱۸ نشان داده شده است [۹]:

$$\min SDF(x_1, x_2) = \sum_{i=1}^n D^*(O, O_i) \quad (18)$$

$$\begin{cases} O = [x_1, x_2] \\ a \leq x_1 \leq b \\ a \leq x_2 \leq b \\ x_1 < x_2 \end{cases}$$

فرض کنید نظرات سه کارشناس E_1, E_2, E_3 در ارتباط با آسیب‌پذیری لرزه‌ای یک حوزه آماری به صورت زیر می‌باشد:

$$O_1 = [3 \ 4] \quad O_2 = [4 \ 5] \quad O_3 = [4 \ 5]$$

نظر تجمیع شده سه کارشناس با استفاده از بازه x_2 $O = [x_1, x_2]$ به طوری که $3 \leq x_1 \leq x_2 \leq 5$ نشان داده می‌شود. با در نظر گرفتن فاصله بین O و هر کارشناس $E_i (i = 1, 2, 3)$ تابع تناسب^۱ به صورت زیر می‌شود:

$$F(x_1, x_2) = \sum_{i=1}^3 D^2(O, O_i) = D^2(O, O_1) + D^2(O, O_2) + D^2(O, O_3) \\ = x_1^2 + x_2^2 + x_1 x_2 - 13x_1 - 12x_2 + 53$$

در این مقاله، برای نمایش کروموزوم از روش Bit String استفاده شده است. طول کروموزوم وابسته به دقت رمزگذاری^۲ می‌باشد. با فرض اینکه محدوده متغیر x_1 بازه $[a, b]$ و دقت رمزگذاری $prec$ می‌باشد طول کروموزوم با رابطه ۱۹ محاسبه می‌شود [۹]:

$$L = \max_int \left(\log_2 \left[\frac{b-a}{prec} + 1 \right] \right) \quad (19)$$

برای نمایش داده‌های بین بازه $[a, b]$ دقت رمزگذاری برابر 0.01 در نظر گرفته شد. با در نظر گرفتن این دقت، طول یک متغیر برای رمزگذاری برابر ۱۱ می‌شود و برای رمزگذاری یک بازه، طول یک کروموزوم برابر ۲۲ می‌شود. احتمال تقاطع برابر 0.2 ، احتمال جهش برابر 0.15 ، تعداد جمعیت اولیه برابر ۱۰ و معیار توقف هم برابر ۱۰۰ تکرار در نظر گرفته شد. نتیجه تلفیق نظرات سه کارشناس برای بازه $[4 \ 5]$ می‌شود.

در ادامه پس از تلفیق نظرات کارشناسان و اضافه نمودن نتیجه این تلفیق به جدول اطلاعات، جدول اطلاعات برای ورود به مدل محاسبات دانه‌ای آماده می‌شود.

۳-۳- ایجاد شبکه دانه‌ای

شبکه دانه‌ای برای کلاسه‌بندی، با جستجوی دانه‌ها از بالا به پایین ایجاد می‌شود. در الگوریتم محاسبات دانه‌ای ورودی جدول اطلاعات و خروجی شبکه دانه‌ای می‌باشد. با استفاده از شبکه دانه‌ای، قوانین برای اعمال روی حوزه‌های

آماري استخراج می‌شود. دو موضوع مهم در الگوریتم شبکه دانه‌ای، یکی ارزیابی مناسب بودن هر مفهوم پایه و دیگری ارزیابی فعال یا غیر فعال بودن دانه می‌باشد. بعد از آماده‌سازی جدول اطلاعات، مجموعه مرجع به عنوان گره ریشه در نظر گرفته می‌شود و در ادامه تمام دانه‌های مربوط به جفت-صفت مقادیر شرطی و تصمیم‌گیری ایجاد می‌شود و اندازه‌گیری‌های مربوطه روی این دانه‌ها انجام می‌گیرد. در این مقاله، قوانین با حداقل ناسازگاری و کم‌ترین عدم قطعیت استخراج می‌شوند. شکل ۵ نحوه استخراج قوانین با تشکیل شبکه دانه‌ای را نشان می‌دهد. تفاوت اساسی الگوریتم محاسبات دانه‌ای در این تحقیق با خامس پناه [۳۰]، اولویت بندی قوانین پس از استخراج قوانین می‌باشد. شکل ۶، شبکه دانه‌ای بر اساس جدول ۲، جهت استخراج قوانین را نشان می‌دهد.

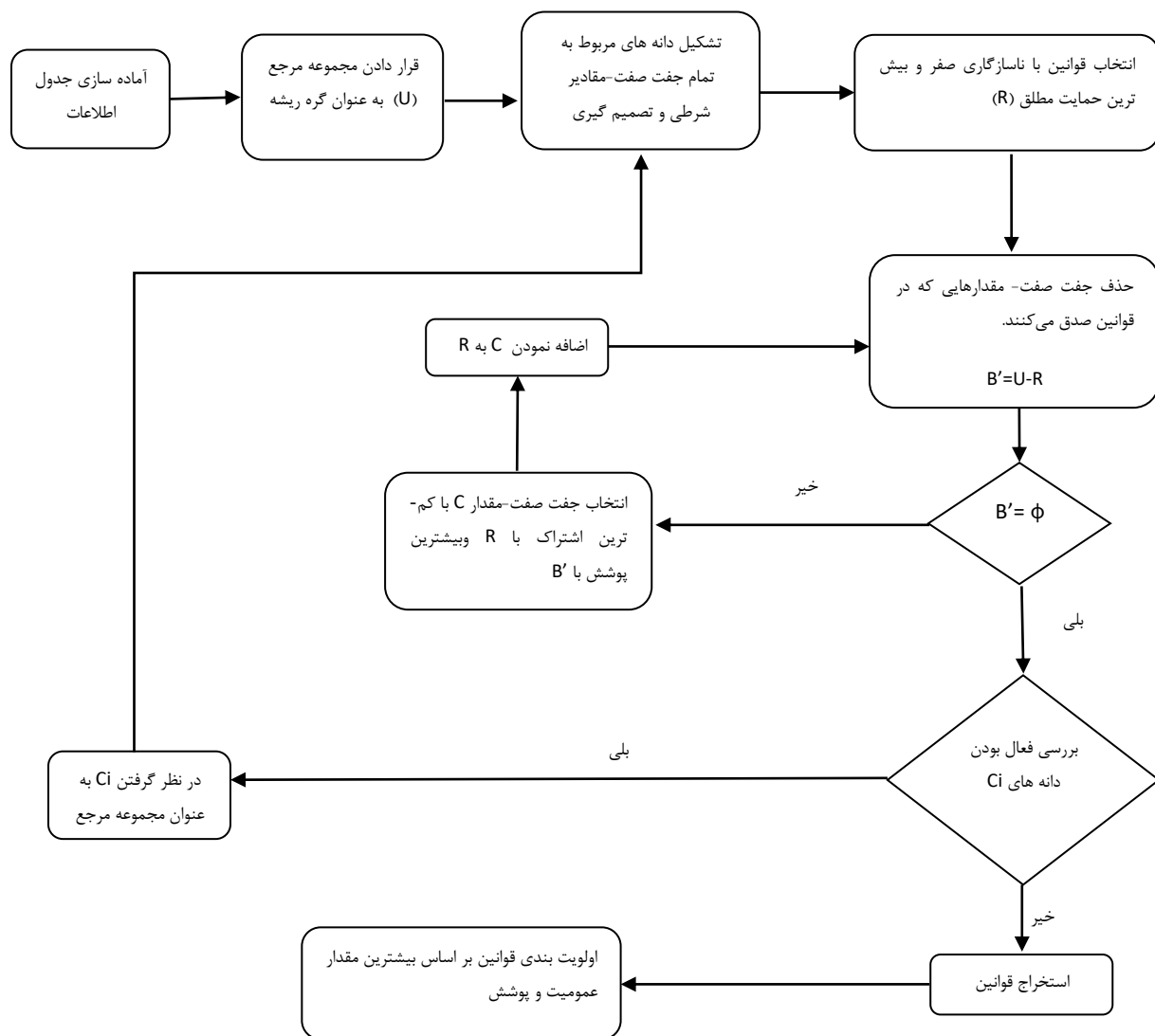
در شکل ۷، نقشه آسیب‌پذیری فیزیکی لرزه‌ای شهر تهران با استفاده از مدل محاسبات دانه‌ای و محاسبات بازه‌ای نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل ۷ مشخص است، میزان آسیب‌پذیری هر حوزه آماری در بازه مشخص شده قرار گرفته است و به صورت یک عدد قطعی مشخص نشده است.

۴- تحلیل نتایج

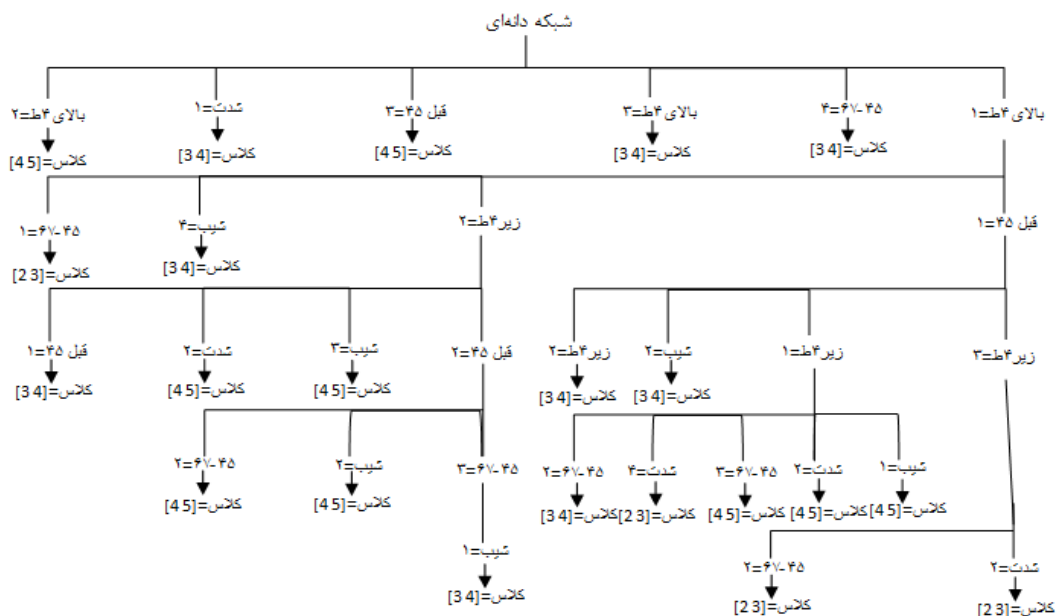
همان‌گونه که در شکل ۷ نشان داده شده است، میزان آسیب‌پذیری هر حوزه آماری به صورت یک بازه مشخص شده است. حوزه‌های آماری شهر تهران به چهار کلاس آسیب‌پذیری به صورت بازه تقسیم شدند. این بازه‌ها به ترتیب به صورت $[1 \ 2]$ ، $[2 \ 3]$ ، $[3 \ 4]$ و $[4 \ 5]$ می‌باشند. نتایج حاصل از میزان آسیب‌پذیری حوزه‌های آماری، بدین صورت است که 0% از حوزه‌های آماری در کلاس $[1 \ 2]$ ، 8% در کلاس $[2 \ 3]$ ، 49% در کلاس $[3 \ 4]$ و 42% در کلاس $[4 \ 5]$ قرار گرفتند و 1% آن‌ها کلاسه‌بندی نشده است. بدین ترتیب، میزان آسیب‌پذیری بیش از نیمی از حوزه‌های آماری شهر تهران بین آسیب‌پذیری زیاد تا خیلی زیاد قرار گرفته است.

شکل ۸ نمایش گرافیکی مربوط به فراوانی کلاس‌های آسیب‌پذیری لرزه‌ای را نشان داده است. با توجه به این شکل، بیش‌تر حوزه‌های آماری در کلاس آسیب‌پذیری $[4]$ $[3]$ و $[4 \ 5]$ قرار گرفته‌اند.

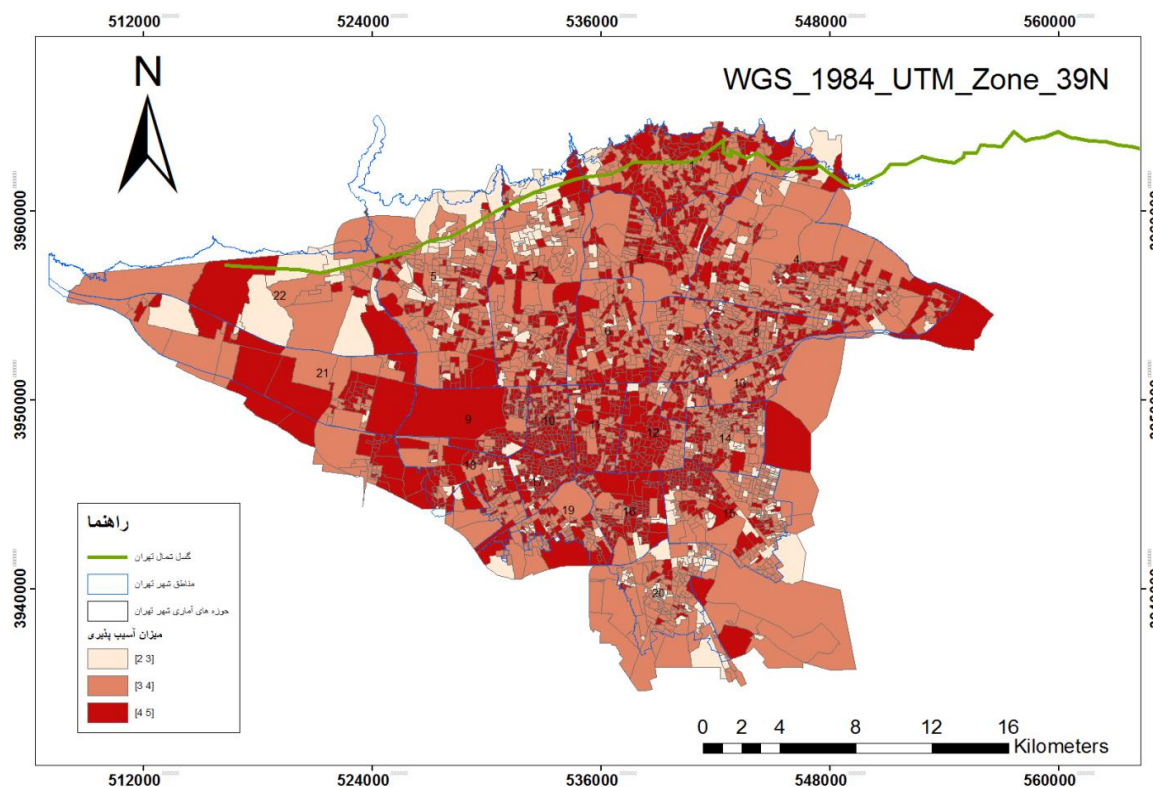
^۱ Fitness Function
^۲ Encoding



شکل ۵- نحوه استخراج قوانین با الگوریتم محاسبات دانه‌ای (اقتباس شده از [۲۷])



شکل ۶- شبکه دانه ای



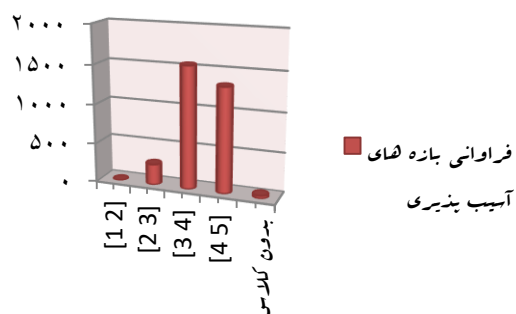
شکل ۷- نقشه آسیب پذیری لرزه‌ای فیزیکی شهر تهران با استفاده تلفیق محاسبات دانه‌ای با الگوریتم ژنتیک و ریاضیات بازای

برای بررسی دقت مدل مورد استفاده از ۱۰۰ داده آموزشی و شاخص کاپا استفاده گردید. برای محاسبه این شاخص از جدول ۳، جدول اعتبار سنجی استفاده شده است. بر مبنای این شاخص دقت مدل برابر ۷۶٪ درصد برآورد گردید.

جدول ۳- جدول اعتبارسنجی

تخصیص داده شده	کلاس [۱ ۲]	کلاس [۲ ۳]	کلاس [۳ ۴]	کلاس [۴ ۵]	Accuracy of user(%)
صحیح					
کلاس [۱ ۲]	0	0	0	0	0
کلاس [۲ ۳]	0	۳	0	0	۱۰۰
کلاس [۳ ۴]	0	۶	۳۷	۱	۸۴
کلاس [۴ ۵]	0	۲	۷	۴۷	۸۴
Accuracy of procedure(%)	0	۲۷	۸۴	۹۸	

فراوانی بازه های آسیب پذیری



شکل ۸- فراوانی بازه‌های آسیب پذیری برای حوزه‌های آماری شهر تهران

برای بررسی میزان شباهت بین نتایج حاصل از مدل پیشنهاد شده با نتایج پژوهش‌های قبلی در این زمینه، از جمله مدل تلفیق محاسبات دانه‌ای با تئوری مجموعه زیر که توسط خامس‌پناه [۳۰] انجام گرفته شد، از ضریب همبستگی مرتبه اسپیرمن استفاده شد [۳۴]. مقدار این ضریب برابر ۰/۴۷ شد، که این میزان شباهت بین مدل پیشنهادی با مدل محاسبات دانه‌ای- تئوری مجموعه‌های زیر است.

۴- نتیجه گیری

این مقاله یک رویکرد جدید برای مدیریت عدم قطعیت در ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای که جزء مسائل تصمیم گیری چند معیاره می باشد، ارائه نمود.

با توجه به اینکه در تهران بیش از ۱۸۰ سال زلزله ای با شدت بیش از ۶ ریشتر رخ نداده است و دوره بازگشت زلزله شهر تهران حدود ۱۵۰ سال برآورد شده است. تعیین کلاس های آسیب پذیری حوزه های آماری نمونه از اهمیت بالایی برخوردار است. لذا در این مقاله با استفاده از ریاضیات بازه ای و الگوریتم ژنتیک این موضوع پوشش داده

شده است. زیرا اطمینان به میزان آسیب پذیری حوزه های آماری نمونه، منجر به اطمینان نتایج می گردد. از طرف دیگر استفاده از ریاضیات بازه ای باعث گردید تا بین میزان آسیب پذیری حوزه های آماری نزدیک به هم، بر خلاف استفاده از اعداد قطعی تفاوت چشمگیری وجود نداشته باشد و باعث کاهش شک و تردیدهای کارشناسان در تعیین میزان آسیب پذیری حوزه های آماری گردید. در حالی که دقت مدل پیاده سازی شده توسط خامس پناه [۳۰]، برای مدل تلفیقی محاسبات دانه ای با ثنوری زیر، ۶۷٪ برآورد شده است. که این نشان دهنده وجود عدم قطعیت کم تر در مدل پیشنهادی می باشد.

مراجع

- [1] H. Sheikhan, M. Delavar, and A. Stein, (2015). "Integrated Estimation of Seismic Physical Vulnerability of Tehran Using Rule Based Granular Computing," The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. 40, p.187.
- [2] T. Rashed and J. Weeks, (2003). "Assessing vulnerability to earthquake hazards through spatial multicriteria analysis of urban areas," International Journal of Geographical Information Science, vol. 17, pp. 547-576.
- [3] JICA (Japan International Cooperation Agency), (2000), The Study on Seismic Microzoning of The Greater Tehran Area in the Islamic Republic of Iran (Final Report).
- [4] M. Hashemi and A. A. Alesheikh, (2011). "A GIS-based earthquake damage assessment and settlement methodology," Soil dynamics and earthquake engineering, vol. 31, pp. 1607-1617.
- [5] A. Meshkini, K. Habibi, and H. Alizadeh, (2013). "Using fuzzy logic and GIS tools for seismic vulnerability of old fabric in Iranian cities (Case study: Zanzan city)," Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, vol. 25, pp. 965-975.
- [6] H. Li, M. Wang, X. Zhou, and J. Zhao, (2012). "An interval set model for learning rules from incomplete information table," International Journal of Approximate Reasoning, vol. 53, pp. 24-37.
- [7] V. Kreinovich, (2008) "Interval computations as an important part of granular computing: an introduction," Handbook of Granular Computing, pp. 1-31.
- [8] Y. Dou, P. Zhang, J. Jiang, K. Yang, and Y. Chen, (2014). "MCDM based on reciprocal judgment matrix: a comparative study of E-VIKOR and E-TOPSIS algorithmic methods with interval numbers," Appl. Math, vol. 8, pp. 1401-1411.
- [9] B. Kang, Y. Zhang, X. Deng, J. Wu, X. Sun, and Y. Deng, (2011). "Optimal aggregation of interval numbers based on genetic algorithm in group decision," Journal of Information and Computational Science, vol. 8.
- [10] G. Gonçalves and J. Santos, (2005). "Propagation of Dem Uncertainty: An Interval Arithmetic Approach," in XXII International Cartographic Conference, Spain.
- [11] R. E. Moore, R. B. Kearfott, and M. J. Cloud, (2009). Introduction to interval analysis: Siam.
- [12] Y.-M. Wang, J.-B. Yang, and D.-L. Xu, (2005). "A two-stage logarithmic goal programming method for generating weights from interval comparison matrices," Fuzzy sets and systems, vol. 152, pp. 475-498, 2005.
- [13] M. A. Sahnehsaraei, M. J. Mahmoodabadi, M. Taherkhorsandi, K. K. Castillo-Villar, and S. M. Yazdi, (2015). "A hybrid global optimization algorithm: particle swarm optimization in association with a genetic algorithm," in Complex System Modelling and Control Through Intelligent Soft Computations, ed: Springer, pp. 45-86.
- [14] D. Whitley, (1994). "A genetic algorithm tutorial," Statistics and computing, vol. 4, pp. 65-85.
- [15] W. Pedrycz, (2012). "History and development of granular computing," Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS); UNESCO-EOLSS Joint Committee, Ed.
- [16] T. Y. Lin and C.-J. Liao, (2010). "Granular Computing and Rough Sets-An Incremental Development," Data Mining and Knowledge Discovery Handbook, pp. 445-468.

- [17] Y. Y. Yao,(2001). "On Modeling data mining with granular computing," in Computer Software and Applications Conference, 2001. COMPSAC 2001. 25th Annual International, pp. 638-643.
- [18] J. Yao and Y. Yao,(2002). "A Granular Computing Approach to Machine Learning," FSKD, vol. 2, pp. 732-736.
- [19] X. Wang,(2006). "Inducing decision rules: a granular computing approach," in 2006 IEEE International Conference on Granular Computing, pp. 473-477.
- [20] Y. Yao and N. Zhong,(2002). "Granular computing using information tables," in Data mining, rough sets and granular computing, ed: Springer, pp. 102-124.
- [21] H. S. Alinia and M. Delavar,(2011). "Tehran's seismic vulnerability classification using granular computing approach," Applied Geomatics, vol. 3, pp. 229-240.
- [22] H. Sheikhi, M. Delavar, and A. Steinc,(2015). "Uncertainty Handling in Disaster Management Using Hierarchical Rough Set Granulation," ISPRS Annals of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. 1, pp. 271-276.
- [23] N. Zhong, Y. Y. Yao, and M. Ohshima,(2003) "Peculiarity oriented multidatabase mining," IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, vol. 15, pp. 952-960.
- [24] A. Amiri, M. Delavar, S. Zahrai, and M. Malek,(2007)."Tehran seismic vulnerability assessment using Dempster-Shafer theory of evidence," in Proc. map Asia conference, Kuala Lumpur, Malaysia, August, pp. 14-16.
- [25] T.Silavi, MR.Delavar, MR. Malek, N.Kamalian, K. Karimizand, (2006). "An integrated strategy for GIS-based fuzzy improved earthquake vulnerability assessment". The Second International Symposium on GeoInformation for Disaster Management.ISPRS,Delhi,India,December12,pp45-49.
- [26] R.Aghataher, MR.Delavar, N.Kamalian, (2006)." Weighing of contributing factors in vulnerability of cities against earthquakes".Proc. Map Asia Conference, Jakarta, Indonesia, October 12, pp 22-25.
- [27] F. Khamespanah, M. Delavar, and M. Zare,(2013). "Uncertainty Management in Seismic Vulnerability Assessment Using Granular Computing Based on Covering of Universe," ISPRS-International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, vol. 1, pp. 121-126 .
- [28] M.Moradi,(2014)." Seismic Vulnerability Assessment of Tehran Using Fuzzy Integral Operators", Master's Thesis, School of Surveying and Geospatial Eng., College of Eng., University of Tehran.
- [29] H.Alinia,(2009). "Seismic Vulnerability Mapping of Tehran Using Theory of Granular Computing", Master's Thesis, School of Surveying and Geospatial Eng., College of Eng., University of Tehran.
- [30] F.Khamespanah,(2013)." Seismic Vulnerability Assessment of Tehran Using The Integrated Theory of Rough Sets and Granular Computing" , Master's Thesis, School of Surveying and Geospatial Eng., College of Eng., University of Tehran.
- [31] R.Aghataher,(2005)." Seismic Vulnerability Estimation of Tehran Using Geographical Information Systems ", Master's Thesis, School of Surveying and Geospatial Eng., College of Eng., University of Tehran.
- [32] T.Silavi,(2006). " Seismic Vulnerability Assessment of Tehran Using intuitive fuzzy models" , Master's Thesis, School of Surveying and Geospatial Eng., College of Eng., University of Tehran.
- [33] A.Amiri,(2008)." Seismic Risk Assessment of Tehran Using Theory of Dempster-Shafer and Rough Set" , Master's Thesis, School of Surveying and Geospatial Eng., College of Eng., University of Tehran.
- [34] H.Sheikhian,(2016)." Seismic Vulnerability Assessment of Tehran using The Integrated Theory of Granular Computing and neural network". Master's Thesis, School of Surveying and Geospatial Eng., College of Eng., University of Tehran.