

# تشکیل مدل محاسبات دانه‌ای بر اساس رابطه شباهت عمومی در ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای

فاطمه خامس پناه<sup>۱\*</sup>، محمود رضا دلاور<sup>۲</sup>، حدیث صمدی علی نیا<sup>۳</sup>، مهدی زارع<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم‌های اطلاعات مکانی - گروه مهندسی نقشه برداری - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران  
fa\_khamespanah@ut.ac.ir

<sup>۲</sup> دانشیار گروه مهندسی نقشه برداری - پردیس دانشکده های فنی - دانشگاه تهران  
(قطب علمی مهندسی نقشه برداری در مقابله با سوانح طبیعی)  
mdelavar@ut.ac.ir  
mzare@iiees.ac.ir

<sup>۳</sup> دانشجوی دکتری ژئو فیزیک - دانشکده علوم زمین - دانشگاه آنتاریو کانادا  
hsamadia@uwo.ca

(تاریخ دریافت بهمن ۱۳۹۱، تاریخ تصویب مهر ۱۳۹۳)

## چکیده

زلزله جزء مهم ترین مخاطرات تهدید کننده محیط های شهری می باشد که اهمیت زیادی در مدیریت بحران و تصمیم‌گیری‌های شهری دارد. بنابراین بکارگیری روش هایی جهت کاهش تلفات و خسارات ناشی از آن امری حیاتی و مهم بشمار می آید. یکی از این روش‌ها تهیه نقشه آسیب پذیری لرزه‌ایمی باشد. مسئله تعیین آسیب پذیری لرزه‌ای به دلیل وابسته بودنش به پارامترهای لرزه‌ای مختلف و نظر کارشناس همواره با عدم قطعیت‌هایی همراه است که عدم مدیریت صحیح عدم قطعیت در مسئله، منجر به برآورد نادرست از آسیب پذیری لرزه‌ای و در نتیجه آن تصمیم‌گیری‌های نادرست خواهد شد. عدم قطعیت در مسئله تعیین میزان آسیب پذیری به معنای عدم وجود راه‌حلی معین برای تعیین دقیق میزان آسیب‌پذیری می‌باشد.

تا کنون تحقیقات مختلفی جهت مدیریت عدم قطعیت موجود در مسئله آسیب پذیری ارائه شده است که هر کدام جنبه های مختلفی از عدم قطعیت را مدیریت می‌کنند. جهت برآورد بهتر و قابل اعتمادتر در مسئله تعیین آسیب پذیری لرزه‌ای، نیازمند استفاده از روش هایی هستیم که هرچه بیشتر عدم قطعیت‌های موجود در مسئله را مدیریت کنند. در این مقاله هدف استفاده از مدل محاسبات دانه‌ای<sup>۱</sup> جهت مدیریت عدم قطعیت در مسئله آسیب پذیری لرزه‌ای می‌باشد. محاسبات دانه‌ای جزء روش های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد که در آن قوانین کلاسه بندی با حداقل ناسازگاری در قالب درخت دانه‌ای استخراج می‌شوند. مدل‌های مختلف محاسبات دانه‌ای بر اساس رابطه شباهت تعریف شده بین اشیاء در تشکیل دانه‌ها تعریف می‌شوند. رابطه معادلی ساده<sup>۲</sup> از جمله روابط ساده در تعریف دانه ها می‌باشد که در آن شباهت بین اشیاء بر اساس رابطه غیر قابل تفکیک پذیری<sup>۳</sup> تعریف می‌شود. در این مقاله از رابطه‌ی شباهت عمومی<sup>۴</sup> در تعریف دانه‌ها و دانه بندی اطلاعات استفاده شده است. در این رابطه علاوه بر رفع محدودیت رابطه معادلی ساده در تعریف شباهت بین اشیاء، مشکل قطعی بودن مرزها در رابطه معادلی ساده مرتفع گردیده است.

در این تحقیق نقشه آسیب پذیری لرزه‌ای شهر تهران در مقیاس حوزه‌های شهری با استفاده از مدل محاسبات دانه‌ای بر اساس رابطه شباهت عمومی تهیه شده است.

**واژگان کلیدی:** محاسبات دانه‌ای، عدم قطعیت، آسیب پذیری لرزه‌ای، درخت دانه‌ای

\* نویسنده رابط

۱ Granular Computing Model  
۲ Equivalence Relation  
۳ Indiscernibility  
۴ General Relation

## ۱- مقدمه

زمین‌لرزه جزء مخاطرات طبیعی است که همواره زندگی انسان‌ها را تهدید می‌کند و بشر همواره به دلیل عدم قطعیت‌هایی که با آن همراه است، از پیش بینی آن ناتوان است.

امروزه با گسترش شهرنشینی، زمین‌لرزه نقش مهم و استراتژیکی در تصمیم‌گیری‌های شهری برای کاهش تلفات جانی و مالی ناشی از آن دارد [۱۰]. با توجه به پیچیدگی مبحث پیش‌بینی زمین‌لرزه و خطرات و تهدیدات آن، بکارگیری روش‌ها و راه‌حلهایی برای مدیریت بحران ناشی از زلزله می‌تواند کمک شایانی در کاهش خطرات و بلایای ناشی از آن داشته باشد. یکی از این روش‌ها تهیه نقشه آسیب‌پذیری لرزه‌ای می‌باشد. از آن‌جا که پارامترهای زیادی در تعیین آسیب‌پذیری لرزه‌ای نقش دارند، همواره این مسئله با عدم قطعیت‌هایی همراه است. عدم مدیریت صحیح عدم قطعیت در مدیریت بحران حاصل از زلزله به علت تحت‌تاثیر قرار دادن بخش‌های مختلف جامعه از قبیل قانونگذاران، سازمانهای امداد و نجات، طراحان سازه‌ای، مقامات محلی، سرمایه‌گذاران صنعتی و اقتصادی، شرکت‌های بیمه و مردم بسیار دارای اهمیت می‌باشد. بنابراین اندازه‌گیری عدم قطعیت نقشه آسیب‌پذیری لرزه‌ای کم‌اهمیت‌تر از تهیه خود نقشه آسیب‌پذیری نیست که در این تحقیق به آن پرداخته شده است. تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه تعیین آسیب‌پذیری لرزه‌ای فیزیکی و انسانی انجام شده است. از جمله این تحقیقات، گیوونینازی و لاگومارسیونو [۷] یک روش لرزه‌نگاری در سطح وسیع<sup>۱</sup>، جهت ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌ها پیشنهاد داده‌اند. این روش در یک چهارچوب مفهومی دقیق با استفاده از تئوری احتمال و مجموعه‌های فازی، توسعه داده شده است. در این تحقیق ماتریس احتمال خسارت بر اساس شش کلاس آسیب‌پذیری لرزه‌ای تشکیل شده است. اوتانی [۱۲] روش‌های ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای برای ساختمان‌های ژاپن را بررسی کرده است. در این تحقیق توسعه استانداردهای ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای برای ساختمان‌های بتونی در ژاپن بررسی شده است. در این پژوهش اصول مربوط به

ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای با استفاده از سیستم با درجه آزادی یک، نحوه ارزیابی آسیب‌پذیری بر اساس سیستم‌های با چندین درجه آزادی و همچنین با استفاده از ساختارهای نامنظم مورد بررسی قرار گرفته است. پروژه آژانس همکاری‌های بین‌المللی ژاپن جزء اولین تحقیقات انجام شده برای تعیین میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر تهران می‌باشد. در این پروژه آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر تهران در جنبه‌های فیزیکی، انسانی و همچنین برای اماکن خاص بررسی شده است [۸]. در این پروژه نقشه ریز پهنه بندی لرزه‌ای برای شهر تهران تهیه شد و همچنین پیشنهاداتی برای کاهش بحران‌های لرزه‌ای ارائه شد. اقاطاهر آسیب‌پذیری انسانی شهر تهران را با استفاده از روش تجزیه و تحلیل سلسله‌مراتبی فازی<sup>۲</sup> انجام داده است [۱،۲۰]. سیلاوی از تئوری فازی شهودی<sup>۳</sup> برای مدل کردن عدم قطعیت موجود در داده‌ها در یک مدل تصمیم‌گیری چند معیاره جهت تعیین آسیب‌پذیری لرزه‌ای استفاده کرده است [۱۳،۲۵]. جهان‌پیماز روش شبیه‌سازی مونت‌کارلو<sup>۴</sup> جهت تعیین عدم قطعیت نقشه آسیب‌پذیری لرزه‌ای استفاده کرده است [۲۳]. امیری با استفاده از دو روش تئوری استدلال شهودی<sup>۵</sup> و تئوری مجموعه‌های زبر<sup>۶</sup> به تعیین آسیب‌پذیری لرزه‌ای فیزیکی و انسانی پرداخته است [۵،۲۱]. جهان‌خواه از شکل بهبود یافته‌ی تئوری استدلال شهودی که ترکیب یکپارچه هوشیار نامیده می‌شود استفاده کرد. این روش محدودیت روش دمپستر شافر در فرض استقلال داده‌ها و منابع شهود را ندارد [۲۴]. همچنین علی‌نیا آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر تهران را با استفاده از مدل محاسبات دانه‌ای بر اساس رابطه معادلی ساده برآورد کرده است [۴،۲۶،۳].

هر کدام از این تحقیقات برای تعیین آسیب‌پذیری لرزه‌ای از روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چند معیاره برای مدیریت عدم قطعیت در مسئله و اخذ نتایج با قابلیت اعتماد بالاتر استفاده نموده‌اند. در این مقاله برای کاهش عدم قطعیت در مسئله آسیب‌پذیری از مدل توسعه یافته محاسبات دانه‌ای بر اساس رابطه شباهت عمومی برای

<sup>۲</sup> Fuzzy analytical hierarchy process

<sup>۳</sup> Intuitionistic Fuzzy Sets

<sup>۴</sup> Monte Carlo Simulation

<sup>۵</sup> Dempster-Shafer Theory

<sup>۶</sup> Rough sets Theory

<sup>۱</sup> Macro seismic

E نشان دهیم، این رابطه ویژگی‌های زیر را دارا می باشد [۹،۱۱]:

۱.  $a E a$
۲.  $a E b \leftrightarrow b E a$
۳.  $a E b, b E c \rightarrow a E c$

رابطه ۱ نشان می دهد که طبق رابطه معادلی ساده هر شیء با خودش معادل می باشد. رابطه ۲ نشان دهنده خاصیت جابجایی در رابطه معادلی ساده می باشد و رابطه ۳ برقراری خاصیت جایگشتی در رابطه معادلی ساده را نشان می دهد.

بر اساس رابطه معادلی ساده درجه عضویت زیر شیء ای مانند x به مجموعه A که زیر مجموعه‌ای از مجموعه مرجع است، به صورت رابطه ۱ تعریف می شود: [۱۴،۱۶،۱۷].

$$\mu_A(x) = \frac{|[x]_E \cap A|}{|[x]_E|} \quad (1)$$

در این رابطه  $[x]_E$  نشان دهنده اشیاء غیر قابل تفکیک پذیر از x است.

در رابطه شباهت عمومی که رابطه عمومی تری از رابطه معادلی ساده است دو شیء طبق مجموعه‌ای از صفات معادلند، اگر مقادیر صفات آنها در مجموعه صفات اشتراک غیر صفر داشته باشند. اگر این رابطه را به صورت R نشان دهیم، این رابطه ویژگی های زیر را دارا می باشد: [۱۶،۱۷].

۱.  $a E a$
۲.  $a E b \leftrightarrow b E a$

بر اساس روابط فوق رابطه شباهت عمومی دارای خاصیت شرکت پذیری نمی باشد و حالت عمومی تری نسبت به رابطه معادلی ساده می باشد. بر اساس رابطه شباهت تعریف شده بین اجزاء مجموعه مرجع (اشیاء) در این رابطه دانه‌های تشکیل شده پوششی از مجموعه مرجع به صورت رابطه ۲ ایجاد می کنند [۱۶،۱۷]:

$$C = \{c_1, c_2, c_3, \dots, c_n\} \quad (2)$$

استخراج قوانین با حداقل ناسازگاری استفاده شده است. محاسبات دانه‌ای یک تئوری محاسبات عمومی است که از دانه‌ها مثل کلاس‌ها، خوشه‌ها، گروه‌ها و بازه‌ها برای ساختن یک مدل محاسباتی مناسب، برای کاربردهای پیچیده با حجم بالایی از داده‌ها و اطلاعات، استفاده می کند [۱۴،۱۶]. هدف این مقاله مقایسه نتایج دو مدل محاسبات دانه‌ای بر اساس رابطه معادلی ساده و رابطه شباهت عمومی در ارزیابی آسیب پذیری لرزه‌ای شهر تهران می باشد.

در این مقاله ابتدا مفاهیم موجود در محاسبات دانه‌ای بررسی شده است و دو مدل آن که بر اساس رابطه معادلی ساده و رابطه شباهت عمومی می باشد بررسی و مقایسه شده‌اند، در ادامه مراحل پیاده‌سازی مدل محاسبات دانه‌ای بر اساس رابطه عمومی از شباهت برای ارزیابی آسیب پذیری لرزه‌ای توضیح داده شده است و نهایتاً نتیجه گیری حاصل از تحقیق و تحلیل نتایج آن ارائه شده است.

## ۲- مدل محاسبات دانه ای

محاسبات دانه‌ای به عنوان بر چسبی از تئوری‌ها، روش ها، ابزارها و فنون تعبیر می شود که از دانه (کلاس ها، گروه ها و خوشه های مجموعه مرجع) در حل مسئله استفاده می کند [۹، ۱۰، ۱۱].

اجزای اصلی محاسبات دانه‌ای شامل دانه‌ها، شبکه دانه ها و ساختارهای دانه‌ای است. [۹،۱۳]. معنی فیزیکی دانه بر اساس کاربرد خاص آن تعریف می شود، مثلاً در مدل سازی سیستم‌های پیچیده، دانه‌ها به عنوان اجزاء سیستم در سطوح مختلف تلقی می شوند، در تئوری گروه‌های کوچک، دانه‌ها گروه‌های کوچک هستند و در هر سازمانی دانه‌ها ممکن است تقسیمات و اجزای مختلف باشند [۶،۱۸،۱۹].

مدل محاسبات دانه ای بر اساس نوع رابطه شباهت بین دانه‌ها تعریف می شود. در مدل محاسبات دانه‌ای بر اساس رابطه معادلی ساده، رابطه شباهت بین اشیاء از طریق رابطه غیر قابل تفکیک پذیری تعریف می شود. بر اساس این رابطه دو شیء طبق مجموعه ای از صفات معادلند، اگر و تنها اگر مقادیر این دو شیء در همه ی مجموعه صفات با هم برابر باشند. این دو شیء اصطلاحاً تفکیک ناپذیر نامیده می شوند. اگر این رابطه را به صورت

بر اساس تعریف رابطه ی عمومی فرمول های مورد استفاده جهت استخراج قوانین در مدل محاسبات دانه‌ای در ادامه توضیح داده شده‌اند.

### ۲-۲-۲- عمومیّت<sup>۲</sup>

عمومیت یک مفهوم مثل  $\varphi$  که نشان دهنده ی اندازه نسبی دانه شکل دهنده  $\varphi$  است به صورت رابطه ۶ نشان داده می شود [۱۴،۱۵]:

$$G(\varphi) = \frac{|m(\varphi)|}{|U|} \quad (۶)$$

در این رابطه  $|m(\varphi)|$  نشان دهنده اندازه دانه تشکیل دهنده  $\varphi$  و  $|U|$  اندازه دانه تشکیل دهنده مجموعه مرجع است.

### ۲-۳- حمایت مطلق<sup>۳</sup>

حمایت مطلق بیان کننده درستی<sup>۴</sup> مطلق رابطه یا قانون  $\varphi \rightarrow \psi$  می‌باشد. این رابطه نشان‌دهنده میزان حمایت دانه تشکیل دهنده مفهوم  $\varphi$  از مفهوم  $\psi$  می‌باشد و به صورت احتمال شرطی  $\varphi \rightarrow \psi$  تعریف می‌شود [۱۴،۱۵]:

$$AS(\psi | \varphi) = \frac{|m(\varphi \wedge \psi)|}{|m(\varphi)|} \quad (۷)$$

در این رابطه  $|m(\varphi \wedge \psi)|$  نشان دهنده ی اندازه ی دانه ای است که اشیاء تشکیل دهنده ی آن هم در  $\varphi$  و هم در  $\psi$  صدق می کنند و  $|m(\varphi)|$  نشان دهنده ی اندازه دانه تشکیل دهنده  $\varphi$  است.

### ۲-۴- پوشش

مقدار کمی پوشش  $\psi$  توسط  $\varphi$  بیان‌کننده قابلیت احتمال فراخوانی قانون و همچنین دقت قانون می‌باشد. به عبارتی دیگر، احتمال شرطی این که اگر شیئی که به طور تصادفی انتخاب شده، در  $\psi$  قرار داشته باشد، در  $\varphi$  نیز صدق کند. این مقدار از رابطه ۸ محاسبه می‌شود [۱۴،۱۵]:

بر اساس این رابطه درجه عضویت زبرشی<sup>۱</sup>ی مانند  $x$  به مجموعه‌ای مانند  $A$  به صورت رابطه ۳ قابل تعریف است [۱۶]:

$$\begin{aligned} \underline{\mu}_A(x) &= \min\left\{\frac{|c \cap A|}{|c|} \mid x \in c, c \in C\right\} \\ \mu_A(x) &= \max\left\{\frac{|c \cap A|}{|c|} \mid x \in c, c \in C\right\} \\ \mu_A^*(x) &= \text{avrage}\left\{\frac{|c \cap A|}{|c|} \mid x \in c, c \in C\right\} \end{aligned} \quad (۳)$$

در ادامه با در نظر گرفتن رابطه شباهت عمومی، فرمول‌های استخراج قوانین در مدل محاسبات دانه‌ای بحث شده است.

### ۲-۱- جدول اطلاعات<sup>۱</sup>

جدول داده توصیف کننده یک تعداد از اشیاء می باشد، در هر سطر این جدول یک شیء قرار دارد، ستون های این جدول نیز به صفات این اشیاء اختصاص دارد و هر شیء توسط صفات مذکور تشریح می شود. رابطه ریاضی جدول اطلاعات به صورت رابطه ۴ نمایش داده می شود [۱۵]:

$$S = \{U, At, L, \{V_a \mid a \in At\}, \{f_a \mid a \in At\}\} \quad (۴)$$

در این رابطه:

$U$ : یک مجموعه غیر تهی از اشیاء

$At$ : یک مجموعه غیر تهی از صفات

$L$ : یک زبان گفتاری از ویژگی های مجموعه  $At$

$V_a$ : یک مجموعه مقادیر برای مجموعه ویژگی های  $At$

$f_a$ : یک تابع که به ازای هر  $a \in At$  و  $x \in U$  داریم،  $f(x, a) \in V_a$

و تابع اطلاعات نامیده می شود.

در این جدول اطلاعات، یک فرمول به فرم  $(a, v)$  نمایش داده می شود. که در آن  $a \in At$  و  $v \in V_a$  می باشند. بر اساس رابطه شباهت عمومی و در نظر گرفتن درجه عضویت تعریف شده در رابطه ۳ دانه تشکیل دهنده مفهوم  $\varphi$  به صورت رابطه ۵ تعریف می شود [۱۱]:

$$m_s(\varphi) = \{x \in U \mid \mu_A(x) = 1\} \quad (۵)$$

<sup>۲</sup> Generality

<sup>۳</sup> Absolute support

<sup>۴</sup> precision

<sup>۱</sup> Information Table

$p(\psi|\phi)$  بیانگر احتمال درستی فرمول برای کلاس  $\psi_i$  است.

### ۳- آماده سازی داده

در این تحقیق هدف ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای فیزیکی شهر تهران در سطح حوزه های آماری (تقسیم بندی مرکز آمار جهت سرشماری نفوس و مسکن) بر اساس سناریو فعال شدن گسل شمال تهران می باشد. موقعیت قرار گیری این گسل نسبت به شهر تهران در شکل (۱) نشان داده شده است [۲]



شکل ۱- موقعیت قرارگیری گسل شمال تهران، بیضوی مبنای WGS84، سیستم تصویر UTM، مقیاس ۱:۵۰۰۰۰

پارامترهای در نظر گرفته شده جهت تعیین آسیب پذیری فیزیکی لرزه ای در این تحقیق شامل شدت زمین لرزه، شیب توپوگرافی زمین، درصد ساختمان های ضعیف ۴ طبقه و کمتر، درصد ساختمان های ضعیف بالای ۴ طبقه، درصد ساختمان های قبل از سال ۴۵ و درصد ساختمان های بین سال های ۴۵ تا ۶۷ می باشد [۴،۲۰]:  
داده های شیب و شدت زمین لرزه در این تحقیق از اطلاعات پروژه جایکا<sup>۱</sup> که در آن مطالعات میکروزون بندی لرزه خیزی تهران در سال ۲۰۰۰ انجام شده است استخراج گردیده است [۸]. داده های مربوط به ساختمان ها از اطلاعات ارائه شده توسط مرکز آمار در مقیاس حوزه های آماری بدست آمده است.

جهت استخراج قوانین کلاسه بندی با استفاده از مدل محاسبات دانه ای ۳۰، حوزه شهری بصورت تصادفی

$$CV(\phi|\psi) = \frac{|m(\phi \wedge \psi)|}{|m(\phi)|} \quad (۸)$$

در این رابطه  $|m(\phi \wedge \psi)|$  نشان دهنده اندازه دانه ای است که اشیاء تشکیل دهنده آن هم در  $\phi$  و هم در  $\psi$  صدق می کنند و  $|m(\psi)|$  نشان دهنده اندازه دانه تشکیل دهنده  $\psi$  است.

### ۲-۵- تغییر حمایت<sup>۵</sup>

تغییر حمایت  $\psi$  که توسط  $\phi$  ایجاد می شود، از تفاضل حمایت مطلق و عمومیت بدست می آید و با استفاده از رابطه ۹ بدست می آید [۱۴،۱۵]

$$CS(\phi \rightarrow \psi) = AS(\psi|\phi) - G(\psi) \quad (۹)$$

محدوده ی تغییرات  $CS$  بین -۱ و +۱ می باشد. در این رابطه  $G(\psi)$  به عنوان احتمال اولیه  $\psi$  و  $AS(\psi|\phi)$  به عنوان احتمال ثانویه آن در نظر گرفته می شود،  $G(\psi)$  مرتبط با میزان حمایتی است که همه ی اشیاء موجود در مجموعه از  $\psi$  دارند و  $AS(\psi|\phi)$  میزان حمایتی که زیر مجموعه  $m(\phi)$  از  $\psi$  دارد را نشان می دهد و تفاضل بین این دو احتمال تغییر حمایت نامیده می شود. برای مقادیر مثبت تغییر حمایت،  $\phi$  به طور مثبت به  $\psi$  وابسته است و برای مقادیر منفی تعبیر می شود که  $\phi$  به طور منفی به  $\psi$  وابسته است [۱۴،۱۵].

### ۲-۶- ناسازگاری شرطی<sup>۶</sup>

ناسازگاری دلایل مختلفی دارد، از جمله آن می توان به حجم زیاد اطلاعات، دانش کم موجود در مورد داده ها، ناسازگاری موجود در نظرات کارشناسان اشاره کرد [۱۴،۹،۴].

ناسازگاری شرطی  $H(\psi|\phi)$  از رابطه ۱۰ بدست می آید و بیان کننده توانایی رابطه معکوس  $\psi \rightarrow \phi$  می باشد [۱۴،۱۵].

$$H(\psi|\phi) = \sum_{i=1}^n p(\phi_i|\phi) \log p(\phi_i|\phi) \quad (۱۰)$$

<sup>۳</sup> The Japan International Cooperation Agency (JICA)

<sup>۱</sup> Change of support  
<sup>۲</sup> Entropy

انتخاب شده اند و درجه آسیب پذیری لرزه ای فیزیکی آنها به صورت اعداد یک تا پنج توسط کارشناس تعیین شده اند و در جدول شماره ۱ نشان داده شده اند.

جدول ۱- تعیین اعداد آسیب پذیری

میزان آسیب پذیری	عدد آسیب پذیری
خیلی کم	۱
کم	۲
متوسط	۳
زیاد	۴
خیلی زیاد	۵

#### ۴- استخراج درخت دانه ای

جدول شماره ۲ اطلاعات مربوط به حوزه های شهری نمونه را نشان می دهد. در این جدول جهت سهولت، پارامترهای موثر در آسیب پذیری به صورت زیر خلاصه شده است:

شدت زمین لرزه: شدت

شیب توپوگرافی زمین: شیب

درصد ساختمان‌های ضعیف ۴ طبقه و کمتر: ضعیف کمتر ۴

درصد ساختمان‌های قبل از سال ۴۵: قبل ۴۵

درصد ساختمان‌های بین سال‌های ۴۵ تا ۶۷: بین ۶۷-۴۵

درصد ساختمان‌های ضعیف بالای ۴ طبقه: ضعیف بیشتر ۴

در استخراج درخت دانه ای با استفاده از مدل محاسبات دانه‌ای قوانین با حداقل ناسازگاری و حداکثر حمایت مطلق به عنوان قوانین همبستگی استخراج می شوند. در این تحقیق علاوه بر ناسازگاری و حمایت مطلق، عمومیت بالا، پوشش بالا و تغییر حمایت مثبت به عنوان معیارهای انتخاب قوانین در تشکیل درخت دانه ای استفاده شده‌اند. هدف از تشکیل درخت دانه ای در این تحقیق استخراج قوانین با ناسازگاری صفر است. برای تعیین اولویت قوانین با ناسازگاری صفر از عمومیت، حمایت مطلق، پوشش و تغییر حمایت استفاده شده است [۱۳]. فلوچارت شکل ۲ نحوه ی تشکیل درخت دانه‌ای برای استخراج قوانین همبستگی را نشان می دهد.

جدول ۲- اطلاعات حوزه های شهری نمونه

کلاس	ضعیف بیشتر ۴	بین ۴۵-۶۷	قبل ۴۵	ضعیف کمتر ۴	شدت	شیب	نمونه
۴	۰	۱۹	۷	۳۵	۸/۵	۳۳/۶۳	۱
۵	۸	۶۹	۸	۶۴	۸/۵۵	۲۴/۵۶	۲
۵	۴	۷۷	۲	۲۱	۸/۵۵	۱/۷۳	۳
۴	۲۵	۱	۰	۳	۸/۵۴	۲۱/۷۶	۴
۴	۰	۷۷	۲	۴۹	۸/۱	۱	۵
۵	۱	۸۳	۲	۱۹	۸/۰۶	۳/۷۵	۶
۳	۰	۶۲	۰	۴	۸/۱۸	۴/۷	۷
۵	۱۴	۸۵	۹	۸۵	۸/۸	۳/۷۵	۸
۲	۵	۴۴	۱۹	۲۶	۸/۸۲	۳/۷۵	۹
۳	۰	۹۳	۱	۴۳	۷/۹۸	۷/۲	۱۰
۲	۱	۷۴	۲	۴	۸/۲۶	۸/۹۴۴	۱۱
۳	۲	۷۸	۸	۳۰	۸/۰۷	۳/۷۵	۱۲
۳	۰	۱۹	۰	۱	۸/۲۸	۲۹/۵۷	۱۳
۴	۰	۶۹	۱۲	۵۹	۷/۸۹	۱	۱۴
۵	۰	۷۱	۱۲	۷۷	۷/۸۵	۰	۱۵
۴	۱	۵۵	۴۱	۶۶	۷/۷۵	۲/۷	۱۶
۵	۳	۲۰	۶۶	۷۵	۷/۸۱	۲/۲۵	۱۷
۵	۲	۲۵	۶۰	۶۵	۷/۸۷	۱	۱۸
۵	۱	۳۷	۴۸	۸۰	۷/۸۵	۰	۱۹
۵	۰	۱۸	۷۶	۹۳	۷/۷۲	۱	۲۰
۴	۰	۷۸	۰	۷۱	۷/۶۴	۰	۲۱
۴	۱	۶۹	۰	۴۲	۷/۶۳	۰	۲۲
۴	۳	۶۷	۱۹	۶۵	۷/۶۲	۰	۲۳
۴	۰	۴۱	۴۵	۶۵	۷/۶۸	۰	۲۴
۳	۰	۸۹	۰	۱۷	۷/۸۳	۰	۲۵
۵	۰	۸۱	۵	۷۳	۷/۷۴	۰	۲۶
۵	۰	۹۰	۰	۷۱	۷/۶۹	۰	۲۷
۴	۰	۸۷	۱	۶۰	۷/۶۲	۰	۲۸
۴	۲	۷۷	۰	۴۷	۸/۰۷	۴/۷	۲۹
۵	۱۶	۳۸	۳۳	۶۵	۷/۸۹	۱	۳۰

در تشکیل درخت دانه ای با استفاده از رابطه شباهت عمومی مقادیر صفات به صورت همپوشانی دار در نظر گرفته می شوند. با در نظر گرفتن مقادیر کلاس ها به صورت همپوشانی دار مشکل قطعی بودن مرزها در رابطه معادلی ساده بر طرف گردیده است و حوزه هایی که مقادیر صفات آن ها در مرز قرار گرفته اند با بیش از یک قانون کلاسه بندی می شوند و در نتیجه دقت کلاسه بندی افزایش می یابد. برای این منظور برای هر کلاس حد پائین و بالا در نظر گرفته شده اند. مقادیر دسته بندی صفات به صورت زیر در نظر گرفته شده اند:

۱- شیب بر حسب درصد

کلاس	حد بالا	حد پائین
۱	۴	۰
۲	۱۳	۳/۵
۳	۲۵	۱۱
۴	۴۵	۲۱

۴- درصد ساختمان‌های بین سال ۴۵ تا ۶۷

کلاس	حد بالا	حد پائین
۱	۳۷	۰
۲	۶۰	۳۳
۳	۸۰	۵۵
۴	۱۰۰	۷۵

۲- مقیاس مرکزی

کلاس	حد بالا	حد پائین
۱	۷/۷۵	۷/۲۸
۲	۸/۰۵	۷/۶۵
۳	۸/۴	۷/۹
۴	۸/۹۸	۸/۳

۵- درصد ساختمان‌های قبل از سال ۴۵

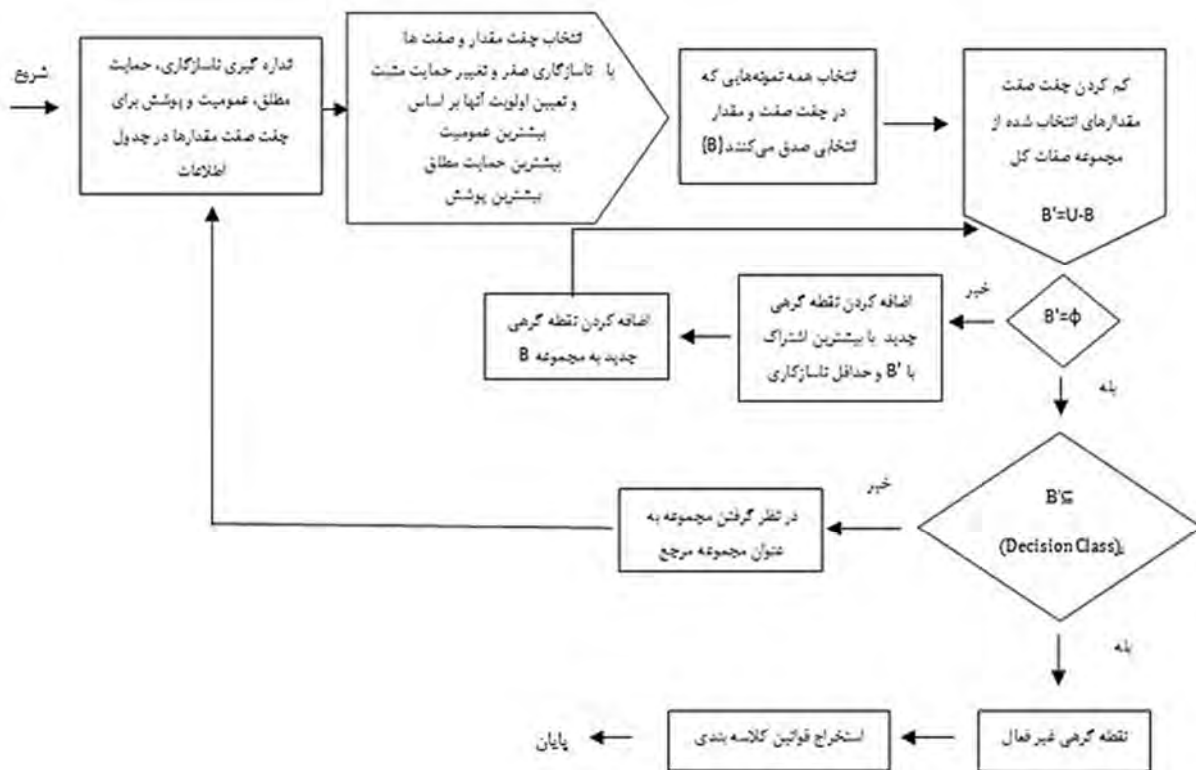
کلاس	حد بالا	حد پائین
۱	۱۰	۰
۲	۳۰	۷
۳	۵۵	۲۵
۴	۱۰۰	۵۰

۳- درصد ساختمان‌های ضعیف ۴ طبقه و کمتر

کلاس	حد بالا	حد پائین
۱	۲۲	۰
۲	۴۸	۲۰
۳	۷۷	۴۲
۴	۱۰۰	۷۰

۶- درصد ساختمان‌های ضعیف بالای و مساوی با ۵ طبقه

کلاس	حد بالا	حد پائین
۱	۱۱	۰
۲	۳۱	۸
۳	۶۲	۲۷
۴	۱۰۰	۵۸

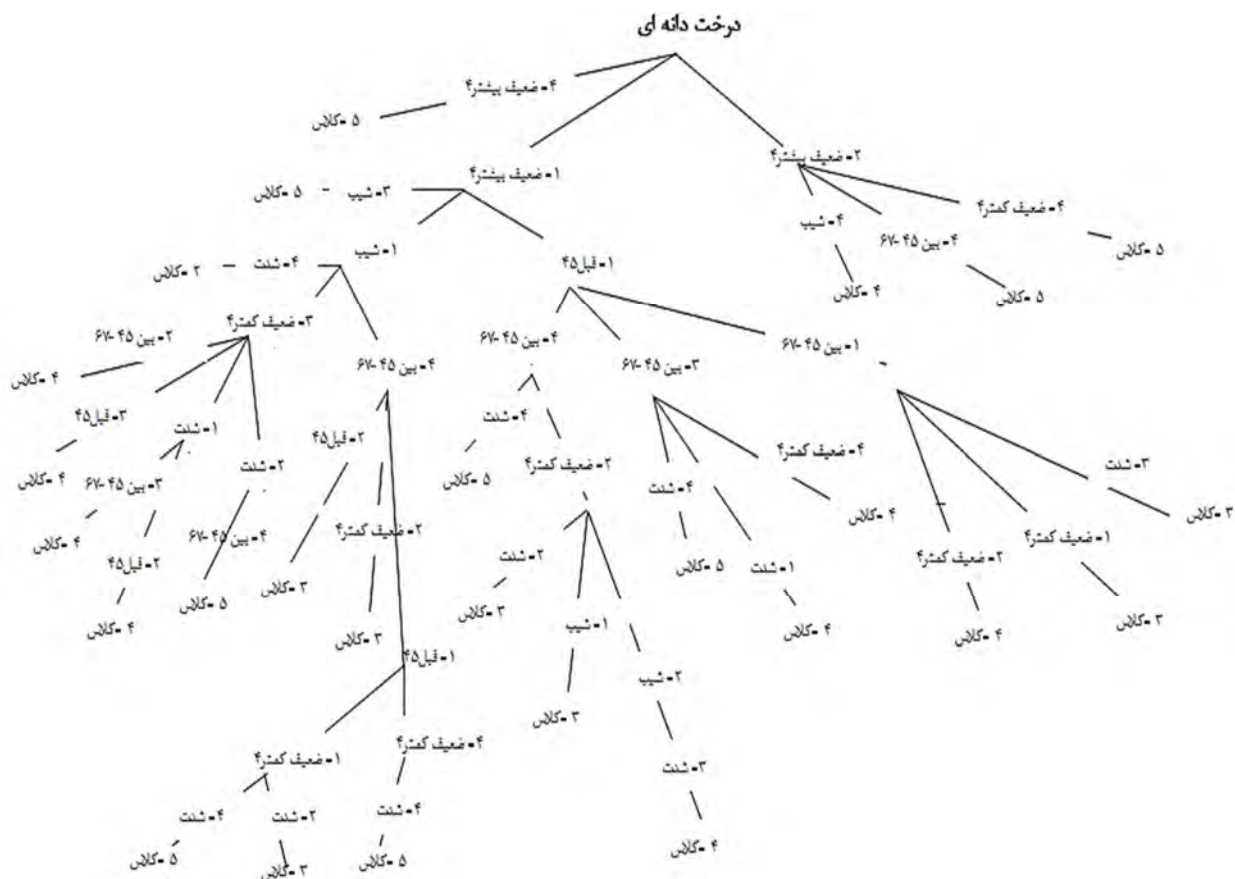


شکل ۲- فلوچارت تشکیل درخت دانه ای

صورت که حوزه های شهری با استفاده از مقادیر آسیب پذیری خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد کلاسه بندی شده اند. نتایج حاصل از کلاسه بندی بر اساس مدل محاسبات دانه ای بر اساس رابطه شباهت عمومی نشان می دهد که ۱٪ از حوزه های شهری دارای آسیب پذیری خیلی کم، ۸٪ دارای آسیب پذیری کم، ۲۸٪ دارای آسیب پذیری متوسط، ۳۱٪ دارای آسیب پذیری زیاد، ۳۲٪ دارای آسیب پذیری خیلی زیاد می باشند. تنها ۵ حوزه ی شهری با استفاده از این روش کلاسه بندی نشده اند. شکل ۴ نمایش گرافیکی تقسیم بندی حوزه های شهری بر اساس آسیب پذیری لرزه ای را در این روش نشان می دهد.

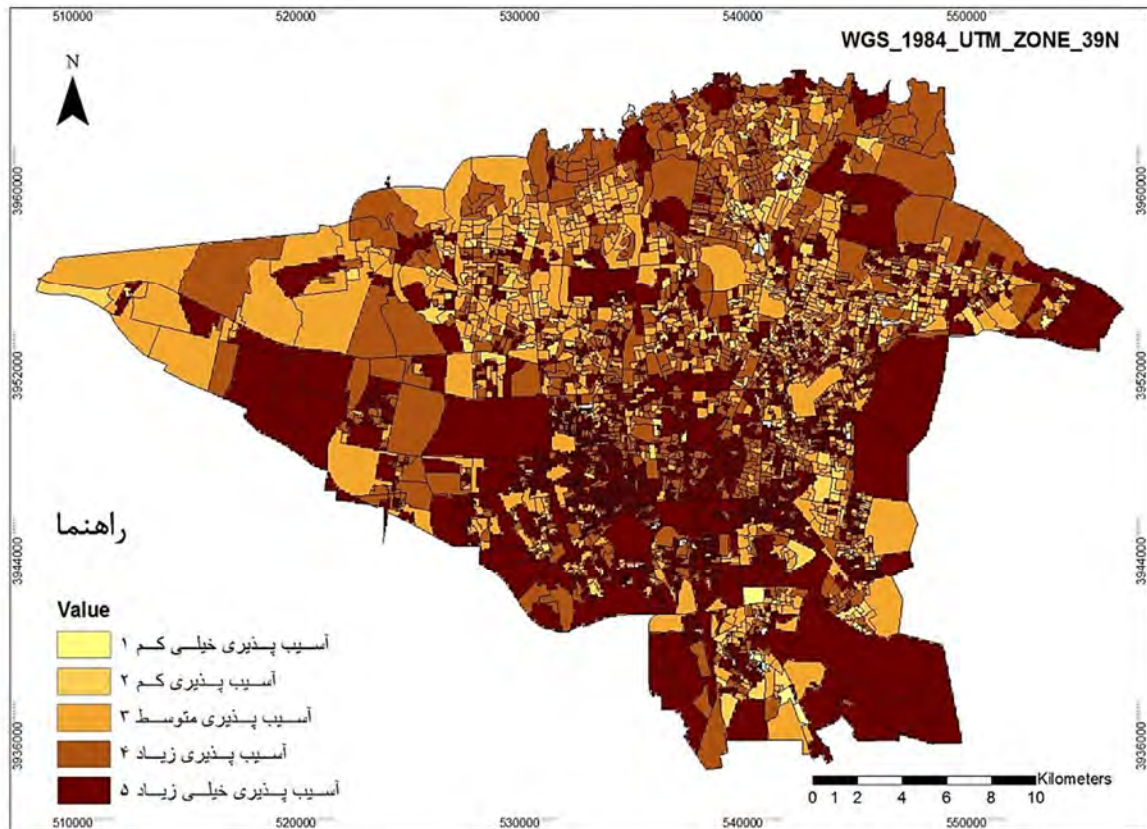
درخت دانه‌ای تشکیل شده برای استخراج قوانین کلاسه بندی حوزه های شهری بر اساس آسیب پذیری لرزه‌ای فیزیکی طبق اطلاعات جدول شماره ۱ به صورت درخت دانه ای شکل ۳ استخراج گردیده است.

درخت دانه‌ای تشکیل شده بر اساس ناسازگاری صفر در هفت سطح استخراج گردیده است. در این درخت قوانین بر اساس اولویت از چپ به راست در درخت دانه ای قرار گرفته اند. با استفاده از درخت دانه ای استخراج شده بر اساس رابطه شباهت عمومی، نقشه آسیب پذیری لرزه‌ای شهر تهران به صورت شکل ۴ استخراج گردیده است. با استفاده از این رابطه حوزه های شهری تهران به ۵ گروه از لحاظ آسیب پذیری تقسیم گردیده اند. به این



شکل ۳- درخت دانه‌ای جهت تعیین آسیب پذیری لرزه‌ای فیزیکی بر اساس رابطه شباهت عمومی

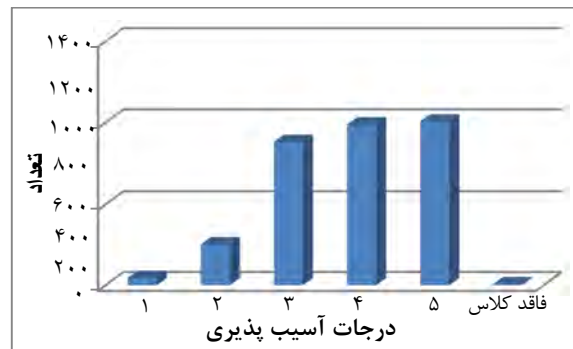




شکل ۴- نقشه آسیب پذیری فیزیکی لرزه ای تهران با استفاده از مدل محاسبات دانه ای بر اساس رابطه شباهت عمومی

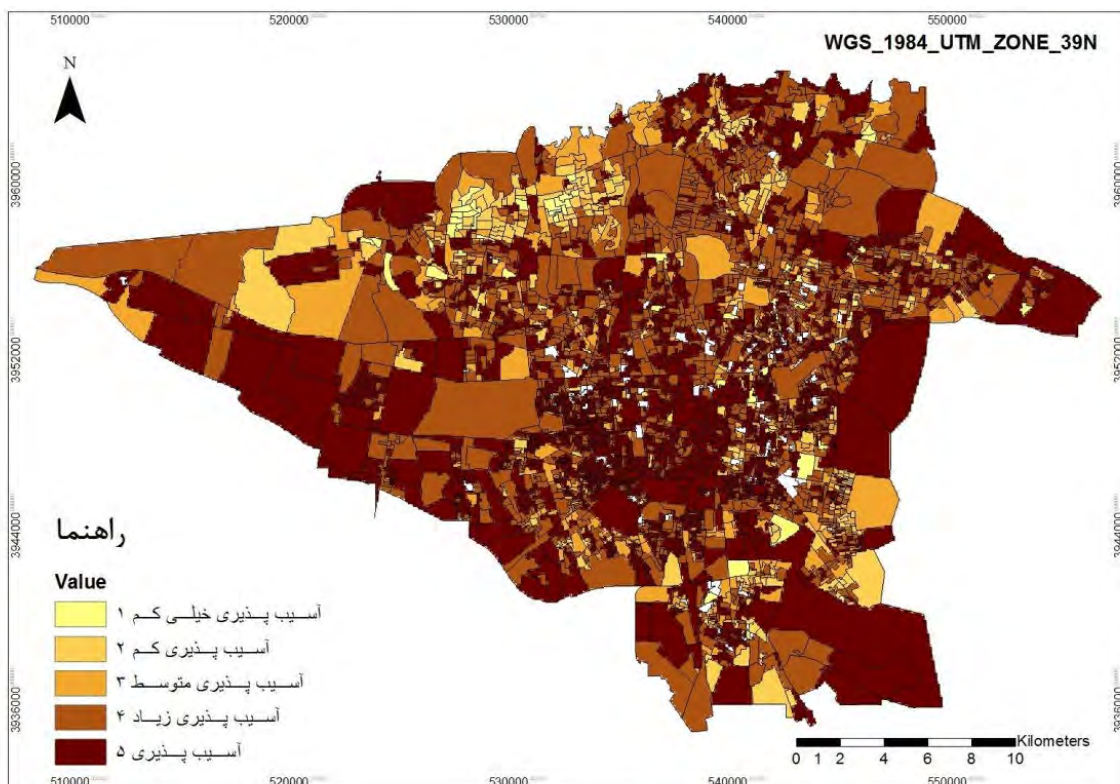
پذیری متوسط، زیاد و خیلی زیاد می باشند و تنها ۵ حوزه ی شهری فاقد کلاس آسیب پذیری هستند و با استفاده از مدل محاسبات دانه ای بر اساس رابطه شباهت عمومی کلاسه بندی نشده اند.

شکل ۵ نمایش گرافیکی تعداد حوزه های شهری بر اساس درجات آسیب پذیری مختلف را در مدل محاسبات دانه ای بر اساس رابطه شباهت عمومی نشان می دهد. با توجه به این نمودار بیشتر حوزه های شهری دارای آسیب



شکل ۵- تعداد حوزه های شهری برای درجات آسیب پذیری مختلف با استفاده از مدل محاسبات دانه ای بر اساس رابطه شباهت عمومی

شکل شماره ۶ نقشه آسیب پذیری شهر تهران را با استفاده از مدل محاسبات دانه ای بر اساس رابطه معادلی ساده نشان می دهد.



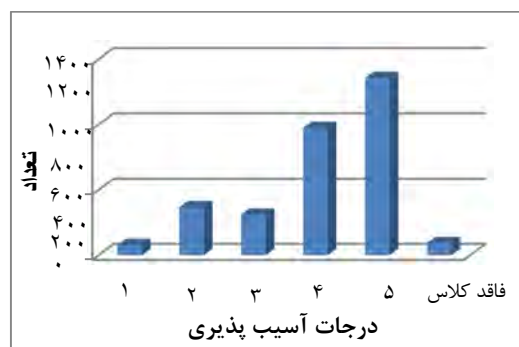
شکل ۶- نقشه آسیب پذیری فیزیکی لرزه‌های تهران با استفاده از رابطه معادلی ساده

باشند و قوانین استخراج شده نسبت به رابطه شباهت عمومی بسیار کمتر می باشد.

### ۵- نتیجه گیری

تعیین آسیب پذیری لرزه‌ای فیزیکی در کلاس تصمیم گیری های چند معیاره می باشد که به دلیل وابسته بودنش به پارامترها و نظر کارشناس همواره با عدم قطعیت هایی همراه است. هر کدام از روش های تصمیم گیری چند معیاره جنبه های خاصی از عدم قطعیت را مدیریت می کنند و هیچ کدام از آنها توانایی مدیریت همه جانبه عدم قطعیت را ندارند. استفاده از مدل محاسبات دانه‌ای روشی مناسب جهت استخراج قوانین با ناسازگاری صفر جهت مدیریت عدم قطعیت در این تحقیق پیشنهاد و پیاده سازی گردیده است. در این مدل قوانین با ناسازگاری صفر از داده‌های نمونه استخراج می شوند. در این مدل قوانین در قالب جفت صفت (مثلا شدت کم) مقدار نه بر اساس صفات تنها (شدت) تشکیل، مقایسه و استخراج می شوند.

با توجه به نقشه آسیب پذیری شکل ۶ تقسیم حوزه های شهری بر اساس درجات آسیب پذیری به صورت شکل شماره ۷ نشان داده شده اند.



شکل ۷- تعداد حوزه های شهری برای درجات آسیب پذیری مختلف با استفاده از رابطه معادلی ساده

با توجه به شکل ۷ در مدل محاسبات دانه‌ای بر اساس رابطه معادلی ساده، ۹۲ حوزه شهری کلاسه بندی نشده اند. همانطور که قبلا اشاره شد با توجه به اینکه در رابطه معادلی ساده از رابطه غیر قابل تفکیک پذیری در تعریف دانه‌ها استفاده می‌شود، دانه‌ها دارای مرزهای قطعی می

تعداد حوزه هایی که کلاسه بندی نشده اند بسیار کمتر از مدل محاسبات دانه ای بر اساس رابطه معادلی ساده می باشد.

دقت دو مدل محاسبات دانه ای بر اساس رابطه معادلی ساده و رابطه شباهت عمومی با انتخاب ۱۰۰ حوزه شهری پس از کلاسه بندی برآورد گردیده است. با استفاده از فرمول  $\frac{k}{k+n}$  [۱۴] که در این فرمول  $k$  تعداد حوزه هایی است که بر اساس قوانین استخراج شده به درستی کلاسه بندی شده اند و  $n$  تعداد حوزه هایی است که به درستی کلاسه بندی نشده اند، دقت برآورد شده برای مدل محاسبات دانه ای بر اساس رابطه شباهت عمومی ۸۱٪ و برای مدل محاسبات دانه ای بر اساس رابطه معادلی ساده ۶۷٪ می باشد. این نتایج نشان دهنده قابلیت اعتمادپذیری بیشتر رابطه شباهت عمومی در مقایسه با رابطه معادلی ساده می باشد. زیرا در این روش حوزه هایی که مقادیر آنها در مرز صفات قرار گرفته اند با بیش از یک قانون کلاسه بندی شده اند که این عامل کاهش عدم قطعیت در مرزها را به دنبال دارد.

مدل محاسبات دانه ای براساس رابطه معادلی ساده همواره با محدودیت هایی در تعیین شباهت بین اشیاء در تشکیل دانه ها همراه است. در این مدل مرزها به صورت قطعی در نظر گرفته می شوند و در مرزها کلاسه بندی به درستی انجام نمی گیرد. با در نظر گرفتن دانه ها به صورت قطعی، قوانینی که بر اساس این دانه ها استخراج می شود نیز کم می شود و توانایی کلاسه بندی کل مجموعه مرجع را ندارد و بسیاری از اشیاء مجموعه مرجع فاقد کلاس باقی می مانند.

استفاده از رابطه عمومی در تشکیل مدل محاسبات دانه ای علاوه بر رفع کمبود رابطه معادلی ساده در تعریف شباهت بین اجزاء، با در نظر گرفتن مرزهای همپوشانی دار محدودیت قطعی بودن مرزها نیز برطرف می گردد. همچنین با استفاده از این مدل می توان قوانین بیشتری را نسبت به رابطه معادلی ساده استخراج کرد. در این روش به دلیل همپوشان بودن مرزها حوزه های شهری که مقادیر صفات آنها در مرز قرار می گیرد با بیش از یک قانون کلاسه بندی می شوند که این خود باعث افزایش صحت در خروجی نهایی می گردد. علاوه بر، با استفاده از این روش حوزه های بیشتری کلاسه بندی می شوند و

## مراجع

- [1] Aghataher R, Delavar MR, Kamalian N (2005) Weighing of contributing factors in vulnerability of cities against earthquakes. Proc. Map Asia Conference, Jakarta, Indonesia, October 12, 2006, pp 22–25
- [2] Alinia H., Delavar, M.R. and Yao, Y.Y. (2010). "Support and Confidence parameters to induct decision rules to classify Tehran's seismic vulnerability", Proc. The 6th International Symposium on Geo-Information for Disaster Management (Gi4DM), September 15, 2010, Torino, Italy, pp 52-56
- [3] Alinia, H. and Delavar, M.R., (2010). Granular computing model for solving uncertain classification problems of seismic vulnerability. in: Spatial Data Quality From Process To Decision, Edited by Rodolphe Devillers and Helen Goodchild., pp.132-134.
- [4] Alinia, H. and Delavar, M.R.A., (2011), Tehran's seismic vulnerability classification using granular computing approach, Applied Geomatics, 3, 229-240
- [5] Amiri AR, Delavar MR, Zahrai SM and Malek MR (2007) Tehran seismic vulnerability assessment using Dempster-Shafer Theory of evidence. Proc. Map Asia Conference, Kuala Lumpur, Malaysia, December 24, pp 34-38
- [6] Arrow, H., J.E., McGrath. and J.L., Berdahl, 2000, Small Groups as Complex Systems: Formation, Coordination, Development, and Applications, Sage Publications, Thousand Oaks, California, September 12, 2000, pp 23-27
- [7] Giovanazzi, S. and S., Lagomarsino, (2009), a macroseismic method for the vulnerability assessment of buildings, Proc.13th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada, August 1-6, 2009, Paper No. 896, pp.124- 130

- [8] JICA (Japan International Cooperation Agency), 2000, The Study on Seismic Microzoning of The Greater Tehran Area in the Islamic Republic of Iran (Final Report).
- [9] Lin, T.Y. 1997, Granular computing, announcement of the BISC Special Interest Group on Granular Computing
- [10] Khamespanah, F., Delavar, M.R., Alinia, H. and Zare, M, 2013, Granular Computing and Dempster-Shafer Integration in Seismic Vulnerability Assessment, Lecture note in geoinformation and cartography, (Springer- Verlag Berlin Heidelberg 2013), pp.147-158
- [11] Lin, T.Y. 2003, Granular computing, Lecture Notes in Computer Science 2639, Springer, Berlin, November 17, 2003, pp 16-24
- [12] Otani, S., 2010, Seismic Vulnerability assessment methods for building in Japan, Journal of Earthquake Engineering and Engineering Seismology, 2(2), pp. 47-56
- [13] Silavi T, Delavar MR, Malek MR, Kamalian N, Karimizand K (2006) An integrated strategy for GIS-based fuzzy improved earthquake vulnerability assessment. The Second International Symposium on Geo-Information for Disaster Management. ISPRS, Delhi, India, December 12, 2006, pp 45-49
- [14] Yao, Y.Y., 2004, A Partition Model of Granular Computing, Transactions on Rough Sets I, 3100, 232-253
- [15] Yao, Y.Y. and Yan, M. (2007). "ICS: An Interactive Classification System", Proceedings of the 20th Canadian Conference on Artificial Intelligence (CAI'07), 134-145.
- [16] Yao, Y.Y. and J.P Zhang, 2004, Interpreting fuzzy membership functions in the theory of rough sets, Proceedings ,The Second International Conference on Rough Sets and Current Trends in Computing, LNAI 2005, Geneva, Italy, September 15, 2004, pp82-89
- [17] Yao, Y.Y. 2006, Three perspectives of granular computing, Journal of Nanchang Institute of Technology, 25, 16-21.
- [18] Zadeh, L.A. , 1997, Towards a theory of fuzzy information granulation and its centrality in human reasoning and fuzzy logic, Fuzzy Sets and Systems, 19, 111-127.
- [19] Zadeh, L.A., 1998, Some reflections on soft computing, granular computing and their roles in the conception, design and utilization of information intelligent systems. Soft Computing 2, 23-25.
- [۲۰] آفاطهر ر.، ۱۳۸۴، برآورد آسیب پذیری لرزه ای در تهران با استفاده از سیستم های اطلاعات مکانی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه تهران.
- [۲۱] امیری ع.، ۱۳۸۷، ارزیابی ریسک لرزه ای شهر تهران با بکارگیری تئوری های عدم قطعیت شهود و زبر، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه تهران.
- [۲۲] برگی، خ. ۱۳۷۴ کتاب اصول مهندسی زلزله، موسسه انتشارات جهاد دانشگاهی (ماجد).
- [۲۳] جهان پیمان، م. ح. ۱۳۸۶، بررسی انتشار عدم قطعیت در برآورد پتانسیل لرزه ای شهر تهران با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه تهران.
- [۲۴] جهانخواه، م. ۱۳۸۸، ترکیب اطلاعات مکانی با استفاده از تئوری استدلال شهودی برای ارزیابی آسیب پذیری لرزه‌های شهر تهران، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه تهران.
- [۲۵] سیلاوی ط.، ۱۳۸۵، ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای شهر تهران با بکارگیری مدل های فازی شهودی، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه تهران.
- [۲۶] علی نیا، ح. ۱۳۸۸، ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای شهر تهران با استفاده از تئوری محاسبات دانه ای، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی دانشگاه تهران.
- [۲۷] زارع، م.، میبدیان، م.، ۱۳۸۹، تحلیل خطر و ریسک زمین لرزه، انتشارات پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، تهران.