Archive of SID

مجله کنترل
جلد ۳، شماره ۳، پاییز ۱۳۸۸، صفحه ۶۳-۵۲

گسترش تئوری استدلال شهودی در یک روش تصمیم گیری چند معیاره در اطلاعات مکانی غیر مستقل

محسن جهانخواه[۱] ، بهزاد مشیری[۲] ، محمود رضا دلاور[۳] ، مهدی زارع[۴]

[۱]دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه کنترل ، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران،
mohsen_jahankhah@yahoo.com

[۲]استاد قطب علمی کنترل و پردازش هوشمند، گروه کنترل، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران،
moshiri@ut.ac.ir

[۳] استادیار قطب علمی مهندسی نقشه برداری و مقابله با سوانح طبیعی ، گروه مهندسی نقشه برداری، پردیس دانشکده های فنی دانشگاه تهران،
mdelavar@ut.ac.ir

[۴] دانشیار پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، mzare@iiees.ac.ir

(تاریخ دریافت مقاله ۱۳۸۸/۷/۱۷، تاریخ پذیرش مقاله ۱۳۸۸/۹/۱۷)

چکیده : تصمیم‌گیری چند معیاره روشی برای رتبه بندی تصمیمات ممکن بر اساس قضاوت های انجام شده در هر کدام از معیارها است. این قضاوت ها همواره با عدم قطعیت هایی همراه بوده و استفاده از روش تصمیم‌گیری که این عدم قطعیت ها را نیز در برگیرد، می تواند منجر به تصمیمات منطقی‌تر و دقیق‌تری گردد. تاکنون روشهای کلاسیک مختلفی مانند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی برای تصمیم-گیری چند معیاره پیشنهاد شده اند. اما این روشها به خوبی عدم قطعیت موجود در داده ها و مراحل تصمیم‌گیری را در بر نمی گیرند. برای مدل سازی این عدم‌قطعیت ها، روشهای هوشمندی از جمله روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی دمپستر- شافر ارائه شده اند. اما این روشها بر اساس فرض استقلال منابع شهود استوار بوده که ممکن است در داده هایی مانند اطلاعات مکانی بر قرار نباشند. برای حل این مشکل در این تحقیق روش تصمیم‌گیری جدیدی بر اساس تئوری استدلال شهودی و قانون ترکیبی که بر فرض استقلال منابع شهود استوار نیست ارائه شده است. این روش برای ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه ای مناطق شهری تهران با استفاده از اطلاعات مکانی وابسته استفاده شده است.

کلمات کلیدی: تصمیم گیری چند معیاره ، تئوری استدلال شهودی ، عدم قطعیت ، قانون ترکیب یکپارچه هوشیار.

The Evidential Reasoning Approach for a Multi Attribute Decision Making Method in Geospatial Information

Abstract: Multi attribute decision making is a method to rank decision alternatives based on judges conducted by each criteria. These judges have been accompanied with some uncertainties and a decision making method dealing with the uncertainties could lead to more rational and precise decisions. A number of classical methods for multi attribute decision making have been proposed such as Analytic Hierarchy Process(AHP). However the methods do not include uncertainties in data and decisions appropriately. For modeling the uncertainties, some intelligent methods have also been employed. One of the most popular ones is Dempster-Shafer Analytic Hierarchy Process (DS/AHP). This method is based on independent assumption of intuition sources that is not established in data such as geospatial information. To solve this problem, this paper has proposed a new intelligent decision making method based on evidential reasoning theory and a combination rule that does not need independent assumption of information. The method has been used for seismic vulnerability assessment of urban areas of Tehran using dependent geospatial information.

Keywords: Multi Attribute Decision Making, Evidential Reasoning, Uncertainty, Cautious Conjunctive Rule.

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

تصمیم گیری در دنیای واقعی مستلزم در نظر گرفتن شواهد و اطلاعات بدست آمده از منابع مختلفی است که در تصمیم‌گیری موثر می باشد. در فرایندهای تصمیم گیری هر کدام از این منابع را یک معیار تصمیم گیری می نامند. در یک فرایند تصمیم‌گیری چند معیاره برای تصمیم‌گیرنده چندین حالت انتخاب وجود دارد که تصمیم- گیرنده باید بر اساس معیارهای موجود بهترین تصمیم را اتخاذ کند. یکی از روشهای کلاسیک مشهور برای تصمیم‌گیری های چند معیاره روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی[1] است [۱۷]. علاوه بر این روش ، روشهای دیگری مانند روشهای تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی اصلاح شده از جمله تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی ضربی [۸،۹] نیز پیشنهاد شده اند که برخی از آنها برای پاسخ گویی به مشکلات و رفع نقاط ضعف روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی مانند لزوم سازگار بودن مقایسه ها ، تعداد مقایسه های دو به دو ، تعداد درجه‌های برتری و ... مطرح گردیدند [۱]. در فرایند های تصمیم‌گیری، تصمیم‌گیرنده همواره با قطعیت عمل تصمیم‌گیری را انجام نداده و تصمیم‌گیری ها با عدم قطعیت هایی همراه می‌باشند. به عنوان مثال در قضاوت در مورد کیفیت یک محصول با چندین درجه ارزیابی، تصمیم‌گیرنده ممکن است همواره نتواند با قطعیت محصول را با یکی از این درجات ارزیابی نماید و ممکن است تصمیمات فوق دارای شک و ابهام باشند. همچنین در برخی موارد داده های اولیه نیز ممکن است داده‌هایی همراه با عدم قطعیت باشند. در چنین حالتهایی به یک روش تصمیم گیری چند معیاره نیاز است که توانایی مدل سازی عدم‌قطعیت در داده‌ها و مراحل مختلف تصمیم‌گیری را داشته باشد. برای رفع این مشکل روشهایی مانند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی دمپستر- شافر [۱] ارائه شد که ایده هایی برای ترکیب تئوری استدلال شهودی دمپستر – شافر با روش سنتی تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی به نام تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی دمپستر- شافر ارائه نموده است. همچنین محققان دیگری نیز از تئوری استدلال شهودی دمپستر- شافر در روشهای تصمیم گیری چند معیاره کلاسیک استفاده نموده‌اند [۲۰]. تئوری استدلال شهودی یکی از روشهای بسیار مفید برای مدل سازی عدم قطعیت می باشد که ایده‌های اصلی آن از کارهای دمپستر [۳] و شافر [۱۱] سرچشمه می گیرد.

همان طور که دمپستر نیز بیان نموده است [۳]، تئوری دمپستر- شافر با محدودیت هایی همراه بوده که یکی از مهم‌ترین آنها، فرض استقلال و مجزا بودن منابع شهود می باشد. یافتن تعبیر ملموس و واضحی از این فرض در دنیای واقعی دشوار می باشد. ولی به طور کلی می توان گفت ، در این قانون ترکیب هیچ منبع شهودی نبایستی بیش از دو بار در ترکیب به کار رود.

در چنین مسائلی داشتن یک قانون ترکیب که مبتنی بر فرض استقلال منابع شهود نباشد می تواند بسیار مفید واقع گردد. برای رسیدن به چنین قانون ترکیبی تحقیقات مختلفی نیز انجام شده است که به عنوان نمونه یکی از آنها در [۱۰] ارائه شده است . اما این روش تنها برای ترکیب اطلاعات منابع شهود ساده مفید می باشد. منبع شهود ساده منبعی است که با محاسبه مجموعه چهارچوب[2] حداکثر دارای دو فرضیه باشد. در ادامه این تحقیقات بحث هایی راجع به وابستگی منابع شهود و ترکیب آنها مطرح شده‌اند [۴] که در پی آنها در [۲] با استفاده از تحقیقات اسمیتز و کنس در [۱۳] در زمینه مدل TBM[3] روشی برای ترکیب منابع شهود وابسته ارائه گردید. ولی این روش دارای خاصیت شرکت پذیری نبود و در حالتی که منابع شهود مورد ترکیب دارای ناسازگاری باشند ، با مشکلاتی مواجه می گردد.

در ادامه این تحقیقات اخیرا با استفاده از مدل TBM و قضیه‌هایی راجع به تجزیه منابع شهود روشی برای ترکیب منابع شهود وابسته به نام قانون ترکیب یکپارچه هوشیار[4] ارائه گردیده است که دارای خاصیت شرکت پذیری و خود ترکیبی[5] می باشد[۶]. در قوانین ترکیبی که دارای خاصیت خود ترکیبی هستند ، از ترکیب بیش از یک بار یک منبع شهود و حتی یک منبع شهود با خودش ، نتیجه جدیدی حاصل نشده و اطلاعات جدیدی بدست نمی آید که از نظر منطقی نیز قابل قبول است.

در این تحقیق در نظر است تا با استفاده از اطلاعات مکانی ، اولویت هر منطقه از شهر تهران از نظر آسیب‌پذیری لرزه‌ای بر مبنای آسیب‌پذیری انسانی بررسی گردد. در ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای معیارهای مختلفی مانند شدت زلزله ، تراکم جمعیت، تراکم جمعیت سالخورده ، قدمت ساختمان و ... دخیل بوده و بنابر این یک مسئله تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد. تابحال تحقیقات گوناگونی برای تعیین آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر تهران انجام گرفته است که از جمله آنها تحقیق امیری و سیلاوی را می توان نام برد [۲۴،۲۳]. امیری از روش تصمیم گیری سلسله مراتبی دمپستر- شافر و تئوری مجموعه های زبر

[1] Analytic Hierarchy Process(AHP)

[2] Frame of Discernment
[3] Transferable Belief Model
[4] Cautious Conjunctive Rule
[5] Idempotenty

www.SID.ir

Archive of SID

برای ارزیابی آسیب‌پذیری استفاده نموده است اما وابستگی منابع اطلاعات در این تحقیق در نظر گرفته نشده است. سیلاوی نیز آسیب-پذیری لرزه‌ای را با استفاده از تئوری مجموعه‌های فازی شهودی بررسی نموده است[۲۴]. در این تحقیق نیز وابستگی منابع و ناسازگاری‌های بین ارزیابی در معیارها در نظر گرفته نشده است.

اطلاعات مکانی را می توان نمونه‌ای از منابع اطلاعاتی که دارای همبستگی هستند در نظر گرفت. در تحقیق حاضر در جهت تکمیل و تعمیم پژوهشهای گذشته از تئوری استدلال شهودی و قانون ترکیب یکپارچه هوشیار در یک فرایند تصمیم‌گیری چند معیاره بر اساس یک مدل ارزیابی سلسله مراتبی برای ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر تهران استفاده شده است. در این روش از تئوری استدلال شهودی و قانون ترکیب یکپارچه هوشیار جهت ترکیب ارزیابی‌های انجام شده در هر دسته از معیارهای پایه و معیارهای کلی استفاده شده است. داده‌های بکار رفته در این تحقیق شامل اطلاعات مکانی هستند که مستقل از یکدیگر نمی باشند. در ادامه در بخش دوم، تئوری دمپستر- شافر و تصمیم گیری چند معیاره مرور خواهند شد. سپس در بخش سوم روش ترکیب یکپارچه هوشیار را معرفی کرده و در بخش چهارم تصمیم گیری چند معیاره مبتنی بر آن مدل سازی شده و برای ارزیابی آسیب-پذیری لرزه‌ای شهر تهران بکار رفته است. در بخش آخر نیز نتایج تحلیل ارائه شده‌اند.

۲- تئوری استدلال شهودی و تصمیم گیری چند معیاره

مفاهیم اولیه تئوری دمپستر- شافر در رابطه با تعریف حدود بالا و پایین احتمال توسط دمپستر در [۳] بیان شده است که در این بخش روابط پایه این تئوری مرور می گردد.

۲-۱- مروری بر تئوری استدلال شهودی

برای بیان مفاهیم این تئوری ، یک سؤال دلخواه در نظر گرفته می شود و مجموعه تمامی جوابهای ممکن به این سؤال را مجموعه چهارچوب نامیده و با Ω نشان داده می شود. در این صورت 2^{Ω} کلیه زیر مجموعه های مجموعه Ω خواهد بود $2^{\Omega}=\{A \mid A \subseteq \Omega\}$ [۲۱].

زیر مجموعه A که در حالت خاص شامل مجموعه ϕ (تهی) و Ω می شود ، نمایش دهنده فرضیه ای است که جواب پرسش در مجموعه A قرار داشته باشد و فرضیه[1] نامیده می شود [۲۱]. به هر کدام از فرضیه ها عددی به نام جرم احتمال پایه تعلق داده می‌شود که نشان دهنده میزان شهود موجود در تایید آن فرضیه است و تخصیص احتمال پایه[2] نامیده می‌شود که در این تحقیق به صورت مختصر تخصیص نامیده شده است. تعلق جرم صفر به یک فرضیه ، به معنی صفر بودن احتمال صحت آن نیست بلکه نشان دهنده عدم وجود اطلاعات در تایید آن بوده و نوعی جهل را نشان می دهد. برای جرم های احتمال پایه رابطه (۱) ارائه شده است [۲۱].

$$\sum_{A \subseteq \Omega} m(A)=1 \qquad (۱)$$

سه تابع مورد استفاده در تئوری دمپستر- شافر شامل توابع باور[3]، امکان[4] و رواج[5] هستند که به صورت $Bel, Pl, q : 2^{\Omega} \rightarrow [0\ ,\ 1]$ ، بر اساس رابطه (۲) تعریف می گردند [۲۱].

$$\begin{aligned} Bel(A) &= \sum_{B \subseteq A} m(B) \\ Pl(A) &= \sum_{B \cap A \neq \varphi} m(B) \\ q(A) &= \sum_{B \supseteq A} m(B) \end{aligned} \qquad (۲)$$

Bel(A) نشان دهنده مقدار حداقل تایید و حمایت فرضیه A توسط شهود است. Pl(A) نیز نشان دهنده مقدار قابل باور بودن فرضیه A با توجه به شهود است. q(A) نیز بیانگر جرم فرضیه هایی است که A دلالت به آنها دارد. اکنون فرض می گردد که چند منبع شهود موجود باشند. یکی از روشهای ترکیب منابع شهود، قانون ترکیب دمپستر است. فرض اساسی این قانون ترکیب مستقل بودن منابع شهود است [۳] که همیشه بر قرار نمی باشد. در چنین حالتهایی باید از قوانین ترکیب دیگری استفاده نمود که نیازی به فرض استقلال منابع شهود نداشته باشند. همان گونه که ذکر شد یکی از روشهای ترکیب ارائه شده بر مبنای مفاهیم استدلال شهودی که مستقل از فرض استقلال منابع شهود است قانون ترکیب یکپارچه هوشیار است که اخیرا ارائه شده است[۶]. در بخش سوم این قانون ترکیب مرور خواهد شد.

۲-۲ - تصمیم گیری چند معیاره با استفاده از استدلال شهودی

بسیاری از مسائل تصمیم گیری در علوم مهندسی و مدیریت ، تصمیم گیری هایی هستند که بر اساس چندین معیار کمی و کیفی انجام می گیرند. در چنین مسائلی انجام یک تصمیم منطقی‌تر مستلزم در نظر گرفتن توام همه این معیارها می باشد. برای تشریح این مطلب، فرض می

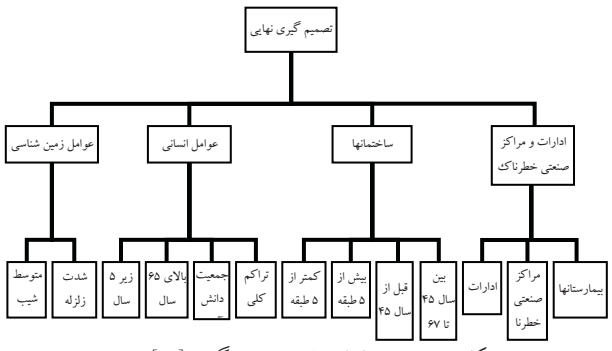
[1] Focal Element

[2] Basic Probability Assignment
[3] Belief
[4] Plausibility
[5] Commonality

www.SID.ir

Archive of SID

شود که در یک فرایند ارزیابی دو دسته معیار، به نام معیارهای کلی و معیارهای پایه وجود دارند. برای ارزیابی هر کدام از معیارهای پایه می توان از قضاوت‌هایی که در ذهن انجام می گیرد استفاده نمود. به عنوان مثال عملکرد یک سیستم را می توان به صورت، ضعیف، متوسط، خوب و عالی با درجات اطمینان مختلف ارزیابی نمود. در چنین ارزیابی، ضعیف، متوسط، خوب و عالی درجات ارزیابی را تشکیل می دهند. عملکرد یک سیستم به یک مفهوم کلی اشاره می کند که نمی توان آن را مستقیما ارزیابی نمود. برای ارزیابی چنین مفاهیم کلی، باید آنها را به مفاهیم و ویژگیهای جزئی‌تری که مستقیما قابل ارزیابی باشند، تجزیه نمود. چنین ویژگیهایی را ویژگیهای پایه می نامند. مسائل ارزیابی بر اساس چندین معیار، اغلب دارای چنین ساختار سلسله مراتبی می باشند. در شکل (۱) یک ساختار ارزیابی چند معیاره سلسله مراتبی نشان داده شده است. در ارزیابی سلسله مراتبی، ویژگیهای سطح بالا بوسیله ویژگیهای مرتبط با آنها در سطح پایین‌تر ارزیابی می گردند. در ارزیابی این ویژگیها می توان از ارزیابیهای همراه با عدم قطعیت همان طور که در این تحقیق در نظر گرفته شده است، استفاده نمود[۱۹،۲۰،۲۳]. در شکل (۱) مسئله ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای به صورت یک ساختار سلسله مراتبی نشان داده شده است. در چنین ساختاری ارزیابی نهایی بر اساس ارزیابی‌های انجام شده برای معیارهای کلی انجام می گیرد [۲۳،۲۴].



شکل ۱ : درخت سلسله مراتبی تصمیم گیری [۲۳]

فرض می گردد که دارای L ویژگی پایه $e_i(i=1,2,...,L)$ مرتبط با ویژگی کلی y هستیم. L ویژگی پایه به صورت رابطه (۳) تعریف می گردد.

$$E=\{e_1,e_2,...,e_L\} \qquad (۳)$$

برای هر کدام از این ویژگی ها ، وزن هایی به صورت $\overline{w}=\{\overline{w}_1,\overline{w}_2,...,\overline{w}_L\}$ در نظر گرفته شده که در آن $\sum_i \overline{w}_i=1$ و $0\le \overline{w}_i\le 1$ وزن نسبی ویژگی i ام e_i می باشد. این وزن ها نشان-دهنده اهمیت هر ویژگی نسبت به بقیه ویژگی ها در ارزیابی ویژگی کلی می باشند. این وزن ها به گونه‌ای نرمالیزه می گردند که وزن مهمترین ویژگی برابر یک و وزن بقیه ویژگی ها نسبت به آن سنجیده شود (رابطه (۴)).

$$w_i=\frac{\overline{w}_i}{\max_i\{\overline{w}_i,i=1,2,...,L\}} \qquad (۴)$$

همچنین 2N-1 درجه ارزیابی متشکل از درجات ارزیابی مجزای H_i و درجات ارزیابی بازه ای $H_{ij}=\{H_i,H_j\}$ به صورت $H=\{H_1,H_{12},H_2,H_{23},...,H_{(N-1)N},H_N\}$ در نظر گرفته می-شوند [۱۸]. H_n ، n امین درجه ارزیابی مجزا بوده و بدون از دست دادن کلیت مسئله فرض می گردد ، در ارزیابی H_{i+1} نسبت به H_i برتر باشد. همچنین H_{ij} نیز نشان دهنده ارزیابی همراه با عدم قطعیت است که می تواند به هر کدام از درجات ارزیابی قرار گرفته در فاصله H_i تا H_j نسبت داده شود. در حقیقت درجه H_{ij} عدم قطعیت و شکی که یک ارزیاب ممکن است بین درجات H_i تا H_j داشته باشد را مدل سازی می کند. همچنین در حالت عدم قطعیت کامل نیز می توان از فاصله H_{1N} که شامل تمام درجات ارزیابی می گردد استفاده نمود. مجموعه H، فرضیه ها را تشکیل می دهد. در این تحقیق چهار درجه ارزیابی مجزا به صورت H_1 : کم ، H_2: متوسط ، H_3 : زیاد و H_4: بسیار زیاد در نظر گرفته شده است. در نتیجه فرضیه ها برابر $H=\{H_1,H_{12},H_2,H_{23},H_3,H_{34},H_4,H_{14}\}$ خواهند بود. اکنون ارزیابی یک ویژگی پایه $e_i(i=1,2,...,L)$ را می توان به صورت رابطه (۵) فرمول بندی کرد [۱۹].

$$\begin{aligned}S(e_i)=\{&(H_1,\beta_1),(H_{12},\beta_{12}),(H_2,\beta_2),\\&...,(H_{(N-1)N},\beta_{(N-1)N}),(H_N,\beta_N),(H_{1N},\beta_{1N})\}\\ i=1,2,...,L\end{aligned} \qquad (5)$$

در این رابطه $0\le\beta_i,\beta_{ij}\le 1$ درجات باور در ارزیابی با بازه‌های H_i تا H_{ij} را مشخص کرده و در حقیقت جرم های احتمال پایه اولیه هستند. با توجه به رابطه (۱) می توان رابطه (۶) را برای این درجات باور نوشت [۱۹].

$$\sum_{i=1}^{N}\beta_i+\sum_{i=1}^{N-1}\beta_{i(i+1)}+\beta_{1N}=1 \qquad (6)$$

فرض کنیم که w_m وزن نرمالیزه شده ویژگی e_m باشد. در این صورت جرم های احتمال پایه برای این درجات ارزیابی به صورت رابطه (۷) تعریف می گردند [۱۹].

www.SID.ir

Archive of SID

$$
\begin{aligned}
m_i &= w_m \beta_i \\
m_{i(i+1)} &= w_m \beta_{i(i+1)} \\
m_{1N} &= 1-\left(\sum_{i=1}^{N} m_i + \sum_{i=1}^{N-1} m_{i(i+1)}\right) \\
&= 1-w_m\left(\sum_{i=1}^{N} \beta_i + \sum_{i=1}^{N-1} \beta_{i(i+1)}\right) \\
&= (1-w_m)+w_m \beta_{1N}
\end{aligned}
\qquad (7)
$$

در رابطه (۷)، m_{1N} جرم احتمال باقی مانده ای است که در e_m به هیچ کدام از درجات ارزیابی تخصیص داده نشده و در حقیقت جرم عدم-قطعیت بر اساس معیار e_m و وزن w_m می باشد.

تا اینجا جرم های احتمال پایه برای هر کدام از معیارها با توجه به وزن آنها تعیین و جرم احتمال پایه مربوط به عدم‌قطعیت نیز مشخص گردید. اکنون باید با استفاده از یک روش تجمیع، ارزیابی مربوط به e_m ها را با استفاده از جرم های احتمال پایه آنها ترکیب کرده و ویژگی کلی y را ارزیابی نمود. پس از ترکیب برای ویژگی کلی y نیز جرم های احتمال پایه‌ای مانند C_{ij}, C_{1N} و C_i به دست می آید که از آنها برای ترکیب ویژگی های کلی با یکدیگر در سطح بالاتر استفاده می گردد.

یکی از راههای ترکیب ویژگی ها، تئوری دمپستر- شافر است. اما این تئوری بر اساس فرض استقلال و مجزا بودن منابع شهود بوده که در بسیاری از مسائل و از جمله اطلاعات آماری و مکانی برقرار نمی باشد. برای حل این مشکل در تحقیق حاضر از روشهای پیشرفته تر ترکیب شهود مانند قانون ترکیب یکپارچه هوشیار استفاده شده است.

۱- قانون ترکیب یکپارچه هوشیار

در اطلاعات بکار رفته در این تحقیق به عنوان منبع شهود ، داده-هایی چون تراکم جمعیت ، تراکم جمعیت سالخورده ، تراکم جمعیت دانش آموز و ... مستقل از یکدیگر نبوده و به یکدیگر وابسته‌اند. بنابر این برای ترکیب این اطلاعات در تصمیم گیری چند معیاره باید از فرایند ترکیبی استفاده کرد که بتواند این منابع شهود وابسته را ترکیب نماید. تاکنون تحقیقاتی در زمینه روشهای ترکیب منابع وابسته ارائه شده [7,10] که یکی از کامل ترین آنها قانون ترکیب یکپارچه هوشیار است [6]. در این تحقیق نیز برای ترکیب اطلاعات ارزیابی ویژگی های پایه از این قانون ترکیب استفاده شده است. در این روش از مدل TBM ارائه شده توسط کنس [13] و اسمیتز [۱۴] استفاده شده است.

همان طور که گفته شد جرم های احتمال پایه نشان دهنده باور حاصل از منبع شهود است که به فرضیه ها تخصیص می یابد و تخصیص احتمال پایه نامیده می شود. یک تخصیص مانند m را غیر صریح می نامند اگر $m(\Omega) \neq 0$. همچنین تخصیص هایی که دارای یک و یا با محاسبه Ω دو فرضیه هستند را نیز ساده می نامند. یک تخصیص ساده m به گونه‌ای که $m(A) = 1-w$ به ازای یک $A \neq \Omega$ و $m(\Omega) = w$ را می توان به صورت A^w نمایش داد. در نتیجه یک تخصیص مبهم[1] را می توان به صورت A^1 به ازای هر $A \subset \Omega$ نمایش داد.

قانون ترکیب TBM و دمپستر به ترتیب با $\otimes$ و $\oplus$ نمایش داده و به صورت روابط (۸) و (۹) تعریف می شوند. اگر m_1 و m_2 دو تخصیص باشند، رابطه (۸) را خواهیم داشت[۱۴].

$$
m_1 \otimes m_2 = \sum_{B \cap C = A} m_1(B) m_2(C) \qquad (8)
$$

و با فرض اینکه $m_1 \otimes m_2(\phi) \neq 1$ رابطه (۹) را داریم [۶].

$$
m_{1\oplus 2}(A) = \begin{cases} 0 \\ \dfrac{m_{1\otimes 2}(A)}{1-m_{1\otimes 2}(\phi)} \end{cases} \qquad (9)
$$

همان طور که مشاهده می شود تنها تفاوت قانون ترکیب دمپستر و TBM ، یک فرایند نرمالیزاسیون است. هر دوی این قانونهای ترکیب، دارای خاصیت جابجایی و شرکت پذیری می باشند و شرط همه آنها مجزا بودن شهود ترکیب شونده است. اگر A^{w_1} و A^{w_2} به عنوان دو تخصیص ساده با فرضیه های یکسان $A \neq \Omega$ در نظر گرفته شوند ، ترکیب آنها با عملگر $\otimes$ یک تخصیص ساده به صورت $A^{w_1 w_2}$ بوده و عملگر $\oplus$ نیز اگر $A \neq \phi$ باشد ، همین نتیجه را خواهد داد.

برای بیان قانون ترکیب یکپارچه هوشیار ابتدا تجزیه منابع شهود تشریح می گردد.

۱-۳- تجزیه متحد استاندارد[2]

شافر در [۱۱] یک تخصیص جداپذیر را به صورت ترکیب $\oplus$ از تخصیص های ساده تعریف کرد. از دیدگاه شافر به ازای هر تخصیص جداپذیر می توان رابطه (۱۰) را نوشت [۶].

$$
m = \bigoplus_{\phi \neq A \subset \Omega} A^{w(A)} \qquad (10)
$$

که در آن $w(A) \in [0,1]$ برای هر $A \subset \Omega$ و $A \neq \phi$. این تجزیه به ازای m های غیر صریح منحصر به فرد بوده و شافر آن را تجزیه استاندارد نامید.

در [۱۵] یک تخصیص دلخواه غیر صریح به صورت ترکیب منحصر به فردی از تخصیص های ساده تعمیم یافته[1] بیان شده است. یک

[1] Vacuous
[2] Canonical Conjunctive Decomposition

www.SID.ir

Archive of SID

تخصیص ساده تعمیم یافته به صورت یک تابع μ از 2^{Ω} به $\mathbb{R}$ به صورت رابطه (۱۱) تعریف می گردد [۱۵].

$$\begin{aligned}&\mu(A)=1-w\\&\mu(\Omega)=w\\&\mu(B)=0\\&\forall B\in 2^{\Omega}\setminus\{A,\Omega\}\end{aligned}\qquad(11)$$

که در آن $A\neq\Omega$ و $w\in[0,+\infty)$.

هر تخصیص ساده تعمیم یافته را می توان به صورت A^{w} برای یک $A\neq\Omega$ و $w\in[0,+\infty)$ نشان داد که در حالت $w\le 1$ ، یک تخصیص ساده خواهد بود. به ازای $w>1$، μ را یک تخصیص ساده معکوس می نامند. قانون ترکیب TBM را می توان برای ترکیب تخصیص های ساده و تخصیص های ساده معکوس بدون تغییر استفاده نمود. همچنین رابطه $A^{w_1}\otimes A^{w_2}=A^{w_1w_2}$ برای w_1 و $w_2\in[0,+\infty)$ نیز همچنان برقرار است. با استفاده از مفهوم تخصیص ساده تعمیم یافته ، هر تخصیص غیر صریح را می توان به صورت یک ترکیب متحد از تخصیص های ساده تعمیم یافته به صورت رابطه (۱۲) نشان داد [۱۵].

$$m=\bigotimes_{A\subset\Omega}A^{w(A)}\qquad(12)$$

که در این رابطه به ازای هر $A\subset\Omega$ ، $w(A)\in[0,+\infty)$ است. وزن های $w(A)$ را نیز می توان با استفاده از تابع رواج محاسبه نمود [۶] (رابطه (۱۳)).

$$w(A)=\prod_{B\supseteq A}q(B)^{(-1)^{|B|-|A|+1}}\qquad(13)$$

بنابراین می توان گفت ، تابع $w:2^{\Omega}\setminus\{\Omega\}\to[0,+\infty)$ که تابع وزنی نامیده می شود ، مانند Bel ، Pl و q یک راه نمایش تخصیص احتمال پایه های غیر صریح است.

۳-۲- مقایسه محتوای اطلاعاتی توابع باور

برای بیان قانون ترکیب لازم است ابتدا راه های مقایسه توابع باور بر اساس محتوای اطلاعات آنها تعریف شوند. سه مورد از این مقایسه‌ها در [۲۲] و [۵] پیشنهاد شده‌اند که تعمیمی بر اصل شمول در نظریه مجموعه ها بوده و به صورت زیر بیان می گردند .

مرتب سازی بر اساس توابع :

تابع امکان : $m_1\sqsubseteq_{pl}m_2$ اگر و تنها اگر $pl_1(A)\le pl_2(A)$ برای $\forall A\subseteq\Omega$.

تابع رواج : $m_1\sqsubseteq_{q}m_2$ اگر و تنها اگر $q_1(A)\le q_2(A)$ برای $\forall A\subseteq\Omega$.

ترتیب- S : $m_1\sqsubseteq_{S}m_2$ اگر و تنها اگر یک ماتریس مربعی S با درایه های $S(A,B),A,B\in 2^{\Omega}$ به نام ماتریس تخصیص وجود داشته باشد که رابطه (۱۴) برای آن بر قرار باشد [۶].

$$\begin{aligned}&\sum_{B\subseteq\Omega}S(A,B)=1\ ,\ \forall A\subseteq\Omega\\&S(A,B)>0\Rightarrow A\subseteq B\ \ ,A,B\subseteq\Omega\end{aligned}\qquad(14)$$

به طوری که :

$$m_1(A)=\sum_{B\subseteq\Omega}S(A,B)m_2(B)\ \ ,\forall A\subseteq\Omega\qquad(15)$$

می توان نشان داد که $m_1\sqsubseteq_{S}m_2$ تلویحا دلالت بر $m_1\sqsubseteq_{pl}m_2$ و $m_1\sqsubseteq_{q}m_2$ نیز می کند.

مفهوم دیگری که می توان بر اساس آن نیز توابع باور را مقایسه و مرتب کرد تخصیص دمپسترین[۲] است [۱۲]. m_1 را تخصیص دمپسترین برای m_2 می نامند اگر و تنها اگر یک تخصیص احتمال پایه مانند m وجود داشته باشد که $m_1=m\otimes m_2$ و با $m_1\sqsubseteq_{d}m_2$ نمایش داده می‌شود. همان طور که در [۱۲] بیان شده است این مرتب سازی شرط قوی تری نسبت به مرتب سازی بر اساس ماتریس تخصیص اعمال می کند، به عبارتی خواهیم داشت که $m_1\sqsubseteq_{d}m_2\Rightarrow m_1\sqsubseteq_{S}m_2$.

همچنین می توان توابع باور را براساس توابع وزنی تعریف شده مرتب سازی نمود. دو تخصیص غیر صریح[۳] m_1 و m_2 در نظر گرفته می شوند. m_1 را در مقایسه w، ترکیب شده تر از m_2 می‌گویند اگر و تنها اگر برای هر $A\subset\Omega$ ، $w_1(A)\le w_2(A)$. واضح است که این شرط معادل وجود یک تخصیص مانند mبا تابع وزنی $w=\frac{w_1}{w_2}$ است به گونه‌ای که $m_1=m\otimes m_2$. مشاهده می شود که مقایسه w شرایط قوی تری نسبت به مقایسه d اعمال می نماید.

می توان گفت تخصیص های مبهم m_{Ω} (با توابع وزنی $w_{\Omega}(A)=1$ برای هر $A\subset\Omega$) بزرگترین عضو مقایسه‌های بیان شده هستند. به عبارتی $m\sqsubseteq_{x}m_{\Omega},\forall m,\forall x\subseteq\{pl,q,s,d,w\}$.

در بخش ۳-۳ با استفاده از مطالب بیان شده، قانون ترکیب یکپارچه هوشمند بیان خواهد شد.

۳-۳- قانون ترکیب

[1] Generalized Simple Basic Probability Assignment

[2] Dempsterian

[3] Nondogmatic

www.SID.ir

Archive of SID

اکنون با توجه به مطالب بیان شده و استفاده از قانون LCP[1] که در [۱۶] توضیح داده شده است ، قانون ترکیب یکپارچه هوشیار بیان می گردد. قانون LCP بیان می کند که از بین دو تابع باور حاصل از ترکیب ، مناسب ترین تابع ، تابع با حداقل اطلاعات می باشد. فرض می گردد که تخصیص های m_1 و m_2 از دو منبع شهود قابل اعتماد در اختیار می باشد. حاصل ادغام این دو تخصیص باید به صورت یک تخصیص مانند m_{12} که از نظر اطلاعاتی از m_1 و m_2 کامل‌تر است بیان شود. مجموعه تمامی تخصیص هایی مانند m' که بر اساس یک مقایسه مانند x که $x \in \{pl, q, s, d, w\}$ از نظر اطلاعات غنی تر از m هستند، یعنی $m \sqsubset_x m'$، با $S_x(m)$ نمایش داده می شوند. در نتیجه خواهیم داشت که $m_{12} \in S_x(m_1)$ و $m_{12} \in S_x(m_2)$ که معادل است با $m_{12} \in S_x(m_1) \cap S_x(m_2)$. بر اساس اصل LCP باید عضو کمتر اعمال شده در مقایسه x را در $S_x(m_1) \cap S_x(m_2)$ به عنوان m_{12} انتخاب نمود.

قضیه : m_1 و m_2 دو تخصیص احتمال پایه غیر صریح در نظر گرفته می شوند. در مقایسه w ، عضو با کمترین اعمال در $S_w(m_1) \cap S_w(m_2)$ به صورت منحصر به فرد وجود داشته و با تابع وزنی رابطه (۱۶) بیان می گردد [۶].

$$w_{1\Theta 2}(A) = w_1(A) \wedge w_2(A) \ , \ \forall A \subset \Omega \qquad (16)$$

که $\wedge$ نشان دهنده عملگر مینیمم می باشد.

اثبات : [۶].

اکنون با استفاده از رابطه (۱۶) می توان قانون ترکیب یکپارچه هوشیار را تعریف نمود.

تعریف : فرض کنید m_1 و m_2 دو تخصیص احتمال پایه غیر صریح باشند. ترکیب آنها با قانون ترکیب یکپارچه هوشیار که به صورت $m_{1\Theta 2} = m_1 \Theta m_2$ نشان داده می شود ، به صورت رابطه (۱۷) تعریف می گردد [۶] :

$$m_1 \Theta m_2 = \bigotimes_{A \subset \Omega} A^{w_{1\Theta 2}(A)} = \bigotimes_{A \subset \Omega} A^{w_1(A) \wedge w_2(A)} \qquad (17)$$

مشاهده می شود که اگر در این قانون ترکیب، یک منبع شهود با خود آن ترکیب شود ، تخصیص های بدست آمده از ترکیب تغییری نکرده و همان تخصیص های اولیه خواهند بود.

اکنون می توان از این قانون ترکیب برای ترکیب منابع شهود اطلاعات آماری و مکانی جهت ارزیابی آسیب پذیری لرزه‌ای مناطق تهران که منابع شهود وابسته محسوب می گردند استفاده نمود.

۲- تصمیم گیری چند معیاره بر اساس قانون ترکیب یکپارچه هوشیار

همان طور که ذکر شد ، در مدل بکار رفته برای تصمیم گیری ، مجموعه $H = \{H_1, H_{12}, H_2, ..., H_{(N-1)N}, H_N\}$ فرضیه های مورد استفاده در ارزیابی را تشکیل می‌دهند. با توجه به رابطه (۲) ابتدا توابع رواج و سپس توابع وزنی برای فرضیه ها به صورت روابط (۱۸) و (۱۹) تشکیل می گردند.

$$\begin{aligned} &q(\varphi) = 1 \\ &q(H_1) = m(H_1) + m(H_{12}) + m(H_{14}) \ , \\ &q(H_{12}) = m(H_{12}) + m(H_{14}) \ , \\ &\vdots \\ &q(H_{14}) = m(H_{14}) \end{aligned} \qquad (18)$$

و داریم که :

$$\begin{aligned} &w(H_1) = \frac{q(H_{12})q(H_{14})}{q(H_1)} \ , \\ &w(H_{12}) = \frac{1}{q(H_{12})q(H_{14})} \ , \\ &\vdots \\ &w(\varphi) = \frac{q(H_1)q(H_2)q(H_3)q(H_4)}{q(H_{12})q(H_{23})q(H_{34})q(H_{14})} \end{aligned} \qquad (19)$$

اکنون با استفاده از روش ترکیب یکپارچه هوشیار و خاصیت شرکت پذیری آن می توان منابع شهود را طبق رابطه (۱۷) ترکیب نمود. قانون ترکیب بدست آمده، در رابطه (۲۰) نشان داده شده است.

$$\begin{aligned} &w_{1\Theta 2\Theta ...}(H_1) = w_1(H_1) \wedge w_2(H_1) \wedge ... \\ &\vdots \\ &w_{1\Theta 2\Theta ...}(H_{14}) = w_1(H_{14}) \wedge w_2(H_{14}) \wedge ... \\ &\Rightarrow m_1 \Theta m_2 \Theta ... = \bigotimes_{A \subset \Omega} A^{w_{1\wedge 2\wedge ...}(A)} \end{aligned} \qquad (20)$$

۳- کار عملی

برای ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر تهران در این تحقیق معیارها به چهار دسته تقسیم می گردند. متناظر با هر کدام از این دسته ها یک معیار کلی و تعدادی معیار پایه مرتبط با آن وجود دارد. معیارهای کلی عبارت از عوامل انسانی ، عوامل زمین شناسی ، ساختمانها و ادارات و مراکز صنعتی هستند [۲۳،۲۴]. معیارهای پایه مرتبط با این معیارهای کلی در شکل (۱) مشاهده می شود. برای تعیین وزن معیارهای

[1] Least Commitment Principle

www.SID.ir

Archive of SID

کلی و معیارهای پایه از دانش چندین فرد خبره استفاده شده است. برای ترکیب اطلاعات این افراد می توان از روشهای مختلفی مانند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی ، تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی دمپستر- شافر ، روش متوسط گیری وزن دار و ... استفاده نمود که در این تحقیق برای مدل سازی عدم قطعیت موجود در نظر افراد خبره از روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی دمپستر- شافر استفاده شده است. همان طور که در [۱] توضیح داده شده است این روش برای حل برخی مشکلات روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی و مدل سازی عدم قطعیت در آن ارائه شده است.

در این روش در بین تعداد محدودی گزینه برای انتخاب ارزش هر کدام با نسبت دادن درجات برتری به هرکدام، معین می گردد. در این مسئله گزینه های انتخاب همان معیارها هستند که در دو سطح قرار دارند که باید هر دسته از این معیارها در هر کدام از سطوح وزن‌دهی شوند. همچنین برای صحت وزن دهی از نظر چندین فرد خبره استفاده شده است که نظرات هر کدام از آنها در روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی دمپستر- شافر توسط یک ماتریس دانش نمایش داده شده و سپس با استفاده از تئوری دمپستر- شافر ترکیب شده‌اند.

در روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی دمپستر- شافر، فرد خبره حالتهای انتخاب خود را که مجموعه هایی متشکل از گزینه ها یا اعضای Θ (مجموعه چهارچوب) که همان فرضیه حالت حداکثر عدم قطعیت یا نامعینی است ، تعیین می‌کند. تعداد و اندازه گروه های تشخیص داده شده بوسیله تصمیم‌گیرنده، نشان دهنده میزان دانش او از معیار مورد نظر است. اکنون یک ماتریس دانش برای مقایسه گروه‌های تشخیص داده شده تعیین و میزان برتری هر کدام از آنها مشخص می شود. با مقایسه هر کدام از گروه ها با حالت عدم قطعیت به هر کدام یک درجه برتری بین ۱ الی ۹ نسبت داده می شود. تفاوت این روش با تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی در این است که به جای مقایسه دو به دو بین گروه های تک عضوی ، هر گروه با حالت عدم قطعیت مقایسه می گردد.

پس از تشکیل ماتریس اطلاعات، برای بدست آوردن وزنهای مربوط به هر معیار چندین روش مانند نرمالیزاسیون ستونهای ماتریس اطلاعات [۱] و یا استفاده از بردارهای ویژه ماتریس [۱۷] پیشنهاد شده است. در این تحقیق از روش بردارهای ویژه استفاده شده است. مزیت این روش قابل استفاده بودن آن در حالتی که وزنهای موجود در ماتریس با یکدیگر سازگار نیستند بوده که در این تحقیق با چنین حالتی روبرو هستیم [۱]. مقادیر وزنها در این روش عناصر بردار ویژه نرمالیزه شده مربوط به بزرگترین مقدار ویژه ماتریس است. این وزنهای بدست آمده از هرماتریس بوسیله قانون ترکیب دمپستر با یکدیگر برای رسیدن به وزنهای نهایی ترکیب می شوند.

وزن های بدست آمده بر اساس نظر چندین فرد خبره با استفاده از این روش برای هر گروه از معیارهای پایه و معیارهای کلی در جدول ۱ مشاهده می گردند.

جدول ۱ : وزن معیارهای کلی و معیارهای پایه مرتبط با آنها

(الف) وزن هرکدام از معیارهای کلی

معیارهای کلی	ساختمانها	زمین شناسی	انسانی	ادارات و مراکز صنعتی
وزن	۰/۳۶	۰/۲۳	۰/۲۷	۰/۱۴

(ب) وزن معیارهای پایه مربوط به معیار کلی عوامل انسانی

معیارهای پایه عوامل انسانی	تراکم جمعیت زیر ۵ سال	تراکم جمعیت دانش آموز	تراکم کلی جمعیت	تراکم جمعیت بالای ۶۵ سال
وزن	۰/۲۴	۰/۲۱	۰/۲۹	۰/۲۶

(پ) وزن معیارهای پایه مربوط به معیار کلی عوامل زمین شناسی

معیارهای پایه عوامل زمین شناسی	متوسط شیب زمین	شدت زلزله
وزن	۰/۳۸	۰/۶۲

(ت) وزن معیارهای پایه مربوط به معیار کلی عوامل ساختمانها

معیارهای پایه عوامل ساختمانها	ساختمانهای قبل از سال ۴۵	ساختمانهای بیش از ۵ طبقه	ساختمانهای کمتر از ۵ طبقه	ساختمانهای بین سالهای ۴۵ و ۶۷
وزن	۰/۳۴	۰/۲۶	۰/۱۸	۰/۲۲

(ث) وزن معیارهای پایه مربوط به معیار کلی ادارات و مراکز صنعتی خطرناک

معیارهای پایه عوامل ادارات و مراکز صنعتی خطرناک	بیمارستانها	ادارات	مراکز صنعتی خطرناک
وزن	۰/۴۱	۰/۳۱	۰/۲۸

با استفاده از وزن های بدست آمده و با توجه به درخت سلسله مراتب شکل (۱) می توان هریک از مناطق آماری شهر تهران در این تحقیق را

www.SID.ir

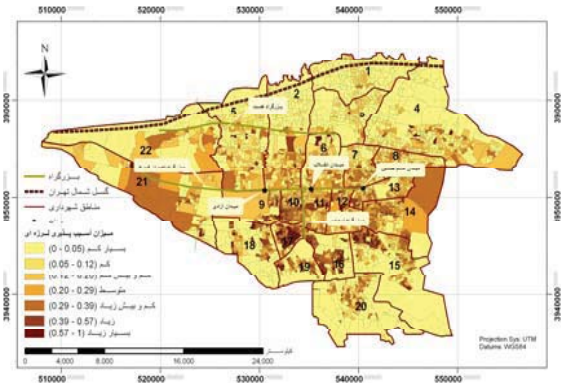
Archive of SID

با استفاده از روش تصمیم گیری سلسله مراتبی توضیح داده شده از نظر آسیب‌پذیری لرزه ای ارزیابی نمود و برای هر منطقه یک تخصیص احتمال پایه ترکیب شده با فرضیه های $H=\{H_1,H_{12},H_2,H_{23},H_3,H_{34},H_4,H_{14}\}$ بدست آورد. به عبارتی در هر منطقه یک جرم احتمال پایه ترکیب شده برای هر کدام از این فرضیه ها بدست خواهد آمد.

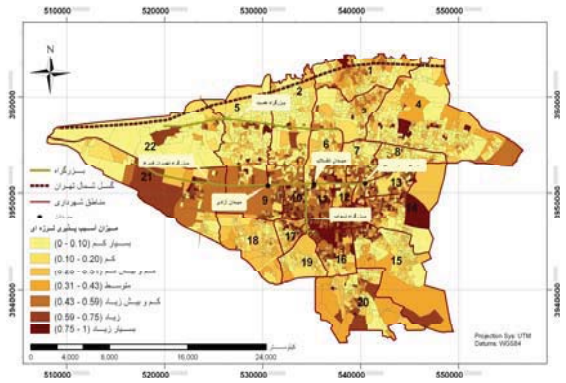
برای رتبه بندی هر منطقه از نظر آسیب‌پذیری لرزه‌ای نسبت به بقیه مناطق، باید ارزیابی بدست آمده به صورت جرم های احتمال برای فرضیه های $H=\{H_1,H_{12},H_2,H_{23},H_3,H_{34},H_4,H_{14}\}$ را به صورت یک عدد به عنوان امتیاز بیان نمود. برای این کار به ازای هر H_i یک امتیاز $u(H_i)$ در نظر گرفته شده است به طوری که $u(H_{i+1})>u(H_i)$. فرضیه هایی چون $H_{ij}=\{H_i,H_j\}$ را می‌توان هم به H_i و هم به H_j نسبت داد. بنابراین برای هر منطقه یک امتیاز حداکثر و یک امتیاز حداقل بدست آورده و امتیاز نهایی را می‌توان متوسط این دو طبق رابطه (۲۱) در نظر گرفت.

$$\begin{aligned}u_{\max}(A)&=\sum_{i=1}^{4}\beta_i(A)u(H_i)\\&\quad+\sum_{i=1}^{3}\beta_{ii+1}(A)u(H_{i+1})+\beta_{14}(A)u(H_4)\\u_{\min}(A)&=\sum_{i=1}^{4}\beta_i(A)u(H_i)\\&\quad+\sum_{i=1}^{3}\beta_{ii+1}(A)u(H_i)+\beta_{14}(A)u(H_1)\\u_{avg}(A)&=\frac{u_{\max}(A)+u_{\min}(A)}{2}\end{aligned}\qquad(21)$$

در اینجا $u(H_i)$ ها به صورت $u(H_i)=i$ در نظر گرفته می‌شوند. آسیب‌پذیری لرزه‌ای هر منطقه را می توان بر اساس $u_{\min}$ ، $u_{\max}$ و u_{avg} ارزیابی نمود. $u_{\max}$ نشان دهنده بدترین حالت و $u_{\min}$ نشان دهنه بهترین حالت در ارزیابی است. در شکلهای (۲)، (۳) ، (۴) و (۵) نتایج ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر تهران بر اساس هر کدام از معیارهای کلی با استفاده از u_{avg} به صورت یک نقشه نشان داده شده است. در هر کدام از این نقشه‌ها داده ها به هفت کلاس آسیب پذیری لرزه ای تقسیم شده اند.

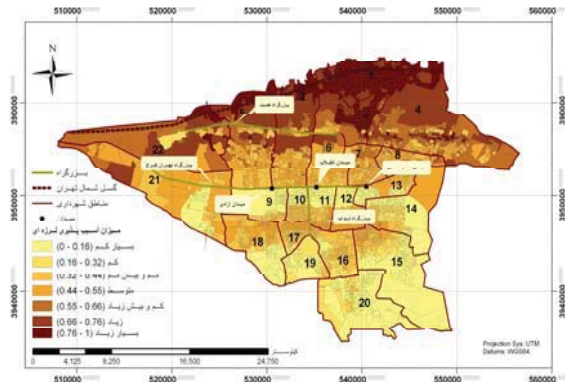


شکل ۲ : آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر تهران بر اساس معیار کلی عوامل انسانی



شکل ۳ : آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر تهران بر اساس معیار کلی ساختمانها

همان طور که در شکل (۲) ملاحظه می شود با در نظر گرفتن معیار عوامل انسانی، مناطق مرکزی متمایل به جنوب دارای آسیب‌پذیری بالاتری هستند. همچنین در شکل (۳) نیز مناطق مرکزی و جنوبی دارای آسیب پذیری بالاتری نسبت به سایر مناطق هستند که این موضوع به علت ساخت فرسوده تر و قدیمی تر و همچنین تراکم جمعیت بالا تر این مناطق است.



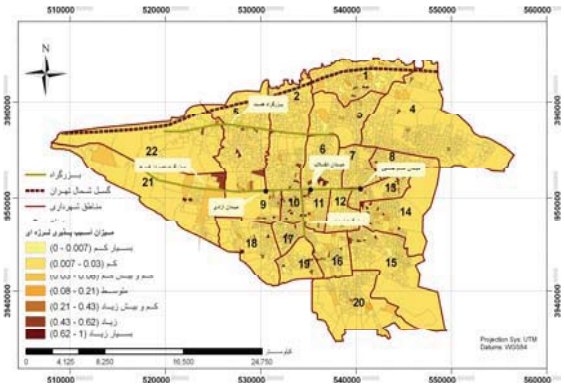
شکل ۴ : آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر تهران بر اساس معیار کلی عوامل زمین-شناسی

www.SID.ir

Archive of SID

با توجه به اینکه در این تحقیق سناریوی فعال شدن گسل شمال تهران در نظر گرفته شده است، در شکل (۴) نیز مناطق نزدیکتر به این گسل دارای آسیب پذیری بسیار بالاتری نسبت به سایر نقاط می‌باشند.

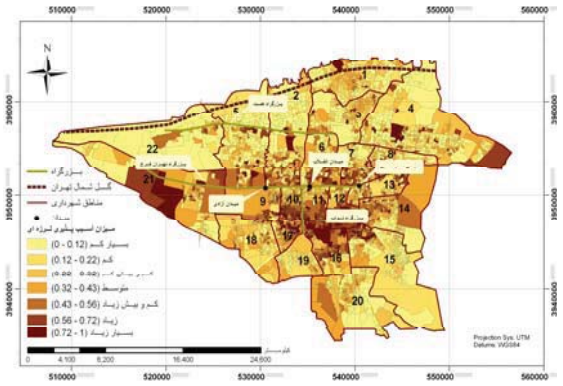
شکل (۵) آسیب پذیری را بر اساس معیار تراکم ادارات، بیمارستانها و مراکز صنعتی نشان می دهد. با توجه به محدود بودن تعداد این مراکز و پراکنده بودن آنها، در این شکل ملاحظه می شود که تنها برخی مناطق دارای آسیب پذیری بالایی بوده و بیشتر مناطق آسیب پذیری یکسانی دارند.



شکل ۵ : آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر تهران بر اساس معیار کلی ادارات و مراکز صنعتی

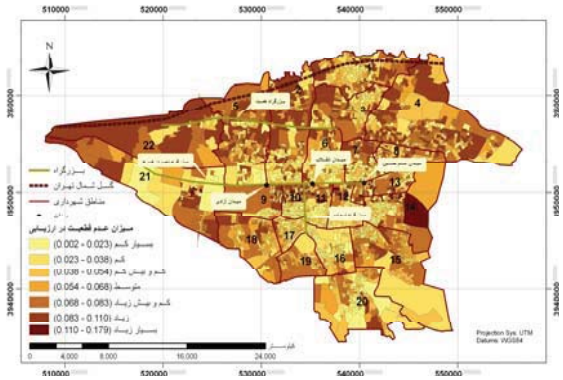
در شکل (۶) نتایج ارزیابی نهایی آسیب‌پذیری لرزه‌ای هر منطقه از شهر تهران با ترکیب نتایج بدست آمده از معیارهای کلی که در شکلهای (۲) تا (۵) مشاهده می شود بر اساس u_{avg} و با استفاده از روش تصمیم گیری چند معیاره بیان شده در یک سطح بالاتر نشان داده شده است. این نقشه دارای هفت کلاس آسیب‌پذیری لرزه‌ای برای نمایش امتیاز هر منطقه می باشد. مناطقی که دارای امتیاز u بزرگتری هستند مناطق با آسیب‌پذیری لرزه ای بالاتر را نسبت به بقیه مناطق نشان داده و پر رنگ تر می باشند.

اطلاعات مناطق مختلف موجود در این نقشه ها اطلاعاتی همراه با عدم قطعیت هستند. به عبارتی داده های بدست آمده برای هر منطقه در هرکدام از نقشه ها دارای وزن عدم قطعیتی است که از جرم احتمال پایه فرضیه H_{1N} ایجاد می‌گردد. داده های مناطقی که جرم احتمال عدم قطعیت آنها کوچکتر باشند داده های معتبر و قابل اعتمادتری خواهند بود.



شکل ۶ : نقشه نهایی آسیب‌پذیری لرزه ای شهر تهران با استفاده از u_{avg}

در شکل (۷) عدم قطعیت موجود در نقشه ارزیابی آسیب پذیری لرزه‌ای شهر تهران که در شکل (۶) نشان داده شده است، ارائه گردیده است. در این نقشه مناطق پر رنگ تر با عدم قطعیت بیشتری در داده ها همراه می باشند. این عدم قطعیت همان گونه که توضیح داده شد ناشی از عدم قطعیت در داده های اولیه و همچنین عدم‌قطعیت در فرایند تصمیم گیری می باشد.

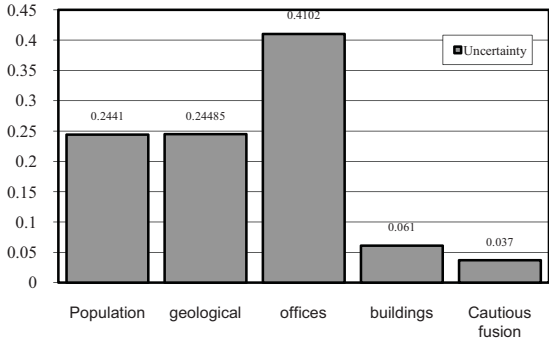


شکل ۷ : نقشه عدم قطعیت در ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای شهر تهران

در شکل (۸) متوسط عدم قطعیت در ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر تهران بر اساس هر کدام از معیارها در کنار عدم قطعیت در ارزیابی پس از ترکیب معیارها نشان داده شده است. مشاهده می‌گردد که طبق انتظار پس از ترکیب، عدم‌قطعیت بسیار کاهش یافته است. عدم قطعیت موجود در نقشه ترکیب شده از عدم‌قطعیت نقشه‌های ارزیابی بر اساس هر کدام از معیارهای کلی کمتر می باشد که این یکی از ویژگی‌ها و لازمه روشهای ترکیب اطلاعات می باشد [۲۱].

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۸: نمودار عدم قطعیت موجود در نقشه های آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر تهران مربوط به معیارهای کلی و نقشه ترکیب شده حاصل از آنها

٤- نتیجه گیری

در این تحقیق نقشه های آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر تهران بر اساس سناریوی فعال شدن گسل شمال تهران با استفاده از یک روش تصمیم گیری چند معیاره مبتنی بر تئوری استدلال شهودی ارائه شده است. این نقشه آسیب پذیری لرزه‌ای هر منطقه از شهر را نسبت به سایر مناطق بر مبنای آسیب‌پذیری انسانی نشان می دهد. تئوری استدلال شهودی یکی از بهترین روشهای استفاده از داده های همراه با عدم‌قطعیت است. از مهمترین مشکلات اساسی تئوری دمپستر- شافر، فرض استقلال منابع و ناسازگاری بین منابع شهود می‌باشد. در بسیاری از روشهای تصمیم گیری چند معیاره بر اساس تئوری استدلال شهودی دمپستر – شافر، منابع شهود مستقل فرض شده اند. در اطلاعات مکانی بکار رفته در این تحقیق اطلاعات مربوط به معیارهای عوامل انسانی مستقل از یکدیگر نمی باشند. بنابراین از روشی به نام قانون ترکیب یکپارچه هوشیار برای ترکیب منابع شهود در یک ساختار تصمیم‌گیری چند معیاره سلسله مراتبی استفاده شده است که می تواند برای تصمیم‌گیری در مورد منابع شهود وابسته به کار رود. در این تحقیق از روش فوق برای ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر تهران استفاده شده است. در نقشه نهایی در شکل (۶) که حاصل ترکیب نقشه های شکلهای (۲) تا (۵) است، مشاهده می شود که مناطق مرکزی و متمایل به جنوب دارای آسیب پذیری بالاتری نسبت به بقیه مناطق هستند که می توان آن را در اثر آسیب‌پذیری بالای این مناطق در معیارهای کلی ساختمانها و عوامل انسانی دانست که این دو معیار کلی دارای وزن های به ترتیب ۰/۳۲ و ۰/۲۴ نسبت به سایر معیارها می باشند. همچنین برخی مناطق شمالی تهران به علت نزدیک بودن به گسل شمال تهران در نقشه معیارهای زمین‌شناسی دارای آسیب‌پذیری بالایی بوده اما چون این مناطق در بقیه معیارها آسیب‌پذیری کمی دارند، در نقشه نهایی ترکیب شده دارای آسیب‌پذیری زیادی نسبت به بقیه مناطق نمی باشند. نقشه های ارائه شده همراه با عدم‌قطعیت هایی می باشند که ناشی از روش تصمیم گیری و تئوری استدلال شهودی بکار رفته می باشد. در شکل (۸) مجموع عدم-قطعیت موجود در هر کدام از نقشه ها با یکدیگر مقایسه شده است. مشاهده می شود که عدم قطعیت نقشه ترکیب شده نهایی که در شکل (۷) ارائه شده است، از عدم قطعیت هر کدام از نقشه های مربوط به معیارهای کلی کمتر می باشد که این موضوع یکی از ویژگی های اساسی تئوری استدلال شهودی می باشد.

مشابه کار امیری و سیلاوی، در این تحقیق نیز اقدام به تهیه نقشه-های آسیب‌پذیری لرزه‌ای برای شهر تهران شده است، با این تفاوت که از روش تصمیم‌گیری چند معیاره‌ای بر اساس یک قانون ترکیب در تئوری استدلال شهودی برای ترکیب منابع شهود و مدل سازی عدم-قطعیت استفاده شد. همچنین همبستگی بین منابع اطلاعات مکانی نیز در نظر گرفته شد. روش تصمیم‌گیری چند معیاره بکار رفته کلیه پارامترهای تاثیرگذار در ارزیابی آسیب‌پذیری مانند اهمیت معیارها، مدل‌سازی عدم قطعیت در تصمیم‌گیری، عدم قطعیت در داده ها و فقدان داده در برخی مناطق شهر را شامل می گردد.

مراجع

[1] M.J. Beynon, B. Curry, P.H. Morgan, "The Dempster–Shafer theory of evidence: An alternative approach to multicriteria decision modeling". *OMEGA* , 2000,Vol. 28, No. 1, pp. 37 – 50.

[2] M.E.G.V. Cattaneo, "Combining belief functions issued from dependent sources", J.M. Bernard, T. Seidenfeld, M. Zaffalon (Eds.), *Proceedings of the Third International Symposium on Imprecise Probabilities and Their Applications (ISIPTA'03)*, Carleton Scientific, Lugano, Switzerland, 2003, pp. 133–147.

[3] A.P. Dempster, "Upper and lower probabilities induced by a multivalued mapping", *Annals of Mathematical Statistics*, 1967, Vol. 38, pp 325–339.

[4] D. Dubois, H. Prade, "On the unicity of Dempster's rule of combination", *International Journal of Intelligent Systems*, 1986 , Vol .1,pp. 133–142.

[5] D. Dubois, H. Prade, "A set-theoretic view of belief functions: logical operations and approximations by fuzzy sets", *International Journal of General Systems*, 1986, Vol. 12, No. 3, pp. 193–226.

[6] T. Denoeux, "Conjunctive and disjunctive combination of belief functions induced by

www.SID.ir

Archive of SID

nondistinct bodies of evidence ", *Artificial Intelligence*, 2008 , Vol. 172, pp. 234–264.

[7] Z. Elouedi, K. Mellouli, "Pooling dependent expert opinions using the theory of evidence", *Proc. of the Seventh Int. Conf. on Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems (IPMU 98)*, Paris, France, July 1998, Vol. 1, pp. 32–39.

[8] Lootsma, F.A. ,"Scale sensitivity in the multiplicative AHP and SMART". *Journal of Multi-Criteria Decision Analysis*, 1993, Vol. 2, pp. 87–110.

[9] Lootsma, F.A., "Multicriteria decision analysis in a decision tree". *European Journal of Operational Research*, 1997, Vol. 101, pp. 442–451.

[10] X.N. Ling, W.G. Rudd, "Combining opinions from several experts", *Applied Artificial Intelligence*, 1989, Vol. 3, pp. 439–452.

[11] G. Shafer, *Mathematical Theory of Evidence*, Princeton. N.J.: Princeton Univ. Press, 1976.

[12] F. Klawonn, Ph. Smets, "The dynamic of belief in the transferable belief model and specialization–generalization matrices", D. Dubois, et al. (Eds.), *Proc. of the 8th Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence, Morgan Kaufmann, San Mateo, CA*, 1992, pp. 130–137.

[13] Ph. Smets, R. Kennes, "The transferable belief model", *Artificial Intelligence*, 1994, vol. 66, pp. 191–243.

[14] Ph. Smets, "*The Transferable Belief Model for quantified belief representation*", D.M. Gabbay, Ph. Smets (Eds.), Handbook of Defeasible Reasoning and Uncertainty Management Systems, vol. 1, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1998, pp. 267–301.

[15] Ph. Smets, "The canonical decomposition of a weighted belief", *Int. Joint Conf. on Artificial Intelligence, Morgan Kaufman, San Mateo, CA*, 1995, pp. 1896–1901.

[16] Ph. Smets, "Belief functions: the disjunctive rule of combination and the generalized Bayesian theorem", *International Journal of Approximate Reasoning*, 1993, Vol. 9, pp. 1–35.

[17] T.L Saaty, "A scaling method for priorities in hierarchical structures". *Journal of Mathematical Psychology*, 1977, Vol. 15, pp. 59–62.

[18] D.L. Xu , J.B. Yang, Y.M. Wang, “The evidential reasoning approach for multi-attribute decision analysis under interval uncertainty”, *European Journal of Operational Research*, 2006, Vol. 174, pp. 1914–1943.

[19] J. B. Yang , D. L. Xu, “On evidential reasoning algorithms for multiattribute decision analysis under uncertainty”, *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern*, 2002, A, Vol. 32, pp. 278–304.

[20] J.B. Yang and M. G. Singh, “An evidential reasoning approach for multiple attribute decision making with uncertainty,” *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern*., 1994, Vol. 24, No. 1, pp. 1–18.

[21] R. R. Yager., L. Liu., *Classic Works of the Dempster-Shafer Theory of Belief Functions*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008.

[22] R.R. Yager, "The entailment principle for Dempster–Shafer granules", *International Journal of Intelligent Systems*, 1986, Vol. 1, pp. 247–262.

[۲۳] علیرضا امیری ، "ارزیابی ریسک لرزه‌ای شهر تهران با بکارگیری تئوری‌های عدم قطعیت شهود و زبر"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران، ۱۳۸۷.

[۲۴] ط. سیلاوی، "ارزیابی آسیب‌پذیری شهر تهران با بکارگیری مدلهای فازی شهودی"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران، ۱۳۸۵.

www.SID.ir