

Estimating the Level of Vulnerability of Informal Settlements in Tabriz City against the Risk of Earthquake

Monir Shirzad Gurjan^a, Hossein Namfar^{b*}, Abolfazl Ghanbari^c

^a PhD Candidate in Geography and Urban Planning, Faculty of Environmental Sciences, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

^b Professor, Department of Geography and Urban and Rural Planning, Faculty of Environmental Sciences, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran

^c Associate Professor, Faculty of Planning and Environmental Sciences, Tabriz University, Tabriz, Iran

Received: 22 August 2022

Revised: 18 October 2022

Accepted: 3 December 2022

Abstract

The purpose of this study is determining the most suitable method to evaluate the vulnerability of informal settlements in Tabriz city against a possible earthquake. ELECTRE FUZZY models and the WASPAS model were used in relation to 13 criteria (passage width, building quality, materials, the number of floors, distance from public open space, distance from urban facilities, distance from medical centers, population density, building density, distance from fault, geological type, plot area, land use) were compared. For this purpose, all informal settlements in Tabriz city were analyzed and the results of both models were evaluated by the authors' field studies. Then, the most suitable method was chosen. The results of the research indicate that according to the WASPAS model, informal settlements located in Region 5 with a rank of 1 are the least vulnerable and region 10 is the most vulnerable with a rank of 6. Moreover, more than 57% of the area of informal settlements in Tabriz city are exposed to very high vulnerability, 11.05% are exposed to high vulnerability, 03.27% are exposed to moderate, and only 4.01% are exposed to low vulnerability. The results of the ELECTRE FUZZY model calculations indicated that the informal settlements located in Mentafah 3 with the rank of 1 are the least and areas 1 and 10 are the most vulnerable with the rank of 5. Moreover, more than 34% of the area of informal settlements in Tabriz city are exposed to very high vulnerability, more than 27% are exposed to high vulnerability, more than 25% are exposed to moderate vulnerability, and only 12.69% are exposed to low vulnerability. Based on the field studies of the researchers, the results of the ELECTRE FUZZY method are more accurate and realistic than the WASPAS method.

Keywords: Informal Settlement, Earthquake, Risk, Texture, Tabriz

*. Corresponding author: Hossein NazmFar E-mail: nazmfar@uma.ac.ir Tel: +989143019909

How to cite this Article: Shirzad Gurjan, M., Namfar, H., & Ghanbari, A. (2023). Estimating the level of vulnerability of informal settlements in Tabriz city against the risk of earthquake. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 12(2), 285-305.

DOI: 10.22067/geoh.2022.78381.1273



Journal of Geography and Environmental Hazards are fully compliant With open access mandates, by publishing its articles under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0).



Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

Geography and Environmental Hazards

Volume 12, Issue 2 - Number 46, Summer 2023

<https://geoeh.um.ac.ir>

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.78381.1273>

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال دوازدهم، شمارهٔ چهل و ششم، تابستان ۱۴۰۲، صص ۳۰۴-۲۸۵
مقاله پژوهشی

برآورد میزان آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در برابر خطر وقوع زلزله

منیر شیرزاد گرجان- دانشجوی دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
 حسین نظم فر^۱- استاد گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری و روستایی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
ابوالفضل قنبری- دانشیار دانشکده برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۵/۳۱ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۷/۲۶ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۹/۱۲

چکیده

در پژوهش حاضر با هدف مشخص کردن مناسب‌ترین روش به‌منظور ارزیابی میزان آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در برابر زلزله محتمل، دو مدل ELECTRE FUZZY و مدل WASPAS نسبت به ۱۳ معیار (عرض معبر، کیفیت ابنیه، جنس مصالح، تعداد طبقات، فاصله از فضای باز عمومی، فاصله از تأسیسات شهری، فاصله از مراکز درمانی، تراکم جمعیت، تراکم ساختمان، فاصله از گسل، جنس زمین‌شناسی، مساحت قطعات، کاربری اراضی) با هم مقایسه شدند. بدین منظور تمامی سکونتگاه‌های غیر رسمی موجود در شهر تبریز مورد تحلیل قرار گرفتند. نتایج حاصل از هر دو مدل به‌وسیله مطالعات میدانی نویسنندگان مورد ارزیابی قرار گرفت و سپس مناسب‌ترین روش انتخاب شد. نتایج پژوهش حاکی از آن است که بر اساس مدل WASPAS سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۵ با کسب رتبه ۱ کمترین و منطقه ۱۰ با کسب رتبه ۶ بیشترین آسیب‌پذیری را خواهند داشت. همچنین بیش از ۵۷٪ از مساحت سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در معرض آسیب‌پذیری خیلی زیاد و

Email: nazmfar@uma.ac.ir

۱ نویسنده مسئول ۰۹۱۴۳۰۱۹۹۰۹

نحوه ارجاع به این مقاله:

شیرزاد گرجان، منیر، نظم فر، حسین، قنبری، ابوالفضل. (۱۴۰۲). برآورد میزان آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در برابر خطر وقوع زلزله. جغرافیا و مخاطرات محیطی، ۱۲(۲)، صص ۳۰۵-۲۸۵

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.78381.1273>

۱۱/۰۵٪ زیاد و ۲۷.۰۳٪ متوسط و فقط ۴/۰۱٪ در معرض آسیب‌پذیری کم قرار دارند. نتایج حاصل از محاسبات مدل ELECTRE FUZZY حاکی از آن است که سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۳ با کسب رتبه ۱ کمترین و مناطق ۱ و ۱۰ با کسب رتبه ۵ بیشترین آسیب‌پذیری را تجربه خواهند کرد. همچنین بیش از ۳۴٪ از مساحت سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در معرض آسیب‌پذیری خیلی زیاد و بیش از ۲۷٪ زیاد و بیش از ۲۵٪ در متوسط و تنها ۱۲/۶۹٪ در معرض آسیب‌پذیری کم قرار دارند. بر اساس مطالعات میدانی نویسندگان نتایج حاصل از روش ELECTRE FUZZY نسبت به روش WASPAS دقیق‌تر و واقع‌بینانه‌تر است.

کلیدواژه‌ها: سکونتگاه غیر رسمی، زلزله، ریسک، بافت، تبریز.

۱-مقدمه

امروزه نظر به رشد شهرنشینی و افزایش جمعیت کشورهای در حال توسعه نوع خاصی از سکونتگاه‌ها تحت عنوان سکونتگاه‌های غیر رسمی در حال گسترش می‌باشند این سکونتگاه‌ها نماینده چالش‌های توسعه شهری می‌باشند (انزو^۱ و همکاران، ۲۰۱۹) و به دلیل نداشتن فرصت‌ها و گزینه‌های مناسب دچار محرومیت اجتماعی می‌شوند در نتیجه تبدیل به لکه‌های نامطلوب شهری می‌شوند (نیرج و ساندرآ، ۲۰۱۹). سکونتگاه‌های غیر رسمی به دلیل تراکم بالای جمعیت، کیفیت نامناسب ابنیه، استفاده از مصالح نامرغوب و... در زمان وقوع مخاطرات طبیعی دچار آسیب بسیار جدی خواهند شد. با تحلیل و مشخص کردن مناطق آسیب‌پذیر و همچنین طرح‌های از پیش تعیین شده می‌توان به‌طور جدی میزان خسارت را کاهش داد. رسیدن به این هدف نیازمند تصمیم‌گیری‌های صحیح و به‌موقع است؛ بنابراین روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، صورتی دیگر از برنامه‌ریزی مسئله محور می‌باشند که با در نظر گرفتن پارامترهای موجود منجر به انتخاب بهترین گزینه می‌شوند. به دلیل پیچیدگی تصمیم‌گیری‌های مشکلات شهری، مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و تلفیق آن‌ها با سیستم اطلاعات جغرافیایی ابزاری مناسب به‌منظور مشخص کردن میزان آسیب‌پذیری مناطق حادثه‌خیز می‌باشند؛ بنابراین هدف از مطالعه حاضر، مقایسه مدل WASPAS و ELECTRE FUZZY به‌منظور مشخص شدن مناسب‌ترین روش جهت تعیین میزان آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز می‌باشد. سکونتگاه‌ها غیر رسمی شهر تبریز ۴۰۰ هکتار از مساحت این شهر را به خود اختصاص داده‌اند و دارای جمعیتی بیش از ۴۵۰ هزار نفر می‌باشند (ملکی و همکاران، ۱۳۹۶). این سکونتگاه‌ها در مجاورت گسل فعال تبریز توسعه پیدا کرده‌اند که از لحاظ نوع ابنیه و برنامه‌ریزی شهری در وضعیت غیر استاندارد قرار دارند و هنگام مواجهه با مخاطره زلزله با وجود سطح بالای جمعیتی و سایر عوامل مؤثر در افزایش آسیب‌پذیری شاهد خسارات جبران‌ناپذیر خواهیم بود. در زمینه پیشینه تحقیق به موارد زیر می‌توان اشاره کرد: **خدمت زاده و**

1 Enzo et al

2 Neeraj and Sandra

همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی به تحلیل شاخص‌های آسیب‌پذیری شهر ارومیه با رویکرد مدیریت بحران زلزله پرداخته‌اند نتایج مطالعات آن‌ها نشان‌دهنده آن است که، بیشترین آسیب‌پذیری در مناطق با شیب‌های بیشتر از ۲۰ درصد و نواحی با تراکم جمعیتی بالا مشاهده می‌شود. نواحی با آسیب‌پذیری خیلی زیاد با ۳۴/۱۲ درصد، زیاد با ۱۱/۸۱ درصد، متوسط با ۳۰/۳۷ درصد، کم با ۲۰/۸۹ درصد و خیلی کم با ۷/۲ درصد از مساحت بلوک‌های آماری را به خود اختصاص دادند. در حالت کلی می‌توان گفت که ۴۵/۹۳ درصد از محدوده مورد مطالعه بر اساس معیارهای استفاده شده در تحلیل آسیب‌پذیرند. شمعی و همکاران (۱۳۹۹) در پژوهشی با استفاده از مدل Fuzzy AHP و سیستم اطلاعات مکانی به تحلیل آسیب‌پذیری بافت‌های قدیمی شهر کاشان در برابر زلزله پرداخته‌اند، یافته‌های پژوهش حاکی از آن است که از لحاظ آسیب‌پذیری ۱۱ درصد مساحت بافت شهر در طیف خیلی کم، ۷ درصد در طیف کم، ۱۵ درصد در طیف متوسط، ۲۲ درصد در طیف بالا، و ۴۵ درصد در طیف خیلی بالا قرار دارد. بایرون واکد و همکاران (۲۰۲۱) در مقاله‌ای به ارزیابی چند معیاره مبتنی بر GIS برای پاسخ به زلزله و نکوور کانادا پرداخته‌اند، در این مطالعه، پاسخ سهامداران ناآگاه، مطلع و غیر متخصص و خبره را در مدل‌سازی MCE برای برنامه‌ریزی پاسخ به زلزله در ونکوور، کانادا مقایسه می‌شوند. با استفاده از مدل‌های MCE با پیچیدگی متوسط تا پایین، شباهت‌ها و تفاوت‌ها را در اهمیت متغیرهای زیرساختی و اجتماعی اقتصادی، خدمات اضطراری و پتانسیل روانگرایی بین MCE غیر وزنی، MCE غیر متخصص آگاه با پیچیدگی متوسط و MCE کم برجسته شده است. جنا و همکاران (۲۰۲۰) برای ارزیابی میزان آسیب‌پذیری ناشی از زلزله در شهر باندآچه^۳ در کشور اندونزی، از روش تصمیم‌گیری چند معیاره و GIS استفاده کردند. در تحقیق مذکور، عوامل مختلف اجتماعی، ساختاری و ژئوتکنیکی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج نشان داد که بخش مرکزی شهر در منطقه آسیب‌پذیری بسیار زیاد قرار گرفته است. همچنین در رابطه با پیشینه تحقیق می‌توان به مواردی همچون اسمیت و همکاران^۴ (۲۰۲۰)، گوا و کاپوکو^۵ (۲۰۲۰)، راترجان و همکاران^۶ (۲۰۲۰)، یاریان و همکاران^۷ (۲۰۲۰)، لبانویا و همکاران^۸ (۲۰۱۸)، لیو^۹ و همکاران (۲۰۱۸) قریانزاده و همکاران (۲۰۱۸)، ونتورا و همکاران^{۱۰} (۲۰۱۶)، ضرابی و همکاران (۱۳۹۹)، خدادادی و همکاران (۱۳۹۹)، بازدار و همکاران (۱۳۹۹)، حسینی‌خواه و ضرابی (۱۳۹۸)، پاشاپور و همکاران (۱۳۹۸)، حیدریان (۱۳۹۶)، نیز اشاره کرد. بررسی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد که اکثر پژوهش‌ها در رابطه با زلزله انجام شده است، ولی در رابطه با میزان

1 Byron Wakd et al

2 Jana et al

3 Banda Aceh

4 Smith et al

5 Goa and Capoco

6 Rutherjan et al

7 Yariyan

8 Abaniva et al

9 Lyu et al

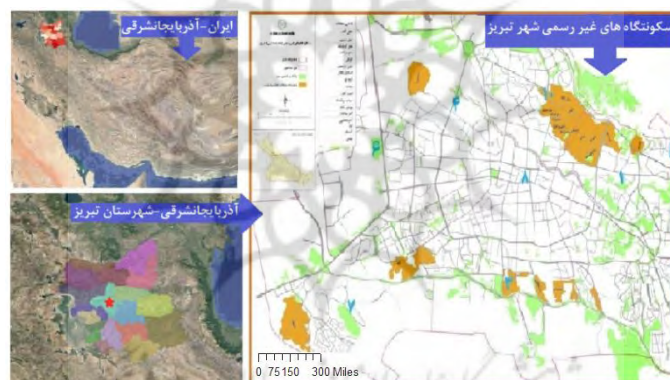
10 Ventura et al

آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های غیر رسمی در برابر مخاطره زلزله مطالعات چندانی صورت نگرفته است و بیشتر از روش AHP استفاده شده است. همچنین مطالعات انجام شده در رابطه با سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز فقط چند ناحیه از سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر را مورد تحلیل قرار داده‌اند؛ بنابراین تحلیل کل سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز و مقایسه مدل ترکیبی WASPAS و ELECTRE FUZZY به منظور انتخاب مناسب‌ترین روش سنجش میزان آسیب‌پذیری در برابر زلزله نوآوری پژوهش می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

کلان‌شهر تبریز از لحاظ مختصات جغرافیایی در ۴۶ درجه و ۱۸ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۴ دقیقه عرض شمالی از نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است. شهر تبریز دارای ۱۰ منطقه و ۳۸ ناحیه شهری است که از این بین ۶ منطقه و ۱۱ ناحیه دارای جمعیت ساکن سکونتگاه غیر رسمی می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

۲-۲- روش تحقیق

این مطالعه از نظر روش توصیفی - تحلیلی و هدف کاربردی محسوب می‌شود. برای گردآوری داده‌ها از اسناد و مدارک نوشتاری (مقالات)، داده‌های آماری، اسناد تصویری و بررسی‌های میدانی استفاده شده است. همچنین نقشه‌های توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰، زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ آذربایجان شرقی، نقشه شهری ۱/۲۰۰۰، مدل ارتفاع رقومی (DEM) ده متر آذربایجان شرقی، نقشه طبقات ارتفاعی آذربایجان شرقی، نقشه شیب آذربایجان شرقی، نقشه گسل‌های اصلی و فرعی آذربایجان شرقی و نقشه کاربری اراضی شهر تبریز مورد استفاده در پژوهش بودند. در پژوهش حاضر به منظور تبیین وضعیت آسیب‌پذیری ناشی از مخاطره زلزله در سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر

شاخص‌های (عرض معبر، کیفیت ابنیه، جنس مصالح، تعداد طبقات، فاصله از فضای باز عمومی، فاصله از تأسیسات شهری، فاصله از مراکز درمانی، تراکم جمعیت، تراکم ساختمان، فاصله از گسل، جنس زمین‌شناسی، مساحت قطعات، کاربری اراضی) به‌عنوان معیارهای نهایی انتخاب شدند. به‌منظور رتبه‌بندی شاخص‌ها و متغیرها از مدل ELECTRE FUZZY و از تکنیک WASPAS استفاده شده است. بعد از اعمال وزن‌ها در لایه‌های ورودی در نرم‌افزار GIS، لایه‌ها با هم تلفیق شدند و خروجی نهایی به دست آمد. در مرحله آخر نتایج حاصل از مدل ELECTRE FUZZY و تکنیک WASPAS با هم مقایسه شدند.

۲-۳- تکنیک WASPAS

این روش، یکی از روش‌های نسبتاً جدید تصمیم‌گیری چند معیاره با دقت بسیار بالا است که در واقع برگرفته از دو مدل (مدل مجموع وزنی) و (مدل ضرب وزنی) می‌باشد (زاوادسکاس، ۲۰۱۲). در روش WASPAS مانند سایر روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، حل مسئله با ایجاد ماتریس تصمیم‌گیری شروع می‌شود:

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & X_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{M1} & X_{M2} & x_{mn} \end{bmatrix} \quad \text{ماتریس تصمیم‌گیری}$$

در ماتریس تصمیم‌گیری فوق، m نشان دهنده تعداد گزینه‌ها و n نشان دهنده تعداد معیارها است. پس از تشکیل این ماتریس، معیارهای مثبت و منفی در آن به ترتیب با استفاده از روابط (۱) و (۲)، نرمال‌سازی می‌شوند. اندازه‌های مثبت، اندازه‌هایی هستند که زیاد شدن آن‌ها برای سیستم مفید باشد و اندازه‌های منفی اندازه‌هایی هستند که کم شدن آن‌ها برای سیستم مفید باشد. به این مرحله، بی‌قاعده سازی می‌گویند که دلیل ضرورت انجام آن، متفاوت بودن جنس و واحد معیارها می‌باشد.

$$\bar{x}_{ij} = \frac{x_{ij}}{\max_i x_{ij}} \quad \text{رابطه (1)}$$

$$\bar{x}_{ij} = \frac{\min_i x_{ij}}{x_{ij}} \quad \text{رابطه (2)}$$

که در این رابطه \bar{x}_{ij} نرمال‌سازی شده x_{ij} و i و j به و i و j ترتیب اندکس گزینه‌ها و معیارها می‌باشند. در ادامه باید وزن معیارها با یکی از روش‌های وزن‌دهی به دست آیند (W_j). سپس مقادیر $Q_i^{(1)}$ و $Q_i^{(2)}$ که به ترتیب مربوط به جمع و ضرب وزنی می‌باشند، با استفاده از روابط (۳) و (۴) به دست می‌آیند.

$$Q_i^{(1)} = y_{ijsum} = \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} w_j \quad i = 1, 2, \dots, m \quad j = 1, 2, \dots, n \quad \text{رابطه (3)}$$

$$Q_i^{(2)} = y_{ijmult} = \prod_{j=1}^n (\bar{x}_{ij})^{w_j} \quad \text{رابطه (4)}$$

$$Q_i = 0.5Q_i^{(1)} + 0.5Q_i^{(2)} \quad \text{رابطه (5)}$$

گام بعدی محاسبه معیار مشترک است رابطه (۵) که در این مرحله به نسبت مساوی و از طریق فرمول ۳ و ۴

اهمیت گزینه‌ها محاسبه می‌شود

بر اساس مقدار Q_i می‌توان مقادیر را طبقه‌بندی نمود. دقت و تأثیرگذاری روش و اسپاس در این است که مهم بودن گزینه i ام از طریق محاسبه لاندا در فرمول زیر محاسبه شود. به منظور افزایش دقت و اثربخشی رتبه‌بندی فرآیند تصمیم‌گیری، در روش WASPAS یک معادله تعمیم یافته‌تر برای تعیین اهمیت نسبی کل گزینه i ام، مانند رابطه (۶) ایجاد می‌شود:

$$Q_i = \lambda Q_i^{(1)} + (1 - \lambda) Q_i^{(2)} = \lambda \sum_{j=1}^n \bar{x}_{ij} w_j + (1 - \lambda) \prod_{j=1}^n (\bar{x}_{ij})^{w_j} \quad (\lambda = 0.0.1 \dots 1) \quad \text{رابطه (6)}$$

$$Q_i^\lambda = \lambda i \sum_{j=1}^n y_{ijSUM} + (1 - \lambda i) \prod_{j=1}^n y_{ijMULT} \quad \text{رابطه (7)}$$

$$\lambda = \frac{\sigma^2(Q_i^{(2)})}{\sigma^2(Q_i^{(1)}) + \sigma^2(Q_i^{(2)})} \quad \text{رابطه (8)}$$

$$\sigma^2(Q_i^{(2)}) = \sum_{j=1}^n \left(\frac{(\prod_{j=1}^n (\bar{x}_{ij})^{w_j w_j})}{(\bar{x}_{ij})^{w_j (\bar{x}_{ij})^{(1-w_j)}}} \right)^2 \sigma^2(\bar{x}_{ij}) \quad \text{رابطه (9)}$$

$$\sigma^2(Q_i^{(2)}) = \sum_{j=1}^n w_j^2 \sigma^2(\bar{x}_{ij}) \quad \text{رابطه (10)}$$

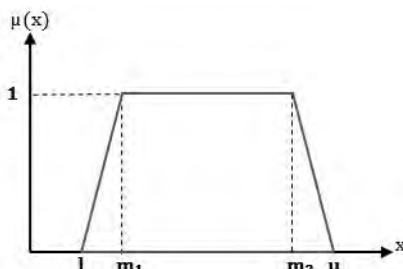
$$\sigma^2(\bar{x}_{ij}) = (0.05 \bar{x}_{ij})^2 \quad \text{رابطه (11)}$$

در نهایت، گزینه‌ها می‌توانند بر مبنای ارزش Q رتبه‌بندی شوند. مقدار بهینه λ بر اساس معادلات بالا به دست می‌آید. مقدار λ ، سهم معادله جمع وزنی و معادله ضرب وزنی در معادله نهایی را مشخص می‌کنند (دانی و همکاران، ۲۰۱۶).

۲-۴- روش ELECTRE FUZZY

حل مسئله با ایجاد ماتریس تصمیم فازی شروع می‌شود (رابطه ۱۳):

برای تشکیل آرایه تصمیم فازی از m گزینه و n مقیاس استفاده می‌شود، ابتدا اهمیت فازی هر مقیاس مشخص می‌شود این اهمیت همان وزن مقیاس است که توانایی دارد مستقیم توسط تصمیم گیرنده تعیین شود و یا از روش‌هایی نظیر AHP FUZZY و یا مدل بهترین بدترین فازی تعیین شود. هرچند می‌توان وزن‌ها را به صورت حتمی تعیین کرد و جهت فازی کردن آن وزن را سه بار تکرار نمود. لازم به ذکر است در تحقیق پیش رو، از روش الکترو فازی دوزنقه‌ای استفاده شده است (شکل ۲). با توجه به این که اعداد فازی به صورت سلیقه‌ای در نظر گرفته می‌شوند، در پژوهش حاضر عددها بین ۰ و ۱ در نظر گرفته شده است (جدول ۱).



شکل ۲- عدد فازی دوزنقه‌ای

جدول ۱- تعیین حدود فازی و پارامترهای زبانی

اعداد فازی ذوزنقه‌ای	عبارت اختصاری	پارامترهای زبانی
(۰،۰،۰/۱،۰/۲)	VL	Very Low (خیلی پایین)
(۰/۰،۰/۲،۰/۲،۰/۳)	L	Low (پایین)
(۰/۲،۰/۳،۰/۴،۰/۵)	ML	Medium Low (نسبتاً پایین)
(۰/۴،۰/۵،۰/۵،۰/۶)	M	Medium (متوسط)
(۰/۵،۰/۶،۰/۷،۰/۸)	MH	Medium High (نسبتاً بالا)
(۰/۷،۰/۸،۰/۸،۰/۹)	H	High (بالا)
(۰/۸،۰/۹،۱،۱)	VH	Very High (خیلی بالا)

منبع: سینوار و همکاران، ۲۰۱۴

$$\bar{U} = \begin{bmatrix} \bar{W}_1 & \bar{W}_2 & \dots & \bar{W}_n \\ \bar{x}_{11} & \bar{x}_{12} & \dots & \bar{x}_{1n} \\ \bar{x}_{21} & \bar{x}_{22} & \dots & \bar{x}_{2n} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ \bar{x}_{m1} & \bar{x}_{m2} & \dots & \bar{x}_{mn} \end{bmatrix} \quad \text{رابطه (13)}$$

۶-۲- Normalization آرایه تصمیم

در روش الگوریتم فازی توسط دو فرمول زیر برای معیارهای مثبت و منفی انجام می‌شود اگر معیار حالت مثبت داشت از رابطه (۱۴) استفاده می‌کنیم و اگر معیار حالت منفی داشته باشد از رابطه (۱۵) استفاده می‌شود.

$$\tilde{r}_{ij} = (r_{ij}^i, r_{ij}^y, r_{ij}^w) = \left(\frac{x_{ij}^i}{c_j^*}, \frac{x_{ij}^y}{c_j^*}, \frac{x_{ij}^w}{c_j^*} \right), \quad c_j^* = \max(r_{ij}^w), j \in B \quad \text{رابطه (14)}$$

$$\tilde{r}_{ij} = (r_{ij}^i, r_{ij}^y, r_{ij}^w) = \left(\frac{a_j^-}{x_{ij}^w}, \frac{a_j^-}{x_{ij}^y}, \frac{a_j^-}{x_{ij}^i} \right), \quad a_j^- = \min(x_{ij}^i), j \in C \quad \text{رابطه (15)}$$

۷-۲- تشکیل آرایه Normalization وزن دار

در این مرحله وزن معیارهایی را که در گام ۱ بدست آورده بودیم، در آرایه نرمال شده ضرب می‌کنیم. تا آرایه وزن دار به وجود آید (جدول ۴).

۸-۲- محاسبه امتداد بین هر دو انتخاب

در این مرحله با استفاده از رابطه (۱۶) امتداد بین هر دو انتخاب مساله را نسبت به هر رابطه بدست می‌آوریم. مجموعه سازگار و ناسازگار از آرایه وزن دار شده بدست می‌آیند و برای تشکیل آرایه‌های سازگار و ناهماهنگ از رابطه (۱۶) استفاده می‌شود.

$$d = (\bar{A}, B) = \sqrt{\sum_{k=1}^3 (A_k - B_k)^2} \quad \text{رابطه (16)}$$

۲-۹- ساخت کلکسیون هماهنگ و ایجاد آرایه هماهنگ

کلکسیون هماهنگ کلکسیونی از گزینه است که $V_{xz} > V_{yz}$ است که V همان آرایه نرمال وزن دار است که آ؛ که هماهنگ از مجموع وزن تمام گزینه‌ها موجود در گزینه‌های هماهنگ بر اساس رابطه (۱۷) حاصل می‌شود (جدول ۵).

$$\tilde{C} = \begin{bmatrix} \tilde{C}_{11} & \dots & \tilde{C}_{1X} & \dots & \tilde{C}_{1(m-1)} & \tilde{C}_{1m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{C}_{x1} & \dots & \dots & \dots & \tilde{C}_{x(m-1)} & \tilde{C}_{xm} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{C}_{(m-1)1} & \dots & \tilde{C}_{(m-1)y} & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \tilde{C}_{m1} & \dots & \dots & \dots & \tilde{C}_{m(m-1)} & \tilde{C}_{mm} \end{bmatrix}$$

$$\text{where } \tilde{C}_{xy} = (c_{xy}^i, c_{xy}^y, c_{xy}^w) = \left(\sum_{j \in J^c} W_j^i, \sum_{j \in J^c} W_j^y, \sum_{j \in J^c} W_j^w \right) \quad \text{رابطه (17)}$$

در نهایت مقدار نهایی کلکسیون هماهنگ را از رابطه (۱۸) بدست می‌آوریم؛ که این همان میانگین حسابی از آرایه هماهنگ است.

$$\bar{C} = \sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^{(m-1)} \frac{\tilde{C}_{xy}}{m(m-1)} \quad \text{رابطه (18)}$$

۲-۱۰- تشکیل آرایه بولین هماهنگ

با استفاده از مقدار نهایی و آرایه هماهنگ، می‌توان آرایه بولین (صفر و یک) را ایجاد کرد مطابق رابطه (۱۹). اگر درایه آرایه هماهنگ از مقدار نهایی بزرگ‌تر باشد عدد متناظر آن در آرایه بولین ۱ می‌شود و برعکس.

$$E = \begin{bmatrix} e_{11} & \dots & e_{1X} & \dots & e_{1(m-1)} & e_{1m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ e_{x1} & \dots & \dots & \dots & e_{x(m-1)} & e_{xm} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ e_{(m-1)1} & \dots & e_{(m-1)y} & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ e_{m1} & \dots & \dots & \dots & e_{m(m-1)} & e_{mm} \end{bmatrix}$$

$$\text{where } \{\tilde{C}_{xy} \geq \bar{C} \leftrightarrow e_{xy} = 1, \text{ and } \tilde{C}_{xy} \leq \bar{C} \leftrightarrow e_{xy} = 0 \quad \text{رابطه (19)}$$

۲-۱۱- ساخت کلکسیون ناهماهنگ و ایجاد آرایه ناهماهنگ

کلکسیون ناهماهنگ کلکسیونی از گزینه‌ها $V_{xz} < V_{yz}$ است. آرایه ناهماهنگ یک آرایه مربعی می‌باشد که بعد آن تعداد انتخاب‌هاست. هر یک از درایه‌های این آرایه، شاخص ناهماهنگ بین دو انتخاب نامیده می‌شود (جدول ۶) جدول ۶ این شاخص از رابطه (۲۰) بدست می‌آید.

$$D = \begin{bmatrix} d_{11} & \dots & d_{1X} & \dots & d_{1(m-1)} & d_{1m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{x1} & \dots & \dots & \dots & d_{x(m-1)} & d_{xm} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{(m-1)1} & \dots & d_{(m-1)y} & \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{m1} & \dots & \dots & \dots & d_{m(m-1)} & d_{mm} \end{bmatrix}$$

where

$$d_{xy} = \frac{\max_{j \in J^p} |\tilde{v}_{xj} - \tilde{v}_{yj}|}{\max_j |\tilde{v}_{xj} - \tilde{v}_{yj}|} = \frac{\max_{j \in J^p} |d(\max(\tilde{v}_{xj}, \tilde{v}_{yj}), \tilde{v}_{xj})|}{\max_j |d(\max(\tilde{v}_{xj}, \tilde{v}_{yj}), \tilde{v}_{xj})|} \quad \text{رابطه (20)}$$

همچنین مقدار نهایی ناهماهنگی با استفاده از رابطه (۲۱) بدست می‌آید:

$$\bar{d} = \sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^{(m-1)} \frac{d_{xy}}{m(m-1)} \quad \text{رابطه (21)}$$

۲-۱۲- تشکیل آرایه بولین ناهماهنگ

با استفاده از مقدار نهایی و آرایه ناهماهنگ، می‌توان آرایه بولین (صفر و یک) را ایجاد کرد. اگر درلیه آرایه ناهماهنگ از مقدار نهایی بیشتر باشد عدد متناظر آن در آرایه بولین صفر می‌شود و بر عکس مطابق رابطه (۲۲).

$$F = \begin{bmatrix} f_{11} & \dots & f_{1x} & \dots & f_{1(m-1)} & f_{1m} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{x1} & \dots & \dots & \dots & f_{x(m-1)} & f_{xm} \\ \dots & \dots & \dots & e_{xy} & \dots & \dots \\ f_{(m-1)1} & \dots & f_{(m-1)y} & \dots & \dots & \dots \\ f_{m1} & \dots & \dots & \dots & f_{m(m-1)} & f_{mm} \end{bmatrix}$$

where $\{d_{xy} \geq \bar{d} \leftrightarrow f_{xy} = 0, \quad \text{and } d_{xy} \leq \bar{d} \leftrightarrow f_{xy} = 1$ رابطه (22)

۲-۱۳- تشکیل آرایه انتهایی

آرایه انتهایی از ضرب درایه‌های متناظر دو آرایه بولین هماهنگ و ناهماهنگ بدست می‌آید. به عبارتی $H=E*F$. ماتریس H نیز یک آرایه صفر و یک است (جدول ۷).

۲-۱۴- طبقه‌بندی انتهایی انتخاب‌ها

آرایه تسلط انتهایی (H) اولویت‌های جزئی انتخاب‌ها را بیان می‌کند. به‌طور مثال، اگر مقدار h_{ke} برابر یک باشد به این معنی است که برتر بودن انتخاب k بر انتخاب e در هر دو حالت هماهنگ و غیر هماهنگ قابل قبول است؛ بنابراین هنوز انتخاب k شانس مسلط شدن توسط انتخاب‌های دیگر را دارد. انتخابی باید انتخاب شود که بیشتر از آن که مغلوب شود، تسلط داشته باشد و از این نظر می‌توان گزینه‌ها را طبقه‌بندی کرد (جدول ۸) (جاسمی و احمدی، ۲۰۱۸).

۳- نتایج و بحث

۳-۱- نتایج حاصل از مدل WASPAS

پس از مشخص شدن معیارهای مورد بررسی در آسیب‌پذیری بافت سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در مدل WASPAS وزن هر معیار بر اساس روش آنتروپی شانون مشخص شد (جدول ۲).

جدول ۲- وزن معیارهای پژوهش با استفاده از روش آنتروپی شانون

معیار	عرض مهر	کنیت ابنیه	جنس مصالح	کاربری اراضی	نماد طبقات	مساحت طبقات	زمین شناسی	فاصله از تأسیسات شهری	فاصله از فضای باز عمومی	فاصله از مراکز درمانی	فاصله از گسل	تراکم جمعیت	تراکم ساختمانی
وزن	۰.۰۹۵	۰.۰۷۲	۰.۰۷۵	۰.۰۶۴	۰.۰۹۴	۰.۰۸۵	۰.۰۵۲	۰.۰۸۳	۰.۰۶۲	۰.۰۶۵	۰.۰۶۳	۰.۰۹۶	۰.۰۹۱
	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۱	۸	۸	۱	۴	۱

به منظور تشکیل ماتریس (گزینه ها و معیارها) در تکنیک WASPAS باید گزینه‌ها مشخص شوند؛ بنابراین مناطقی که سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در آنجا واقع شده‌اند به عنوان گزینه‌های مدل WASPAS در نظر گرفته شدند. (گزینه ۱ شامل سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۱، گزینه ۲ شامل سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۳، گزینه ۳ شامل سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۴، گزینه ۴ شامل سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۵، گزینه ۵ شامل سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۷، گزینه ۶ شامل سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۱۰) در مرحله بعد مقادیر هر معیار برای تک تک گزینه‌ها مشخص شد. در نهایت بر اساس روابط ذکر شده برای تکنیک WASPAS، محاسبات در محیط نرم افزار متلب انجام گردید که نتایج مدل مذکور در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- نتایج محاسبات بر اساس مدل WASPAS برای مناطق آسیب پذیر

گزینه‌ها	wsm	wpm	Q1	Q2	λ	score
گزینه ۱	۰.۱۸۱۸۲	۰.۰۹۵۷۰۵	۰.۱۷۹۰۰۰	۰.۱۸۲۰۰۶	۰.۰۹۲۵۳	۰.۱۰۳۶۷۹
گزینه ۲	۰.۳۰۸۲۵۲	۰.۱۴۴۲۶۳	۰.۵۲۱۰۰۵	۰.۴۱۴۰۰۶	۰.۰۷۳۶۴۹	۰.۱۵۶۳۴۱
گزینه ۳	۰.۳۸۳۰۹۳	۰.۱۸۵۵۹۵	۰.۶۴۳۰۰۵	۰.۶۸۵۰۰۶	۰.۰۹۶۳۵۳	۰.۲۰۴۶۲۵
گزینه ۴	۰.۶۵۹۷۱۱	۰.۳۵۵۰۳۹	۰.۰۰۰۱۲۳	۰.۲۵۱۰۰۵	۰.۱۶۹۵۲۲	۰.۴۰۶۶۸۷
گزینه ۵	۰.۲۷۶۲۴۹	۰.۱۱۱۱۷۱	۰.۳۶۹۰۰۰	۰.۲۴۶۰۰۶	۰.۰۶۲۴۹۹	۰.۱۲۱۴۸۹
گزینه ۶	۰.۲۱۷۹۲۷	۰.۰۹۱۴۰۶	۰.۲۶۲۰۰۵	۰.۱۶۶۰۰۶	۰.۰۵۹۵۸۲	۰.۰۹۸۹۴۵

وزن‌های اختصاص داده شده به هر یک از معیارها نرمال شده و در جدول ۲ ارائه شده است که بر اساس جدول فوق سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در مناطق ۱۰ از نظر آسیب‌پذیری در رتبه اول قرار دارد و سکونتگاه‌های واقع

در منطقه ۵ رتبه ۶ را کسب کرده‌اند؛ بنابراین بر اساس نتایج حاصل از جدول فوق آسیب‌پذیرترین سکونتگاه‌های غیر رسمی متعلق به منطقه ۱۰ می‌باشد. در مرحله بعد تغییرات وزن‌های اندازه‌گیری شده طبق تکنیک پژوهش، بر روی تک تک شاخص‌های پژوهش مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت.

۲-۳- نتایج حاصل از مدل ELECTRE FUZZY

رتبه‌بندی سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در مناطق شهر تبریز بر اساس محاسبات ماتریس چیرگی نهایی H (جدول ۷) به ترتیب زیر است:

سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۳ < سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در مناطق ۴ و ۵ < سکونتگاه غیر رسمی واقع در منطقه ۷ < سکونتگاه غیر رسمی واقع در منطقه ۱ و ۱۰

اختلاف امتیاز محاسبه شده با روش الکره فازی، حاکی از وجود اختلاف و شکاف بین سکونتگاه‌های غیر رسمی مناطق شهر تبریز در برابر آسیب‌پذیری از خطر زلزله است، به طوری که سکونتگاه غیر رسمی واقع در منطقه ۳ با کسب رتبه ۱ کمترین میزان آسیب‌پذیری را تجربه خواهد کرد در حالی که سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در مناطق ۱ و ۱۰ با کسب رتبه ۵ بیشترین آسیب‌پذیری را از مخاطره زلزله تجربه خواهند کرد.

جدول ۴- اعداد فازی و ماتریس موزون شاخص‌ها

c2 (کیفیت ابنیه)				c1 (عرض معبر)					مناطق			
موزون فازی			فازی	موزون فازی				فازی				
0.00000	0.00072	0.00072	0.00151	L	0.00342	0.00352	0.00418	0.00590	MH	منطقه ۱		
0.00144	0.00195	0.00238	0.00260	MH	0.00219	0.00333	0.00333	0.00447	M	منطقه ۳		
0.00505	0.00079	0.00108	0.00159	ML	0.00219	0.00333	0.00333	0.00447	M	منطقه ۴		
0.00166	0.00187	0.00187	0.03749	H	0.00342	0.00418	0.00418	0.00932	H	منطقه ۵		
0.00144	0.00180	0.00180	0.00209	M	0.00219	0.00333	0.00333	0.00447	M	منطقه ۷		
0.00000	0.00000	0.00094	0.00130	VL	0.00342	0.00352	0.00418	0.00590	MH	منطقه ۱۰		
۰.۰۷۲۱					۰.۰۹۵۱						وزن	
C4 (کاربری اراضی)					C3 (جنس مصالح)							
موزون فازی			فازی		موزون فازی				فازی		مناطق	

0.00641	0.00128	0.00128	0.00154	L	0.00173	0.00210	0.00210	0.03980	H	منطقه ۱	
0.00449	0.00083	0.00096	0.00205	ML	0.00150	0.00188	0.00188	0.00218	M	منطقه ۳	
0.00128	0.00224	0.00224	0.00244	M	0.00000	0.00075	0.01000	0.00083	VL	منطقه ۴	
0.00128	0.00173	0.00212	0.01987	MH	0.00000	0.00000	0.00098	0.00128	L	منطقه ۵	
0.00000	0.00000	0.00071	0.00083	VL	0.00526	0.00083	0.00113	0.00143	ML	منطقه ۷	
0.00641	0.00128	0.00128	0.00154	L	0.00150	0.00203	0.00248	0.00270	MH	منطقه ۱۰	
۰.۰۶۴۱					۰.۰۷۵۱					وزن	
C6 (مساحت قطعات)					C5 (تعداد طبقات)					مناطق	
موزون فازی				فازی	موزون فازی				فازی		
0.00000	0.00085	0.00085	0.00179	L	0.00000	0.00094	0.00094	0.00198	L	منطقه ۱	
0.00170	0.00213	0.00213	0.00247	M	0.00659	0.00104	0.00141	0.00207	ML	منطقه ۳	
0.00170	0.00230	0.00281	0.00306	MH	0.00188	0.00198	0.00311	0.02635	MH	منطقه ۴	
0.00196	0.00221	0.00221	0.04425	H	0.00188	0.00198	0.00311	0.02635	MH	منطقه ۵	
0.00596	0.00094	0.00128	0.00187	ML	0.00188	0.00235	0.00235	0.00301	M	منطقه ۷	
0.00000	0.00000	0.00111	0.00153	VL	0.00000	0.00000	0.00122	0.00169	VL	منطقه ۱۰	
۰.۰۸۵۱					۰.۰۹۴۱					وزن	
C8 (فاصله از تأسیسات شهری)					C7 (زمین شناسی)					مناطق	
موزون فازی				فازی	موزون فازی				فازی		
0.00582	0.00091	0.00125	0.00183	ML	0.00104	0.00115	0.00167	0.01042	MH	منطقه ۱	
0.00000	0.00000	0.00108	0.00150	VL	0.00365	0.00057	0.00068	0.00125	ML	منطقه ۳	

0.00166	0.00224	0.00274	0.00299	MH	0.00000	0.00000	0.00068	0.00089	VL	منطقه ۴
0.00191	0.00216	0.00216	0.04321	H	0.00104	0.00115	0.00167	0.01042	MH	منطقه ۵
0.00000	0.00083	0.00083	0.00175	L	0.00000	0.00000	0.00068	0.00089	VL	منطقه ۷
0.00166	0.00208	0.00208	0.00241	M	0.00104	0.00115	0.00167	0.01042	MH	منطقه ۱۰
۰.۰۸۳۱					۰.۰۵۲۱					وزن

ادامه جدول ۴- اعداد فازي و ماتريس موزون شاخص‌ها

C10 (فاصله از مراکز درمانی)					C9 (فاصله از فضاهای باز عمومی)					مناطق
موزون فازي				فازي	موزون فازي				فازي	
0.00000	0.00000	0.00086	0.00118	VL	0.00144	0.00163	0.00163	0.00427	H	منطقه ۱
0.00132	0.00165	0.00165	0.02171	M	0.00126	0.00157	0.00157	0.00182	M	منطقه ۳
0.00461	0.00072	0.00099	0.00987	ML	0.00440	0.00069	0.00094	0.00170	ML	منطقه ۴
0.00461	0.00072	0.00099	0.00987	ML	0.00270	0.00364	0.00458	0.00528	VH	منطقه ۵
0.00000	0.00066	0.00066	0.00171	L	0.00126	0.00170	0.00207	0.00245	MH	منطقه ۷
0.00000	0.00000	0.00086	0.00118	VL	0.00270	0.00364	0.00458	0.00528	VH	منطقه ۱۰
					۰.۰۶۲۸					وزن
C12 (تراکم جمعیت)					C11 (فاصله از گسل)					مناطق
موزون فازي				فازي	موزون فازي				فازي	
0.00000	0.00096	0.00096	0.00202	L	0.00000	0.00000	0.00082	0.00114	VL	منطقه ۱
0.00000	0.00000	0.00125	0.00174	VL	0.00000	0.00063	0.00063	0.00133	L	منطقه ۳
0.00193	0.00260	0.00318	0.02603	MH	0.00145	0.00164	0.00164	0.03912	H	منطقه ۴
0.00193	0.00241	0.00241	0.00386	M	0.00000	0.00000	0.00082	0.00114	VL	منطقه ۵
0.00193	0.00260	0.00318	0.02603	MH	0.00126	0.00170	0.00208	0.00574	MH	منطقه ۷
0.00675	0.00106	0.00145	0.00212	ML	0.00000	0.00000	0.00082	0.00114	VL	منطقه ۱۰
۰.۰۹۶۴					۰.۰۶۳۱					وزن
C13 (تراکم ساختمان)										مناطق
موزون فازي					فازي					
0.00000	0.00091	0.00091	0.00191	L						منطقه ۱
0.00000	0.00091	0.00091	0.00191	L						منطقه ۳

0.00182	0.00228	0.00228	0.00310	M	منطقه ۴
0.00000	0.00000	0.00118	0.00164	VL	منطقه ۵
0.00210	0.00237	0.00237	0.05375	H	منطقه ۷
0.00638	0.00100	0.00137	0.00200	ML	منطقه ۱۰
۰.۰۹۱۱					وزن

جدول ۵- تشکیل ماتریس هماهنگ

منطقه ۱۰	منطقه ۷	منطقه ۵	منطقه ۴	منطقه ۳	منطقه ۱	
۰.۴۱۰	۰.۴۳۲	۰.۱۶۶	۰.۴۳۲	۰.۵۲۹	۰	منطقه ۱
۰.۳۸۰	۰.۳۴۸	۰.۲۹۵	۰.۱۸۲	۰	۰.۳۸	منطقه ۳
۰.۶۳۵	۰.۵۸۰	۰.۳۲۶	۰	۰.۷۲۳	۰.۵۶۸	منطقه ۴
۰.۵۵۹	۰.۶۷۴	۰	۰.۵۱۴	۰.۷۰۵	۰.۷۱۹	منطقه ۵
۰.۵۶۸	۰	۰.۳۲۹	۰.۱۷۶	۰.۵۵۷	۰.۵۶۸	منطقه ۷
۰	۰.۴۳۲	۰.۲۶۳	۰.۳۸۶	۰.۶۲	۰.۳۹	منطقه ۱۰

جدول ۶- تشکیل ماتریس نا هماهنگ

منطقه ۱۰	منطقه ۷	منطقه ۵	منطقه ۴	منطقه ۳	منطقه ۱	
۰.۲۲	۰.۶۳	۰.۱۷	۰.۶۷	۰.۶۳	۰	منطقه ۱
۰.۳۳	۰.۹۹	۰.۳۴	۰.۷۸	۰	۰.۱	منطقه ۳
۰.۹۵	۱.۰۲	۰.۹۵	۰	۰.۵۸	۰.۳۸	منطقه ۴
۰.۸۳	۰.۸۳	۰	۰.۱۹	۰.۱۷	۱.۰۲	منطقه ۵
۰.۹۶	۰	۰.۶۲	۰.۶۳	۰.۹۹	۰.۱۴	منطقه ۷
۰	۰.۲۴	۰.۸۳	۰.۵۷	۰.۹۹	۰.۹۷	منطقه ۱۰

جدول ۷- تشکیل ماتریس چیرگی نهایی H

منطقه ۱۰	منطقه ۷	منطقه ۵	منطقه ۴	منطقه ۳	منطقه ۱	
۰	۱	۰	۱	۱	۰	منطقه ۱
۰	۰	۰	۰	۰	۰	منطقه ۳
۰	۱	۰	۰	۱	۰	منطقه ۴
۱	۱	۰	۰	۰	۱	منطقه ۵
۱	۰	۰	۰	۱	۰	منطقه ۷
۰	۰	۰	۱	۱	۱	منطقه ۱۰

جدول ۸- رتبه‌بندی نهایی

Rank	Diff	Loss	WIN	
۵	۰	۳	۳	منطقه ۱
۱	۶	۶	۰	منطقه ۳
۲	۳	۳	۳	منطقه ۴
۲	۳	۳	۳	منطقه ۵
۴	۲	۴	۲	منطقه ۷
۵	۰	۳	۳	منطقه ۱۰

۳-۳- وزن‌دهی و طبقه‌بندی آسیب‌پذیری هر کدام از متغیرها

بعد از اختصاص دادن داده‌ها به هر لایه، براساس طیف آسیب‌پذیری هر کدام از پارامترها، پارامترها وزن‌دهی شدند. اساس طبقه‌بندی‌ها بر اساس مطالعات پیشین بوده است. توابع مربوط به تک تک پارامترها و وزن‌دهی به آنها داخل شکل هر پارامتر آورده شده است.

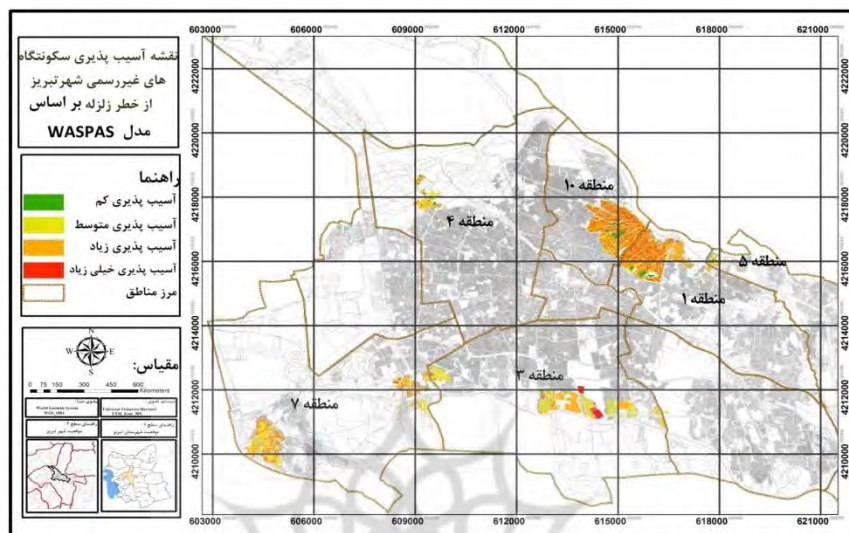
۳-۴- تلفیق نقشه‌ها و برآورد آسیب‌پذیری کل بر اساس مدل WASPAS

برای برآورد میزان آسیب‌پذیری کلی سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در برابر مخاطره زلزله بعد از مشخص شدن میزان آسیب‌پذیری هر پهنه بر اساس مدل WASPAS لایه‌های هم‌مقیاس شده مورد استفاده در پژوهش در محیط نرم‌افزار GIS با هم تلفیق شدند؛ بنابراین در نقشه نهایی (شکل ۳) میزان آسیب‌پذیری در چهار گروه دسته‌بندی شدند. نتایج نهایی حاکی از آن است ۵۷.۹۱٪ از مساحت سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در معرض آسیب‌پذیری خیلی زیاد و ۱۱.۰۵٪ در معرض آسیب‌پذیری زیاد و ۲۷.۰۳٪ در معرض آسیب‌پذیری متوسط و تنها ۴.۰۱٪ از بافت سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در معرض آسیب‌پذیری کم در مقابل خطر زلزله قرار دارند (جدول ۹). همچنین از نظر طیف‌های آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در مناطق ۱۰ و ۱ در طیف خیلی زیاد، سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۷ در طیف زیاد تا متوسط، پس از آن سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۳ در طیف متوسط و سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۴ در طیف متوسط تا کم و سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۵ در طیف کم تا متوسط آسیب‌پذیری قرار گرفته‌اند.

جدول ۹- مساحت پهنه‌های مختلف آسیب‌پذیری ناشی از زلزله سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز

پتانسیل خطر	مساحت (متر مربع)	در صد مساحت
آسیب‌پذیری خیلی زیاد	۲۴۸۲۷۰۱.۰۱	۵۷.۹۱
آسیب‌پذیری زیاد	۴۷۳۱۷۶.۶۹	۱۱.۰۵

پتانسیل خطر	مساحت (متر مربع)	در صد مساحت
آسیب پذیری متوسط	۱۱۵۸۷۱۹.۵۹	۲۷.۰۳
آسیب پذیری کم	۱۷۲۱۳۱.۷۶	۴.۰۱



شکل ۳- نقشه میزان کلی آسیب پذیری سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در برابر زلزله بر اساس روش

WASPAS

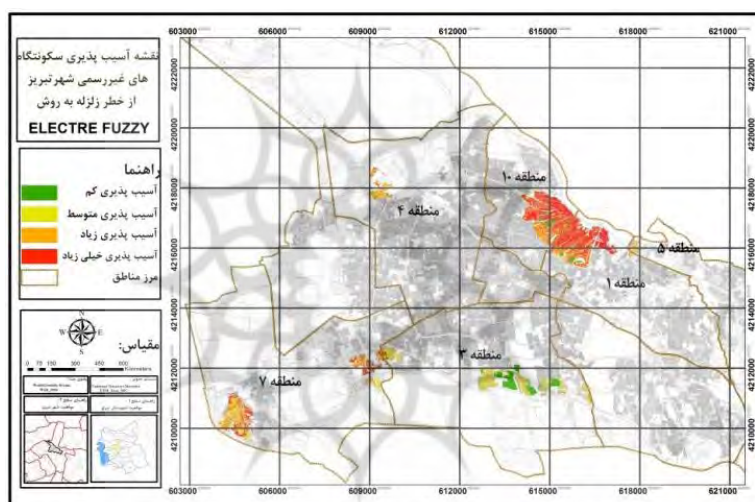
۳-۶- تلفیق نقشه‌ها و برآورد آسیب پذیری کل بر اساس مدل ELECTRE FUZZY

در این مرحله از پژوهش به منظور برآورد میزان آسیب پذیری کلی سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز از گامای فازی استفاده شد. بدین منظور ابتداء داده‌ها، فازی سازی شدند سپس برای تلفیق لایه‌های فازی شده با یکدیگر و تهیه نقشه نهایی از روش الکتراه فازی استفاده کردیم تا نقشه‌ها وزن دار شوند و تأثیر هر شاخص در محاسبه میزان آسیب پذیری واقعی باشد. بدین ترتیب مقادیر حداکثر و حداقل گاماهای مورد استفاده (۰.۸۰، ۰.۸۵، ۰.۹۰، ۰.۹۵) به منظور تهیه نقشه نهایی با استفاده از ابزار zonal statistics برای تک تک مناطقی که سکونتگاه غیر رسمی شهر تبریز در آنها واقع شده بود محاسبه شد و از این بین گامای ۰.۹۵ به عنوان بهترین گاما به منظور پهنه بندی آسیب پذیری انتخاب شد. در نقشه نهایی (شکل ۴) میزان آسیب پذیری در چهار گروه دسته بندی شدند. نتایج نهایی حاکی از آن است که بیش از ۳۴٪ از مساحت سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در معرض آسیب پذیری خیلی زیاد و بیش از ۲۷٪ در معرض آسیب پذیری زیاد و بیش از ۲۵٪ در معرض آسیب پذیری متوسط و تنها ۱۲.۶۹٪ از بافت سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در معرض آسیب پذیری کم در مقابل خطر زلزله قرار دارند (جدول ۱۰). همچنین از نظر طیف‌های آسیب پذیری سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در مناطق ۱ و ۱۰ در طیف خیلی زیاد،

سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۷ در طیف زیاد، سکونتگاه‌های واقع در مناطق ۴ و ۵ در طیف زیاد تا متوسط و سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۳ در طیف متوسط تا کم آسیب‌پذیری قرار گرفته‌اند.

جدول ۱۰- مساحت پهنه‌های مختلف آسیب‌پذیری ناشی از زلزله سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز

پتانسیل خطر	مساحت (متر مربع)	در صد مساحت
آسیب‌پذیری خیلی زیاد	۱۴۸۳۶۴۶	۳۴.۶۱
آسیب‌پذیری زیاد	۱۱۶۳۰۰۲	۲۷.۱۳
آسیب‌پذیری متوسط	۱۰۹۶۲۹۱	۲۵.۵۷
آسیب‌پذیری کم	۵۴۳۷۸۹	۱۲.۶۹



شکل ۴- نقشه میزان کلی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در برابر زلزله با عملگر گامای ۰.۹۵ و روش ELECTRE FUZZY

۴- جمع‌بندی

در پژوهش حاضر با هدف مشخص کردن مناسب‌ترین روش به منظور ارزیابی میزان آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در برابر زلزله محتمل، دو مدل ELECTRE FUZZY و مدل ترکیبی WASPAS نسبت به ۱۳ معیار (عرض معبر، کیفیت ابنیه، جنس مصالح، تعداد طبقات، فاصله از فضای باز عمومی، فاصله از تأسیسات شهری، فاصله از مراکز درمانی، تراکم جمعیت، تراکم ساختمان، فاصله از گسل، جنس زمین‌شناسی، مساحت قطعات، کاربری اراضی) با هم مقایسه شدند. بدین منظور تمامی سکونتگاه‌های غیر رسمی موجود در شهر تبریز مورد تحلیل قرار گرفتند. نتایج حاکی از آن است که بر اساس مدل WASPAS سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۵ با

کسب رتبه ۱ کمترین و منطقه ۱۰ با کسب رتبه ۶ بیشترین آسیب‌پذیری را خواهند داشت. همچنین بیش از ۵۷٪ از مساحت سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در معرض آسیب‌پذیری خیلی زیاد و ۱۱/۰۵٪ زیاد و ۲۷.۰۳٪ متوسط و فقط ۴/۰۱٪ در معرض آسیب‌پذیری کم قرار دارند. نتایج حاصل از محاسبات مدل ELECTRE FUZZY حاکی از آن است که سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در منطقه ۳ با کسب رتبه ۱ کمترین و مناطق ۱ و ۱۰ با کسب رتبه ۵ بیشترین آسیب‌پذیری را تجربه خواهند کرد. همچنین بیش از ۳۴٪ از مساحت سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز در معرض آسیب‌پذیری خیلی زیاد و بیش از ۲۷٪ زیاد و بیش از ۲۵٪ در متوسط و تنها ۱۲/۶۹٪ در معرض آسیب‌پذیری کم قرار دارند. بر اساس مطالعات میدانی نویسندگان نتایج حاصل از روش ELECTRE FUZZY نسبت به روش WASPAS دقیق‌تر و واقع‌بینانه‌تر می‌باشد. روش ELECTRE FUZZY دارای توانایی تحلیل چندین محیط با حاکمیت ابهام می‌باشد. سکونتگاه‌های غیر رسمی که در طیف خیلی زیاد آسیب‌پذیری قرار گرفته‌اند، شامل محلاتی می‌باشند که دارای بیشترین تراکم جمعیتی و بافت ریز دانه هستند، اکثراً فاقد بناهای مقاوم‌اند و بدون برنامه‌ریزی اصولی بنا شده‌اند و از نظر پارامتر معبر، دارای معبرهای تنگ و کم‌عرض هستند؛ و اکثراً در حریم گسل شمال تبریز گسترش پیدا کرده‌اند؛ بنابراین افزایش مقادیر پارامترهای مانند تراکم جمعیت، کیفیت ابنیه، فاصله از گسل، تراکم ساختمان و... باعث شده تا سکونتگاه‌های غیر رسمی واقع در این محلات در طیف آسیب‌پذیری خیلی زیاد قرار بگیرند. در کل می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در صورت مدیریت صحیح ساخت‌وساز و رعایت دقیق ضوابط آیین‌نامه ۲۸۰۰ زلزله در سکونتگاه‌های غیر رسمی شهر تبریز شاهد نزول خطرات ناشی از زلزله خواهیم بود.

کتابنامه

- بازدار، سجاد؛ زندمقدم، محمدرضا؛ کامیابی، سعید؛ ۱۳۹۹. سنجش و ارزیابی کمی آسیب‌پذیری شهری در برابر زلزله نمونه موردی: استان ایلام. *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال بیستم، شماره ۵۹، صص ۲۱۲-۱۹۷*.
<http://jgs.khu.ac.ir/article-1-3315-fa>
- پاشاپور، حجت‌الله؛ قربانی، رامین؛ فرهادی، ابراهیم؛ درودی‌نیا، عباس؛ ۱۳۹۸. پهنه‌بندی خطر زلزله با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی مطالعه موردی: کلان‌شهر تبریز. *فصلنامه آمایش محیط، شماره ۴۵، صص ۶۹-۵۰*.
<https://sid.ir/paper/130783/fa>
- حسینی‌خواه، حسین و ضرابی، اصغر؛ ۱۳۹۸. نقش مدل ترکیبی تصمیم‌گیری WASPAS در شناسایی پهنه‌های لرزه‌خیز پژوهش موردی: مراکز جمعیتی شهرستان بهمئی در استان کهگیلویه و بویراحمد. *نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال ششم، شماره ۲، صص ۱۶۴-۱۷۵*.

<https://sid.ir/paper/380009/fa>

حیدریان، شیدا؛ رحیمی، محمود؛ فتح الهی، ثریا؛ غفوری، سیروان؛ ۱۳۹۶. تحلیل شاخص‌های تاب‌آوری سکونتگاه‌های غیر رسمی در برابر زلزله با رویکرد اجتماعی نمونه موردی: محله فرحزاد تهران. *نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی*، شماره ۱۱، ۲۶۰-۲۴۶.

<https://sid.ir/paper/505222/fa>

خدادادی فاطمه؛ انتظاری، مژگان؛ ساسان پور، فرزانه؛ ۱۳۹۹. تحلیل آسیب‌پذیری شهری در برابر مخاطره زلزله با روش ELECTRE FUZZY (مطالعه موردی: کلان‌شهر کرج). *نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، شماره ۵۶، صص ۹۳-۱۱۳.

<https://sid.ir/paper/390384/fa>

خدمت زاده، علی؛ موسوی، میر نجف؛ یوسف‌زاده، اردشیر؛ ۱۴۰۰. تحلیل شاخص‌های آسیب‌پذیری شهری با رویکرد مدیریت بحران زلزله مطالعه موردی: شهر ارومیه. *فصلنامه علمی مطالعات برنامه‌ریزی سکونتگاه‌های انسانی*، دوره ۱۶، شماره ۱، صص ۶۲۲-۴۳.

<http://jshsp.iaurasht.ac.ir>

شماعی، علی؛ دانشور خرم، عاطفه؛ روان‌بخش، احمد؛ افسر، مجید؛ ۱۳۹۹. تحلیل آسیب‌پذیری بافت‌های قدیمی شهر کاشان در برابر زلزله. *پژوهش‌های جغرافیای انسانی*، دوره ۵۲، شماره ۱، صص ۱۳۰-۱۱۱.

<https://sid.ir/paper/379608/fa>

ضرابی، اصغر؛ عباسی، شایسته؛ مشکینی، ابوالفضل؛ ۱۳۹۹. ارزیابی توسعه پایدار شهری با تأکید بر رویکرد تاب‌آوری در سکونتگاه‌های غیررسمی مورد مطالعه سکونتگاه‌های غیررسمی شهر سنندج. *نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی*، سال ۲۴، شماره ۷۴، صص ۱۳۳-۱۱۹.

[doi: 10.22034/gp.2021.10776](https://doi.org/10.22034/gp.2021.10776)

ملکی، سعید؛ امانپور، سعید؛ صفایی پور، مسعود؛ پورموسوی، سیددانا؛ مودت، الیاس؛ ۱۳۹۶. ارزیابی طیف تاب‌آوری کالبدی شهرها در برابر زلزله با استفاده از مدل‌های برنامه‌ریزی، نمونه موردی شهر ایلام. *نشریه علمی پژوهشی برنامه‌ریزی توسعه کالبدی*، سال ۲، شماره ۱۱، صص ۲۰۰-۹.

<https://sid.ir/paper/220148/fa>

Abunywah M, Gajendran T and Maund K., 2018. Profiling Informal Settlements for Disaster Risks, *Procedia Engineering*, Vol. 212: 238-245.

<https://doi.org/10.1016/j.proeng.2018.01.031>

Byron Walker B, Nadine S, David S, John J., 2021. GIS-based multicriteria evaluation for earthquake response: a case study of expert opinion in Vancouver, Canada. *Natural Hazards*, 105:2075-2091. <https://doi.org/10.1007/s11069-020-04390-1>

Enzo F., Zambrano-Verratti, J., and Reinout, K., 2019. Web-Based Participatory Mapping in Informal Settlements: The Slums of Caracas, Venezuela, *Habitat International*, in Press, Corrected Proof, Available Online, Article 102038.

<https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2019.102038>

Guoa X, Kapucub N., 2020. Assessing social vulnerability to earthquake disaster using rough analytic hierarchy process method: A case study of Hanzhong City, China, *Safety Science* 125 :104625. <https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104625>

- Ghorbanzadeh O, Feizizadeh B, Blaschke T., 2018. Multi-criteria risk evaluation by integrating an analytical network process approach into GIS-based sensitivity and uncertainty analyses. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 9(1): 127-151.
<https://doi.org/10.1080/19475705.2017.1413012>
- Jena R, Pradhan B, Beydoun G., 2020. Earthquake vulnerability assessment northern Sumatra province by using a multi-criteria decision-making model, *International Journal of Disaster Risk Reduction* 46: 1-28. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2020.101518>
- Jasemi M and Ahmadi E., 2018. A new fuzzy ELECTRE-based multiple criteria method for personnel selection, *Sharif University of Technology, Scientia Iranica E, Transactions E: Industrial Engineering* . 25(2): 943-953. <https://www.scientiairanica.sharif.edu>
- Lyu H, Shuilong J, Arulrajah A., 2018. Assessment of geohazards and preventative countermeasures using AHP incorporated with GIS in Lanzhou, China." *Sustainability* 10(2). 304. <https://doi.org/10.3390/su10020304>
- Neeraj, D., and Sandra, C., 2019. Residents' self-Initiatives for Flood Adaptation in Informal Riverbank Settlements of Kathmandu, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, Vol. 40, Article 101156. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2019.101156>
- Ratiranjana J, Biswajeet P, Ghassan B, Nizamuddin H, Ardiansyah A, Muzailin A., 2020. Integrated model for earthquake risk assessment using neural network and analytic hierarchy process: Aceh province, Indonesia, *Geoscience Frontiers* 11:613-634.
<https://doi.org/10.1016/j.gsf.2019.07.006>
- Smith H, Coupé F, Ferrari S, Rivera H, Mera W., 2020. Toward negotiated mitigation of landslide risks in informal settlements: reflections from a pilot experience in Medellín, Colombia, *Ecology and Society* 25(1). 19. <https://doi.org/10.5751/ES-11337-250119>
- Senvar, O, Tuzkaya, G., Kahraman, C., 2014. Multi Criteria Supplier Selection Using Fuzzy PROMETHEE Method, *Journal of Department of Industrial Engineering Marmara University*, 3 (12).21-34. https://doi.org/10.1007/978-3-642-53939-8_2
- Ventura S, Frigerio I, Strigaro D, Mattavelli M, Amicis M, Mugnano S, Boffi M., 2016. A GIS-based approach to identify the spatial variability of social vulnerability to seismic hazard in Italy, *Applied Geography* 74 : 12-22. <https://www.elsevier.com/locate/apgeog>
- Yariyan P, Avand M, Soltani F, Ghorbanzadeh O, Blaschke T., 2020. Earthquake Vulnerability Mapping Using Different Hybrid Models, *Symmetry* 12(405): 1-31.
<https://doi.org/10.3390/sym12030405>
- Yazdani M, Zavadskas E, Ignatius J, Doval Abad M., 2016. Sensitivity Analysis in MADM Methods: Application of Material, *Inzinerine Ekonomika-Engineering Economics* 27(4) 382.
<http://dx.doi.org/10.5755/j01.ee.27.4.14005>