

Research Article

Behavior measurement of resilience capacity of Yazd citizens in the conditions of seismic activity of Taft fault

Seyed Abolfazl Kashfi¹, Abbas Kangi^{1*}, Reza Farrokhnejad¹, Abdolreza Jafarian¹

1- Department of Geology, Shahrood Branch, Islamic Azad University, Shahrood, Iran

Keywords: *Behavior assessment; Resilience of Yazd citizens; Taft fault; Earthquake loss estimation; Earthquake damage estimation.*

1-Introduction

Yazd City (Iran) is located in the Central Iran tectonic zone. Therefore, it has a high seismic potential due to the existence of ancient and large fault structures (Berberian, 1979). One of the most critical active faults with relatively high seismicity around this city is the Taft fault. This fault has a length of 30 km and is located 11 km south of the city. At its most critical state, the fault can potentially cause a 6.2 Richter earthquake (Ambraseys and Melville, 1982). The history of past earthquakes has shown that a moderate earthquake in cities with low resilience leads to significant damage, loss, and urban problems. In the resilience assessment of cities against natural disasters, human interaction (behaviors and social interactions) and physical factors (i.e., structures, buildings, and natural urban spaces) are significant. By measuring the resilience of citizens, we can identify the extent of their participatory approach in increasing multilateral cooperation and social innovation in the face of crises such as earthquakes and enhancing the resilience capacity of the city and citizens of the urban system (Mahajan et al., 2022). The present study aligns with the objectives of the UN MCR2030 project, which explores the resilience of the world's cities to natural disasters by 2030. To achieve this objective, we measure the Yazd citizens' resilience concerning the Taft fault's seismic activity. As a result, the resilience degree of the city was evaluated in Yazd city's spatial dimension, the residents' social dimension, and the infrastructure (buildings) dimension. In addition to using the usual components in measuring resilience, it is tried to advance the resilience assessment based on geotechnical information such as damage intensity (structural and non-structural components) and earthquake losses. Also, we extend these measurements from qualitative to quantitative, especially in the dimensions of civil society, to expand to a broader range of non-considered components.

2-Material and methods

This research was conducted in two parts. In the first part, the losses and damages caused by the Taft fault were estimated for a 6.2-Richter seismic event. In the second part, the resilience of the Yazd citizens was investigated in the event of this possible earthquake.

The first phase was done in the following three steps. In the first step, the seismic parameters caused by a 6.2 earthquake in the eastern part of the Taft fault for Yazd were simulated. In the second step, by measuring the behavior of the buildings against earthquakes, the possible damage caused by the earthquake to the main buildings and lifelines of Yazd city was estimated. In the third step, the modeling method calculated the possible losses due to the earthquake.

In the second part, the resilience of Yazd citizens was determined using statistical analyses based on the existing capacities of the city. The collected data were analyzed by a statistical questionnaire and mapped in a spatial information system. Finally, the maps obtained from the first and second parts were prepared as an integrated map with the ability to update.

* Corresponding author: a.kangi@gmail.com

DOI : 10.22055/AAG.2022.41419.2311

Receive : 2022-08-23

Accepted : 2022-10-21

To evaluate the urban system as a whole and its components in both qualitative and quantitative cases, we should consider that the qualitative approach relies on the judgment and perception of the individual. On the other hand, the quantitative approach, with an objective comparison between different components of the urban system, presents a general numerical comparison of the global community (Rus et al., 2018). Based on this perspective, we quantified the information collected for numerical analysis. It is of note that some of the information collected was not available or available quantitatively and numerically. Therefore, all qualitative information was classified using a Likert scale into five qualitative categories (very bad to very good) and then converted into five quantitative categories (with a score range of 1 to 5). To integrate the scale based on expert opinions, previous studies, and the software classification, we converted all (qualitative and quantitative) information into a numerical range from 1 to 5 with the same scale.

3-Results and discussions

Earthquake damage and losses were estimated in Yazd city in 3 stages: calculating ground peak acceleration (GPA), earthquake damage estimation to critical buildings and lifelines, and earthquake damage estimation. The casualty and potential damage maps were combined and classified according to a five-level Likert scale (Fig. a5). Then, losses and damage were determined by summing the area of the pixels in the area of each homogeneous neighborhood and averaging the final incidence of each neighborhood. As shown in Fig. 1b, the map was also classified into five categories based on the Likert scale: very good (5) to very bad (1).

Fig. 6a presents the map of the Yazd city resilience zoning using geotechnical information integrated by the natural hazard management system (NHMS) and geographical information system (GIS). As can be seen, the Yazd Municipality building is in the bad resiliency category. According to Fig. b6, the neighborhoods of categories E, A, D, C, and B have very good to very bad resilience (scored 5 to 1, respectively) respectively.

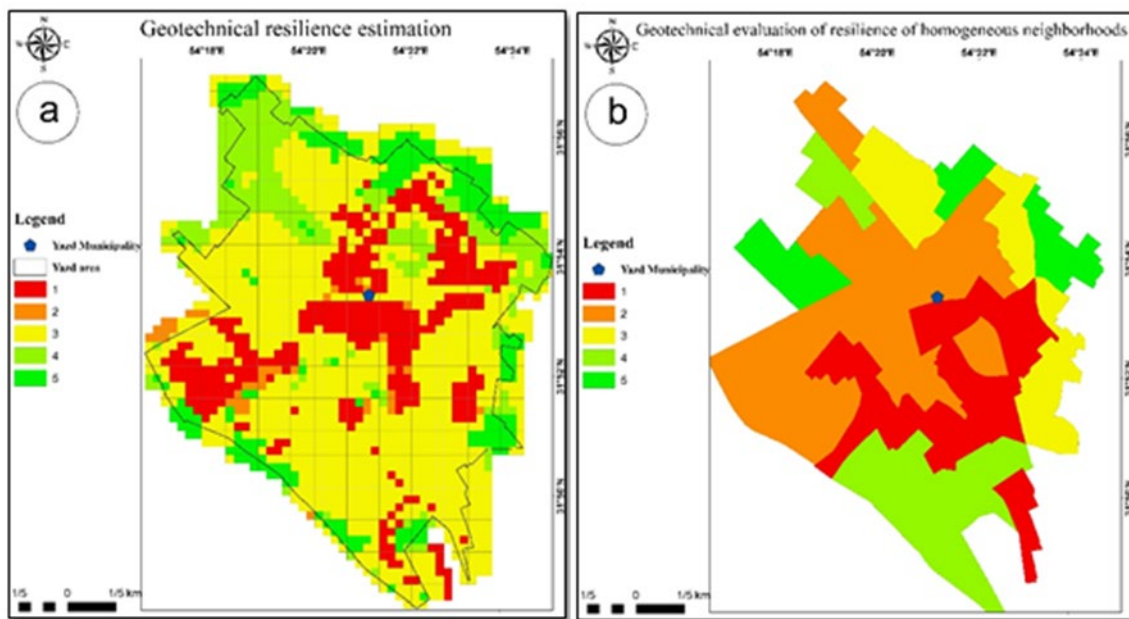


Fig. 1. (a) Yazd city resilience zoning map using geotechnical information integrated by the natural hazard management system (NHMS) and geographical information system (GIS) and (b) Yazd city resilience zoning map using geotechnical information integrated by the NHMS and GIS in five homogeneous neighborhoods of Yazd

In the second part, the resilience of citizens (households) in Yazd against earthquakes was assessed by analyzing the citizenship questionnaire and converting it into an updatable map. First, separable and surveyable areas required for research were identified. These 41 neighborhoods were identified as five homogeneous neighborhoods with very good to very bad neighborhood conditions. Then, the layers and substrates were investigated using Simple additive weighting (SAW) based on the measured average weights. At this stage, using Cochran's formula and based on the population of Yazd, 384 household questionnaires were distributed as a sample number in the statistical community in homogeneous

neighborhoods as clusters. The information layers were surveyed through the household citizenship questionnaire in the following three dimensions:

Human-social dimensions (including awareness, knowledge, skills, attitudes, social capital (comfort and satisfaction) (sense of cooperation) and trust)

Economic (financial capacity for compensation and families' financial ability to return to pre-crisis conditions the family (GDP) and the severity of damage to family properties (employment and family economic well-being)

Managerial-institutional (institutional context, institutional relationships, and institutional performance) dimensions

All information obtained was quantified through a five-point Likert spectrum classification.

Table 4 shows the average resilience of the five homogeneous neighborhoods of Yazd in terms of the three dimensions of human social, economic, and managerial-institutional.

Table 4. Average resiliency of five homogeneous neighborhoods in Yazd

Neighborhood	Number of respondents	Average resilience of the human-social layer	Average resilience of the economic layer	Average resilience of managerial-institutional layer	Average resilience of the neighborhood
A	34	3.19	2.76	2.92	2.96
B	81	3.14	2.60	2.48	2.74
C	154	3.14	2.70	2.66	2.83
D	61	2.92	2.61	2.03	2.52
E	54	2.85	2.53	2.02	2.47
Average	384	3.08	2.64	2.42	2.7

According to the table above, the highest productivity was in A, C, B, D, and E neighborhoods. Category E neighborhood was the lowest. The final average resilience of Yazd City identified through the citizenship questionnaire (household) was 2.7, which was lower than the average (3). As a result, the resilience of Yazd is in the middle of the bad category in terms of citizenship. Fig. 2 shows the map of the resilient behavior of the citizens of Yazd City based on five homogeneous areas.

In the last stage of preparing the map of the first part of the research, the resiliency zoning map of Yazd city is produced using Geotechnical information and the urban system of integrated NHMS to estimate losses and percentage of structural and non-structural damage due to seismic activity of 6.2-Richter Taft fault. In the second part, the map of the resiliency behavior of Yazd citizens in the event of a probable earthquake is prepared based on five homogeneous neighborhoods (in social-human, economic, and managerial-institutional dimensions) in the spatial information system based on the percentage of pixels in homogeneous neighborhoods. In the final map, the resilience of the city and the citizens of Yazd was determined for each homogeneous neighborhood based on the Likert scale from very good (5) to very bad (1) (Fig. 3).

According to the final map for the resilience assessment of the city and the citizens of Yazd (Fig. 11), in the 6.2 Richter seismic activity of the Taft fault, the neighborhoods E, A, C, D, and B of this city are categorized from very high to very low resilience, in the order of their appearance. The resilience number of E, A, and C neighborhoods exceeded 3. In other words, according to the Likert scale classification in the five categories from very good to very bad (score 5 to 1), neighborhoods E, A, C, D, and B are in very good to very bad condition, in the order of their appearance.

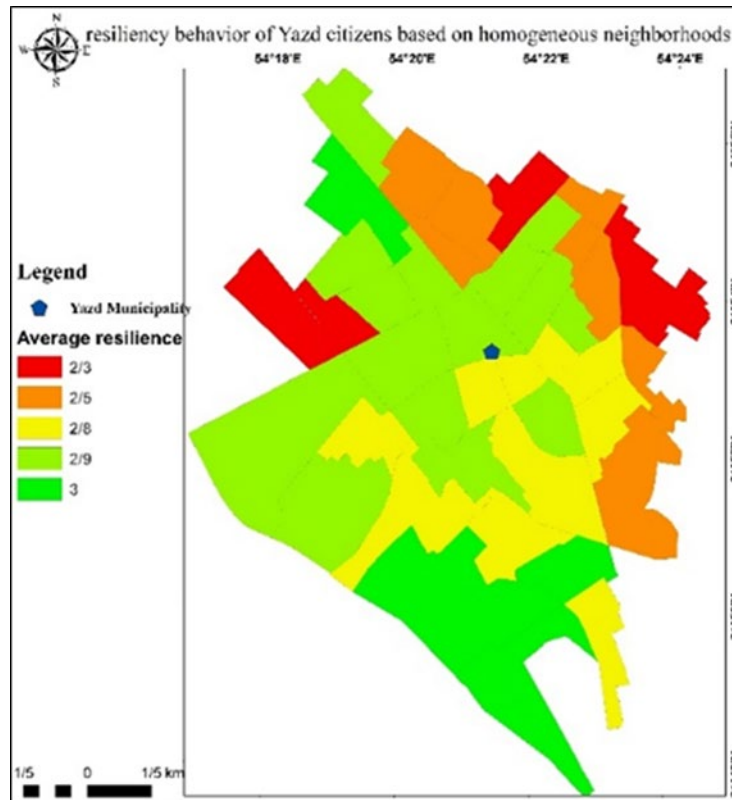


Fig. 2. Map of resiliency behavior of Yazd citizens based on homogeneous neighborhoods

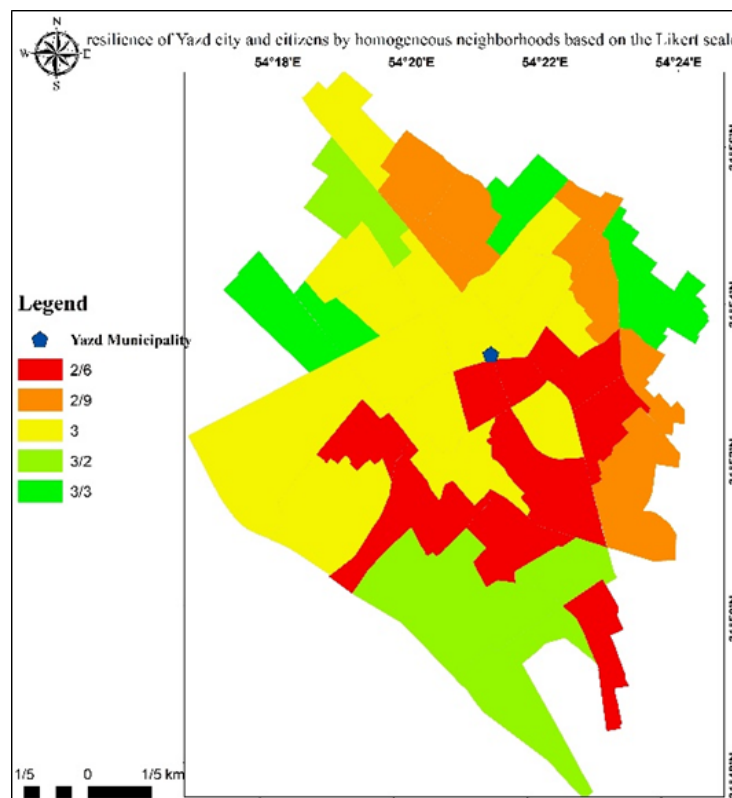


Fig. 3. Final map for measuring the resilience of Yazd city and citizens by homogeneous neighborhoods based on the Likert scale

4-Conclusion

According to the final map for the resilience assessment of the city and its citizens (Fig. 12), in the 6.2 Richter seismic activity of the Taft fault, the neighborhoods E, A, C, D, and B of this city are categorized from very high to very low resilience, in the order of their appearance. The resilience number of E, A, and C neighborhoods exceeded 3.

References

- Ambraseys, N.N., Melville, C.P., 1982. A History of Persian Earthquakes. Cambridge University Press. P. 21
- Berberian, M., 1979. Earthquake faulting and bedding thrust associated with the Tabas-e-Golshan (Iran) earthquake of September 16. 1978. Bulletin of the Seismological Society of America 69(6), 1861-1887.
- Consulting Engineers Arse., 2007. Report Yazd city master plan. Housing and Urban Development Organization of Yazd Province. (in Persian with English abstract)
- Mahajan, S., Hausladen, C.I., Sánchez-Vaquerizo, J.A., Korecki, M., Helbing, D., 2022. Participatory resilience: Surviving, recovering and improving together. Sustainable Cities and Society 83, 103942. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103942>
- Rus, K., Kilar, V., Koren, D., 2018. Resilience assessment of complex urban systems to natural disasters: A new literature review. International Journal of Disaster Risk Reduction 31, 311-330. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.05.015>

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Kashfi, A., Kangi, A., Farrokhnejad, R., Jafarian, A., 2023. Behavior measurement of resilience capacity of Yazd citizens in the conditions of seismic activity of Taft fault. Adv. Appl. Geol. 13(3), 689-713.

DOI: 10.22055/AAG.2022.41419.2311

URL: https://aag.scu.ac.ir/article_18238.html

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers

رفتار سنجی ظرفیت تاب‌آوری شهروندان شهر یزد در شرایط فعالیت لرزه‌ای گسل تفت

سید ابوالفضل کشفی

گروه زمین‌شناسی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران.

عباس کنگی*

گروه زمین‌شناسی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران.

رضا فرخ نژاد

گروه زمین‌شناسی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران.

عبدالرضا جعفریان

گروه زمین‌شناسی، واحد شاهرود، دانشگاه آزاد اسلامی، شاهرود، ایران.

a.kangi@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۹

چکیده

سازمان ملل در پروژه MCR2030 مطرح نموده است لازم است تا سال ۲۰۳۰ شهرهای جهان در برابر بحران‌های طبیعی تاب آور شوند. بدین جهت سنجش ظرفیت تاب‌آوری شهروندان شهر یزد در صورت وقوع زلزله احتمالی ناشی از گسل تفت، به بزرگای ۶/۲ ریشتر، در سامانه مدیریت مخاطرات طبیعی (NHMS) و سیستم اطلاعات مکانی (GIS)، صورت گرفت. در بخش اول نقشه پهنه‌بندی تاب‌آوری با استفاده از اطلاعات ژئوتکنیکی تحلیلی در محلات پنج‌گانه همگن شهر یزد (محلات E - A) تهیه گردید. تخمین خسارات و تلفات زلزله در شهر یزد طی سه مرحله شامل: محاسبه بیشینه شتاب زمین، تخمین خسارت زلزله به ساختمان‌ها و جریان‌های حیاتی و تخمین تلفات زلزله صورت گرفت. طبقه‌بندی میزان تاب‌آوری محلات با رده‌بندی پنج‌گانه طیف لیکرت نشان داد بیشترین میزان تاب‌آوری به ترتیب متعلق به رده‌های E، A، D، C و B است. در بخش دوم رفتار سنجی تاب‌آوری شهروندان شهر یزد با تهیه و توزیع پرسشنامه و تحلیل با کمک نرم‌افزار Spss صورت گرفت. نتایج تحلیل نشان داد تنها رده E از میانگین تاب‌آوری کمتر بوده است. محلات این رده محلات حاشیه شهر در قسمت شمال غرب و شمال شرق شهر یزد است. در مرحله نهایی سنجش تاب‌آوری شهر و شهروندان یزد، طبقه‌بندی میزان تاب‌آوری محلات، به ترتیب از بیشترین تا کمترین، مربوط به رده: E، A، C، D و B بوده است. میزان تاب‌آوری محلات E، A و C از میانگین (۳) بیشتر بوده است.

واژه‌های کلیدی: رفتار سنجی، تاب‌آوری شهروندان یزد، گسل تفت، تخمین تلفات و خسارات، زلزله.

۱- مقدمه

فعال شهر یزد، به طول ۳۰ کیلومتر (با در نظر گرفتن طول گسل هامانه در مجموع طول گسل تفت ۹۰ کیلومتر خواهد بود) در فاصله ۱۱ کیلومتری جنوب شهر یزد است. این پهنه گسلی در منطقه تفت، در غرب و جنوب غرب یزد واقع است. سیستم گسل تفت با سازوکار امتداد لغز راست‌گرد باعث جدایش راست‌بر قنات‌ها، واحدهای سنگی و مخروط افکنه‌های آبرفتی کواترنری در راستای گسل گردیده است. شواهد این جدایش در راستای گسل تفت بر واحدهای سنگی تریاس به طول ۸۴۰ متر، آبرفت‌های کواترنری ۲۰ متر و قنات‌ها حدود ۸ متر دیده شده است (Javidfakhr, 2019). این گسل از شمال تفت تا بخش‌های مرکزی دارای روند شرقی غربی، است، به‌سوی شمال غرب

ایران از جمله اصلی‌ترین کشورهای آسیب‌پذیر لرزه‌خیز جهان، خسارات و تلفات بسیاری از وقوع زلزله متحمل شده است. ایالت لرزه‌زمین‌ساخت ایران مرکزی به خاطر وجود ساختارهای گسلی قدیمی و بزرگ، پتانسیل خطر لرزه‌خیزی بالایی دارد (Berberian, 1979). استان یزد که در این بلوک ساختاری واقع گردیده است در طول تاریخ، زمین‌لرزه‌های ویرانگری را تجربه کرده است. وجود گسل‌های فعال با توان لرزه‌زایی بالا در پیرامون شهر یزد، پتانسیل لرزه‌خیزی این شهر را افزایش داده است. گسل تفت یکی از گسل‌های اصلی بلوک یزد در کرانه باختری ایران مرکزی است. این گسل یکی از مهم‌ترین گسل

قطع راه‌های ارتباطی تلفنی و اینترنتی، نبود سیستم یکپارچه مدیریت گروه‌های امداد و نجات و مواردی از این دست است. بدون شک خسارات، تلفات و بحران‌های ناشی از زلزله را نمی‌تواند به‌طور کامل حذف نمود. اما آن‌ها را می‌توان با در نظر گرفتن میزان آمادگی شهرها تا یک سطح تحمل‌پذیری و قابل قبول کاهش داد. می‌توان عنوان نمود با کمک تحلیل نتایج ارزیابی تاب‌آوری شهر و شهروندان به نقاط قوت و ضعف چرخه تاب آور سازی سیستم در همتنیده شهر کمک نمود. در فرایند ارزیابی تاب‌آوری شهرها در برابر مخاطرات طبیعی، تأثیر متقابل فاکتورهای انسانی (رفتارها) و طبیعی (فیزیکی) از اهمیت ویژه برخوردار است. توجه به میزان آسیب‌پذیری بحران‌های طبیعی، آگاهی از تجربیات، احساسات شخصی، اعتقادات مذهبی، پویایی اجتماعی و رفتارهای انفرادی، نقش مهمی در استفاده از پتانسیل‌های موجود در یک جامعه در رویارویی و پاسخ مناسب به خطرات طبیعی دارد. با رفتار سنجی تاب‌آوری شهروندان می‌توان با شناسایی میزان رویکرد مشارکتی آنان در افزایش همکاری چندجانبه، نوآوری اجتماعی در رویارویی با بحران‌هایی مانند زلزله و افزایش ظرفیت تاب‌آوری شهر و شهروندان شهری تأثیرگذار (Mahajan et al, 2022). به‌عبارتی دیگر ارتباطات محلی و تعلق خاطر شهروندان به محله آنان را برای پاسخ و بازیابی در بلایا جهت افزایش تاب‌آوری جامعه کمک می‌نماید (Spialek and Houston, 2018). شناسایی تاب‌آوری شهر و شهروندان در برابر زلزله، سطح بحران قابل‌انتظار در شرایط وقوع زلزله را نمایان می‌کند. این دستاورد، بهبود مدیریت بحران، امکان شناسایی راهکارهای مناسب جهت کاهش خسارات و تلفات زلزله را به همراه خواهد داشت.

مطالعات پیشین و همسو با موضوع پژوهش در ذیل عنوان شده است.

Bagheri Maraghe و همکاران (۲۰۲۲) پژوهشی با عنوان "ارزیابی تاب‌آوری شهر شیروان در مواجهه زلزله" انجام دادند. آنان با کمک ۳۰ نفر از متخصصان در ۴ بعد اصلی اقتصادی (ارزش زمین، درآمد خانوار، پس‌انداز برای بحران)، کالبدی (قدمت بنا، جنس مصالح، کیفیت ابنیه، تعداد طبقات، مساحت قطعات، تارکم ساختمانی، دانه‌بندی، فاصله از گسل، سازگاری کاربری، فاصله از شبکه معابر، فاصله از جایگاه سوخت، فاصله از مراکز حساس، فاصله از شریان آب، دسترسی به فضای باز، دسترسی به مراکز امداد و درمان)، اجتماعی (مشارکت و

تغییر جهت داده است. ادامه گسل تفت به‌سوی شرق توسط نهشته‌های آبرفتی پوشیده شده است که در نتیجه از دید پنهان است. در دو سمت این گسل خصوصاً بخش شمالی، واحدهای سنگی توسط این گسل به‌شدت گسلیده و جابجا شده‌اند (Aramshian, 2016). بررسی سیستم گسل تفت نیز نشان داد این گسل در سه پهنه اصلی شامل؛ تفت هامانه، میل سفید و زردشتی است. دو پهنه گسلی تفت - هامانه و میل سفید شباهت ساختاری بسیار دارند. در پهنه گسل تفت - هامانه چگالی فراکتالی نشانگر بلوغ و رشد نسبی هم‌اندازه است. پهنه گسلی میل سفید بر اساس چگالی فرکتالی، گستره سطحی زیاد و بلوغ کمتر دارد. پهنه گسلی زردشتی بعد فرکتالی و گستره سطحی زیاد دارد. این پهنه نابالغ بوده و در حال رشد است. همچنین به نظر می‌رسد وجود انشعابات متعدد و تغییر شکل در حال مهاجرت به‌طرف لبه جنوب شرقی منطقه در کنار خردقاره ایران مرکزی ناشی از فعالیت این پهنه گسلی است. در نتیجه این شرایط ژئودینامیکی در تحلیل‌های ساختاری، سائزموکتونیک و تقسیم‌بندی استرین منطقه تفت بسیار حائز اهمیت است (Hajjalibeigi et al, 2018). در بحرانی‌ترین حالت این گسل توانایی ایجاد زمین‌لرزه‌ای به بزرگی ۶/۲ ریشتر را دارد (Ambraseys and Melville, 1982). از آنجایی که زلزله به بزرگی ۵ تا ۶ ریشتر در مناطق روستایی و ۶ تا ۷ ریشتر در مناطق شهری بسیار فاجعه‌بار خواهد بود (Jafari et al, 2022)، بررسی شرایط تاب‌آوری شهر و شهروندان در این توان لرزه‌ای ضروری نمود. همچنین بررسی تاب‌آوری معابر محلات شهر یزد نشان داده است که در محلات نوساز به دلایل ذیل؛ عرض معابر بیشتر، شاخص‌های شهرسازی بهتر، ویژگی‌های ساختمانی مناسب‌تر، فضای سبز و باز مناسب‌تر، تراکم جمعیتی محله و منطقه‌ای مطلوب‌تر و درجه محصوریت کمتر، نسبت به محلات قدیمی و تاریخی که شرایط برعکس مناطق نوساز را دارند، از میزان تاب‌آوری بیشتری برخوردارند (Ghadirzadeh, 2017). تجربه زمین‌لرزه‌های گذشته نشان داده است وقوع یک زمین‌لرزه متوسط در شهرهای با تاب‌آوری کم، خسارات و تلفات قابل‌توجهی به همراه مشکلات متعدد شهری را به دنبال دارد. از جمله مهم‌ترین مشکلات مدیریت شهری در شرایط وقوع این‌گونه زمین‌لرزه‌ها، توزیع ناهمگن خسارت در بخش‌های مختلف شهر، شرایط نامطلوب شهرسازی همچون پراکندگی بافت فرسوده و عدم استحکام ساختمان‌ها،

دانش، سرمایه اجتماعی، تاب‌آوری اجتماعی)، بوده است. شهر از لحاظ میزان تاب‌آوری اجتماعی، نهادی و کالبدی در وضعیت مطلوب و از لحاظ اقتصادی نامطلوب بوده است. با انجام آزمون‌های تحلیل آماری در نرم‌افزار SPSS مشخص گردید، از لحاظ ابعاد تاب‌آوری نواحی مختلف شهر، اختلاف معناداری دارد.

Ma و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیق خود با عنوان "تاب‌آوری جامعه و آمادگی ساکنان در برابر بلایا: مناطق زلزله‌زده چین" آنان با انجام نظرسنجی از بین ساکنین منتخب از بین آسیب دیدگان زلزله در چهار شهر چین نتیجه گرفتند هرچقدر حمایت از ارتباطات اجتماعی بیشتر، پتانسیل تغییرپذیری جامعه بالاتر، توانایی مدیریت بلایا بالاتر باشد در نتیجه آمادگی کلی در برابر بلایا بیشتر و تاب‌آوری بالاتر است. در جامعه‌ای که ارتباطات ساکنین نزدیک‌تر باشد تبادل دانش بیشتر و در نتیجه میزان مدیریت بلایا بیشتر خواهد بود. هرچه جامعه به این تفکر نزدیک باشد که دچار بلایا نخواهد شد وزندگی پایداری را تجربه خواهد نمود در نتیجه تأثیر درک خطر فاجعه در آنان کمتر خواهد بود. همچنین دولت‌ها باید شبکه‌های قابل اعتمادی جهت اطلاع‌رسانی برای شهروندان ایجاد نماید تا شایعات را خنثی سازد و با در اختیار دادن اطلاعات دقیق و درست آنان را به‌سوی تاب‌آوری در بحران کمک نماید.

Panday و همکاران (۲۰۲۱) پژوهشی با عنوان "نقش سرمایه اجتماعی در تاب‌آوری بلایا در جوامع دورافتاده پس از زلزله ۲۰۱۵ نپال" انجام دادند. آنان عنوان نمودند سرمایه اجتماعی عنصر کلیدی در بهبود تاب‌آوری در برابر بلایا است. بلافاصله پس از زلزله، سطوح بالایی از پیوند و پل زدن سرمایه اجتماعی در میان ساکنان (خودیاری در سطح محلی)، اقدام جمعی و کمک برای نجات و حمایت از افراد آسیب‌دیده، موانع را کاهش داد. باین‌حال، پس از رسیدن امداد خارجی، این پیوندها از بین رفت. در مراحل امداد و بازسازی بلندمدت، کسانی که دارای موقعیت اجتماعی - فرهنگی یا پیوندهای سیاسی بودند، نفع بردند مانع دسترسی به منابع توسط زنان و سالمندان، که حال به حاشیه رانده شده بودند، شد. در نتیجه بازیابی طولانی‌مدت آن‌ها از بلایای طبیعی را به خطر می‌اندازد و تاب‌آوری آن‌ها را کم می‌کند. همچنین پیوند سرمایه اجتماعی نمی‌تواند به نفع روستاهای دورافتاده در مقایسه با روستاهای نزدیک به جاده، باشد زیرا ساکنان نمی‌توانند ارتباط برقرار کنند

همبستگی مردم، حمایت نهادهای دولتی و مالی، سواد، حضور گروه‌های امداد داوطلبانه) و نهادی (برنامه‌ریزی نهادهای دولتی، پس‌انداز در مواقع بحران، آمادگی نهادها) وزن ۲۶ معیار توسط نرم‌افزار Super Decision مشخص گردید. سپس با استفاده از نرم‌افزارهای سیستم اطلاعات مکانی و Expert Choice و مدل تصمیم‌گیری چند معیار (ANP) وضعیت تاب‌آوری شهر را بررسی نمودند. نتایج بررسی آنان نشان داد از بین ۲۶ محله تنها ۵ محله در وضعیت تاب‌آوری مناسب قرار داشت. به عبارتی دیگر ۶۵ درصد از شهر در وضعیت تاب‌آوری نامناسب واقع بوده است. بیشتر این مناطق در محدوده مرکزی شهر جایی که قدمت بناها بالاست، کیفیت ابنیه پایین، تراکم جمعیتی بالا و فرسودگی بافت و سازه شهری وجود دارد، واقع است.

Rajaei و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیق خود با عنوان "تحلیل فضایی تاب‌آوری شهری در برابر زلزله مطالعه موردی: منطقه یک شهر تهران" آنان برای ارزیابی تاب‌آوری شهری با روش اسنادی و میدانی و تحلیل پرسشنامه خانوار با ترکیب شاخص‌های ذهنی و عینی در ۴ بعد زیرساختی، اجتماعی، اقتصادی و نهادی اقدام نمودند. جهت تحلیل آماری از نرم‌افزار Spss و جهت تحلیل مکانی از نرم‌افزار Arc Gis بهره بردند. آنان عنوان کردند فرسودگی ساختمان‌ها و بلندمرتبه‌سازی در محلات که موجب افزایش تراکم جمعیتی و کمبود فضای سبز در محله می‌گردد از عوامل کاهش تاب‌آوری در محلات بوده است.

Nikpoor و همکاران (۲۰۲۱) پژوهشی با عنوان "ارزیابی تاب‌آوری نورآباد ممسنی در برابر سوانح طبیعی (زلزله)" انجام دادند. آنان عنوان نمودند جهت کاهش میزان آسیب‌پذیری رخدادهایی که قابل پیش‌بینی نیستند مانند زلزله، با شناخت همه‌جانبه رخداد و اثرات آن و همچنین جهت افزایش تاب‌آوری با کاهش زمان بهبود و بازیابی و کاهش خسارت؛ می‌توان اقدام نمود. همچنین عنوان نمودند نقش نهادهای اصلی در طراحی کالبد شهری که همان مدیران و برنامه‌ریزان شهری آشکار است. نتایج تحلیل آنان نشان‌دهنده تفاوت معنادار میان شاخص‌های اصلی پژوهش شامل؛ نهادی (عملکرد نهادی، بستر نهادی، روابط نهادی، تاب‌آوری نهادی)، کالبدی (دسترسی، فضای باز، کیفیت خدمات، تاب‌آوری کالبدی)، اقتصادی (جبران خسارت، میزان و شدت خسارت، توانایی بازگشت به شرایط مناسب، تاب‌آوری اقتصادی) و اجتماعی (آگاهی، مهارت، نگرش،

بنابراین، فن‌آوری‌های تجربی آزمایش‌های اندازه‌گیری در مقیاس کم و آزمایش‌های اندازه‌گیری میدانی و همچنین شبیه‌سازی نمونه اولیه برای بررسی مکانیسم‌های علیت و دینامیک تکامل چند خطر، توسعه یافتند. با استفاده از فن‌آوری‌های نوین هوش مصنوعی و فناوری اینترنت اشیا می‌توان در بهبود سناریو فاجعه چندگانه و مدیریت اضطراری برای تاب‌آوری شهری بهره برد. به‌عنوان مثال آنان بلاای چند خطر، زمین‌لرزه ۲۰۱۱ سواحل توهوکو ژاپن در اقیانوس آرام که باعث سونامی آبشاری و ذوب هسته‌ای در یک نیروگاه و نشت تشعشعات شد، را اشاره نمودند. در این مثال نیاز به یک سناریوی مؤثری که همه عوامل خطر را باهم بررسی و مدیریت نماید وجود دارد. انواع مطالعات شبیه‌سازی چندمقیاسی سریع برای چند خطر انجام شده است تا تکامل و توسعه فاجعه را بر اساس داده‌های تجربی چند مقیاسی و تحلیل نظری بررسی کند. روش‌های مبتنی بر داده و دستگاه‌های تجسم خطرات چندگانه توسعه داده شده است. به‌عنوان مثال، سیستم خطرات ایالات متحده - چند خطر (HAZUS-MH) که توسط آژانس مدیریت اضطراری فدرال ایالات متحده (FEMA) توسعه یافته است، یک سیستم خبره مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی، کامل است. این داده‌های دقیق در مورد محیط ساخته شده و توابع آسیب را برای ارائه تخمین تلفات زلزله، سیل، طوفان و سایر خطرات یکپارچه می‌کند.

این مقاله با اهداف پروژه MCR2030 سازگار شده تا با سنجش میزان تاب‌آوری شهروندان شهر یزد در شرایط فعالیت لرزه‌ای گسل تفت، به این مهم دست یابد. در نتیجه در بعد مکانی شهر یزد، در بعد اجتماعی مردم ساکن و در بعد زیرساختی (ساختمان‌ها)، میزان تاب‌آوری شهر و شهروندان شهر یزد مورد ارزیابی قرار گرفت. با رفتار سنجی تاب‌آوری سیستم شهری به‌عنوان یک کل که شبکه و اجزای درهم‌تنیده شامل؛ بخش فیزیکی (سازه‌ها، ساختمان‌ها و محیط باز شهر)، بخش اجتماعی (جامعه شهروندی) و تعاملات جاری بین این اجزا، رادار است در بالا بردن تاب‌آوری خود بر اساس ده اصل پروژه MCR2030 کمک خواهد نمود. همچنین در این پژوهش سعی شده است علاوه بر استفاده از مؤلفه‌های معمول در اندازه‌گیری تاب‌آوری، بر اساس اطلاعات ژئوتکنیکی مانند شدت خسارت (اجزای سازه و غیر سازه‌ای) و تلفات ناشی از زلزله، با پیش بردن ارزیابی تاب‌آوری از حالت کیفی به کمی، به سمت

نیازهای خود را به دولت برسانند. برنامه‌های تاب‌آور سازی باید این تضمین کند پیوند سرمایه فقط در خدمت نخبگان اجتماعی نیست و باید تشخیص دهد که نابرابری‌های از قبل موجود (اجتماعی-فرهنگی، جنسیتی و جغرافیایی) ممکن است سرمایه اجتماعی نابرابر بین افراد و جوامع پس از یک فاجعه بزرگ، ایجاد کند که عامل کاهش تاب‌آوری در بلایا خواهد بود. نابرابری‌های فرهنگی-اجتماعی (از جمله نابرابری‌های ناشی از روابط ضعیف پیوندی در خانواده‌ها، جنسیت نابرابری‌ها و دورافتادگی روستاها) سرمایه اجتماعی جوامع دورافتاده و تاب‌آوری آن‌ها را بیشتر تضعیف کرد. برنامه‌های امداد رسانی در برابر بلایا باید زنان و افراد مسن را مورد هدف قرار دهد تا مقاومت آن‌ها افزایش یابد. در نتیجه به این گروه‌ها بیشتر باید توجه نمود و آنان را با اعضای جامعه پیوند داد تا آسیب کمتری در مرحله بازسازی ببینند و از حمایت‌ها بی‌بهره نمانند. همچنین بر تأثیر وجود سازمان‌های غیردولتی و مردم‌نهاد از پیش موجود در روند امداد رسانی تأکید شد. پس از بعد زمانی سرمایه اجتماعی به‌عنوان کلید واکنش در بلایا شامل؛ نجات جمعی جامعه و اقدامات امدادی بلافاصله پس از زلزله، طرد گروه‌های حاشیه‌نشین پس از ورود به خارج کمک و سرمایه اجتماعی به‌عنوان مفید در مرحله بازسازی، اما تقویت‌کننده نابرابری‌ها، بوده است.

Ba و همکاران (۲۰۲۱) پژوهشی با عنوان "روش سناریو فاجعه چندگانه و مدیریت اضطراری برای تاب‌آوری شهری توسط ادغام داده‌های آزمایش - شبیه‌سازی - داده‌های میدان انجام دادند. آنان عنوان نمودند با توجه به وقوع مکرر بلاای چند فاجعه در سراسر جهان در سال‌های اخیر، تجزیه و تحلیل سناریوهای چند فاجعه مؤثر برای نجات در بلایا و مدیریت اضطراری ضروری است. روش پاسخ برای مخاطرات مختلف منفرد قبلاً بررسی و فرموله شده است. با این حال، بررسی‌های سناریوی فاجعه به‌ندرت به‌طور سیستماتیک به‌کل فرآیند توسعه و واکنش چندین خطر، می‌پردازد. به‌عبارتی دیگر به علت اثرات پیچیده در بین خطرات مختلف جهت جلوگیری، کنترل و مقابله با بلاای چند خطر در مدیریت واقعی اضطراری تنها با در نظر گرفتن پویایی یک خطر واحد و روش‌های واکنش سنتی دشوار است. رخداد بلاای چند خطر یعنی جفت شدن بیش از یک خطر در مناطق زمانی- مکانی تعریف شده که به افزایش آسیب‌های ساختاری و سیستماتیک همراه می‌شود.

کشورهای در حال توسعه کمک می‌کند. نرم‌افزار تحت وب و اپلیکیشن این سامانه، تخمین خسارات ناشی از زلزله برای مراکز عملیات اضطراری (EOC)، شناسایی سناریوهای احتمالی در بحرانی‌ترین شرایط ممکن، با نگرش درست به خطرات متغیر و تمرکز ویژه بر جمعیت‌های آسیب‌پذیر و همچنین تاب‌آوری برای اجزای مختلف شهر، با قابلیت اجرایی و اطمینان از حفظ و تداوم آن، بهبود فرایند تاب‌آور سازی شهرها در ایران را بر عهده دارد. در سامانه مدیریت مخاطرات طبیعی تخمین بیشینه حرکت زمین بر روی سنگ کف لرزه‌ای، از طریق مدل GMPE انجام می‌شود (Kangi, 2015). این مدل فراگیر بر اساس ۲۵۸۳ رکورد شتاب‌نگاری مربوط به ۴۷ زلزله متوسط و بزرگ جهان (۸ زلزله از ایران و ترکیه) توسط موسسه USGS آمریکا طراحی شده است. در مدل تخمین بیشینه حرکت زمین دامنه حرکت زمین به صورت توابع پاسخ توسط بسته‌های جداگانه (فیلترها) یکی پس از دیگری فیت می‌گردد. این مدل با در نظر گرفتن مشخصات زلزله، نوع گسلش، خصوصیات ژئوفیزیکی و سایر پارامترهای محلی، برای زمین‌لرزه‌های پوسته کم عمق ایران به استثناء رشته‌کوه مکران قابل استفاده است (Graizer and Kalkan, 2016). در این فرایند ساختار معادلات کاهندگی انرژی زلزله داخل پوسته زمین برای کل کشور یکسان و برای هر بخش از محدوده جغرافیایی تحت پوشش سامانه، ضریب منطقه تحت تأثیر سرعت موج برشی پوسته زمین و سایر پارامترهای مؤثر تغییر خواهد کرد. در مرحله نخست مدل پهنه‌بندی لرزه‌ای (Tavakoli and Ghafory-Ashtiany, 1999) مبنای انتخاب ضریب منطقه‌ای قرار گرفته است. به منظور تهیه نقشه پهنه‌بندی بیشینه شتاب زمین شهر یزد از سامانه مدیریت مخاطرات طبیعی استفاده شده است. در این فرایند مجموعه معادلات استهلاک حرکت زمین مورد استفاده در مدل تخمین بیشینه حرکت زمین با هدف محاسبه بیشینه شتاب زمین بر روی سنگ کف لرزه‌ای مورد استفاده قرار گرفته است. در این معادلات، بزرگی زلزله، سبک گسل، ریتم کاهش بیشینه شتاب زمین با فاصله گرفتن از کانون و ضریب تصحیح منطقه‌ای در نظر گرفته شده است. به منظور صحت سنجی مدل تخمین بیشینه شتاب زمین، نتایج شبیه‌سازی زمین‌لرزه‌های گذشته ایران در بستر سامانه مدیریت مخاطرات طبیعی با نتایج رکوردهای ثبت شده توسط ایستگاه‌های شتاب‌نگاری مربوط به همان زلزله مقایسه گردیده

دامنه وسیع تری از مؤلفه‌هایی که در نظر گرفته نمی‌شوند، بسط داده شود. جهت ارزیابی سیستم شهری به عنوان یک کل و اجزای جزئی آن در دو حالت کیفی و کمی باید به این نکته توجه نمود که رویکرد کیفی به قضاوت و ادراک شخص متکی است اما رویکرد کمی با مقایسه عینی بین اجزای مختلف سیستم شهری یک مقایسه متریک عددی عمومی برای جامعه جهانی ارائه می‌کند (Rus et al, 2018). در این پژوهش نیز با این دیدگاه به سوی کمی سازی اطلاعات جمع‌آوری شده جهت رسیدن به یک تحلیل متریک کمی پیش رفتیم. لازم به ذکر است برخی از اطلاعات جمع‌آوری شده به صورت کمی و عددی موجود یا قابل دسترس نبوده است بنابراین تمامی اطلاعات کیفی بر مبنای تقسیم‌بندی طیف لیکرت (بر اساس نظرات کارشناسی، مطالعات صورت گرفته و طبقه‌بندی نرم‌افزاری) به پنج رده عددی، از حالت کیفی به کمی (از خیلی بد تا خیلی خوب از عدد ۱ تا ۵) تبدیل مقیاس (یکسان‌سازی مقیاس) شدند.

۲- روش پژوهش

پژوهش حاضر شامل دو بخش تخمین تلفات و خسارت و تاب‌آوری با استفاده از آنالیزهای آماری است.

بخش اول تخمین تلفات و خسارت با فعالیت لرزه‌ای به بزرگای ۶/۲ ریشتر گسل تفت در ۳ گام که در ذیل عنوان شده است، انجام شد. در گام نخست از طریق شبیه‌سازی پارامترهای لرزه‌ای ناشی از وقوع زلزله‌ای به بزرگی ۶/۲ ریشتر در بخش شرقی گسل تفت برای شهر یزد محاسبه گردید. در گام دوم، به کمک رفتار سنجی ساختمان‌ها در برابر زلزله، خسارات احتمالی ناشی از زلزله به ساختمان‌ها و شریان‌های اصلی شهر یزد تخمین زده شده است. در گام سوم، به روش مدل‌سازی، میزان تلفات احتمالی ناشی از زلزله محاسبه شده است.

گام اول محاسبه بیشینه شتاب زمین: هر چند پارامترهای حرکت زلزله مانند مدت دوام، فرکانس، جابجایی و سرعت دارای اهمیت زیادی هستند، اما در اغلب موارد بیشینه شتاب زمین (PGA) به عنوان مهم‌ترین پارامتر جهت تخمین خسارات زلزله به سازه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد. محاسبه بیشینه شتاب زمین تابعی از بزرگی زلزله، سبک گسلش، فاصله سایت تا منبع زلزله و اثرات ساختگاه است (Graizer, and Kalkan, 2016). سامانه مدیریت مخاطرات طبیعی (NHMS) بر اساس اصول دهگانه کمپین MCR2030 جهت تاب‌آور سازی شهرها، به

است. این مجموعه اطلاعات شامل مشخصات زمین لرزه‌ها (بزرگی، عمق کانونی، موقعیت کانون سطحی، مکانیسم گسل مسبب زلزله)، رکوردهای ایستگاه‌های شتاب‌نگاری ثبت‌کننده زلزله و مشخصات ژئوفیزیکی ایستگاه‌های شتاب‌نگاری است. گام دوم تخمین خسارات زلزله به ساختمان‌ها: به‌طور کلی تخمین خسارات ناشی از زلزله به ساختمان‌ها ارتباط مستقیم با سه دسته پارامتر اساسی دارد. دسته نخست پارامترهای حرکت نیرومند زمین، همچون بیشینه شتاب زمین هست، که بر اساس بزرگی زلزله، محل وقوع، مشخصات ژئوتکنیک ساختگاه و مدل استهلاک انرژی در پوسته زمین تغییر می‌کنند. دسته دوم پارامترهای لرزه‌ای ساختمان (جابجایی بام SD و شتاب بام Sa) مرتبط با مشخصات فنی اجزای سازه‌ای و دسته سوم روش‌های تخمین خسارت زلزله است. یکی از مهم‌ترین روش‌های متداول جهت تخمین خسارات زلزله به ساختمان‌ها استفاده از منحنی شکست سازه است. در این راستا، استفاده از منحنی شکست‌های ارائه‌شده در متدولوژی، HAZUS یکی از متداول‌ترین و بروزترین روش‌های کاربردی تخمین خسارات زلزله به ساختمان‌ها مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی است، استفاده می‌شود. در این روش برای برآورد آسیب‌پذیری به هر دسته ساختمان یک رفتار مشخص در نظر گرفته شده است. در این فرایند، رفتار سنجی ساختمان‌ها در سطوح مختلف شتاب ناشی از زلزله به صورت احتمالاتی پیش‌بینی می‌شود. توانایی این روش در برآورد خسارت لرزه‌ای ساختمان‌ها در چندین کشور زلزله‌خیز جهان مانند آمریکا، ژاپن، تایوان، ترکیه و غیره به اثبات رسیده است. پروژه HAZUS و ساخت نرم‌افزار وابسته به آن، در اوایل دهه ۱۹۹۰ باهدف افزایش سطح آمادگی برای رویارویی با رویدادهای فاجعه‌بار طبیعی، توسط آژانس مدیریت اضطراری فدرال آمریکا (FEMA) آغاز شد. نرم‌افزار این پروژه، بر اساس تحلیل خطرات ناشی از رویدادهای مختلف به ساختمان‌ها، تأسیسات و شریان‌های حیاتی، امکان شناسایی سطح بحران قابل‌انتظار برای سناریوهای مختلف رویدادهای طبیعی را قبل از وقوع ممکن می‌سازد. در طی دوره تکامل پروژه HAZUS، همواره تلاش شده روش‌های تحلیل خسارات زلزله و بهینه‌سازی نرم‌افزار با رویکرد ارزیابی سریع خسارات زلزله در نسخه‌های جدید، بر اساس واقعیت‌های موجود اصلاح گردد. تکامل این نرم‌افزار طی سه دهه، آن را به یک روش کاربردی در مدیریت بحران‌های طبیعی تبدیل کرده است (Schneider

et al, 2006). HAZUS برای کاهش، بازیابی، آمادگی واکنش در بلایا، تعیین خسارت و تلفات احتمالی، کاهش یا به حداقل رساندن خسارت و تلفات، ارزیابی ریسک در برنامه‌ریزی در تمامی مراحل چرخه مدیریت بحران و تاب‌آوری، مؤثر است. گام سوم تخمین تلفات زلزله: مطابق مدل تخمین تلفات زلزله‌های جهان (GEFE)، تخمین تلفات زلزله از توزیع لگ نرمال استفاده شد. جهت برآورد میزان تلفات ناشی از زلزله، مدل تخمین تلفات زلزله‌های جهان توسط موسسه USGS ارائه شده است (Jaiswal et al, 2010). این مدل در بستر سامانه مدیریت مخاطرات طبیعی پیاده‌سازی گردیده و امکان تخمین سریع تلفات زلزله در شهرها فراهم گردید (Kangi, 2015). بدین منظور مناطق مسکونی بر اساس تراکم گمانه‌های ژئوتکنیکی به مربع‌هایی با مساحت یکسان تقسیم شد. سپس به روش شبیه‌سازی بر اساس مدل تخمین بیشینه حرکت زمین مقادیر بیشینه شتاب زمین برای مرکز هر مربع محاسبه گردید. در مرحله بعد بر اساس ۴ پارامتر اصلی، شامل جمعیت ساکن در هر مربع، مقدار بیشینه شتاب زمین، نرخ تلفات زلزله در این سطح از بیشینه شتاب زمین و استحکام ساختمان‌ها، میزان تلفات قابل‌انتظار در هر مربع تخمین زده شد. در نهایت مجموع تلفات مربع‌ها محاسبه و نقشه پراکندگی تلفات در سطح شهر ترسیم گردید. بر این اساس، شهر یزد به مربع‌های ۲۰۰ در ۲۰۰ متر تقسیم گردید و تلفات ناشی از رویداد زمین‌لرزه‌ای به بزرگی ۶/۲ ریشتر در بخش شرقی گسل تفت محاسبه شد. در مرحله آخر بخش اول لازم است نقشه تلفات انسانی و نقشه درصد خسارت احتمالی را باهم تلفیق و به یک نقشه واحد تبدیل نمود. از آنجایی کارشناسان خبره که اهمیت تلفات نسبت به خسارت را بیشتر دانستند، لایه تلفات نسبت به خسارت وزنی معادل ۱/۴ را به خود اختصاص داد. جهت تلفیق، مقیاس این دو نقشه یکسان شد. سپس نقشه درصد تلفات در اینجا ۳ رده دارد به رده‌های خیلی خوب (عدد ۵)، متوسط (عدد ۳) و خیلی بد (عدد ۱) تبدیل واحد شد. سپس جهت همپوشانی عملگر Sum (جمع جبری) بر روی این دو نقشه صورت گرفت. در بخش دوم بررسی تاب‌آوری شهروندان شهر یزد در شرایط رخداد این زلزله احتمالی به کمک آنالیزهای آماری، بر اساس ظرفیت‌های موجود در شهر یزد، تاب‌آوری شهروندان ساکن در شهر یزد مشخص شد. اطلاعات به‌صورت کلی با

کیفی و فرم شهری) و از لحاظ فاکتورهای: اجتماعی، اقتصادی، بافت شهری بررسی شد. این فاکتورها با توجه به در دسترس بودن اطلاعات عددی یا قابلیت طبقه‌بندی کیفی از لحاظ کارشناسی (۳۰ نفر از خبرگان مدیریت شهری، اجتماعی و اقتصادی که بر اساس فرمول کوکران از بین کارشناسان در دسترس تعیین شدند)، مشخص گردید. فاکتورهای مورد بررسی جهت شناسایی محله‌های همگن و تعیین تاب‌آوری محلات تحت سه لایه اطلاعاتی در ابعاد اجتماعی، اقتصادی و بافت شهری تهیه شده است.

در بعد اجتماعی زیر لایه‌ها شامل؛ تراکم جمعیتی، تحصیلات، سن، دسترسی به مراکز امدادی، مدیریتی، رفاهی و ویژه، نوع سکونت بومی و غیربومی، حاشیه‌نشینی است. در بعد اقتصادی زیر لایه‌ها شامل؛ شاخص اشتغال و سرمایه ناخالص بوده است. در بعد بافت شهری زیر لایه‌ها شامل؛ درصد فرسودگی، تراکم ساختمانی، آسیب‌پذیری، فنی و غیر فنی ساز، بوده است. این زیر لایه‌ها بر اساس نیاز پژوهش به پنج رده خیلی خوب تا خیلی بد طبقه‌بندی شدند. میزان درصد فرسودگی بافت شهری بر اساس شاخص‌های سه‌گانه شامل؛ ریزدانگی (بلوک‌هایی با بیش از ۵۰ درصد مساحت پلاک کمتر از ۲۰۰ مترمربع)، ناپایداری (بلوک‌هایی با بیش از ۵۰ درصد بناهای ناپایدار و فاقد سیستم سازه) و نفوذناپذیری (بلوک‌هایی با بیش از ۵۰ درصد معابر عرض کمتر از ۶ متر)، مشخص می‌شود (Zangi Abadi et al, 2011). نقشه آسیب‌پذیری از پانزده معیار شامل؛ کاربری، مساحت، شکل هندسی، قرارگیری قطعه، تراکم جمعیتی، سازه، قدمت، کیفیت، سطح اشغال، تعداد طبقات، تراکم ساختمانی، آتش‌نشانی، فضاهای باز، مراکز امداد و نجات و گذر، به دست آمد. تمامی زیر لایه‌ها بر اساس نیاز پژوهش به پنج رده خیلی خوب تا خیلی بد طبقه‌بندی شدند. سپس بر اساس نیاز تحقیق هر لایه در پنج رده طبقه‌بندی شد. فاکتورهایی که اطلاعات عددی آن‌ها در دسترس نبود با استفاده از نظر کارشناسان و نخبگان متخصص در امر، از حالت کیفی به اطلاعات کمی تبدیل شدند. این کمی‌سازی با استفاده از رده‌بندی پنج‌گانه طیف لیکرت (از عدد ۱ = خیلی بد تا عدد ۵ = خیلی خوب) صورت گرفت. ابتدا با استفاده از نظر کارشناسان و شرایط منطقه مورد مطالعه ترتیب اهمیت ابعاد (بیشترین اهمیت با ضریب تأثیر ۳ و کمترین اهمیت با ضریب تأثیر ۱) که به ترتیب بعد اجتماعی، بافت شهری و بعد اقتصادی بوده

استفاده از روش‌های آمار توصیفی، توصیف گردید و با استفاده از روش‌های آمار استنباطی داده‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در این پژوهش در قسمت آمار استنباطی از آزمون‌های آماری نظیر آزمون کولموگروف اسمیرنوف، آزمون تی مستقل، من ویتنی، آنالیز واریانس یک راهه، کروسکال والیس و ضریب همبستگی اسپرمن بهره برده شد. به منظور بررسی و پاسخ به سؤالات تحقیق در این مطالعه از نرم‌افزار آماری SPSS نسخه ۲۵،۰۰ کمک گرفته شد. اطلاعات جمع‌آوری شده توسط پرسشنامه تحلیل آماری و در سیستم اطلاعات مکانی به نقشه تبدیل شد. جهت تهیه و توزیع پرسشنامه شهروندی (خانوار)، محدوده مورد مطالعه که مرز قانونی شهر یزد هست با استفاده از نقشه محلات مناطق شهری شهرداری یزد و کمک گرفتن از روش کمی و کیفی، مرز محلات شهر یزد مشخص شد.

در روش کمی و فاکتور فرمی (به صورت فیزیکی مشخص است) عوامل ذیل در نظر گرفته شد. نقشه شهرداری مرز محلات شهری که به لحاظ ویژگی‌های اجتماعی و اقتصادی همگن هستند را مشخص می‌سازد (Consulting Engineers Arse, 2007). فاکتور فرمی شامل: الگوی توزیع فضایی ساختمان، مشخصات کالبدی ساختمان‌ها عمر ساختمان، مصالح به کاررفته، ارتفاع، کیفیت کالبدی، الگوی توزیع فضایی ساختمان، مسیر خیابان‌های شهری، کاربری زمین شهری، شناخت روستاهای ادغام شده در پیکره اصلی شهر، عنصر کالبدی شاخص، عوارض و پدیده‌های طبیعی، مشخصات کمی واحدهای مسکونی، مراحل گسترش فیزیکی شهر در طول زمان (Poorahmad et al, 2005).

در روش کیفی و توجه به فاکتورهای فرآیندی (فضایی - کالبدی)، توزیع پرسش‌نامه بین ۳۰ نفر از کارشناسان متخصص شهری (کارشناسان شهرداری، کارشناسان امور اجتماعی استانداری، اساتید فن و غیره) و انجام مصاحبه و رفتار مردم در قالب محدوده فضایی (مانند رفتار فرهنگی، حس پیوند ساکنین باهم و حس تعلق خاطر آنان به محله) تعیین کننده بود. پرسش‌هایی که میزان همگنی درونی (اجتماعی، اقتصادی، فرهنگی) محله و حس تعلق و میزان هم پیوندی ساکنان را مشخص نمود. چهل و یک محله با مرز مشخص و قابلیت تفکیک از یکدیگر مشخص گردید. سپس این محلات به پنج محدوده محله‌ای همگن (شرایط محله‌ای خیلی خوب تا خیلی بد) تقسیم‌بندی شد. این پنج محدوده با روش ترکیبی (مجموع روش‌های کمی،

شد. بازدید میدانی جهت بررسی نهایی توسط پژوهشگر جهت تکمیل اطلاعات و بررسی مناطق صورت گرفت. سؤالات پرسشنامه شهروندی (خانوار) از نوع خود اظهاری و در ارتباط با میزان آگاهی، دانش، مهارت، نگرش و غیره، پرسش‌شونده، در ارتباط با تعیین میزان تاب‌آوری فردی و خانوادگی شخص پرسش‌شونده در بحران طبیعی مانند زلزله است. لایه‌های اطلاعاتی که از طریق پرسش‌نامه شهروندی خانوار مورد بررسی قرار گرفت در ابعاد انسانی - اجتماعی (آسایش و رضایت‌مندی) (حس نگرش، سرمایه اجتماعی) (ظرفیت مالی جبران خسارت همکاری) و اعتماد، اقتصادی (ظرفیت مالی جبران خسارت خانواده، توانایی مالی بازگشت به شرایط قبل از بحران خانواده (تولید ناخالص خانواده) و شدت خسارت به اموال خانواده (اشتغال و رفاه اقتصادی خانواده)) و مدیریتی - نهادی (بستر نهادها، روابط نهادها و عملکرد نهادها) بوده است. تمامی اطلاعات به دست آمده از طریق طبقه‌بندی پنج‌گانه طیف لیکرت، کمی سازی شدند. ابتدا اطلاعات به صورت کلی با استفاده از روش‌های آمار توصیفی، توصیف شد. سپس با استفاده از روش‌های آمار استنباطی داده‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. در قسمت آمار استنباطی آزمون‌های آماری نظیر کولموگروف اسمیرنوف، تی مستقل، من ویتنی، آنالیز واریانس یک‌راهه، کروسکال والیس و ضریب همبستگی اسپرمن بهره بردیم.

در قسمت آمار توصیفی، ویژگی‌های جمعیت شناختی؛ جنسیت، سن، میزان تحصیلات، محله، مدت سکونت در شهر یزد و مدت سکونت در محله، با روش‌های توصیفی آماری، مانند جدول فراوانی و نمودارهای آماری، جهت شناخت بیشتر جامعه تحقیق (۳۸۴ نفر نمونه مورد مطالعه در جامعه آماری)، مورد تحلیل قرار گرفت. پس از بررسی آمار توصیفی در ادامه با استفاده از آمار استنباطی، ارتباط بین فاکتورهای مختلفی چون جنسیت، سن، تحصیلات، محله، مدت سکونت در شهر یزد و مدت سکونت در محله با لایه‌های مختلف تاب‌آوری مورد بررسی قرار گرفت. در انتها همبستگی بین لایه‌های مختلف تاب‌آوری سنجیده شد.

در پرسشنامه رفتار سنجی تاب‌آوری لایه‌های بعد انسانی - اجتماعی شامل؛ آگاهی، دانش، مهارت، نگرش، سرمایه اجتماعی (آسایش و رضایت‌مندی) (حس همکاری) و اعتماد بوده است. ارتباط بین محله همگن شهر یزد و تاب‌آوری انسانی - اجتماعی، همسانی واریانس تاب‌آوری انسانی - اجتماعی افراد

است، مشخص گردید. سپس جهت تحلیل از روش امتیازدهی وزن دهی ساده افزایشی، بر اساس میانگین وزنی، استفاده شد. در این روش نیاز است تا تمامی لایه‌ها و فاکتورهای مؤثر بی مقیاس یا هم مقیاس شوند تا قابل مقایسه شوند (Gilvari et al, 2014).

بنابراین تمامی لایه‌ها در پنج رده (امتیاز یک تا پنج) طبقه‌بندی شدند. در داخل هر بعد نیز بر اساس ترتیب اهمیت امتیازدهی انجام شد. در ادامه با توجه به نظر کارشناسی یک وزن نرمال شده به هر لایه تعلق گرفت. فرمول (۱) روش رسیدن به وزن اصلی (S) هر بعد، از طریق عملیات جمع جبری، ضرب امتیاز گزینه I، ام، با توجه به صفت J ام (Sij) در و وزن نرمال شده (Wi)، را نشان می‌دهد.

$$S = \sum (S_{ij}) \times (W_i) \quad (\text{رابطه ۱})$$

در هر بعد با عملیات جمع جبری (SUM) و سپس میانگین‌گیری، وزن بعد اصلی مشخص شد. سپس برای هر محله این وزن تأثیر داده شد. با توجه به دلایل ذیل بافت تاریخی و فرسوده شهر در پهنه‌بندی مناطق همگن خیلی ضعیف قرار گرفت. نامناسب بودن راه‌های ارتباطی (کوچه‌های تنگ و عدم دسترسی سواره جهت مدیریت بحران، ارسال کالا، تجهیزات و امداد رسانی) و مسائل زیرساختی (فرسودگی شبکه تأسیسات شهری، پیچیدگی وضعیت خطوط توزیع به‌ویژه شبکه گاز، آب و برق به خاطر بافت خاص و وضعیت کوچه‌ها) کار مدیریت تاب‌آوری بحران و امداد رسانی را برای واحدهای امدادی، خدماتی و اجرایی دشوار می‌سازد. مناطق تاریخی، با سیستم پیچیده روابط اجتماعی، اقتصادی، زیست‌بوم شناختی و غیره، در برابر بحران‌هایی مانند زلزله بسیار آسیب‌پذیر هستند که با بهره بردن از روش‌های نوین و نرم‌افزارهایی مانند GIS می‌توان در استراتژی‌های بررسی و افزایش تاب‌آوری قبل، حین و پس از زلزله از آن بهره برد (Giovinazzi et al, 2021). محلاتی که در بافت تاریخی، فرسوده و حاشیه شهر بوده و در رده‌بندی خیلی ضعیف قرار دارند، شامل محلات: نصرآبادی، سجادیه، امیرآباد، چرخاب، مریم‌آباد، فهادان، سیدالشهدا، مهدی‌آباد، خیرآباد، عیش‌آباد است (Heidari Noshahr and Nazarian, 2011).

در مرحله بعد با استفاده از فرمول کوکران و بر اساس جمعیت شهر یزد، ۳۸۴ پرسشنامه خانوار به‌عنوان تعداد نمونه در جامعه آماری، در محله‌های همگن، به صورت خوشه‌ای، توزیع

معناداری وجود دارد. به عبارت دیگر تاب‌آوری انسانی - اجتماعی، تاب‌آوری اقتصادی و تاب‌آوری مدیریتی نهادی با یکدیگر رابطه مثبت و معنی‌داری دارند.

در مرحله آخر خروجی نقشه بخش اول پژوهش، نقشه پهنه‌بندی تاب‌آوری شهر یزد با استفاده از اطلاعات ژئوتکنیکی و سیستم شهری تلفیق سامانه مدیریت مخاطرات طبیعی (تخمین تلفات و تخمین درصد خسارت سازه و غیر سازه ناشی از فعالیت لرزه‌ای به بزرگای $6/2$ ریشتر گسل تفت) و بخش دوم پژوهش، نقشه رفتار تاب‌آوری شهروندان شهر یزد در شرایط رخداد زلزله احتمالی بر اساس پنج محله بندی همگن (در ابعاد اجتماعی - انسانی، اقتصادی و مدیریتی - نهادی)، در سیستم اطلاعات مکانی بر اساس درصد مساحت پیکسل‌های موجود در داخل محلات همگن، به صورت یک نقشه یکپارچه با قابلیت به روزرسانی باهم تلفیق شد.

۳- بحث و نتیجه‌گیری

۳-۱- بخش اول تخمین تلفات و خسارت زلزله

تخمین خسارات و تلفات زلزله در شهر یزد طی ۳ مرحله شامل محاسبه بیشینه شتاب زمین، تخمین خسارت زلزله به ساختمان‌ها و شریان‌های حیاتی و تخمین تلفات زلزله انجام شد.

۳-۱-۱- محاسبه بیشینه شتاب زمین

تهیه نقشه پهنه‌بندی بیشینه شتاب زلزله شهر یزد در شرایط وقوع زمین‌لرزه‌ای به بزرگی $6/2$ ریشتر در بخش شرقی گسل تفت بافاصله کانون زلزله احتمالی تا مرکز شهر یزد ۱۵ کیلومتر به عمق ۸ کیلومتری، از طریق شبیه‌سازی انجام شده است. در فرایند تهیه نقشه مورد نظر، نخست بیشینه شتاب زلزله بر روی سنگ کف لرزه‌ای به کمک مدل تخمین بیشینه حرکت زمین محاسبه شده است. سپس با در نظر گرفتن اثر تشدیدکنندگی خاک، نقشه پهنه‌بندی بیشینه شتاب شهر یزد در شرایط وقوع این زلزله ترسیم گردیده است (شکل ۱).

همان‌طور که در شکل ۱ نمایش داده شده است اثر تشدیدکنندگی خاک که بر اساس اطلاعات ژئوتکنیک لرزه‌ای ۲۴ گمانه در سطح شهر یزد توسط نرم‌افزار Deep Soil مورد پردازش قرار گرفته است، را نشان می‌دهد. بخش‌هایی از محله خیرآباد بیشینه شتاب ۶۰ تا ۷۰ درصد را دارا است.

۳-۱-۲- تخمین خسارات زلزله به ساختمان‌ها

در تحقیقات حاضر، تخمین خسارات ناشی از زلزله به شهر یزد،

محلات مختلف و نرمال بودن توزیع داده‌های آن‌ها مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به برقرار بودن هر دو پیش‌فرض تمام گروه‌ها، از روش آنالیز واریانس یک‌راهه جهت تحلیل استفاده شد. مشخص شد محل سکونت در محله بر تاب‌آوری انسانی - اجتماعی تأثیر معنی‌داری دارد. مقایسات دوه‌دو تاب‌آوری انسانی - اجتماعی افراد در محلات مختلف انجام شد. با توجه به مقایسه دوه‌دو میانگین توسط آزمون توکی مشخص شد که میانگین تاب‌آوری انسانی - اجتماعی افرادی که در محلات A، B و C زندگی می‌کنند به‌طور معنی‌داری بیشتر از افرادی است که در محلات D و E زندگی می‌کنند.

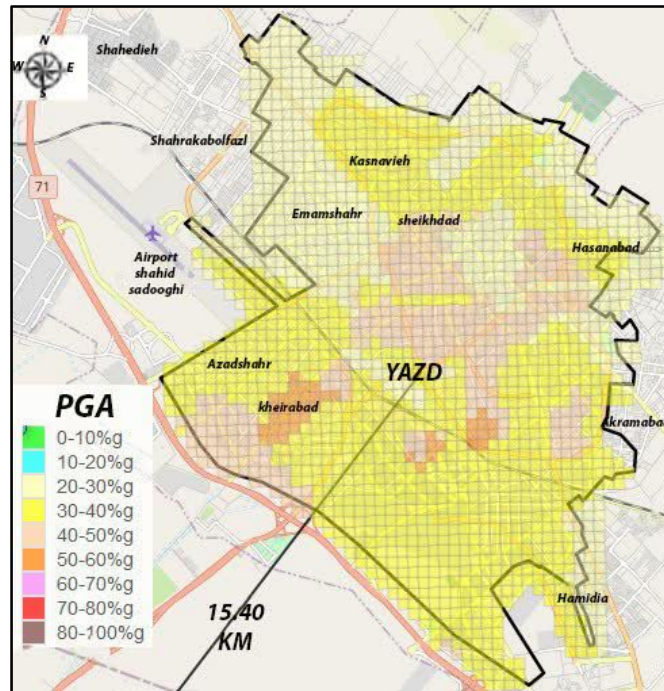
در پرسشنامه رفتار سنجی تاب‌آوری لایه‌های بعد اقتصادی شامل؛ ظرفیت مالی جبران خسارت خانواده، توانایی مالی بازگشت به شرایط قبل از بحران خانواده (تولید ناخالص خانواده) و شدت خسارت به اموال خانواده (اشتغال و رفاه اقتصادی خانواده) بوده است. در بررسی ارتباط بین محله همگن شهر یزد و تاب‌آوری اقتصادی، با توجه به برقرار نبودن پیش‌فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها تاب‌آوری اقتصادی افراد در محلات C، D و E، از روش کروسکال والیس جهت تحلیل استفاده شده است. مشخص شد محل سکونت در محله بر تاب‌آوری اقتصادی تأثیر معنی‌داری ندارد.

در پرسشنامه رفتار سنجی تاب‌آوری لایه‌های بعد مدیریتی - نهادی شامل؛ بستر نهادها، روابط نهادها و عملکرد نهادها بوده است. در بررسی ارتباط بین محله همگن شهر یزد و تاب‌آوری مدیریتی نهادی، با توجه به برقرار نبودن پیش‌فرض نرمال بودن توزیع داده‌ها تاب‌آوری مدیریتی نهادی افراد در محلات C، D و E، از روش کروسکال والیس جهت تحلیل استفاده شده است. مشخص شد محله بر تاب‌آوری مدیریتی نهادی تأثیر معنی‌داری دارد. مقایسات دوه‌دو تاب‌آوری مدیریتی نهادی افراد با سطوح مختلف محله انجام شد. با توجه به مقایسه دوه‌دو میانگین توسط آزمون من ویتنی مشخص شد که میانگین تاب‌آوری مدیریتی نهادی افراد محله E و D تفاوت معنی‌داری با یکدیگر ندارد و تاب‌آوری مدیریتی نهادی افراد محله E و D بیشتر از سایر محلات است. میانگین تاب‌آوری مدیریتی نهادی افراد محله A به‌طور معنی‌داری بیشتر از میانگین تاب‌آوری مدیریتی نهادی افراد محله B هست.

در ادامه مشخص گردید با توجه به معنادار و مثبت بودن ضرایب همبستگی، بین لایه‌های مختلف همبستگی مثبت و

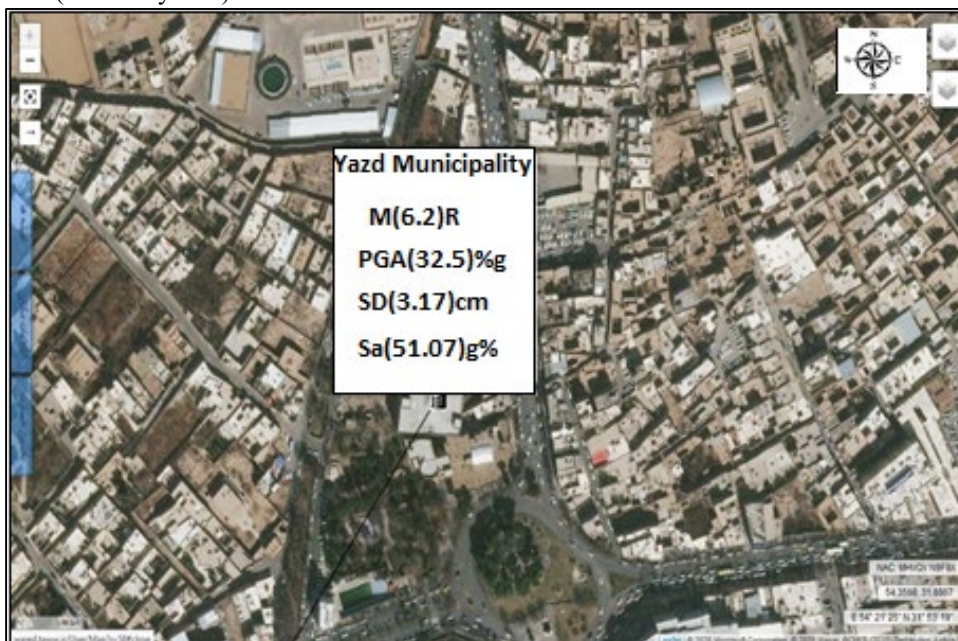
طبیعی پیاده‌سازی و مورد پردازش قرار گرفته است. شکل ۲ رفتار سنجی ساختمان‌های مهم (ساختمان شهرداری یزد) برابر زمین‌لرزه به بزرگی ۶/۲ ریشتر در بخش شرقی گسل تفت را نشان می‌دهد.

در دو سطح رفتار سنجی ساختمان‌های مهم و پهنه‌بندی خسارت احتمالی در سطح شهر انجام شده است. بدین منظور منحنی شکست ساختمان‌ها و شریان‌های حیاتی از طریق پروژه HAZUS استخراج و در بستر سامانه مدیریت مخاطرات



شکل ۱- نقشه پهنه‌بندی بیشینه شتاب شهر یزد در شرایط وقوع زلزله به بزرگی ۶/۲ ریشتر گسل تفت

Fig. 1. Peak Ground Acceleration (PGA) zoning map of Yazd city in the event of an earthquake with a magnitude of 6.2 Richter Taft fault (NHMS system).



شکل ۲- رفتار سنجی ساختمان‌های مهم در برابر زمین‌لرزه به بزرگی ۶/۲ ریشتر در بخش شرقی گسل تفت

Fig. 2. Behavior measurement of important buildings against earthquakes with a magnitude of 6.2 in the eastern part of Taft fault. (NHMS system).

بدون خسارت خواهد بود.

۳-۱-۳- تخمین تلفات زلزله

شکل ۴ نقشه پهنه‌بندی تلفات شهر یزد در شرایط وقوع زلزله به بزرگی ۶/۲ ریشتر در بخش شرقی گسل تفت، را نشان می‌دهد.

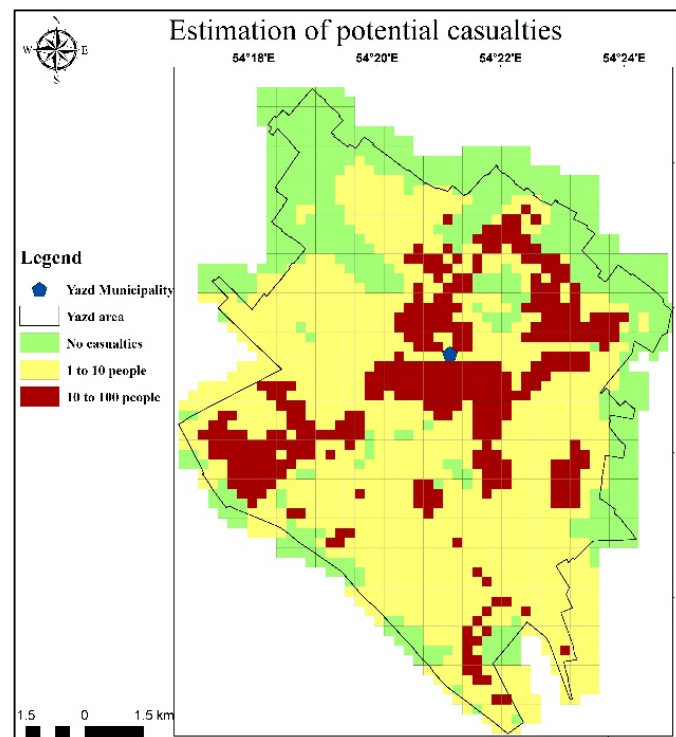
همان‌طور که در شکل ۴ نمایش داده شده است، محاسبات تلفات احتمالی این رویداد با ۶۷ درصد احتمال، معادل ۱۱۴۶۹ نفر تخمین زده شد. بیشترین میزان تلفات در محدوده بافت فرسوده مرکزی و بخش غربی شهر در مناطق خیرآباد و آزادشهر قابل انتظار است.

در انتهای بخش اول نقشه تلفیق شده (نقشه تلفات انسانی و نقشه درصد خسارت احتمالی) بر اساس پنج رده طیف لیکرت طبقه‌بندی گردید (شکل ۵a). سپس با مجموع مساحت پیکسل‌های موجود در محدوده هر محله همگن و میانگین‌گیری میزان تاب‌آوری نهایی هر محله در بعد تلفات و خسارت مشخص گردید. این نقشه نیز بر اساس طیف لیکرت به پنج رده خیلی خوب (۵) تا خیلی بد (۱) رده‌بندی شد (شکل ۵b).

همان‌طور که در شکل ۲ نمایش داده شده است سازه ساختمان شهرداری مرکزی یزد (واقع در میدان باغ ملی) در اثر فعالیت لرزه‌ای گسل تفت به بزرگی ۶/۲ ریشتر بافاصله کانونی ۱۶/۹۹ کیلومتری، بیشینه شتاب زلزله ۳۲/۵، طیف جابجایی بام ۳/۱۷ و طیف شتاب بام ۵۱/۰۷، متحمل خسارت ناچیز اجزای سازه‌ای و خسارت متوسط اجزای غیر سازه‌ای، خواهد شد.

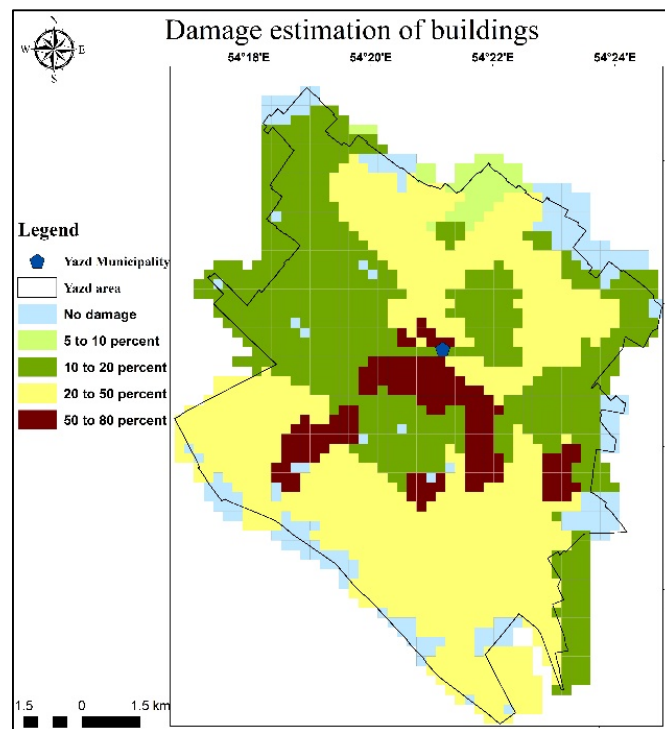
شکل ۳ نقشه پهنه‌بندی تخمین خسارت ساختمان‌های شهر یزد در شرایط وقوع زلزله به بزرگی ۶/۲ ریشتر در بخش شرقی گسل تفت به دست آمده در سامانه مدیریت مخاطرات طبیعی که وارد سیستم اطلاعات مکانی (GIS) جهت تحلیل شده است را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل ۳ نمایش داده شده است، نقشه خسارت به ساختمان‌ها، ناشی از زلزله ۶/۲ ریشتری تفت، در مناطق دارای بافت تاریخی و فرسوده (خصوصاً بافت فرسوده و قدیمی) بیشتر از سایر مناطق (چیزی حدود ۵۰ تا ۸۰ درصد خسارت) را متحمل خواهد شد. در مناطق حاشیه شهر حتی



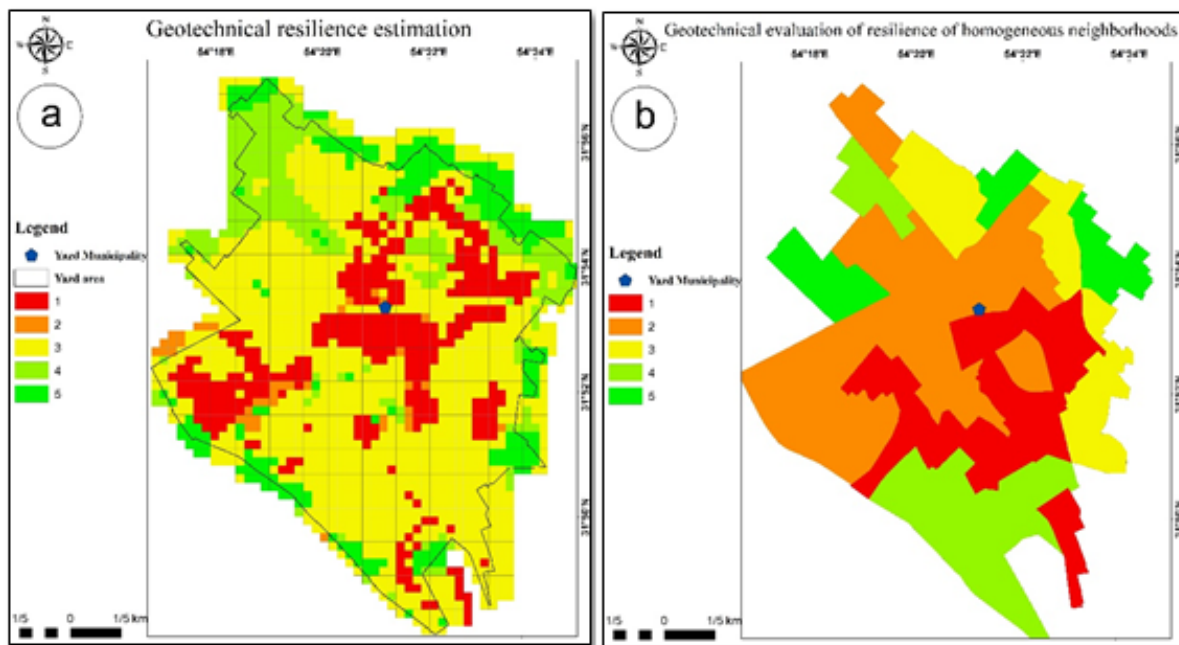
شکل ۳- نقشه پهنه‌بندی تخمین خسارت ساختمان‌های شهر یزد در شرایط وقوع زلزله به بزرگی ۶/۲ ریشتر در بخش شرقی گسل تفت

Fig. 3. Zoning map of damage estimation of buildings in Yazd city in the event of an earthquake with a magnitude of 6.2 in the eastern part of Taft fault



شکل ۴- نقشه پهنه‌بندی تلفات شهر یزد در شرایط وقوع زلزله به بزرگی ۶/۲ ریشتر در بخش شرقی گسل تفت

Fig4. Zoning map of casualties in Yazd city in the event of an earthquake with a magnitude of 6.2 in the eastern part of Taft fault



شکل ۵- (a) نقشه پهنه‌بندی تاب‌آوری شهر یزد با استفاده از اطلاعات ژئوتکنیکی تلفیق سامانه مدیریت مخاطرات طبیعی و سیستم اطلاعات مکانی (b) نقشه پهنه‌بندی تاب‌آوری شهر یزد با استفاده از اطلاعات ژئوتکنیکی تلفیق سامانه مدیریت مخاطرات طبیعی و سیستم اطلاعات مکانی در محلات پنج‌گانه همگن شهر یزد

Fig. 5. (a) Yazd city resilience zoning map using geotechnical information integrated by the natural hazard management system (NHMS) and geographical information system (GIS) and (b) Yazd city resilience zoning map using geotechnical information integrated by the NHMS and GIS in five homogeneous neighborhoods of Yazd

در شمال و جنوب غربی شهر یزد را شامل شده است. در نقشه (b) محلات با درصد تحصیلات خیلی بالا درصدی بین ۹۵ تا ۹۸٫۷، محلاتی در جنوب، جنوب شرقی و شمال غرب شهر یزد را نشان داده است.

شکل ۷ شاخص اشتغال و بیکاری شهروندان شهر یزد را در پنج رده با درصد شاغلین خیلی کم (قرمز) تا درصد شاغلین خیلی زیاد را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل ۷ نمایش داده شده است، بر اساس این نقشه در محلات چهل‌ویک گانه شهر یزد، محلات با درصد شاغلین خیلی بالا درصدی بین ۸۹٫۴ تا ۹۱٫۴، محلاتی در مرکز، شرق و غرب شهر یزد را شامل شده است.

شکل ۸ نقشه درصد فرسودگی شهر یزد را در پنج رده با درصد فرسودگی خیلی کم تا درصد شاغلین خیلی زیاد را نشان می‌دهد. شکل ۸ نقشه تراکم ساختمانی شهر یزد را در پنج رده با تراکم ساختمانی خیلی کم تا درصد تراکم ساختمانی خیلی زیاد را نشان می‌دهد. شکل ۸ نقشه شاخص آسیب‌پذیری شهر یزد را در پنج رده با آسیب‌پذیری خیلی کم تا شاخص آسیب‌پذیری خیلی زیاد را نشان می‌دهد.

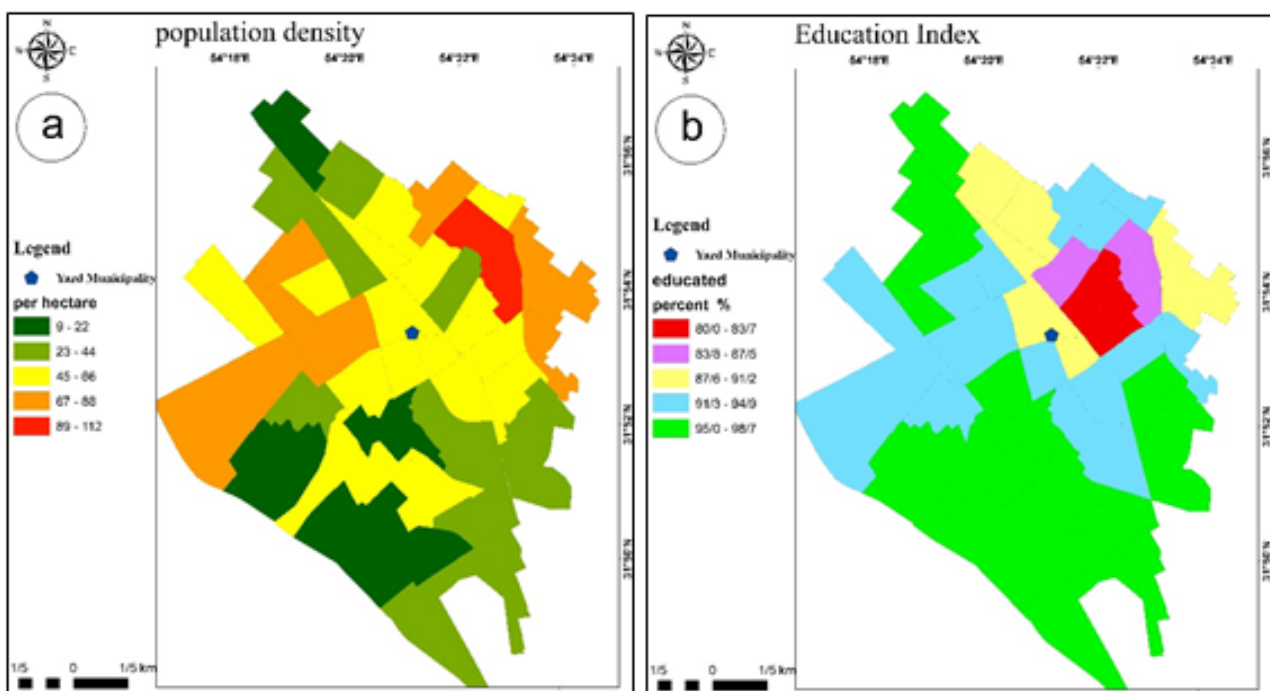
همان‌طور که در شکل ۵ نمایش داده شده است، نقشه (a) پهنه‌بندی تاب‌آوری شهر یزد با استفاده از اطلاعات ژئوتکنیکی تلفیق سامانه مدیریت مخاطرات طبیعی و سیستم اطلاعات مکانی، ساختمان شهرداری یزد در رده تاب‌آوری بد واقع شده است. بر طبق نقشه (b) محلات رده (E) در وضعیت تاب‌آوری خیلی خوب (۵)، محلات رده (A) در وضعیت خوب (۴)، محلات رده (D) در وضعیت متوسط (۳)، محلات رده (C) در وضعیت بد (۲) و محلات رده (B) در وضعیت خیلی بد (۱)، قرار دارند.

۲-۳. رفتار سنجی تاب‌آوری شهروندان (خانوار) شهر یزد در برابر زلزله

در این بخش سنجش ظرفیت تاب‌آوری شهروندان شهر یزد در برابر زلزله انجام شد.

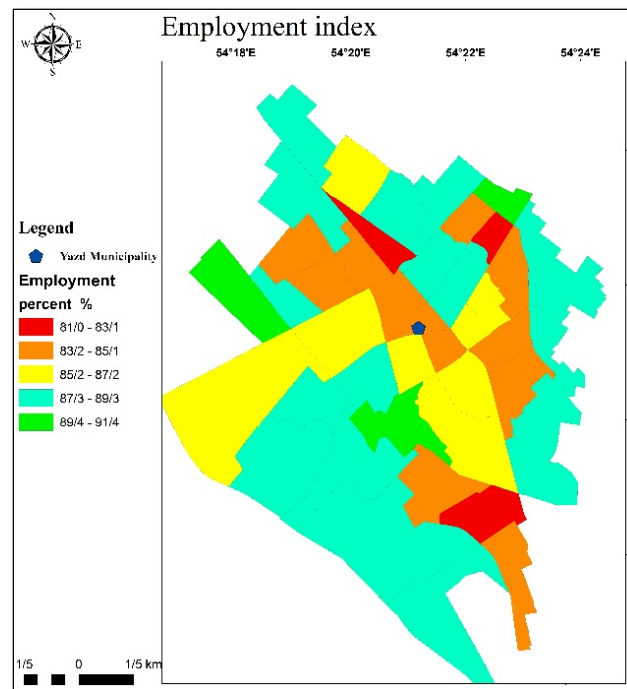
شکل ۶ نقشه تراکم جمعیتی (نفر در هکتار) شهر یزد در ۵ رده با تراکم خیلی کم تا خیلی زیاد و شکل ۶b نقشه شاخص تحصیلات شهر یزد در ۵ رده تراکم خیلی کم تا خیلی زیاد را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در شکل ۶ نمایش داده شده است، بر اساس نقشه (a) در محلات چهل‌ویک‌گانه شهر یزد، محلات با تراکم جمعیتی خیلی زیاد جمعیتی بین ۸۹ تا ۱۱۲ نفر در هر هکتار، محلاتی



شکل ۶- (a) نقشه تراکم جمعیتی (نفر در هکتار) شهر یزد و (b) نقشه شاخص تحصیلات شهر یزد

Fig. 6. (a) Population density map (people per hectare) of Yazd city and (b) Yazd education index map



شکل ۷- نقشه درصد اشتغال شهروندان شهر یزد
Fig.7. Map of employment percentage of Yazd citizens

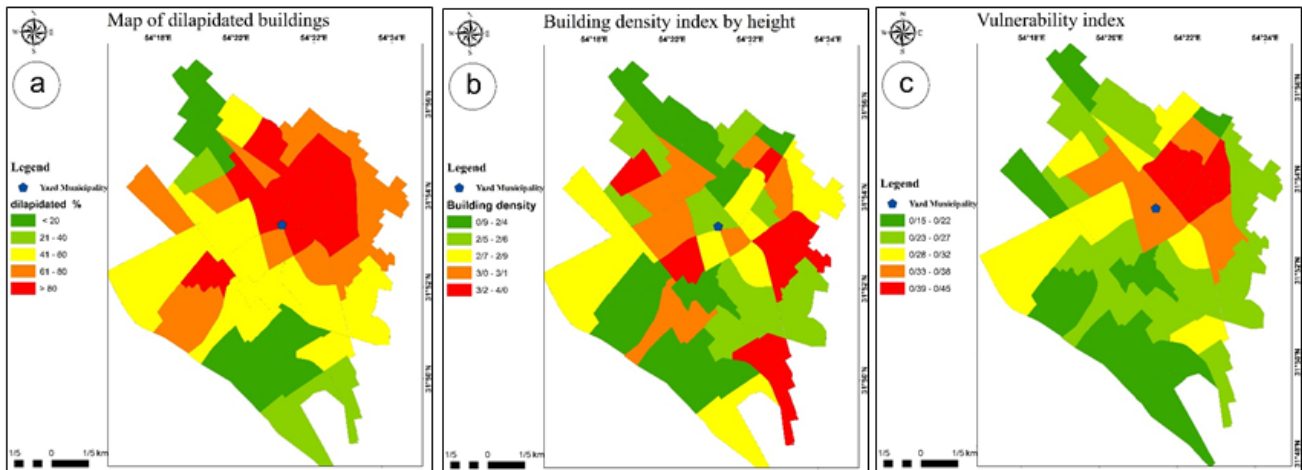
افراد پرسش‌شونده نمونه (۳۸۴ نفر) در جامعه آماری (منطقه مورد مطالعه شهر یزد با جمعیت ۵۹۶۸۹۴ نفر در سال ۱۴۰۰) بوده است. تعداد پرسشنامه در محدوده محلات در طبقه A (۲۱ نفر حدود ۸۱) B (۳۴ نفر حدود ۹ درصد کل)، در طبقه C (۱۵۴ نفر حدود ۴۰ درصد کل)، در طبقه D (۶۱ نفر حدود ۱۶ درصد کل) و در طبقه E (۵۴ نفر حدود ۱۴ درصد کل)، است (شکل ۹).

همان‌طور که در شکل ۹ نمایش داده شده است، درصد توزیع پرسشنامه به صورت خوشه‌ای و تصادفی در محلات منتخب همگن در محلات رده C حدود ۴۰ درصد که از سایر محلات بیشتر بوده است. این توزیع بر اساس درصد جمعیت ساکنین در محلات مشخص شده است.

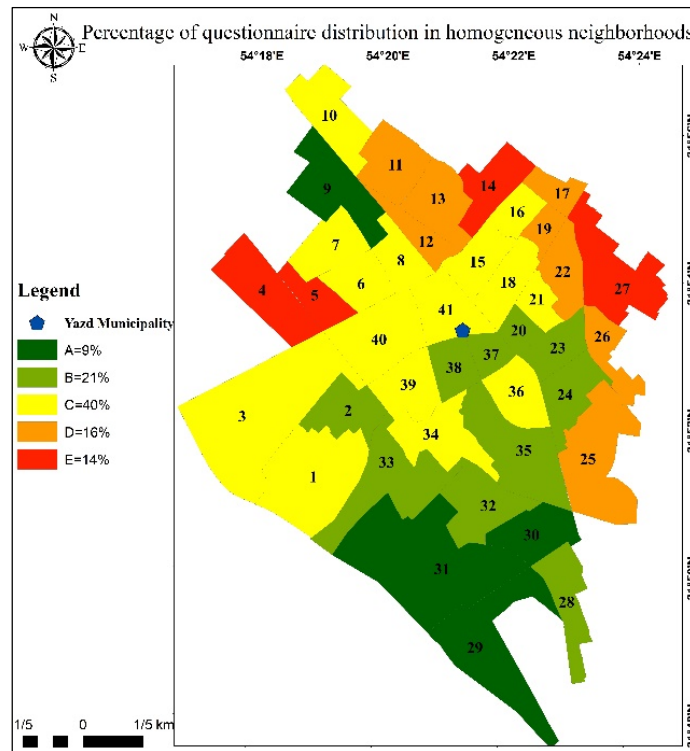
سپس با استفاده از نرم‌افزار Spss پرسشنامه شهروندی تحلیل گردید. در بررسی توزیع فراوانی جنسیت افراد نمونه مشخص گردید تقریباً نیمی مرد و نیمی زن بودند. ۵۱/۶ درصد افراد پرسش‌شونده در رده سنی ۳۵ تا ۶۵ سال قرار دارند. ۳۸/۸ درصد افراد تحصیلات کارشناسی داشتند. ۵۵/۵ درصد افراد بیش از ۲۰ سال در شهر یزد سکونت داشتند. ۳۰/۵ درصد افراد ۱۰ تا ۲۰ سال از عمر خود را در محله کنونی خود سکونت داشتند.

همان‌طور که در شکل ۸ نمایش داده شده است، بر اساس نقشه (a) در محلات چهل‌ویک گانه شهر یزد، محلات با درصد فرسودگی خیلی بالا بافت درصدی بین ۸۰، محلاتی در بافت تاریخی، قدیمی و فرسوده شهر یزد را شامل شده است. بر اساس نقشه (b) در محلات چهل‌ویک گانه شهر یزد، محلات با تراکم ساختمانی خیلی بالا با تراکمی بین ۳/۲ تا ۴، محلاتی پراکنده در جنوب، مرکز، شرق، شمال و شمال شرق شهر یزد را شامل شده است. بر اساس نقشه (c) در محلات چهل‌ویک گانه شهر یزد، محلات با شاخص آسیب‌پذیری خیلی بالا درصدی بین ۳۹ تا ۴۵ درصد، محلاتی در بافت تاریخی شهر یزد را شامل شده است. نقشه آسیب‌پذیری شهر یزد نشان می‌دهد از بین ۴۱ محله شهر، محلات خواجه خضر، لب خندق، گازرگاه، یعقوبی و تخت استاد، آسیب‌پذیرترین محلات هستند (Abui Ashkazari et al., 2012). به عبارتی دیگر نقشه آسیب‌پذیری نشان داد ۵۰ درصد مساحت شهر یزد آسیب‌پذیری بالاتر از میانگین در زلزله احتمالی را دارد.

در ادامه چهل‌ویک محله مشخص شده شهر یزد به پنج محدوده همگن طبقه‌بندی گردید. همچنین جمعیت پرسش‌شوندگان در هر محله بر اساس درصد نسبت جمعیت افراد محله همگن واحد (طبقه A تا E) نسبت به درصد کل



شکل ۸- (a) نقشه درصد فرسودگی بافت شهر و (b) نقشه تراکم ساختمانی شهر و (c) نقشه شاخص آسیب پذیری شهر یزد
Fig. 8. (a) Map of the city's erosion percentage and (b) City building density map, (c) Yazd city vulnerability index map



شکل ۹ - نقشه رده بندی پنج گانه محلات همگن شهر یزد و درصد توزیع پرسشنامه در محلات همگن

Fig. 9. Five classification map of homogeneous neighborhoods in Yazd and the percentage of questionnaire distribution in homogeneous neighborhoods

از روش میانگین گیری، تاب آوری اقتصادی محلات همگن یزد بررسی شد.

اطلاعات جدول (۲) نشان داد تاب آوری کل محلات پنج گانه شهر یزد در بعد اقتصادی از میانگین (۳) کمتر بوده است.

همان طور که در جدول ۳ نمایش داده شده است، با استفاده از روش میانگین گیری، تاب آوری مدیریتی - نهادی محلات پنج گانه همگن یزد بررسی شد.

همان طور که در جدول ۱ نمایش داده شده است، با استفاده از روش میانگین گیری، تاب آوری انسانی - اجتماعی محلات پنج گانه همگن یزد بررسی شد.

اطلاعات جدول (۱) نشان داد تاب آوری کل محلات پنج گانه شهر یزد در بعد انسانی - اجتماعی از میانگین (۳) بیشتر بوده است.

همان طور که در جدول ۲ نمایش داده شده است، با استفاده

جدول ۱- میانگین تاب‌آوری انسانی - اجتماعی محلات پنج‌گانه همگن یزد

Table 1. Average of human-social resilience of five homogeneous neighborhoods of Yazd

The average resilience of the human-social layer	Trust	Social capita	Attit ude	Knowl edge	Skill	Awareness	Number of neighborhood respondents	neighb orhood
3.19	3.46	3.07	3.83	3.08	2.67	3.05	34	A
3.14	3.89	3.20	3.84	2.82	2.40	2.68	81	B
3.14	3.69	3.26	3.68	2.87	2.59	2.75	154	C
2.92	3.85	3.32	3.32	2.52	2.22	2.27	61	D
2.85	3.81	3.51	3.20	2.45	1.96	2.13	54	E
3.08	3.74	3.27	3.57	2.75	2.37	2.58	384	All

نقشه رفتار تاب‌آورانه شهروندان شهر یزد بر اساس محله بندی همگن، از تاب‌آوری خیلی زیاد تا خیلی کم به ترتیب محلات رده: A، B، C، D و E هست. به عبارتی دیگر محلات رده (A) در وضعیت تاب‌آوری خیلی خوب، رده (C) تاب‌آوری خوب، رده (B) تاب‌آوری متوسط، محلات رده (D) تاب‌آوری بد و رده (E) تاب‌آوری خیلی بد، قرار دارند. عدد تاب‌آوری محلات رده (C)، (B)، (D) و (E) از میانگین تاب‌آوری (۳) کمتر بوده است. تنها محلات رده (A) عدد تاب‌آوری در حد میانگین داشته است. محلات رده (E) که کمترین میزان تاب‌آوری را داشته‌اند، شامل محلات حاشیه شهر در قسمت شمال غرب و شمال شرق شهر یزد است. این محلات از لحاظ رفتار تاب‌آورانه شهروندان، نسبت به سایر محلات ضعیف‌تر هستند. در نتیجه این تحلیل، جهت مدیریت تاب‌آور سازی بحران زلزله احتمالی، شهروندان، در این محلات برنامه‌ریزی ویژه‌تر، لحاظ گردد. در نقشه نهایی سنجش تاب‌آوری شهر و شهروندان یزد به تفکیک محلات همگن بر اساس طیف لیبرت از رده خیلی خوب (۵) تا خیلی بد (۱) مشخص گردید (شکل ۱۱).

اطلاعات جدول (۳) نشان داد تاب‌آوری کل محلات پنج‌گانه شهر یزد در بعد مدیریتی - نهادی از میانگین (۳) کمتر بوده است. تنها محله رده A به میانگین نزدیک بوده است. همان‌طور که در جدول ۴ نمایش داده شده است، میانگین تاب‌آوری محلات همگن پنج‌گانه شهر یزد را به تفکیک ابعاد سه‌گانه انسانی - اجتماعی، اقتصادی و مدیریتی - نهادی نشان می‌دهد.

بر اساس جدول (۴) بیشترین تاب‌آوری به ترتیب، محلات A، B، C، D و E، بوده است. محله رده E از همه کمتر بوده است. میانگین نهایی تاب‌آوری شهر یزد شناسایی شده از طریق پرسشنامه شهروندی (خانوار) ۲/۷ بوده است که از میانگین (۳) کمتر بوده است. در نتیجه تاب‌آوری شهر یزد از لحاظ شهروندی در رده بد به سمت متوسط است.

شکل ۱۰ نقشه رفتار تاب‌آورانه شهروندان شهر یزد را بر اساس پنج محدوده همگن نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۱۰ نمایش داده شده است، بر طبق

جدول ۲- میانگین تاب‌آوری اقتصادی محلات پنج‌گانه همگن یزد

Table 2 - The average economic affordability of the five homogeneous neighborhoods of Yazd

Average economic layer resilience	Ability to return	Financial capacity	Severity of damage	Number of neighborhood respondents	neighborhood
2.76	2.62	2.63	3.04	34	A
2.60	2.39	2.41	2.99	81	B
2.70	2.49	2.56	3.06	154	C
2.61	2.15	2.37	3.31	61	D
2.53	2.05	2.22	3.32	54	E
2.64	2.34	2.44	3.14	384	All

جدول ۳ - میانگین تاب‌آوری مدیریتی - نهادهای محلات پنج‌گانه همگن یزد

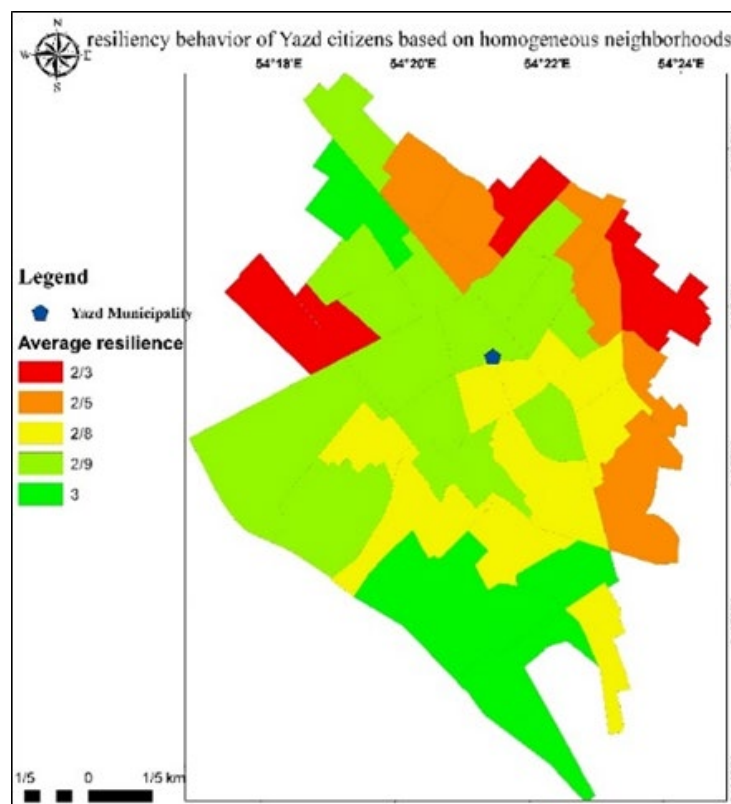
Table 3. Average managerial-institutional resilience of the five homogeneous neighborhoods of Yazd

The average resilience of the management-institutional layer	institutional context	institutional relationships	institutional performance	Number of neighborhood respondents	neighborhood
2.92	2.52	3.04	3.21	34	A
2.48	2.12	2.76	2.56	81	B
2.66	2.31	2.85	2.82	154	C
2.03	1.56	2.70	1.82	61	D
2.02	1.66	2.65	1.76	54	E
2.42	2.03	2.80	2.43	384	All

جدول ۴ - میانگین تاب‌آوری محلات همگن پنج‌گانه شهر یزد

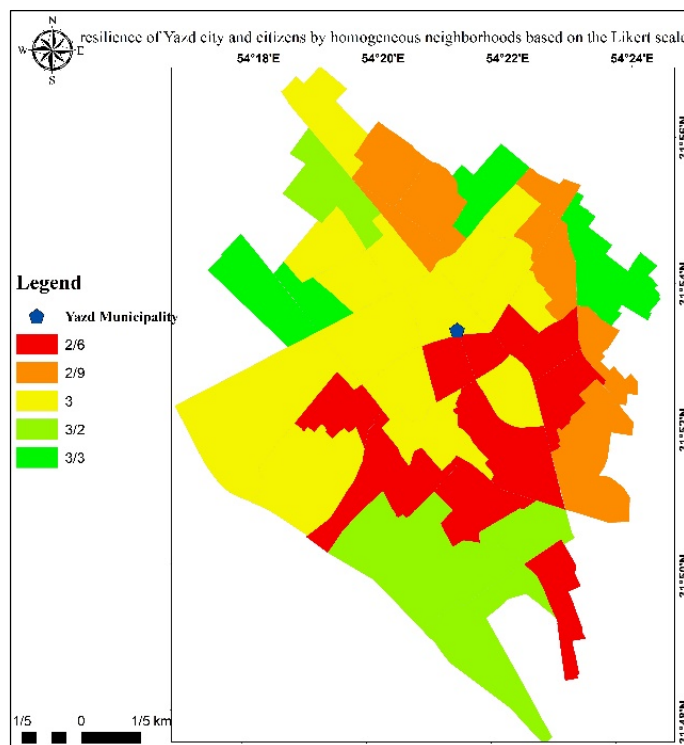
Table 4. Average resiliency of five homogeneous neighborhoods in Yazd

Neighborhood	Number of respondents	Average resilience of the human-social layer	Average resilience of the economic layer	Average resilience of managerial-institutional layer	Average resilience of the neighborhood
A	34	3.19	2.76	2.92	2.96
B	81	3.14	2.60	2.48	2.74
C	154	3.14	2.70	2.66	2.83
D	61	2.92	2.61	2.03	2.52
E	54	2.85	2.53	2.02	2.47
Average	384	3.08	2.64	2.42	2.7



شکل ۱۰ - نقشه رفتار تاب‌آورانه شهروندان شهر یزد بر اساس محله بندی همگن

Fig. 10. Map of resiliency behavior of Yazd citizens based on homogeneous neighborhoods



شکل ۱۱- نقشه نهایی سنجش تاب‌آوری شهر و شهروندان یزد به تفکیک محلات همگن بر اساس طیف لیکرت

Fig. 11. Final map for measuring the resilience of Yazd city and citizens by homogeneous neighborhoods based on the Likert scale

زیرساخت‌های شهری متأثر و مؤثر از آن، مد نظر قرار گیرد.

۴- نتیجه‌گیری

طبق بررسی نهایی اطلاعات حاصل از نقشه‌های تولیدشده مشخص گردید:

محلات رده (E) در نقشه تلفیق تلفات و درصد خسارت (بررسی ژئوتکنیکی) تاب‌آوری خیلی خوب داشته است. رفتار-سنجی تاب‌آوری شهروندان در شرایط رخداد زلزله احتمالی بر اساس پنج محله بندی همگن (در ابعاد اجتماعی - انسانی، اقتصادی و مدیریتی - نهادی)، این رده از میانگین تاب‌آوری کمتر (خیلی بد) بوده است. در نقشه تلفیق نهایی تاب‌آوری دو مورد بالا (تاب‌آوری شهر و شهروندان) وضعیت تاب‌آوری این رده خیلی خوب بوده است.

محلات رده (A) در نقشه تلفیق تلفات و درصد خسارت (بررسی ژئوتکنیکی) تاب‌آوری خوب داشته است. رفتارسنجی تاب‌آوری شهروندان در شرایط رخداد زلزله احتمالی بر اساس پنج محله بندی همگن (در ابعاد اجتماعی - انسانی، اقتصادی و مدیریتی - نهادی)، این رده از میانگین تاب‌آوری بیشتر (خیلی خوب) بوده است. در نقشه تلفیق نهایی تاب‌آوری دو مورد بالا

همان‌طور که در شکل ۱۱ نمایش داده شده است، بر اساس نقشه نهایی سنجش تاب‌آوری شهر و شهروندان یزد در فعالیت لرزه‌ای گسل تفت به بزرگای ۶/۲ ریشتر، از تاب‌آوری خیلی زیاد تا خیلی کم به ترتیب محلات رده: E, C, A, D, B هست. عدد تاب‌آوری محلات E, A و C از میانگین (۳) بیشتر بوده است. به عبارتی دیگر بر طبق رده‌بندی طیف لیکرت در رده پنج‌گانه از خیلی خوب تا خیلی بد، محلات رده (E) در وضعیت تاب‌آوری خیلی خوب (۵)، محلات رده (A) در وضعیت تاب‌آوری خوب (۴)، محلات رده (C) در وضعیت تاب‌آوری متوسط (۳)، محلات رده (D) در وضعیت تاب‌آوری بد (۲) و محلات رده (B) در وضعیت تاب‌آوری خیلی بد (۱)، قرار دارند. همچنین ساختمان شهرداری مرکزی شهر یزد به‌عنوان ساختمان نمونه انتخاب و مورد بررسی و بازدید قرار گرفت. در مجموع تحلیل‌ها نشان داد تاب‌آوری کلی اجزای سازه‌ای و غیر سازه‌ای این ساختمان در کنار تاب‌آوری شهروندان ساکن در این محدوده، میزان تاب‌آوری متوسط رو به پایین دارد. بنابراین لازم است در برنامه‌ریزی‌های آینده بحث توانمندسازی شهروندان و مدیران شهری در کنار ارتقا تاب‌آوری سازه و شبکه

دو مورد بالا (تاب‌آوری شهر و شهروندان) وضعیت تاب‌آوری این رده بد بوده است.

محللات رده (B) در نقشه تلفیق تلفات و درصد خسارت (بررسی ژئوتکنیکی) تاب‌آوری خیلی بد داشته است. رفتارسنجی تاب‌آوری شهروندان در شرایط رخداد زلزله احتمالی بر اساس پنج محله بندی همگن (در ابعاد اجتماعی - انسانی، اقتصادی و مدیریتی - نهادی)، این رده از میانگین تاب‌آوری کمتر (متوسط) بوده است. در نقشه تلفیق نهایی تاب‌آوری دو مورد بالا (تاب‌آوری شهر و شهروندان) وضعیت تاب‌آوری این رده خیلی بد بوده است.

تشکر و قدردانی

نویسندگان از حمایت مالی وزارت علوم، تحقیقات و فناوری از این رساله در قالب کد اعتباری ۱۶-۹۹-۰۲-۰۵۳۰۰۰۰۵۳ قدردانی می‌نمایند.

(تاب‌آوری شهر و شهروندان) وضعیت تاب‌آوری این رده خوب بوده است.

محللات رده (C) در نقشه تلفیق تلفات و درصد خسارت (بررسی ژئوتکنیکی) تاب‌آوری بد داشته است. رفتارسنجی تاب‌آوری شهروندان در شرایط رخداد زلزله احتمالی بر اساس پنج محله بندی همگن (در ابعاد اجتماعی - انسانی، اقتصادی و مدیریتی - نهادی)، این رده از میانگین تاب‌آوری کمتر (خوب) بوده است. در نقشه تلفیق نهایی تاب‌آوری دو مورد بالا (تاب‌آوری شهر و شهروندان) وضعیت تاب‌آوری این رده متوسط بوده است.

محللات رده (D) در نقشه تلفیق تلفات و درصد خسارت (بررسی ژئوتکنیکی) تاب‌آوری متوسط داشته است. رفتارسنجی تاب‌آوری شهروندان در شرایط رخداد زلزله احتمالی بر اساس پنج محله بندی همگن (در ابعاد اجتماعی - انسانی، اقتصادی و مدیریتی - نهادی)، در این رده از میانگین تاب‌آوری کمتر (بد) بوده است. در نقشه تلفیق نهایی تاب‌آوری

مراجع

- Abui Ashkazari, A., Rangzan, K., Sarsangi Aliabad, A., Mirokili, S.A.A., 2012. Earthquake Crisis Management Using Geographic Information Systems (GIS) (Case Study: city Yazd). M.Sc. thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz.
- Ambraseys, N. N., Melville, C.P., 1982. A History of Persian Earthquakes. Cambridge University Press. P. 219
- Aramshian, V., 2016. Determining the fault pattern in Taft region based on fractal analysis, southwest of Yazd. M.Sc. thesis, Faculty of Earth Sciences, Shahid Beheshti University.
- Ba, R., Deng, Q., Liu, Y., Yang, R and Zhang, H., 2021. Multi-hazard disaster scenario method and emergency management for urban resilience by integrating experiment-simulation-field data. *Journal of Safety Science and Resilience* 2(2), 77-89. <https://doi.org/10.1016/j.jnlssr.2021.05.002>
- Bagherimaragheh, N., Motamedi, M., Mafi, E., 2022. Assessing the resilience of Shirvan city in the face of an earthquake. *Journal Applied Research of Geographical Sciences* 64. 329-347. (in Persian with English abstract)
- Berberian, M., 1979. Earthquake faulting and bedding thrust associated with the Tabas-e-Golshan (Iran) earthquake of September 16. 1978. *Bulletin of the Seismological Society of America* 69(6), 1861-1887.
- Consulting Engineers Arse., 2007. Report Yazd city master plan. Housing and Urban Development Organization of Yazd Province. (in Persian with English abstract)
- Ghadirzadeh, F., Giwehchi, S., Rezaei, M.R., 2017, Resilience study of urban courtyard arteries against natural disasters (earthquake), case example: Yazd city. 2nd International Congress on Civil Engineering Architecture and urban Development, Tabriz, Iran. (in Persian with English abstract)
- Gilvari, S., Hafezi Moqaddas, N., Mazloumi Bejestani, A., Mazhari, S. A., 2014. Environmental Assessment and Location of Yazd Landfill Using Remote Sensing Techniques and Geographic Information System, M.Sc. Thesis, Payame Noor University, Central Mashhad, Iran. (in Persian with English abstract)
- Giovinazzi, S., Marchili, C., Di Pietro, A., Giordano, L., Costanzo, A., La Porta, L., Pollino, M., Rosato, V., Lückerath, D., Milde, K. and Ullrich, O., 2021. Assessing Earthquake Impacts and Monitoring Resilience of Historic Areas: Methods for GIS Tools. *ISPRS International Journal of Geo-Information* 10(7), 461. <https://doi.org/10.3390/ijgi10070461>

- Graizer, V., Kalkan, E., 2016. Summary of the GK15 Ground-Motion Prediction Equation for Horizontal PGA and 5% Damped PSA from Shallow Crustal Continental Earthquakes. *Bulletin of the Seismological Society of America* 106, 687–707. <https://doi.org/10.1785/0120150194>
- Hajjalibeigi, H., Nedayi, M., Samani, B., Aramshian, V., 2018. Structural and geodynamic analysis of Taft fault system, based on geometry and fractal density of its fault system, west and southwest of Yazd, *Journal of Advanced Applied Geology* 27, 95- 105. (in Persian with English abstract with English abstract).
- Heidari Noshahr, M., Nazarian, A., 2011. Investigating the factors affecting marginalization and its reflections, with emphasis on the use of urban services (Case study: Yazd city). *Geographical Journal of the Land* 31, 31-49. (in Persian with English abstract)
- Jafari, M., Nazarpour, A., Charchi, A. and Salehi, R., 2022. Utilization of analytical hierarchy process (AHP) method in identifying seismic risk, case study: Khuzestan Province. *Advanced Applied Geology* 11, 925-941. (in Persian with English abstract) <https://doi.org/10.22055/AAG.2021.35063.2165>
- Jaiswal, K., Wald, D. J., 2010. An Empirical Model for Global Earthquake Fatality Estimation. *Earthquake Spectra* 26(4), 1017–1037. <https://doi.org/10.1193/1.3480331>
- Javidfakhr, B., 2019. Yazd southwest in faulting Active. *Quarterly magazine Tectonics*, 9(3), 81 - 101. (in Persian with English abstract) [HTTPS://DOI.ORG/10.22077/JT.2020.1372](https://doi.org/10.22077/JT.2020.1372)
- Kangi, A., 2015. Application of Warning and Rapid Estimation of Earthquake Damage (WARED) system in unprepared cities case study: Mashhad, north east of Iran). *International Journal of Disaster Risk Reduction* 13. 139-144. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2015.05.004>
- Ma, Z., Guo, S., Deng, X. and Xu, D., 2021. Community resilience and resident's disaster preparedness: evidence from China's earthquake-stricken areas. *Natural Hazards* 108, 567-591. <https://doi.org/10.1007/s11069-021-04695-9>
- Mahajan, S., Hausladen, C.I., Sánchez-Vaquerizo, J.A., Korecki, M. and Helbing, D., 2022. Participatory resilience: Surviving, recovering and improving together. *Sustainable Cities and Society* 83, 103942. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2022.103942>
- Nikpour, A., Lotfi, S., Yarahmadi, M., 2021. Assessing the Resilience of the city Of Noorabad mamassani against Natural disasters (Earthquake). *Journal of Crisis Management* 19, 57- 71. (in Persian with English abstract)
- Panday, S., Rushton, S., Karki, J., Balen, J. and Barnes, A., 2021. The role of social capital in disaster resilience in remote communities after the 2015 Nepal earthquake. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 55, 102112. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2021.102112>
- Poorahmad, A., Ghadami, M., Jahan Mohammadi, G., 2005. A Study of Urban Neighborhood Methods (Case Study: Nowshahr and Kelardasht), *Journals Sarzamin Geographical Quarterly* 8, 37-50. (in Persian with English abstract)
- Rajaei, S.A., Mansourian, H. and Soltani, M., 2021. Spatial analysis of urban resilience against earthquakes Case study: Region 1 of Tehran. *Journal of Sustainable city* 4, 1-13. (in Persian with English abstract t) <https://doi.org/10.22034/JSC.2020.225370.1221>
- Rus, K., Kilar, V., Koren, D., 2018. Resilience assessment of complex urban systems to natural disasters: A new literature review. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 31, 311-330. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2018.05.015>
- Schneider, P.J., Schauer, B.A., 2006. HAZUS-its development and its future. *Natural Hazards Review* 7, 40-44. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1527-6988\(2006\)7:2\(40\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1527-6988(2006)7:2(40))
- Spialek, M.L. and Houston, J.B., 2019. The influence of citizen disaster communication on perceptions of neighborhood belonging and community resilience. *Journal of Applied Communication Research* 47, 1-23. <https://doi.org/10.1080/00909882.2018.1544718>
- Tavakoli, B., Ghafory-Ashtiany, M., 1999. Seismic Hazard Assessment of Iran, *Annali di Geofisica* 42, 1013-1021. (in Persian with English abstract)
- Zangi Abadi, A., Khosravi, F., Sahraiiian, Z., 2011. Extraction of identification indicators of urban worn-out tissue using GIS Case study: Western area of Jahrom city. *Journal of Human Geography Research*. N78. pp 117-136. (in Persian with English abstract)