

Design and Development of Location System Based on Earthquake Damage Estimation in Tehran in ArcGIS

Seyed Ahmad Hosseini*

PhD in Geography and Urban Planning, Sistan and Baluchestan University, Zahedan, Iran

Ali Ramezani

Master of Civil Engineering-Surveying, Spatial Information Systems, Faculty of Engineering, University of Tehran, Iran

Ilya Lali Niat

PhD student in Geography and Urban Planning, Kharazmi University, Iran

Seyed Vafa Hosseini Nejad

Bachelor of Surveying, Faculty of Surveying Engineering, Geographical Organization, Iran

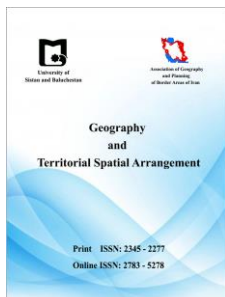


Hosseini, S.A & Ramezani, A, & Lali Niat, I & Hosseini Nejad, S.V (2021). [Design and Development of Location System Based on Earthquake Damage Estimation in Tehran in ArcGIS]. *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 11 (41), 1-24.

doi <http://dx.doi.org/10.22111/GAII.2021.6565>

Article type:
Research Article

Received: 16/02/2021
Revised: 20/04/2021
Accepted: 25/05/2021



ABSTRACT

The speed of relief in the early hours after a major earthquake plays a huge role in reducing earthquake casualties in an urban area. In this study, the design and implementation of a seismic damage estimation system in GIS environment was proposed as a proposed solution to accelerate relief. The design documentation for the system, including two earthquake risk and damage assessment modules, was presented as a tool in the ArcGIS environment, and the implementation was performed using the Python programming language in this environment. The risk module estimates the maximum acceleration and intensity in a network of earthquake points with experimental models. With the resulting map, cities can be prioritized on a small scale in terms of earthquake risk. The damage module calculates the amount of damage to the structure by entering the properties of the structure and using the vulnerability function. The system was implemented for four possible scenarios for the metropolitan area of Tehran and the results showed that with a platform with typical hardware specifications in less than an hour, the damaged areas in this metropolitan area can be identified. These maps will be very effective in two phases of pre-earthquake mitigation and post-earthquake relief.

Keywords:

Damage Estimation,
Earthquake, GIS,
Relief, Crisis
Management.



© the Author(s).

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

Extended Abstract

1- Introduction

Earthquakes, due to their sudden occurrence, have always been the most surprising among other natural disasters in human

societies. A large earthquake can destroy a city in a matter of seconds. In the twentieth century, an average of about 17,000 people were killed each year by major earthquakes (Scawthorn & Chen, 2002; Mohanty et al. 2016). Iran's seismic history shows that, on average, a major earthquake occurs in the region every few years. The effects of these earthquakes indicate the high vulnerability of the country to large earthquakes (Berberian 2014). Logically, the likelihood of rescuing people trapped

*Corresponding Author: Seyed Ahmad Hosseini

E-mail: ahmad.hosseini2011@yahoo.com

under rubble or injured is dramatically reduced in time, and it almost disappears after a few hours. Due to the fact that in the traditional case, the relief process is such that after the earthquake and the location and magnitude of the earthquake, the relief forces are evenly distributed in the settlements around the epicenter. The relief process and the extent of earthquake damage (in the form of field data collection) are done simultaneously. However, depending on the type of soil and the condition of the structures, residential (or non-residential) areas may be more distant than nearby areas. Therefore, the distribution of relief forces and equipment in this type of relief is not optimal, and this wastes the golden time to save human beings. The use of experimental models to estimate the amount of ground movement and damage caused by earthquakes in the first minutes after an earthquake is the solution to this problem.

2- Study Area

Tehran metropolitan area.

3- Material and Methods

The main purpose of this study is to design and develop a location system based on earthquake damage estimation in ArcGIS environment. For this purpose, the maps produced in the seismic rapid response system are divided into two groups: hazard maps and vulnerability maps. Therefore, the system consists of two modules of danger and damage. Here, the purpose of estimating earthquake risk is to produce maximum maps of earth movement due to an earthquake and in general to provide information that is related only to the characteristics of the earthquake, the distance of the site from the earthquake and construction conditions and not the condition of buildings. By implementing the functions of the maximum reduction relationship between movement and intensity in the earthquake risk module, it is possible to generate an earthquake risk map in this module. Damage module estimates the physical damage to the structure based on the physical characteristics of the structure and the amount of ground movement. The vulnerability function is implemented in this module. This function receives the amount of ground motion entering a structure due to an earthquake and the characteristics of the structure as input and uses the available experimental curves to estimate the damage. These types of maps show the amount of damage or the percentage of probability of any type of structural failure.

4- Result and Discussion

After developing the system and implementing it as a tool in the ArcGIS software toolbox, the system was technically evaluated with seismic scenarios. To assess the risk module, three seismic scenarios were considered in the country and to assess the damage module, four possible seismic scenarios were considered for Tehran. Table 1 and Figure 1 show the scenarios used to evaluate the earthquake risk module, along with the timing results and one of the results, respectively. To evaluate the damage module, four seismic scenarios threatening the city and Tehran province were considered. Ruptures in Mosha, South Rey, North Tehran and Parchin faults were selected for this purpose. Damage estimation performance was evaluated in terms of speed and results. Input parameters for module execution include scenario specifications and layer of urban blocks in Tehran province. The characteristics of the scenarios and the time results of the calculations are given in Table 1.

Table 1: Specification table of possible seismic scenarios and results of scenarios

Number	Scenario name	name fault	Coordinates on the center of the earthquake		Great	Model	execution time
1	masha	Fault masha	51,4043	35,9751	7,5	BSSA	56':32"
2	South Ray	Fault South Ray	51,3074	35,5646	6,7	CB	1:05':28"
3	North Tehran	Fault North Tehran	51,0119	35,8120	6,9	CY	1:05':28"
4	parchin	Fault parchin	51,8201	35,4580	7,2	ASK	1:05':28"

5- Conclusion

Due to the seismicity of the country, the necessity of using a seismic damage estimation system by the relief forces seems necessary. Such a system can be applied in two stages of mitigation and relief measures. Execution of the hazard and damage module for a scenario of about 30 minutes prepared a damage map within a radius of 20 km of an earthquake. In the first half hour after an earthquake, this map helps managers and decision makers determine which city (s) or residential area near the earthquake is most at risk. In the next step, damage maps for higher risk cities can be prepared based on the prioritization of residential areas near the earthquake. As shown in the output maps of the implementation of the damage module for the city of Tehran, vulnerable areas in each scenario as well as the central areas of Tehran, which are highly vulnerable in most scenarios are easily identified. Therefore, it can be concluded that the implementation of possible scenarios and stacking of results for different regions of the country can result in vulnerable areas of cities. As a result, in the pre-earthquake stage, the damage assessment system can

be used to identify vulnerable areas in order to prioritize preparedness, renovation and improvement plans.

Keywords: Damage estimation, Earthquake, Geography information system, crisis management, Tehran city

6- References (Persian)

Ebrahimzadeh, I., Kashefidoost, D., Hosseini, A. (2019). Evaluating the Physical Resilience of city against earthquake(case study: Piranshahr city). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 8(20), 131-146.

https://jneh.usb.ac.ir/article_4001_b471766ecd0a1761302263e3dc66e0f9.pdf

Ahad Nejad Roshti, M., Roustaei, S., Kameli far, M. (2015). Assessment of urban road network vulnerability against earthquake by crisis management approach Case study: region1/Tabriz. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 24(95), 37-50.

<http://ensani.ir/file/download/article/20160405114914-9987-210.pdf>

7- References (English)

Abdalla, R., & Esmail, M. (2019). *WebGIS for disaster management and emergency response*. Springer.

<https://citations.springernature.com/book?doi=10.1007/978-3-030-03828-1>

Akbulut, F., Gerdan, S. (2016). An Evaluation of the Infrastructure of Kocaeli Metropolitan Municipality Information Technologies (IT) in Terms of Disaster Management. *Academic Journal of Information Technology (AJIT-E)*, 7(22), 29-42.

DOI: 10.5824/1309-1581.2016.1.002.x.

Andharia, J. (2020). *Blurred Boundaries, Shared Practices: Disaster Studies as an Emerging Discipline and Disaster Management as a Field of Practice*. In *Disaster Studies* (pp. 33-76). Springer, Singapore.

<https://www.springer.com/gp/book/9789813293380>

ASCE (American Society of Civil Engineers). (2016). *Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures*. ASCE standard ASCE/SEI 7-16 (in preparation). Reston, VA: American Society of Civil Engineers.

<http://aghababaie.usc.ac.ir/files/1507119345439.pdf>

Berberian, M. (2014). *Earthquakes and coseismic surface faulting on the Iranian Plateau*. Elsevier, Volume 17, Pages 2-714.

<https://www.sciencedirect.com/bookseries/developments-in-earth-surface-processes/vol/17/suppl/C>

Bilir, S. (2009). *Bir Afet Bilgi ve Meteorolojik Erken Uyarı Sistemi Projesinde Üç Boyutlu Görselleştirme* (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

<https://polen.itu.edu.tr/handle/11527/1728>

Bozorgnia, Y., Abrahamson, N. A., Atik, L. A., Ancheta, T. D., Atkinson, G. M., Baker, J. W., ... & Youngs, R. (2014). NGA-West2 research project. *Earthquake Spectra*, 30(3), 973-987.

<https://doi.org/10.1193/072113EQS209M>

D'Alessandro, A. (2016). Tiny accelerometers create Europe's first urban seismic network, *Eos*, 97.

doi:10.1029/2016EO048403. Published on 17 March 2016.

Demirci, A., & Karakuyu, M. AFET YÖNETİMİNDE COĞRAFİ BİLGİ TEKNOLOJİLERİNİN ROLÜ/ (2014), *The Role of Geographic Information Technologies on Disaster Management*. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 9(12).

<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/26637>

Erden T, Coskun MZ (2010) Multi-criteria site selection for fire services: the interaction with analytic hierarchy process and geographic information systems. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 10(10):2127.

<https://nhess.copernicus.org/articles/10/2127/2010/nhess-10-2127-2010.pdf>

Gerdan, S. (2018). GIS-based Decision-Support System Applications in Disaster Management. *Journal of Management & Economics*, 25(3), PP 961-979.

DOI:10.18657/yonveek.306383

Greene, R. W. (2002). *Confronting catastrophe: A GIS handbook*. ESRI, Inc.

<https://www.amazon.com/Confronting-Catastrophe-Handbook-R-Greene/dp/1589480406>

Izanloo, F., & Yahyaabadi, A. (2018). Determination of Structural Fragility Curves of Various Building Types for Seismic Vulnerability Assessment in the Sarpol-e Zahab City. *Journal of Seismology & Earthquake Engineering*, 20(3).

<https://www.sid.ir/FileServer/JE/86020180301.pdf>

JICA, C. (2000). *The study on seismic microzoning of the Greater Tehran Area in the Islamic Republic of Iran*. Pacific Consultants International Report, OYO Cooperation, Japan, 291-390.

https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/11611761_01.pdf

- Karimzadeh, S., Feizizadeh, B., & Matsuoka, M. (2017). From a GIS-based hybrid site condition map to an earthquake damage assessment in Iran: Methods and trends. *International journal of disaster risk reduction*, 22, 23-36.
DOI: 10.1016/j.ijdr.2017.02.016
- Mohanty, W. K., Mohapatra, A. K., Verma, A. K., Tiampo, K. F., & Kislak, K. (2016). Earthquake forecasting and its verification in northeast India. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(1), 194-214.
<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19475705.2014.883441>
- Nyimbili, P.H., Erden, T., (2018). Spatial decision support systems (SDSS) and software applications for earthquake disaster management with special reference to Turkey. *Nat. Hazards* 90, 1485–1507.
<https://doi.org/10.1007/s11069-017-3089-7>.
- Ostadtaghizadeh, A., Ardalan, A., Paton, D., Jabbari, H., & Khankeh, H. R. (2015). Community disaster resilience: A systematic review on assessment models and tools. *PLoS currents*, 7.
- Sadeghi, M., Ghafory-Ashtiany, M., & Pakdel-Lahiji, N. (2015). Developing seismic vulnerability curves for typical Iranian buildings. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, 229(6), 627-640.
<https://doi.org/10.1177/1748006X15596085>
- Scawthorn, C., & Chen, W. F. (Eds.). (2002). *Earthquake engineering handbook*. CRC press.
<https://doi.org/10.1201/9781420042443>
- Sharma, A.K., Parkash. S., Joshi, V., (2016), *Geographical Information Systems for Disaster Response and Management*, IEEE Workshop on Distributed Systems for Coordinated Disaster Management. At Kolkata, India.
https://www.academia.edu/20081132/Geographical_Information_Systems_for_Disaster_Response_and_Management
- Tafti, M. F., Hosseini, K. A., & Mansouri, B. (2020). Generation of new fragility curves for common types of buildings in Iran. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 3079–3099.
<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10518-020-00811-5>
- Tavakoli, B., & Favakoli, A. (1993). Estimating the vulnerability and loss functions of residential buildings. *Natural hazards*, 7(2), 155-171.
<http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=DESASTRES&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=10173&indexSearch=ID>
- Thomas DS, Cutter SL, Hodgson M, Gutekunst M, Jones S (2003) Use of spatial data and geographic technologies in response to the September 11th terrorist attack on the World Trade Center. *Beyond September 11th: an account of post-disaster research*, pp 147–62.
<https://hazards.colorado.edu/uploads/basicpage/QR%20153.pdf>
- Yomralıoğlu, T. (2000). *Coğrafi Bilgi Sistemleri: Temel Kavramlar ve Uygulamalar*. Akademik Kitabevi, Trabzon.
<https://silo.tips/downloadFile/coraf-blg-sstemler-temel-kavramlar-ve-uygulamalar>

طراحی و توسعه سیستم مکان مبنای تخمین آسیب زلزله در منطقه کلان‌شهری تهران

سید احمد حسینی* (دکترای جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری دانشگاه سیستان و بلوچستان)

علی رمضان‌ی (کارشناس ارشد مهندسی عمران - نقشه‌برداری گرایش سیستم‌های اطلاعات مکانی دانشکده فنی دانشگاه تهران)

ایلیا لعلی نیت (دانشجوی دکترای جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری دانشگاه خوارزمی)

سید وفا حسینی نژاد (کارشناس نقشه‌برداری دانشکده فنی نقشه‌برداری سازمان جغرافیایی)

چکیده

سرعت امداد رسانی در ساعات اولیه پس از یک زلزله بزرگ، نقش بسیار زیادی در کاهش تلفات زلزله در یک منطقه شهری دارد. در این پژوهش طراحی و پیاده‌سازی یک سیستم تخمین آسیب لرزه‌ای در محیط GIS به‌عنوان راهکار پیشنهادی برای تسریع امداد رسانی مطرح شد. مستندات طراحی سیستم مورد نظر شامل دو ماژول تخمین خطر و آسیب زلزله به‌عنوان ابزاری در محیط ArcGIS ارائه شد و پیاده‌سازی نیز با استفاده از زبان برنامه‌نویسی پایتون در این محیط انجام شده است. ماژول خطر بیشینه شتاب و شدت را در یک شبکه از نقاط در اثر زلزله با مدل‌های تجربی تخمین می‌زند. با نقشه حاصل از این ماژول می‌توان شهرها را در یک مقیاس کوچک از لحاظ معرضیت خطر زلزله اولویت‌بندی کرد. ماژول آسیب با ورود ویژگی‌های سازه و با استفاده از تابع آسیب‌پذیری میزان آسیب وارد به سازه را محاسبه می‌کند. سیستم برای چهار سناریوی محتمل برای منطقه کلان‌شهری تهران اجرا شد و نتایج نشان داد که با یک پلتفرم با مشخصات سخت‌افزاری معمولی در کمتر از یک ساعت می‌توان مناطق آسیب‌دیده در این منطقه کلان‌شهری را تشخیص داد. این نقشه‌ها در دو مرحله اقدامات کاهش‌دهنده پیش از زلزله و امداد رسانی پس از زلزله کاربرد بسیار مؤثری خواهند داشت.

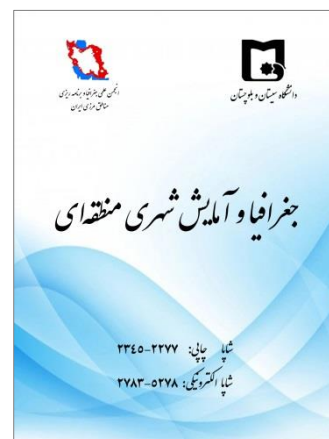
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۲۸ بهمن ۱۳۹۹

تاریخ بازنگری: ۳۱ فروردین ۱۴۰۰

تاریخ پذیرش: ۴ خرداد ۱۴۰۰

صفحات: ۱-۲۴



کلید واژه‌ها:

تخمین آسیب، زلزله، سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، امداد رسانی، مدیریت بحران.

* نویسنده مسئول: دکتر سید احمد حسینی

پست الکترونیک: ahmad.hosseini2011@yahoo.com

مقدمه

بیانگر آسیب پذیری زیاد کشور در برابر زلزله های بزرگ است (Berberian, 2014: 34). فاصله زمانی چندین ساله بین زلزله های بزرگ در کشور نیز غافل گیری این رخداد طبیعی در کشور را نسبت به سایر مناطق لرزه خیز جهان پراهمیت تر می کند. براین اساس در زمان وقوع یک زلزله در یک ناحیه شهری، عملیات امداد سریع می تواند باعث کاهش تعداد قربانیان شود. از لحاظ منطقی احتمال نجات افراد محبوس زیر آوار یا افراد زخمی به صورت نمایی در زمان کاهش پیدا می کند و تقریباً بعد از چندین ساعت این احتمال از بین می رود. بخش برنامه ریزی دپارتمان مقابله در برابر آتش سوزی توکیو بیان می کند که عملیات نجات در عرض سه ساعت مطلوب است و نرخ زنده ماندن به طرز قابل توجهی بعد از ۷۲ ساعت کاهش پیدا می کند. این مدت زمان به زمان طلایی امداد و نجات معروف است. زلزله های گذشته مانند زلزله ۶/۶ ریشتر بم در سال ۲۰۰۳ این ارزیابی را تأیید می کند. در اثر این زلزله با وجود ۱۶۰۰ امدادگر، بیشتر از ۴۳۰۰۰ نفر کشته شدند. نتیجه غم انگیز این زلزله نشان می دهد که بسیاری از امدادگران تا سه روز بعد از زلزله به محل بسیاری از مصدومان نرسیدند (D'Alessandro, 2016: 16). با توجه به اینکه در حالت سنتی فرایند امداد رسانی بدین شکل است که پس از وقوع زلزله و اعلام موقعیت مکانی و بزرگای زلزله، نیروهای امداد رسان به طور یکنواخت در سکونت گاه های اطراف مرکز زلزله توزیع می شوند. فرایند امداد رسانی و میزان آسیب ناشی از زلزله (به صورت جمع آوری اطلاعات میدانی) همزمان انجام می شود. این در حالی است که با توجه به جنس خاک و وضعیت سازه ها، ممکن است مناطق مسکونی (یا غیر مسکونی) دورتر، نسبت به مناطق نزدیک تر بیشتر آسیب دیده باشند؛ بنابراین توزیع نیروهای امدادگر و تجهیزات در این نوع امداد رسانی بهینه نیست و این مسئله موجب هدر رفتن زمان طلایی برای

بلایای طبیعی پتانسیل ایجاد بحران های بزرگ را به دلیل ضعف در برنامه ریزی و آسیب پذیری بالای جوامع انسانی دارا هستند (Andharia, 2020: 33). مخاطرات طبیعی در بسیاری از موارد تأثیرات مخربی بر جوامع انسانی می گذارد و پیامدهای وقوع این پدیده ها، بروز تغییرات در شرایط زیست محیطی است که به نوبه خود به گسسته شدن روند زندگی عادی مردم و بروز تأثیرات مخرب بر سکونتگاه هایشان می انجامد و خسارات اقتصادی و اجتماعی گسترده ای را بر جوامع تحمیل می کند (ابراهیم زاده و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۳۱). در سال های اخیر، مدیریت بحران از نگرش سنتی مبتنی بر توجه به مرحله بعد از بحران و در جهت کاهش تلفات انسانی، به نگرش های دیگری نظیر پیش بینی و آمادگی در برابر بحران روی آورده است (Ostadtaghizadeh et al, 2015: 7). درحقیقت مدیریت بحران، نگاه برنامه ریزانه و سیاست گذاری استراتژیک در جهت مواجهه با بحران های طبیعی و انسانی است که نیازمند آگاهی و نگرش مناسب به رویداد بحران و نحوه مواجهه با آن است. در این راستا تعامل و تبادل اطلاعات بین سازمان ها و بستر مورد مطالعه یا درگیر با بحران به خصوص در حین و بعد از بحران بسیار حائز اهمیت قلمداد شده است (احد نژاد و همکاران، ۱۳۹۴: ۳۸). زلزله نیز به دلیل وقوع ناگهانی، همواره بیشترین غافلگیری را در بین سایر حوادث طبیعی در جوامع بشری به همراه داشته است. یک زلزله بزرگ می تواند در چندین ثانیه موجب ویرانی یک شهر شود. در قرن بیستم به طور میانگین در حدود ۱۷۰۰۰ نفر در سال بر اثر زلزله های بزرگ کشته شدند (Scawthorn & Chen, 2002: 45; Mohanty et al.) 195 (2016). تاریخ لرزه های ایران نشان می دهد که به طور میانگین هر چند سال یکبار یک زلزله بزرگ در این منطقه اتفاق می افتد. اثرات ناشی از این زلزله ها

پشتیبانی می‌کند (Thomas et al. 2003: 64)
 Nyimbili and Erden, 2018: 1586). به‌طور کلی
 کاربرد GIS در این سیستم‌ها برای مدیریت بحران در
 سه مرحله زیر خلاصه می‌شود:

○ **قبل از حادثه:** موقعیت‌یابی مناطق در معرض
 ریسک، تعیین انواع حوادث منطقه‌ای، زمان و مدت
 زمان، تعیین سازه‌های خاص و زیرساخت‌هایی که
 ممکن است تحت تأثیر قرار بگیرند، تعیین امکانات و
 مناطق مورد نیاز (آب آشامیدنی) که ممکن است در
 طول حادثه مورد استفاده قرار بگیرند، برنامه‌ریزی
 پناهگاه‌ها و منابع غذایی.

○ **در حین حادثه:** GIS بعد از موقعیت‌یابی حادثه و
 نواحی تحت تأثیر، محل مدیریت اقدامات جست‌وجو،
 نجات و کمک‌های اولیه را ارائه می‌کند (مانند تعیین
 ساختمان‌ها، تأسیسات صنعتی و راه‌های آسیب‌دیده یا
 تخریب‌شده).

○ **بعد از حادثه:** GIS می‌تواند نقش مهمی در
 ارزیابی آسیب‌ها و تأمین نیازهای برنامه‌ریزی پس از
 حادثه ایفا کند (Akbulut and Gerdan, 2016: 32;
 Sharma et al., 2016:42; GERDAN, S . 2018: 963

سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در بحران

سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) با ارائه
 تحلیل‌ها و داده‌هایی که در برنامه‌ریزی واکنش در برابر
 حوادث مورد استفاده قرار می‌گیرند، می‌توانند ابزار
 مهمی برای هدف کاهش آسیب‌های واردآمده در حین
 حوادث باشند (Abdalla, & Esmail, 2019: 978).
 به‌طور کلی دلایل استفاده از GIS در مدیریت حوادث
 به کنترل خرابی‌ها، کاهش اثرات حادثه، حفظ جان و
 منابع خلاصه می‌شوند (GERDAN, 2018: 979;
 Demirci & Karakuyu, 2014: 69; Greene, 2002:
 342; Bilir, 2009: 53; Yomralioğlu, 2000: 43).

نجات انسان‌ها می‌شود. واضح است که اگر مدیران
 نقشه‌های آسیب ناشی از زلزله را بلافاصله پس از وقوع
 در اختیار داشته باشند، به راحتی قادر خواهند بود
 عملیات امداد و نجات را به حالت بهینه مدیریت کنند؛
 اما تولید نقشه‌های آسیب از راه جمع‌آوری اطلاعات
 میدانی موجب ازدست‌رفتن زمان می‌شود. استفاده از
 مدل‌های تجربی برای تخمین میزان جنبش زمین و
 آسیب ناشی از زلزله را در دقایق اولیه پس از زلزله راه
 حل این موضوع است. واضح است که این مدل‌ها
 به دلیل ماهیت تجربی‌شان، دقت کمتری نسبت به
 اطلاعات میدانی دارند؛ اما تنها با استفاده از این مدل‌ها
 است که می‌توان نقشه‌های خطر و آسیب را بلافاصله
 پس از وقوع زلزله در اختیار داشت و بهترین راه‌حل
 برای برنامه‌ریزی اولیه هستند. به طبع با گذشت زمان،
 این نقشه‌ها با اطلاعات میدانی تدقیق می‌شوند؛
 بنابراین طراحی و پیاده‌سازی یک سیستم تخمین
 آسیب لرزه‌ای به عنوان راه‌حل برای مسئله مطرح‌شده
 در اینجا پیشنهاد می‌شود.

مبانی نظری

فعالیت‌های مدیریت حوادث براساس زمان و کاربرد در
 شرایط اضطرار برای همهٔ بلایا به چهار مرحله تقسیم
 می‌شوند. این چهار مرحله چرخه مدیریت بحران را
 تشکیل می‌دهند. به دلیل اینکه هر مرحله از چرخه
 مدیریت بحران از لحاظ مکانی و جغرافیایی
 به هم پیوسته^۱ است، GIS می‌تواند به عنوان یک ابزار
 قدرتمند با هدف تحلیل مورد استفاده قرار بگیرد
 (Erden and Coskun, 2010: 2128). تکنولوژی‌های
 مکانی به عنوان مرکز چرخه مدیریت حادثه و بحران
 هستند و GIS ابزاری است که برای انجام ارزیابی و
 تحلیل پدیده‌های جغرافیایی فرایند تصمیم‌گیری را

1 Inter-related

• شدت آسیب ناشی از زلزله در مناطق مختلف چگونه است؟

دو ماژول^۲ خطر و آسیب در سامانه برای پاسخ به این دو مسئله در نظر گرفته می‌شوند. ماژول‌ها در اینجا قسمت‌هایی جدا از هم هستند که هر کدام یک وظیفه مشخص را انجام می‌دهند. انجام وظایف ماژول‌ها به یکدیگر وابسته نیست و خللی نیز در کار وارد نمی‌کنند. در اینجا هر ماژول در قالب یک ابزار در محیط ArcGIS پیاده‌سازی می‌شود. ماژول خطر و آسیب به شکل مستقل با دریافت ورودی‌ها به ترتیب نقشه خطر نقشه آسیب را تولید می‌کنند. در ابتدا معماری کلی نرم‌افزار براساس این دو ماژول در قالب نمودار جریان داده طراحی می‌شود. در ادامه جزئیات محاسباتی توابع معرفی شده در نمودار جریان داده، تشریح و به عبارت دیگر نرم‌افزار در سطح الگوریتمی ارائه خواهد شد.

در شکل ۱. نمودار جریان داده سامانه پاسخ سریع لرزه‌ای در سطح صفر

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

در سطح صفر نمودار جریان داده، دو ماژول سامانه و ارتباط آن‌ها با یکدیگر نشان داده شده است. همه داده‌های ورودی و خروجی ماژول‌های مختلف که در نمودار جریان داده شکل ۱. نمودار جریان داده سامانه پاسخ سریع لرزه‌ای در سطح صفر

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

آمده‌اند، به صورت زیر تعریف می‌شوند:

- **مشخصات زلزله:** ساختار داده‌ای شامل بزرگای گشتاوری، موقعیت مکانی (طول و عرض ژئودتیکی) و عمق
- **لایه خطر:** شبکه‌ای از نقاط هدف که بیشینه جنبش (شتاب) زمین و شدت زلزله را در هر نقطه به صورت فیلد اطلاعاتی ذخیره کرده است.

مدیریت داده مکانی، نمایش، پرس‌وجو^۱، تغییر و خروجی داده‌های مکانی از کاربردهای سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی هستند. فعالیت‌های مدیریت حوادث به مراحل پیش‌بینی، پیشگیری، اقدامات کاهش، مدیریت بحران و ریکاوری تقسیم می‌شوند. تصمیم‌گیری بهتر، کاهش هزینه، امکان انجام تحلیل‌های پیشرفته، برنامه‌ریزی مؤثر، ارتباطات و همکاری بهتر از مزایای استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در مدیریت حوادث به‌شمار می‌روند. نقش‌های این سیستم‌ها در مدیریت حوادث عبارت‌اند از:

- در دسترس بودن داده‌های دقیق
- مکان دقیق سایت در کم‌ترین زمان ممکن
- اطلاعات دسترسی بین مبدأ و مقصد
- نمایش آنی منطقه مورد نظر
- کاهش زمان انجام فعالیت‌ها (Abdalla, & Esmail, 2018: 979)

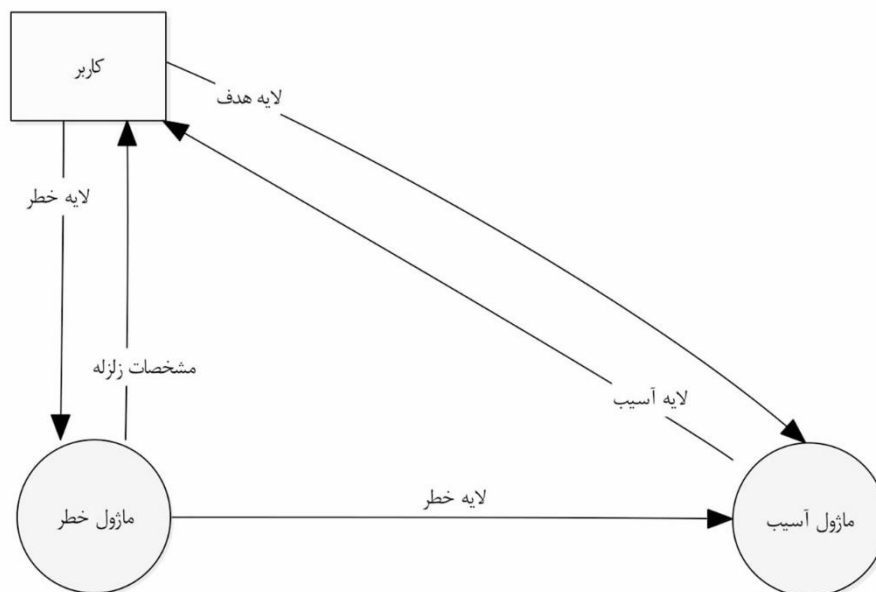
باتوجه به مزایای استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در مدیریت بحران، می‌توان نتیجه گرفت یکی از بهترین بسترها برای پیاده‌سازی ابزارهای تخمین آسیب محیط، GIS است. در اینجا محیط ArcGIS برای پیاده‌سازی ابزار تخمین آسیب زلزله انتخاب شده است.

معماری و اجزای سیستم تخمین آسیب لرزه‌ای هر نرم‌افزار یک راه‌حل برای حل یک یا چند مسئله محسوب می‌شود؛ بنابراین در گام نخست و پیش از طراحی نرم‌افزار باید مسئله تخمین آسیب به‌خوبی بیان شود. به‌طور مشخص در اینجا می‌توان دو زیرمسئله (نیاز) برای مدیریت بحران بلافاصله پس از وقوع یک زلزله در نظر گرفت:

- خطر زلزله چه محدوده‌ای را پوشش می‌دهد؟

• **لایه آسیب:** لایه هدف که احتمال خرابی به صورت فیلدهای اطلاعاتی در قالب فیلدهای اطلاعاتی به آن اضافه شده است.

• **لایه هدف:** لایه اطلاعات مکانی سازه‌ها به همراه مشخصات فیزیکی شامل سال ساخت، تعداد طبقات، نوع سازه و کیفیت ساخت



شکل ۱. نمودار جریان داده سامانه پاسخ سریع لرزه‌ای در سطح صفر

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

جنبش و شدت برای برآورد خطر زلزله و تابع آسیب‌پذیری برای برآورد آسیب زلزله مورد استفاده قرار می‌گیرند.

• **تابع رابطه کاهندگی:** بیشینه جنبش زمین: این تابع براساس روابط تجربی کاهندگی بیشینه جنبش زمین در نقطه نقطه لایه خطر را محاسبه می‌کند. ورودی این تابع مشخصات زلزله و یک شبکه از نقاط است و خروجی آن میزان جنبش زمین در هر یک از این نقاط خواهد بود.

• **رابطه شدت زلزله:** عملکرد این تابع مانند رابطه کاهندگی جنبش زمین است با این تفاوت که رابطه تجربی استفاده شده در این تابع مقدار شدت زلزله را در نقاط شبکه، روی لایه خطر محاسبه می‌کند.

• **تابع آسیب‌پذیری:** این تابع میزان جنبش زمین وارد به یک سازه در اثر یک زلزله و مشخصات سازه‌ای

در اینجا منظور از برآورد خطر زلزله، تولید نقشه‌های بیشینه جنبش زمین در اثر یک زلزله و به‌طور کلی ارائه اطلاعاتی است که تنها به خصوصیات زلزله، فاصله سایت از زلزله و شرایط ساختگاهی مربوط می‌شود و به وضعیت ساختمان‌ها ارتباطی ندارد.

هدف اصلی از تولید لایه خطر، نمایش نحوه توزیع مکانی خطر بدون در نظر گرفتن عوامل دیگر است. ماژول خطر با در نظر گرفتن شبکه‌ای از نقاط متراکم دو معیار بیشینه جنبش (شتاب) زمین و شدت زلزله را در هر نقطه محاسبه و به صورت فیلدهای اطلاعاتی به آن‌ها اضافه می‌کند. منظور از آسیب نیز در اینجا میزان آسیب فیزیکی وارد به سازه‌هاست. ماژول آسیب براساس مشخصات فیزیکی سازه و میزان جنبش زمین آسیب فیزیکی وارد به سازه را تخمین می‌زند؛ بنابراین سیستم تخمین آسیب برای انجام کامل وظایف خود به سه تابع زیر نیاز دارد. توابع رابطه کاهندگی بیشینه

را به عنوان ورودی دریافت می‌کند و از منحنی‌های تجربی موجود برای برآورد آسیب استفاده می‌کند.

روش تحقیق

شالوده مطالعه با توجه به موضوع و اهداف پژوهش، ترکیبی از روش‌های توصیفی، تحلیلی و ماهیت آن کاربردی است که در روش‌های توصیفی تنها به تشریح و توصیف جنبه‌های مختلف یک مسئله به‌طور کلی پرداخته می‌شود. به ریشه‌یابی و تحلیل عوامل مؤثر بر مسئله و شناسایی عناصر و اجزای تشکیل‌دهنده مسئله توجه نمی‌شود. در روش تحلیلی، مسئله و موضوع تحقیق شناسایی و مورد تجزیه و تحلیل دقیق و عمیق قرار می‌گیرد. روش تحقیق در این موضوع از طریق اسناد و دیدگاه‌های مدون علمی، مقالات و کتاب‌ها صورت می‌گیرد. تحقیقات کاربردی، تحقیقاتی هستند که نظریه‌ها، قانونمندی‌ها، اصول و فنونی که در تحقیقات پایه تدوین می‌شوند را برای حل مسائل اجرایی و واقعی به کار می‌گیرند. براین اساس هدف اصلی این مطالعه طراحی و توسعه سیستم مکان بنای تخمین آسیب زلزله در محیط ArcGIS است. بدین منظور سامانه نقشه‌های تولیدشده در سامانه پاسخ سریع لرزه‌ای در سه گروه نقشه‌های خطر، نقشه‌های معرضیت و نقشه‌های آسیب (پذیری) تقسیم‌بندی می‌شوند. درنهایت با توجه به سناریوهای چهارگانه، نقشه آسیب فیزیکی سازه‌ها در سطح منطقه کلان شهری تهران تهیه شد. این نوع نقشه‌ها میزان آسیب یا درصد احتمال هر نوع خرابی سازه‌ها را نشان می‌دهند. در این مطالعه در جهت ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای ساختمان‌ها برای زلزله محتمل، بعد از بررسی دقیق داده‌های ارائه‌شده یک طبقه‌بندی مناسب از ساختمان‌ها ایجاد شد. این طبقه‌بندی به گونه‌ای است که علی‌رغم محدودیت و کمبود داده‌های دقیق از خصوصیات ساختمان‌ها، اکثر پارامترهای مؤثر در رفتار

لرزه‌ای آن‌ها را پوشش دهد. سپس منحنی‌های شکنندگی (آسیب‌پذیری) متناسب با آن‌ها انتخاب شده و به هر دسته تخصیص داده شد. در ادامه خلاصه‌ای از مراحل و روند انجام کار ارائه شده است.

یافته‌های تحقیق

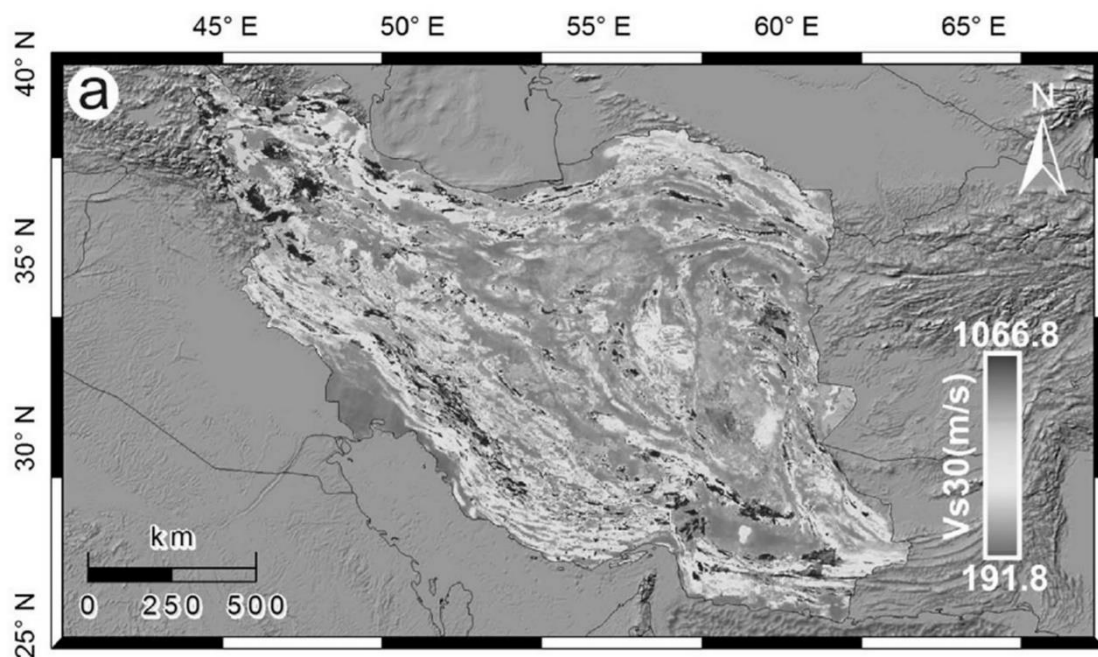
هرساله تعداد زیادی زمین‌لرزه در نقاط مختلف زمین رخ می‌دهد که خسارات اقتصادی و آسیب‌های جانی زیادی به جا می‌گذارد. بخشی از این حجم بالای خسارت به دلیل عدم قطعیت‌های مرتبط با زلزله، مانند شدت، زمان وقوع، مشخصات ساختگاه و بخشی دیگر نیز به علت ضعف‌های مربوط به روش‌های تحلیل و طراحی سازه‌ها، کیفیت مصالح، روش‌های ساخت و ساز و... است؛ بنابراین تعیین عملکرد لرزه‌ای ساختمان‌ها در جهت برآورد و ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای و خطرات مرتبط با آن امری ضروری است. ارزیابی آسیب‌پذیری لرزه‌ای را می‌توان به صورت برآورد احتمال خسارات مورد انتظار در اثر زلزله محتمل در منطقه مورد مطالعه تعریف کرد. استفاده از روش‌های احتمالاتی مبتنی بر مفاهیم شکنندگی به منظور آنالیز و کنترل خسارت‌های احتمالی ساختمان‌های موجود در برابر زلزله‌های آینده و در نظر گرفتن عدم قطعیت‌های موجود در آن یک روش پرکاربرد است. در این روش رفتار احتمالاتی سازه توسط منحنی‌های شکنندگی (و توابع آسیب‌پذیری) بیان می‌شود که در آن احتمال خسارت ناشی از زمین‌لرزه را به عنوان تابعی از مشخصه‌های حرکت زمین بیان می‌کنند.

برآورد خطر زلزله

یکی از عوامل مهم در جنبش وارد به سازه، اثر خاک (شرایط ساختگاهی) است؛ بنابراین برآورد خطر زلزله نیازمند دو مهم رابطه کاهندگی و شرایط ساختگاهی است. در این زمینه یکی از مطالعات خوب انجام‌شده

برای کل کشور، مطالعه کریمزاده و همکاران (۲۰۱۷) است. در این مطالعه از نقشه‌های زمین‌شناسی کشور و نقشه‌های توپوگرافی استفاده شده است. نتیجه این کار نقشه ترکیبی سرعت موج برشی است (شکل ۲). براساس ادعای این مطالعه، این نقشه گزینه مناسبی برای پیش‌بینی شتاب روی سطح خاک است (Karimzadeh et al. 2017: 25). در پژوهش حاضر نوع خاک و ضریب تقویت خاک با توجه به نقشه ترکیبی سرعت موج برشی کریمزاده و همکاران براساس آیین‌نامه ASCE 2016 (جدول ۱ و جدول ۲ تعیین شدند (ASCE, 2016: 157).

شکل ۲. نقشه ترکیبی میانگین سرعت موج برشی در عمق ۳۰ متر (Karimzadeh et al. 2017: 34)



جدول ۱. طبقه‌بندی نوع خاک براساس استاندارد ASCE 2016

کلاس خاک	میانگین سرعت موج برشی در عمق ۳۰ متر بر حسب متر بر ثانیه (Vs30)
نوع A	>1524
نوع B	762-1524
نوع C	365.76-762
نوع D	182.88-365.76
نوع E	<182.88

(ASCE, 2016: 67)

جدول ۲. جدول تبدیل بیشینه شتاب وارد به خاک به ضریب تقویت خاک در استاندارد ASCE 2016 (ASCE, 2016)

کلاس خاک	$PGA \leq 0.1$	$PGA = 0.2$	$PGA = 0.3$	$PGA = 0.4$	$PGA = 0.5$	$PGA \geq 0.6$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
C	1.3	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
D	1.6	1.4	1.3	1.2	1.1	1.1
E	2.4	1.9	1.6	1.4	1.2	1.1

(ASCE, 2016: 67)

استفاده از چهار رابطه، قابلیت اطمینان را افزایش خواهد داد. روابط کاهندگی با زبان برنامه‌نویسی پایتون و به صورت شیء‌گرا در چهار کلاس با نام‌های ASK, BSSA, CB و CY پیاده‌سازی شد. این کلاس‌ها همان چهار مدل روابط کاهندگی پروژه NGA west 2 هستند. برای تحلیل‌های مکانی نیز از کتابخانه Arcpy استفاده شد. در نهایت فایل کد آماده‌شده به ابزار ایجادشده در ArcGIS اضافه می‌شود.

به دلیل تخمینی بودن روابط کاهندگی، بهتر است که به جای استفاده از یک رابطه برای تخمین جنبش زمین، از چندین رابطه استفاده شود. در این پژوهش چهار رابطه کاهندگی جدول ۳، ارائه شده در پروژه تحقیقاتی (2014) NGA west 2 انتخاب شدند (Bozorgnia et al. 2014: 975). بانک داده‌های لرزه‌ای این پروژه جهانی است؛ در نتیجه اطلاعات زیادی در توسعه این روابط به کار گرفته شده‌اند. همچنین

جدول ۳. روابط کاهندگی استفاده‌شده در پروژه NGA west 2 (2014)

روابط کاهندگی	علامت اختصاری
Abrahamson, Silva, and Kamai	ASK
Boore, Stewart, Seyhan, and Atkinson	BSSA
Campbell and Bozorgnia	CB
Chiou and Youngs	CY

(Bozorgnia et al. 2014: 977)

با توجه به اقلام اطلاعاتی موجود در داده‌های سرشماری، انواع ساختمان‌ها در این منبع داده به صورت جدول ۴ برچسب‌گذاری شدند. برچسب‌ها قراردادی هستند و با توجه به مطالعات گذشته در این زمینه برای نمایش مختصر اطلاعات سازه‌ای از سه قسمت تشکیل شده‌اند (Sadeghi et al. 2015: 628; Izanloo & Yahyaabadi, 2018: 94; JICA, 2000: 43; Tavakoli & Favakoli, 1993: 157; Tafti et al. 2020: 3089) قسمت اول بیانگر نوع سازه، قسمت دوم بیانگر ارتفاع سازه و قسمت سوم بیانگر کیفیت ساخت است؛ به‌عنوان مثال ST-MR-MQ نشان‌دهنده ساختمان

برآورد آسیب زلزله

در این پژوهش از داده‌های بلوک‌های ساختمانی سرشماری استفاده شده است. جامعیت مکانی، دارا بودن اطلاعات جمعیتی و به‌روزرسانی منظم، دلایل استفاده از داده‌های سرشماری برای تخمین آسیب هستند. این دلایل موجب می‌شوند که اجرای ماژول تخمین آسیب در زمان بحران به داده‌های محلی و غیرهمسان وابسته نباشد و این امر تصمیم‌گیری در زمان بحران را تسهیل و قابلیت اطمینان به نتایج را افزایش می‌دهد.

سرشماری کیفیت ساخت و تعداد طبقات صراحتاً عنوان نشده است؛ بنابراین هر کدام از انواع اسکلت فلزی و بتنی که سازه‌های میان مرتبه و بلندمرتبه و با کیفیت‌های متفاوت دارند، به چند گروه تقسیم شدند.

اسکلت فلزی میان مرتبه با کیفیت ساخت متوسط است. در جدول ۴ با توجه به کلی بودن اقلام اطلاعاتی در داده‌های سرشماری، برخی اقلام می‌توانند در چندین دسته ساختمانی جای بگیرند. در داده‌های

جدول ۴. جدول برچسب‌گذاری ساختمان‌ها

برچسب (به اختصار)	توضیح (انگلیسی)	توضیح (فارسی)	عنوان قلم در داده سرشماری
ST_MR_LQ	Steel Medium Rise Low Quality	فلزی میان مرتبه کیفیت پایین	نوع اسکلت فلزی
ST_MR_MQ	Steel Medium Rise Medium Quality	فلزی میان مرتبه کیفیت متوسط	
ST_HR_LQ	Steel High Rise Low Quality	فلزی بلندمرتبه کیفیت پایین	
ST_HR_MQ	Steel High Rise Medium Quality	فلزی بلندمرتبه کیفیت متوسط	
RC_MR_LQ	Reinforced Concrete Medium Rise Low Quality	بتنی میان مرتبه کیفیت پایین	نوع اسکلت بتون‌آرمه
RC_MR_MQ	Reinforced Concrete Medium Rise Medium Quality	بتنی میان مرتبه کیفیت متوسط	
RC_HR_LQ	Reinforced Concrete High Rise Low Quality	بتنی بلندمرتبه کیفیت پایین	
RC_HR_MQ	Reinforced Concrete High Rise Medium Quality	بتنی بلندمرتبه کیفیت متوسط	
BS ¹	Brick & Steel	آجر و آهن	مصالح آجر و آهن
BW	Brick & Wood	آجر و چوب	مصالح آجر و چوب
CB	Cement Block	بلوک سیمانی	مصالح بلوک سیمانی
BStn	Brick & Stone	آجر و سنگ	مصالح تمام آجر یا سنگ و آجر
AW	All Wood	چوبی	مصالح تمام چوب
A	Adobe	خشتی	مصالح خشت و چوب
A	Adobe	خشتی	مصالح خشت و گل

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

1 Brick & Steel

با توجه به اینکه آسیب باید برای بلوک‌های شهری محاسبه شود، آسیب برای هر نوع ساختمان در یک بلوک شهری تخمین زده می‌شود و سپس با وزن تعداد نوع ساختمان در بلوک، میانگین وزندار آسیب‌ها محاسبه و به‌عنوان عدد آسیب بلوک شهری به بلوک نسبت داده می‌شود. رابطه ۱ نحوه محاسبه آسیب بلوک‌های شهری در یک سناریو است. در رابطه ۱ $damage_i$ آسیب بلوک شماره i ، d_i^j آسیب ساختمان نوع j در بلوک شماره i ، n_i^j تعداد ساختمان‌های نوع j در بلوک شماره i و $types$ تعداد دسته‌بندی ساختمان‌ها را نشان می‌دهند.

$$damage_i = \frac{\sum_{j=1}^{types} n_i^j \times d_i^j}{\sum_{j=1}^{types} n_i^j}$$

جدول ۵. منابع و منحنی‌های اختصاص داده شده به گونه‌های ساختمانی

نام منحنی در منبع	منبع منحنی	برچسب گونه ساختمانی
Adobe	JICA, 2000	A
Cement Block	JICA, 2000	CB
Brick and Steel	JICA, 2000	BS
All Wood	JICA, 2000	AW
Cement Block	JICA, 2000	BW
Cement Block	JICA, 2000	BStn
RC_LR_LQ	Tafti et al.2020	RC_LR_LQ
RC_LR_MQ	Tafti et al.2020	RC_LR_MQ
RC_MR_MQ	Tafti et al.2020	RC_MR_MQ
RC_LR_HQ	Tafti et al.2020	RC_LR_HQ
RC_MR_HQ	Tafti et al.2020	RC_MR_HQ
RC_HR_HQ	Tafti et al.2020	RC_HR_HQ
ST_LR_LQ	Tafti et al.2020	ST_LR_LQ
ST_MR_LQ	Tafti et al.2020	ST_MR_LQ
ST_LR_MQ	Tafti et al.2020	ST_LR_MQ
ST_MR_MQ	Tafti et al.2020	ST_MR_MQ
ST_HR_MQ	Tafti et al.2020	ST_HR_MQ
ST_LR_HQ	Tafti et al.2020	ST_LR_HQ
ST_MR_HQ	Tafti et al.2020	ST_MR_HQ
ST_HR_HQ	Tafti et al.2020	ST_HR_HQ

(JICA, 2000: 34; Tafti et al. 2020: 3081)

در این پژوهش پنج منبع برای بررسی توابع آسیب‌پذیری انتخاب شدند. پوشش انواع مختلف سازه‌های موجود در کشور مانند بناهای خشت و گل که در زلزله‌های گذشته مدل شدند و سازه‌های جدید که در منابع جدید و با استفاده از زلزله‌های اخیر مورد بررسی قرار گرفتند، دلیل بررسی منابع متفاوت برای انتخاب تابع آسیب‌پذیری مناسب است. براساس همین منطق برای ساختمان‌های بدون اسکلت فلزی و بتنی بهترین گزینه منبع جایکا است (JICA, 2000: 21)؛ زیرا منحنی‌های جایکا براساس چنین ساختمان‌هایی در سال ۲۰۰۰ در زلزله‌های پیشین توسعه داده شدند. شامل شدن زلزله‌های اخیر مانند زلزله سرپل‌ذهاب نیز می‌تواند معیار انتخاب تابع آسیب‌پذیری برای ساختمان‌های جدید و اسکلتی محسوب شود؛ بنابراین برای این ساختمان‌ها منحنی‌های آخرین مطالعه، یعنی پژوهش تفتی و همکاران (۲۰۲۰) انتخاب شد (Tafti et al. 2020: 3080). در انتخاب منحنی با توجه به فراوانی بیشتر ساختمان‌های میان‌مرتبه، ساختمان‌های اسکلت‌دار همگی از نوع میان‌مرتبه فرض شدند. همچنین با یک نگاه دوجانبه محافظه‌کارانه و واقع‌بینانه، کیفیت ساخت ساختمان‌ها نیز متوسط در نظر گرفته شد. براساس این فرضیات، منحنی‌ها از منابع انتخاب و به هر گروه از ساختمان‌ها اختصاص داده شد. به دلیل تعداد خیلی کم دو نوع ساختمان BW و BStn در زلزله‌های گذشته در منابع، منحنی نزدیکی رفتار این دو نوع سازه به CB، این منحنی برای این دو گونه انتخاب شدند. نزدیکی رفتار این دو گونه به CB و تعداد خیلی کم این دو سازه‌ها اثر این تقریب را قابل چشم‌پوشی می‌کند. جدول ۵ منحنی‌های آسیب‌پذیری، منابع آن‌ها و ساختمان‌های اختصاص داده شده به آن‌ها را نشان می‌دهد.

ارزیابی فنی سیستم

هدف از این بخش، ارزیابی علمی سامانه نیست، زیرا در این پژوهش هیچگونه رابطه تجربی و مدلی توسعه داده نشده است. در این بخش فقط ارزیابی فنی و اجرایی مورد نظر است. در نتیجه تخمین‌ها برای سه سناریو با شرایط جدول ۷ اجرا شدند. در اجرای ماژول خطر منظور از فاصله مؤثر شعاع انجام تخمین خطر و آسیب به مرکزیت رومرکز زلزله است. شرایط و نتایج اجرای محاسبات در جدول ۷ و جدول ۲ و

شکل ۳، ۴ و ۵ آمده است.

جدول ۶. مشخصات سخت‌افزاری و نرم‌افزاری سیستم میزبان

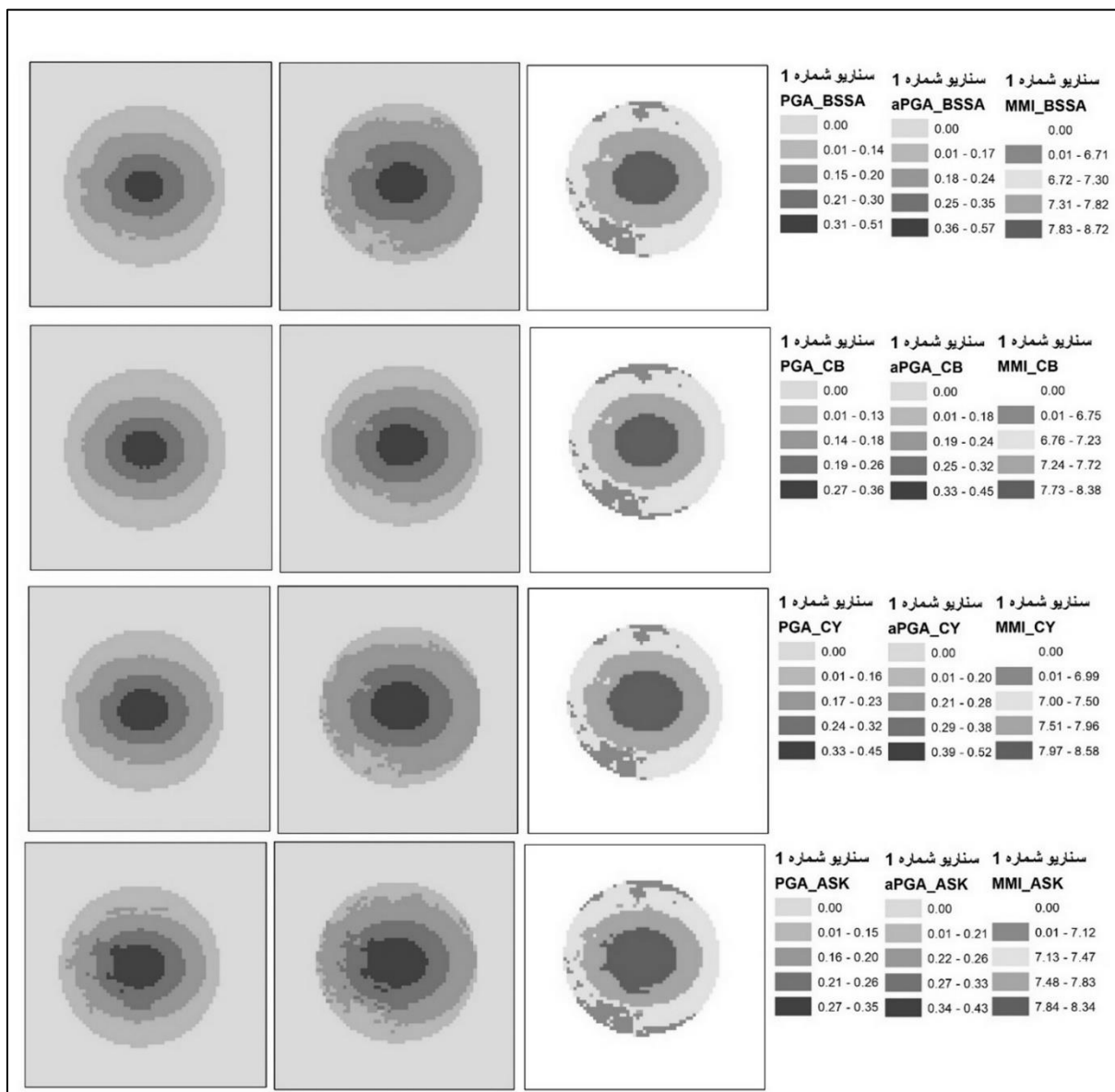
Core i7-6700-HQ	CPU
8 GB	RAM
1 TB	HDD
Windows 10 64-bit	Operating System
10.4.1	ArcGIS version
Python 2.7	Python

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

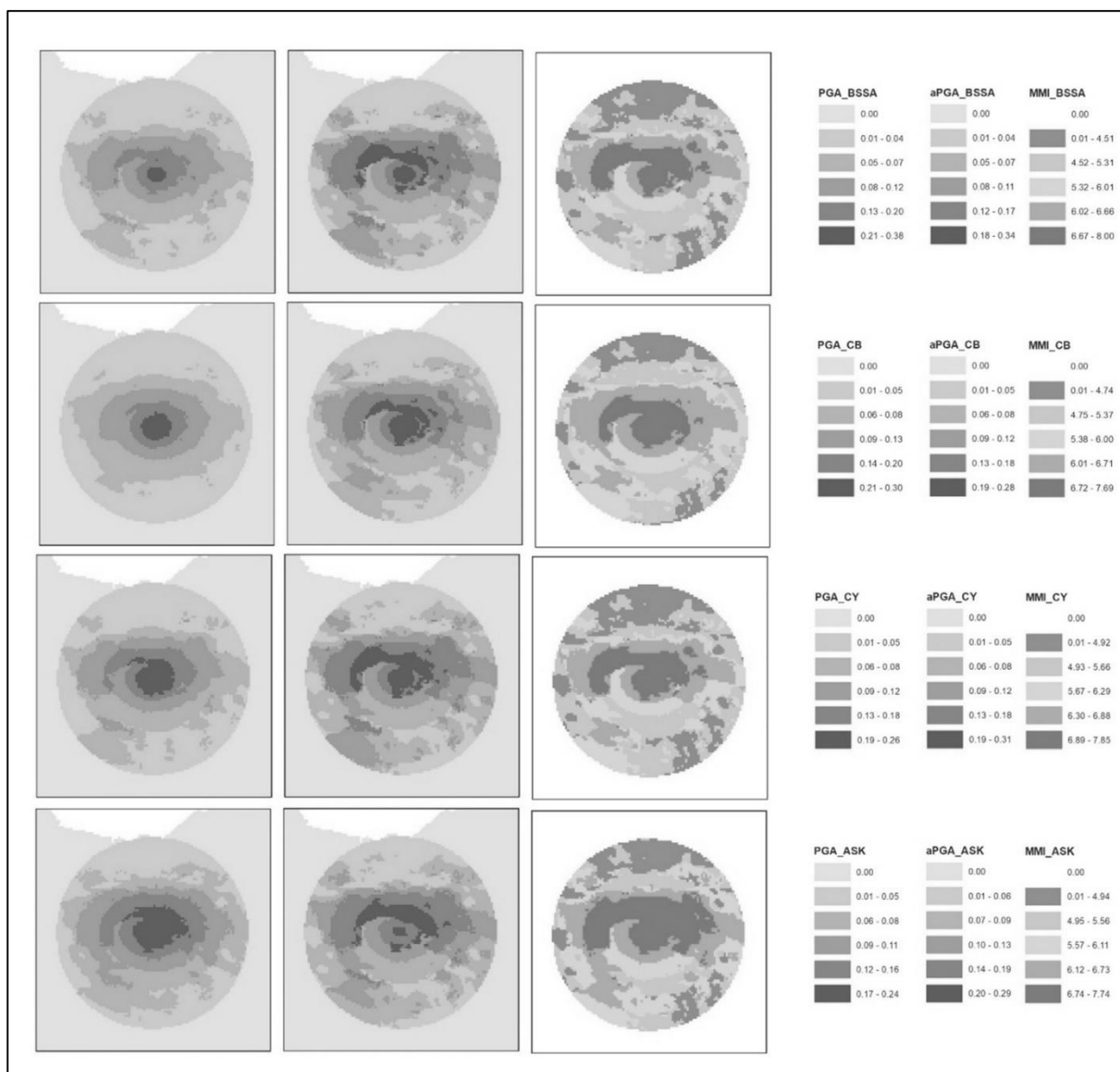
جدول ۷. سناریوهای آزمایشی

زمان اجرا				مقدار	پارامتر ورودی	نام سناریو
BSSA	CB	CY	ASK			
۳ دقیقه و ۱۸ ثانیه	۴ دقیقه و ۱ ثانیه	۳ دقیقه و ۲۳ ثانیه	۳ دقیقه و ۴۰ ثانیه	۳۴.۷۴۱	عرض ژئودتیکی زلزله	سناریوی شماره ۱
				۵۱.۲۳۸	طول ژئودتیکی زلزله	
				۷	بزرگای زلزله	
				۱۰ کیلومتر	عمق زلزله	
				۰.۵ درجه	فاصله مؤثر	
۸ دقیقه و ۵۸ ثانیه	۱۰ دقیقه و ۲۴ ثانیه	۱۱ دقیقه و ۱۱ ثانیه	۹ دقیقه و ۴۳ ثانیه	۳۴.۷۴۱	عرض ژئودتیکی زلزله	سناریوی شماره ۲
				۵۱.۲۳۸	طول ژئودتیکی زلزله	
				۶.۸	بزرگای زلزله	
				۱۵ کیلومتر	عمق زلزله	
				۱ درجه	فاصله مؤثر	
۳۳ دقیقه و ۲۹ ثانیه	۳۵ دقیقه و ۳۶ ثانیه	۳۵ دقیقه و ۳۶ ثانیه	۳۲ دقیقه و ۲۶ ثانیه	۳۴.۷۴۱	عرض ژئودتیکی زلزله	سناریوی شماره ۳
				۵۱.۲۳۸	طول ژئودتیکی زلزله	
				۷.۵	بزرگای زلزله	
				۲۰ کیلومتر	عمق زلزله	
				۲ درجه	فاصله مؤثر	

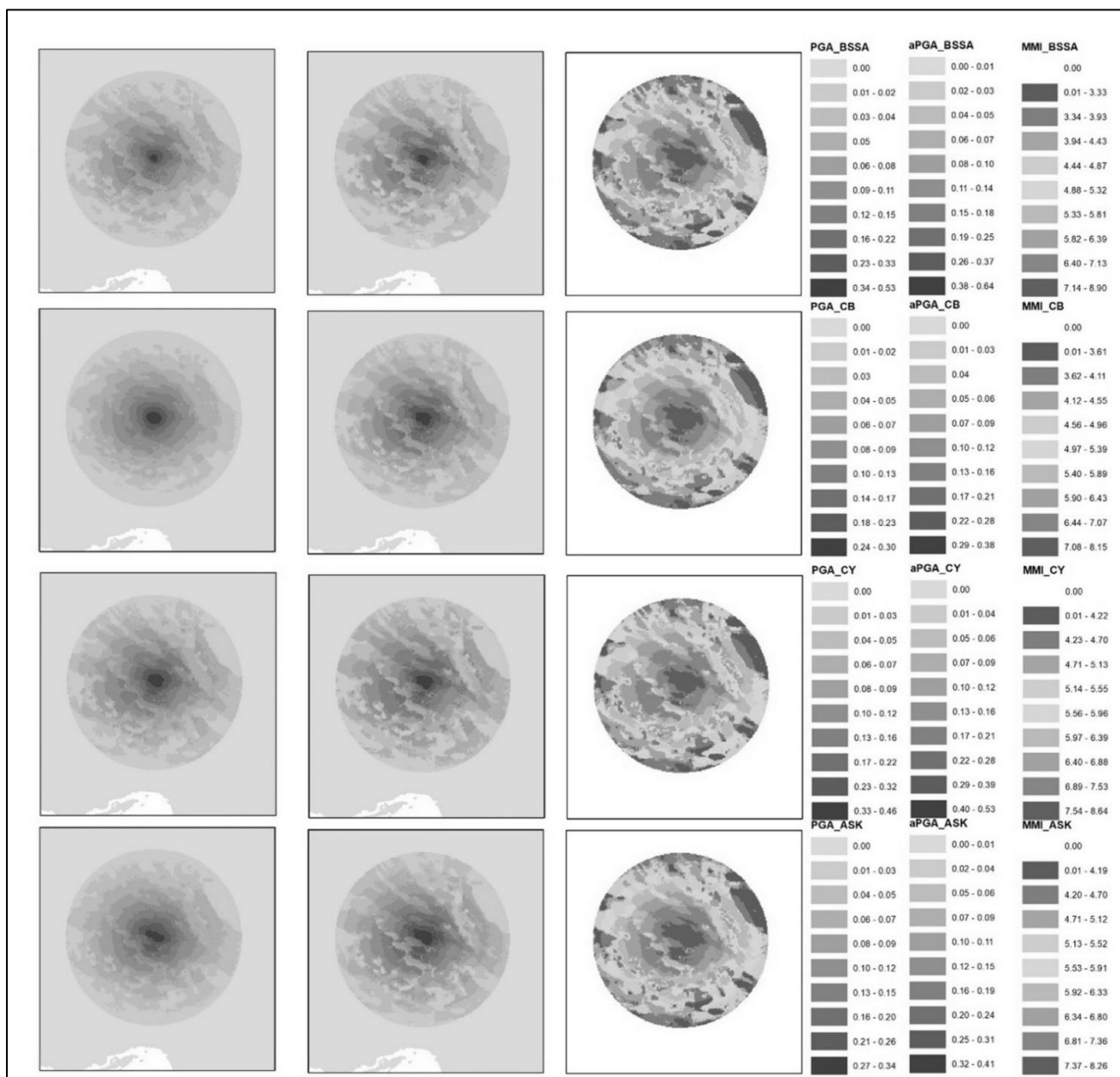
(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)



شکل ۳. نقشه‌های خروجی هریک از روابط کاهندگی پروژه NGA west 2 در سناریوی شماره ۱
(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)



شکل ۴. نقشه‌های خروجی هریک از روابط کاهندگی پروژه NGA west 2 در سناریوی شماره ۲
(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)



شکل ۵. نقشه‌های خروجی هریک از روابط کاهندگی پروژه NGA west 2 در سناریوی شماره ۳
(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

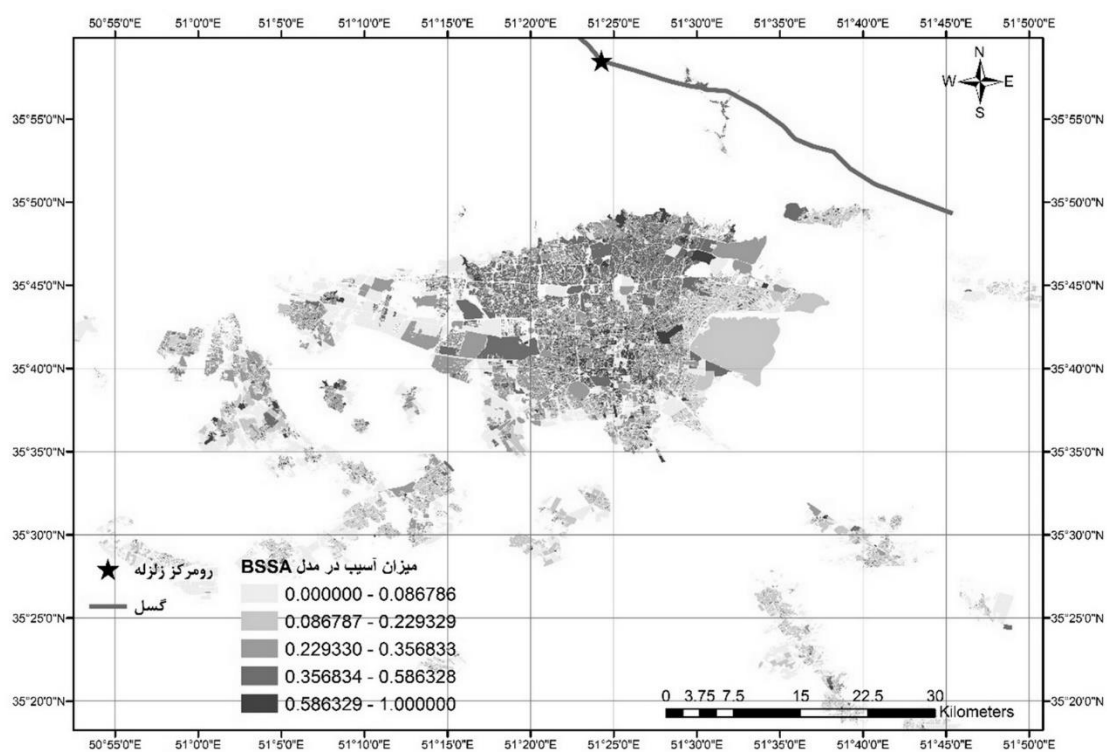
مشخصات سناریو و لایه بلوک‌های شهری منطقه کلان‌شهری تهران را شامل می‌شوند. مشخصات سناریوها و نتایج زمانی انجام محاسبات در جدول ۸ آمده است. مدل‌های مختلف از نظر زمانی تفاوت چندانی با یکدیگر ندارند. همچنین نتایج انجام محاسبات در شکل ۶، ۷، ۸ و ۹ آمده است.

برای ارزیابی ماژول آسیب، چهار سناریوی لرزه‌ای تهدیدکننده منطقه کلان‌شهری تهران در نظر گرفته شد. گسیختگی در گسل‌های مشا، جنوب ری، شمال تهران و پارچین بدین‌منظور انتخاب شدند. عملکرد تخمین آسیب از لحاظ سرعت و نتایج مورد بررسی قرار گرفت. پارامترهای ورودی برای اجرای ماژول،

جدول ۸. جدول مشخصات سناریوهای لرزه‌ای محتمل و نتایج اجرای سناریوهای

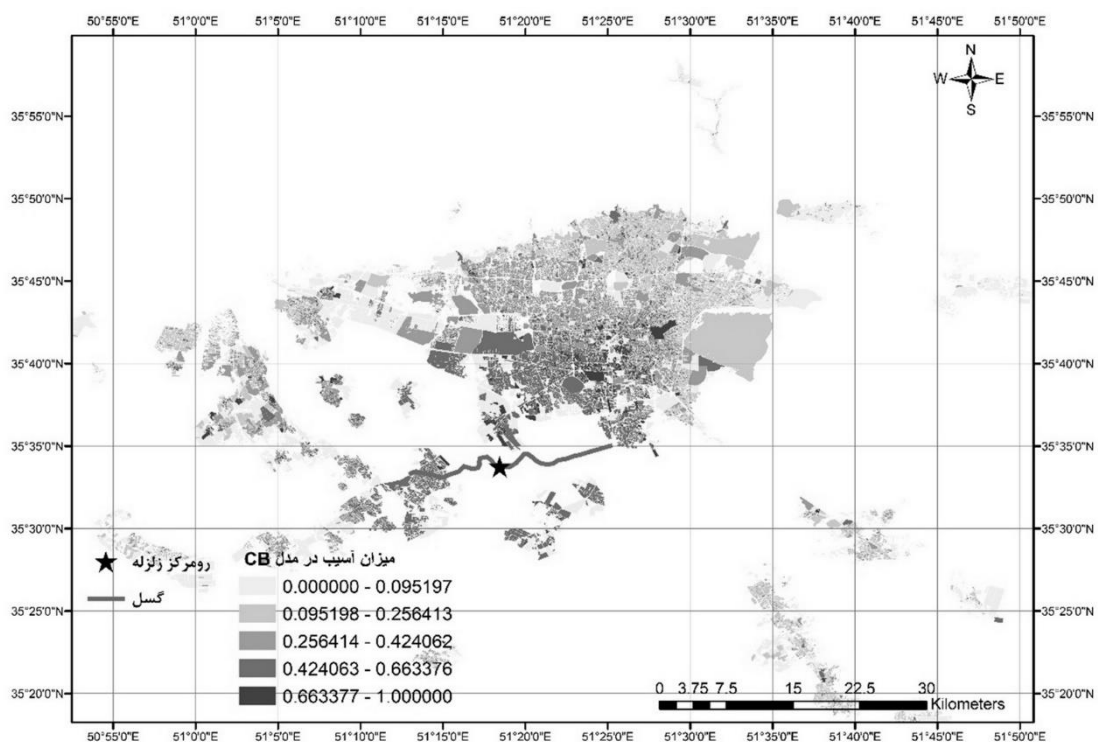
شماره سناریو	نام سناریو	نام گسل	مختصات رومرکز زلزله		بزرگا	مدل	زمان اجرا
۱	مشا	گسل مشا	۳۵.۹۷۵۱۲	۵۱.۴۰۴۲۷	۷.۵	BSSA	56':32"
۲	جنوب ری	گسل جنوب ری	۳۵.۵۶۴۶۱	۵۱.۳۰۷۳۶۷	۶.۷	CB	1:05':28"
۳	شمال تهران	گسل شمال تهران (قطعه غربی)	۳۵.۸۱۱۹۹۸	۵۱.۰۱۱۸۸۲	۶.۹	CY	58':04"
۴	پارچین	گسل پارچین	۳۵.۴۵۷۹۸۸	۵۱.۸۲۰۱۱۲	۷.۲	ASK	59':48"

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

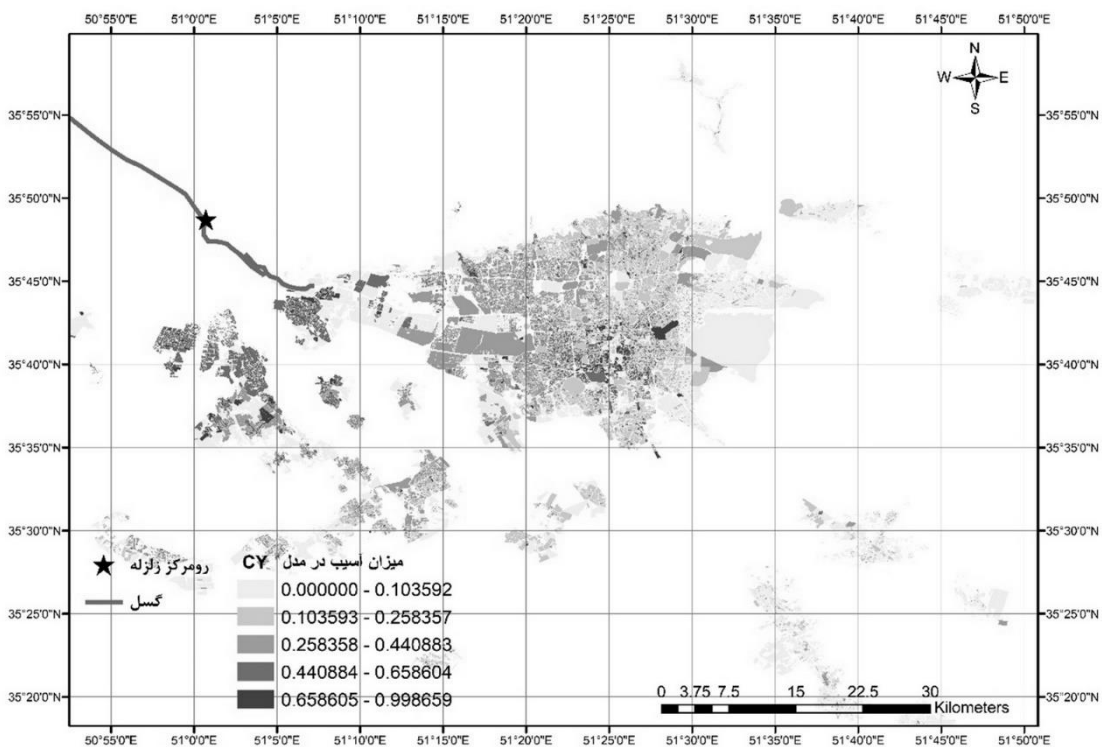


شکل ۶. نتیجه اجرای سناریوی شماره ۱ با مدل BSSA

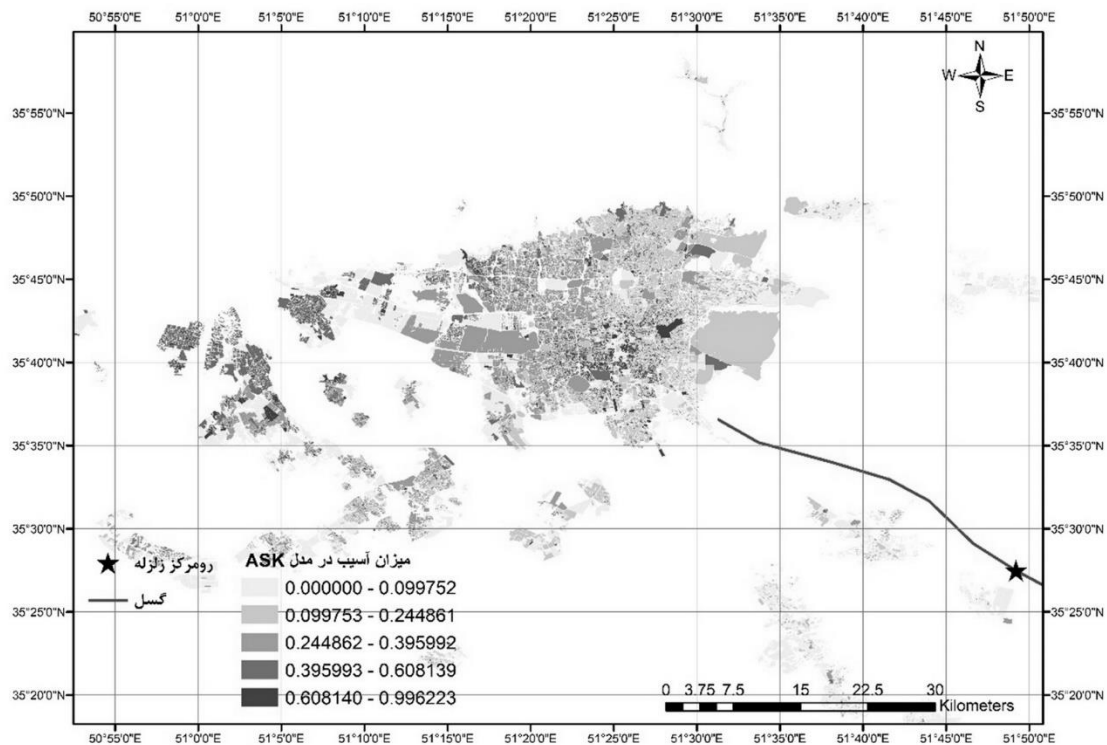
(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)



شکل ۷. نتیجه اجرای سناریوی شماره ۲ با مدل CB
(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)



شکل ۸. نتیجه اجرای سناریوی شماره ۳ با مدل CY
(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)



شکل ۹. نتیجه اجرای سناریوی شماره ۴ یا مدل ASK

(منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

نتیجه‌گیری

با توجه به لرزه‌خیزی کشور، ضرورت استفاده از یک سیستم تخمین آسیب لرزه‌ای توسط نیروهای امداد رسان ضروری به نظر می‌رسد. چنین سیستمی می‌تواند در دو مرحله اقدامات کاهش‌دهنده و امداد رسانی کاربردی باشد. زمان اجرای ماژول خطر و آسیب برای یک سناریو در حدود ۳۰ دقیقه نقشه آسیب در شعاع ۲۰ کیلومتری یک زلزله را تهیه کرد. این نقشه در نیم ساعت اولیه بعد از زلزله به مدیران و تصمیم‌سازان کمک می‌کند تا متوجه شوند کدام شهر(ها) یا منطقه مسکونی نزدیک به زلزله، خطر بیشتری را تجربه کرده است. در مرحله بعد، می‌توان براساس اولویت‌بندی مناطق مسکونی نزدیک به زلزله، نقشه آسیب برای شهرهایی با خطر بیشتر را تهیه کرد. همان‌طور که در نقشه‌های خروجی اجرای ماژول آسیب برای منطقه کلان‌شهری تهران مشخص است، مناطق آسیب‌پذیر در

هر سناریو و همچنین مناطق مرکزی متمایل به جنوب شهر تهران که آسیب‌پذیری زیادی در اکثر سناریوها دارند، به راحتی قابل تشخیص هستند؛ بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اجرای سناریوهای محتمل و روی هم‌اندازی نتایج برای مناطق مختلف کشور می‌تواند مناطق آسیب‌پذیر شهرها را نتیجه دهد. در نتیجه در مرحله قبل از زلزله نیز می‌توان از سیستم تخمین آسیب برای تشخیص مناطق آسیب‌پذیر به منظور اولویت‌بندی طرح‌های آمادگی، نوسازی و بهسازی استفاده کرد. با توجه به اینکه داده‌های ورودی سامانه لایه اطلاعات ساختمان‌ها هستند، تهیه داده‌های ورودی یک چالش محسوب می‌شود؛ بنابراین آماده‌سازی این اطلاعات و در اختیار داشتن آن‌ها برای شهرهای مختلف، در زمان آرامش و همچنین به‌روزرسانی دوره‌ای این اطلاعات می‌تواند به سرعت و دقت انجام محاسبات بیفزاید.

پیشنهادها

دقت نتایج سامانه به دو موضوع دقت داده‌های ورودی و دقت و درجه اطمینان مدل‌های محاسباتی وابسته است. در درجه اول تدقیق اطلاعات خاک کشور به وسیله حفر گمانه، بازدید میدانی و به‌روزرسانی اطلاعات ساختمان‌ها در شهرها به منظور تدقیق نتایج پیشنهاد می‌شود. در هسته محاسباتی سامانه از مدل‌های تجربی برای تخمین جنبش زمین و آسیب سازه استفاده شده است. دقت این مدل‌ها کاملاً مشخص و قابل ارجاع‌دهی به مراجع آن‌هاست؛ اما پیشنهاد می‌شود با افزایش تعداد روابط از پژوهش‌های مختلف درجه اطمینان محاسبات افزایش یابد.

سازمان‌ها و مؤسساتی نظیر مؤسسه ژئوفیزیک، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله و مرکز تحقیقات زمین و مسکن متولی دستگاه‌های شتاب‌نگار و لرزه‌نگار در سطح کشور هستند؛ بنابراین اگر از سرویس‌های آنلاین مشاهدات لرزای این مؤسسات در سامانه استفاده شود، کمک شایانی به تدقیق نتایج تخمین خطر خواهد بود. همچنین امکان‌سنجی ثبت جنبش زمین با دستگاه‌های A تاب‌نگار ارزان قیمت در بستر اینترنت اشیاء به عنوان موضوع تحقیق آتی پیشنهاد می‌شود. علاوه بر این‌ها، امکان‌سنجی و مطالعه تخمین تلفات انسانی و توسعه و پیاده‌سازی این مدل‌ها در قالب ماژول تخمین تلفات در سامانه است.

منابع

ابراهیم زاده، عیسی؛ کاشفی‌دوست، دیمین؛ حسینی، احمد. (۱۳۹۷). ارزیابی تاب‌آوری کالبدی شهر در برابر زلزله (نمونه موردی: شهر پیرانشهر)، مجله مخاطرات طبیعی، دانشگاه سیستان و بلوچستان، دوره هشتم، شماره ۲۰، صص ۱۴۶-۱۳۱.
https://jneh.usb.ac.ir/article_4001_b471766ecd0a1761302263e3dc66e0f9.pdf

احدئزاد روشتی، محسن؛ روستایی، شهریور؛ کاملی‌فر، محمدجواد. (۱۳۹۴). ارزیابی آسیب پذیری شبکه معابر شهری در برابر زلزله با رویکرد مدیریت بحران، مطالعه موردی: منطقه یک

شهر تبریز، فصلنامه علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، سازمان جغرافیایی، دوره بیست و چهارم، شماره ۹۵، صص ۳۷-۵۰.

<http://ensani.ir/file/download/article/20160405114914-9987-210.pdf>

Abdalla, R., & Esmail, M. (2019). WebGIS for disaster management and emergency response. Springer.
<https://citations.springernature.com/book?doi=10.1007/978-3-030-03828-1>

Akbulut, F., Gerdan, S. (2016). An Evaluation of the Infrastructure of Kocaeli Metropolitan Municipality Information Technologies (IT) in Terms of Disaster Management. Academic Journal of Information Technology (AJIT-E), 7(22), 29-42.

DOI: 10.5824/1309-1581.2016.1.002.x.

Andharia, J. (2020). Blurred Boundaries, Shared Practices: Disaster Studies as an Emerging Discipline and Disaster Management as a Field of Practice. In Disaster Studies (pp. 33-76). Springer, Singapore.

<https://www.springer.com/gp/book/9789813293380>

ASCE (American Society of Civil Engineers). (2016). Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures. ASCE standard ASCE/SEI 7-16 (in preparation). Reston, VA: American Society of Civil Engineers.

<http://aghababaie.usc.ac.ir/files/1507119345439.pdf>

Berberian, M. (2014). Earthquakes and coseismic surface faulting on the Iranian Plateau. Elsevier, Volume 17, Pages 2-714.

<https://www.sciencedirect.com/bookseries/developments-in-earth-surface-processes/vol/17/suppl/C>

Bilir, S. (2009). Bir Afet Bilgi ve Meteorolojik Erken Uyarı Sistemi Projesinde Üç Boyutlu Görselleştirme (Doctoral dissertation, Fen Bilimleri Enstitüsü).

<https://polen.itu.edu.tr/handle/11527/1728>

Bozorgnia, Y., Abrahamson, N. A., Atik, L. A., Ancheta, T. D., Atkinson, G. M., Baker, J. W., ... & Youngs, R. (2014). NGA-West2 research project. Earthquake Spectra, 30(3), 973-987.

<https://doi.org/10.1193/072113EQS209M>

D'Alessandro, A. (2016). Tiny accelerometers create Europe's first urban seismic network, Eos, 97.

doi:10.1029/2016EO048403. Published on 17 March 2016.

Demirci, A., & Karakuyu, M. AFET YÖNETİMİNDE COĞRAFİ BİLGİ TEKNOLOJİLERİNİN ROLÜ/

<https://doi.org/10.1007/s11069-017-3089-7>.

Ostadtaghizadeh, A., Ardalan, A., Paton, D., Jabbari, H., & Khankeh, H. R. (2015). Community disaster resilience: A systematic review on assessment models and tools. *PLoS currents*, 7.

Sadeghi, M., Ghafory-Ashtiany, M., & Pakdel-Lahiji, N. (2015). Developing seismic vulnerability curves for typical Iranian buildings. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, 229(6), 627-640.

<https://doi.org/10.1177/1748006X15596085>

Scawthorn, C., & Chen, W. F. (Eds.). (2002). *Earthquake engineering handbook*. CRC press.

<https://doi.org/10.1201/9781420042443>

Sharma, A.K., Parkash. S., Joshi, V., (2016), *Geographical Information Systems for Disaster Response and Management*, IEEE Workshop on Distributed Systems for Coordinated Disaster Management. At Kolkata, India. https://www.academia.edu/20081132/Geographical_Information_Systems_for_Disaster_Response_and_Management

Tafti, M. F., Hosseini, K. A., & Mansouri, B. (2020). Generation of new fragility curves for common types of buildings in Iran. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 3079-3099.

<https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10518-020-00811-5>

Tavakoli, B., & Favakoli, A. (1993). Estimating the vulnerability and loss functions of residential buildings. *Natural hazards*, 7(2), 155-171.

<http://bases.bireme.br/cgi-bin/wxislind.exe/iah/online/?IsisScript=iah/iah.xis&src=google&base=DESASTRES&lang=p&nextAction=lnk&exprSearch=10173&indexSearch=ID>

Thomas DS, Cutter SL, Hodgson M, Gutekunst M, Jones S (2003) Use of spatial data and geographic technologies in response to the September 11th terrorist attack on the World Trade Center. *Beyond September 11th: an account of post-disaster research*, pp 147-62.

<https://hazards.colorado.edu/uploads/basicpage/QR%20153.pdf>

Yomralıoğlu, T. (2000). *Coğrafi Bilgi Sistemleri: Temel Kavramlar ve Uygulamalar*. Akademik Kitabevi, Trabzon.

<https://silo.tips/downloadFile/coraf-blg-sstemler-temel-kavramlar-ve-uygulamalar>

(2014), *The Role of Geographic Information Technologies on Disaster Management*. *Doğu Coğrafya Dergisi*, 9(12).

<https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/26637>

Erden T, Coskun MZ (2010) Multi-criteria site selection for fire services: the interaction with analytic hierarchy process and geographic information systems. *Nat Hazards Earth Syst Sci* 10(10):2127.

<https://nhess.copernicus.org/articles/10/2127/2010/nhess-10-2127-2010.pdf>

Gerdan, S. (2018). GIS-based Decision-Support System Applications in Disaster Management. *Journal of Management & Economics*, 25(3), PP 961-979.

DOI:10.18657/yonveek.306383

Greene, R. W. (2002). *Confronting catastrophe: A GIS handbook*. ESRI, Inc.

<https://www.amazon.com/Confronting-Catastrophe-Handbook-R-Greene/dp/1589480406>

Izanloo, F., & Yahyaabadi, A. (2018). Determination of Structural Fragility Curves of Various Building Types for Seismic Vulnerability Assessment in the Sarpol-e Zahab City. *Journal of Seismology & Earthquake Engineering*, 20(3).

<https://www.sid.ir/FileServer/JE/86020180301.pdf>

JICA, C. (2000). *The study on seismic microzoning of the Greater Tehran Area in the Islamic Republic of Iran*. Pacific Consultants International Report, OYO Cooperation, Japan, 291-390.

https://openjicareport.jica.go.jp/pdf/11611761_01.pdf

Karimzadeh, S., Feizizadeh, B., & Matsuoka, M. (2017). From a GIS-based hybrid site condition map to an earthquake damage assessment in Iran: Methods and trends. *International journal of disaster risk reduction*, 22, 23-36.

DOI: 10.1016/j.ijdr.2017.02.016

Mohanty, W. K., Mohapatra, A. K., Verma, A. K., Tiampo, K. F., & Kislak, K. (2016). Earthquake forecasting and its verification in northeast India. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 7(1), 194-214.

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19475705.2014.883441>

Nyimbili, P.H., Erden, T., (2018). Spatial decision support systems (SDSS) and software applications for earthquake disaster management with special reference to Turkey. *Nat. Hazards* 90, 1485-1507.

