

The Status QUO Analysis of the Buildings Vulnerability in the City of Oshnavieh to Earthquake

ARTICLE INFO

Article Type

Original Research

Authors

Houshyar H.^{*1} PhD,
Ramazantash Dehgorje H.¹ MSc

How to cite this article

Houshyar H, Ramazantash Dehgorje H. The Status QUO Analysis of the Buildings Vulnerability in the City of Oshnavieh to Earthquake. Geographical Researches. 2022;37(2):189-199.

ABSTRACT

Aim Today, one of the most important dangers that always threatens cities is the risk of earthquakes. The aim of this study was to analyze the vulnerability of buildings in Oshnavieyeh city to possible earthquakes.

Methodology The present research is an applied type with a quantitative-analytical approach that has been done in 2021 in the Oshnavieyeh. This study assessed the situation of the neighborhoods of Oshnavieyeh in terms of vulnerability Based on 8 indicators, physical-environmental, including: type of materials, building life, building quality, number of floors, population density, land use, slope, and river area. Also, the AHP-VIKOR integrated model was used to measure vulnerability, Intermediate degree of damage index method, GIS and Idrisi software.

Findings The vulnerability of buildings in the city of Oshnavieyeh is serious. The seismicity of the neighborhoods was different. Neighborhoods 1, 4, 5 and 7 have the most damage against earthquakes. Neighborhoods 2, 3 and parts of neighborhoods 6, 11 and 12 have the least damage.

Conclusion Reasons for damage in these neighborhoods can be considered the use of low and unsustainable materials such as bricks, clay and wood, long life of buildings (76% of the city level), high population density in neighborhoods 4, 5, 7, high slope and the existence of faults were the way to go in this city. Also the buildings were built without the slightest attention to building regulations.

Keywords Earthquake; Vulnerability Analysis; Multi-Criteria Decision Making Techniques; GIS; Oshnavieyeh City

¹Department of Geography, Payame Noor University, Tehran, Iran

*Correspondence

Address: Central Organization of Payame Noor University, Nakhil St., Artesh Boulevard, Mini city, Tehran, Iran. Postal code: 19395-4697
Phone: +98 (21) 23320000
Fax: +98 (21) 22441511
h.houshyar@pnu.ac.ir

Article History

Received: December 18, 2021
Accepted: February 24, 2022
ePublished: June 11, 2022

CITATION LINKS

[Abedini M, Sarmasti N; 2016] Vulnerability factor of Tabriz; [Abo El Ezz A, et al; 2015] Assessment of earthquake-induced damage ...; [Ahamadi A, et al; 2019] Assessment of urban resilience ...; [Alavi S, et al; 2017] Evaluation of urban fabric vulnerability ...; [Amini J, et al; 2015] The vulnerability assessment of urban ...; [Botero V; 2009] Geo-information for measuring vulnerability ...; [Eshghi Chaharborj A, et al; 2017] Assessing the physical resilience of a city ...; [Federico R; 2021] An improved seismic vulnerability ...; [Ghaffari A. et al; 2018] Land suitability analysis in locating ...; [Hatami Nejad H, et al; 2018] An analysis of cultural facility ...; [Iranmanesh F, Eshraghi M; 2006] Application of GIS in planning and location ...; [Jafari Azar S, et al; 2018] Application of multi-criteria decision-making ...; [Kamranzad F, et al; 2020] Earthquake risk assessment for ...; [Lantada N, et al; 2009] Vulnerability index and capacity ...; [Meshkini A, et al; 2015] Analysis of urban fabric vulnerability ...; [Modiri M, et al; 2017] Modeling the vulnerability of urban ...; [Ratiranjan J, et al; 2020] Earthquake vulnerability assessment ...; [Ratiranjan J, et al; 2020] Earthquake hazard and risk assessment ...; [Sadeghi N, et al; 2018] Analysis and estimation of earthquake ... [Sarris A, et al; 2009] Earthquake vulnerability and seismic ... [Tabibian M, Mozafari N; 2018] Assessment of vulnerability of residential ... [Yariyan P, et al; 2020] Earthquake vulnerability mapping ... [Zare M, et al; 2016] Vulnerability assessment of eroded ...

ارزیابی وضعیت آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهر اشنویه در برابر زلزله

حسن هوشیار* PhD

گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

حسین رمضان تاش دهگرچی MSc

گروه جغرافیا، دانشگاه پیام نور، تهران، ایران

چکیده

اهداف: امروزه یکی از مهم‌ترین مخاطراتی که همواره شهرها را تهدید می‌نماید خطر وقوع زلزله است. پژوهش حاضر با هدف تحلیل وضعیت آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهر اشنویه در برابر وقوع احتمالی زلزله انجام شد.

روش‌شناسی: این پژوهش کاربردی با رویکرد کمی-تحلیلی در سال ۱۴۰۰ انجام یافت که شامل محلات دوازده‌گانه شهر اشنویه بود. از ۸ شاخص کالبدی-محیطی شامل نوع مصالح، عمر بنا، کیفیت بنا، تعداد طبقات، تراکم جمعیت، کاربری اراضی، شیب، حریم رودخانه استفاده شد. به‌منظور سنجش میزان آسیب‌پذیری از مدل تلفیقی AHP-VIKOR، روش شاخص متوسط درجه آسیب و از نرم‌افزارهای Arc GIS 10.2 و Idrisi 32 استفاده شد.

یافته‌ها: آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در شهر اشنویه جدی است و شدت لرزه‌پذیری محلات در این شهر متفاوت بود. بدین صورت که محله‌های ۱، ۴، ۵ و ۷ بیشترین آسیب‌پذیری در برابر زلزله را داشتند و محله‌های ۲، ۳ و بخش‌های از محله‌های ۶، ۱۱ و ۱۲ دارای آسیب‌پذیری کمتری بودند. دلایل آسیب‌پذیری، استفاده از مصالح کم‌دوام و ناپایدار نظیر آجر و خشت و چوب، عمر بالای ساختمان‌ها (۷۶٪ سطح شهر)، وجود تراکم بالای جمعیتی در محلات ۴، ۵، ۷، بالا بودن میزان شیب و وجود گسل شیوه‌برو در این شهر بود.

نتیجه‌گیری: بناهای ساخته‌شده شهر بدون کمترین توجه به آیین‌نامه‌های ساختمانی احداث شده‌اند.

واژگان کلیدی: زلزله، تحلیل میزان آسیب‌پذیری، تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاری، GIS، شهر اشنویه

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۹/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۰۵

*نویسنده مسئول: h.houshyar@pnu.ac.ir

مقدمه

حوادث طبیعی تاکنون سه میلیون نفر تلفات در ۲۵ سال اخیر در دنیا ایجاد کرده و در حدود ۲۳ میلیارد دلار خسارت وارد ساخته است [Modiri et al., 2018]. امروزه آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های انسانی در برابر مخاطرات طبیعی، به‌عنوان چالشی فراروی توسعه کشورهای جهان تبدیل شده است [Ratiranjan & Biswajeet, 2020]؛ به‌طوری که در اکثر نقاط دنیا به دلایل متعدد از جمله توسعه فیزیکی نامناسب، عدم رعایت اصول و مقررات شهرسازی، تمرکز بیش از حد جمعیت و ساختمان‌ها در مناطق مستعد زلزله و مکان‌گزینی نامناسب، همواره در معرض خطرات ناشی از بلایای طبیعی قرار دارند [Federico et al., 2021]. لذا به‌منظور کاهش خطرات طبیعی، استانداردسازی مصالح ساختمانی، افزایش ضریب اطمینان و ایمنی در ساخت‌وسازهای جدید را باید در دستور کار قرار داد [Sadeghi et al., 2018].

زلزله پدیده‌ای طبیعی است که بی‌توجهی به آن خسارات جبران‌ناپذیری به دنبال خواهد داشت [Amini et al., 2015]. در قرن بیستم بیش از ۱۱۰۰ زلزله مخرب در نقاط مختلف کره زمین روی داد که در آن‌ها بیش از ۱۵۰۰۰۰۰ نفر جان خود را از دست دادند [Hatamine Nejad et al., 2018]؛ ۹۰٪ این تلفات، ناشی از ریزش ساختمان‌هایی بود که از اصول مهندسی و ایمنی کافی برخوردار نبودند [Lantada et al., 2009]. نقشه پهنه‌بندی خطر نسبی زمین‌لرزه در ایران حاکی از آن است که بیشتر نقاط شهری و غیرشهری در نواحی با خطر نسبی زیاد قرار گرفته‌اند [Ghaffari et al., 2018]. بر اساس مطالعات صورت‌گرفته حدود ۷۰٪ مساحت ایران در مناطق زلزله‌خیز دنیا قرار دارد که بیشترین تلفات و خسارت‌ها نیز مربوط به زلزله است؛ به‌گونه‌ای که طی هزار سال گذشته به‌طور میانگین هر ده سال، یک زلزله بزرگ در کشور به وقوع پیوسته که دارای تلفات انسانی بوده است [Eshgi Chaharborj et al., 2017]. همچنین، بر پایه آمارهای رسمی در ۲۵ سال گذشته، حدود ۶٪ تلفات انسانی ایران ناشی از زلزله بوده است و به‌طور میانگین هر سال یک زلزله عریضتری و هر ده سال یک زلزله به بزرگی ۷ ریشتری رخ داده است [Iranmanesh & Eshraghi, 2006]. بررسی زمین‌لرزه‌های تاریخی مهم در منطقه آذربایجان غربی (مانند زمین‌لرزه سلماس در ژوئن سال ۱۸۳۷، خوی در سال ۱۸۴۳ میلادی و غیره) به‌خوبی نشان می‌دهد که گستره مورد بررسی از دیدگاه زمین‌ساختی، به‌شدت لرزه‌خیز است [Abedini & Sarmasti, 2017]. یکی از گسل‌های مهم منطقه آذربایجان، گسل اشنویه است [Ahamadi et al., 2019]؛ این گسل با درازای حداقل ۲۰ کیلومتر از شمال غربی شهر اشنویه می‌گذرد و مرز میان کوه و دشت را می‌سازد. در کمتر از یک دهه اخیر وقوع ۷ زمین‌لرزه و پس‌لرزه با بزرگای ۴/۵ تا ۵/۶ ریشتر در پیوند با جنبش گسله اشنویه گزارش شده است.

در زمینه آسیب‌پذیری و مخاطرات ناشی از زلزله مطالعات چندی انجام گرفته است که از جمله این تحقیقات که در غنای پایه‌های نظری پژوهش حاضر نقش موثری داشتند در ذیل به آن‌ها اشاره شده است. ابو ال و همکاران در ارزیابی خسارات ناشی از زلزله در شهر کبک کانادا از مدل توابع شکنندگی لرزه‌ای استفاده کردند. نتایج پژوهش نشان می‌دهد که حدود ۶۱٪ ساختمان‌های در نظر گرفته‌شده تا درجه معینی از آسیب را تحمل می‌کنند. [Abo El et al., 2015]. در این پژوهش، اثر عدم قطعیت در پیش‌بینی زلزله برای تخمین خسارت ارزیابی‌شده است. ساریس و همکاران به آسیب‌پذیری زلزله و ارزیابی ریسک لرزه‌ای در مناطق لرزه‌ای بالای شهر هانیا در جزیره کرت یونان با به‌کارگیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداختند. نتایج پژوهش حاکی از آن است که نقشه خطر پیشنهادی و مدل مورد استفاده می‌تواند ابزار مهمی برای مقابله با بحران‌های ناشی از حوادث زلزله آینده باشد [Sarris et al., 2009]. بوترو در رساله دکتری خود تحت عنوان اطلاعات جغرافیایی برای اندازه‌گیری میزان آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله،

نظر به اینکه سالانه چندین زلزله در این شهر رخ می‌دهد و تا کنون کار تحقیقی در این زمینه روی این شهر انجام نگرفته، شناخت دقیق و آگاهی از میزان آسیب‌پذیری احتمالی عناصر تشکیل‌دهنده کالبدی شهر می‌تواند نقش موثر و سازنده‌ای در کاهش خسارات ناشی از زلزله داشته باشد. در این مقاله وضعیت آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهر اشنویه به لحاظ مولفه‌های کالبدی- محیطی با بهره‌گیری از تکنیک‌های تحلیل تصمیم چندمعیاری سیستم اطلاعات جغرافیایی [Jafari azar et al., 2018] تحلیل و ارزیابی شد و در ادامه به منظور ارزیابی دقیق‌تر میزان خسارت وارده به ساختمان‌های شهری سناریوهایی در شدت‌های مختلف زلزله ارائه شد. با عنایت به موارد مطرح‌شده، هدف از مطالعه حاضر، تحلیل ساختمان‌های شهر اشنویه با تاکید بر جنبه آسیب‌شناسانه در برابر زلزله بود.

روش‌شناسی

پژوهش کاربردی حاضر با رویکرد کمی-تحلیلی در سال ۱۴۰۰ انجام یافت. شهر اشنویه به‌عنوان مرکز شهرستان اشنویه مشتمل بر ۴ دهستان (اشنویه شمالی، دشت‌بیل، اشنویه جنوبی و هق) در ۷۲ کیلومتری مرکز استان آذربایجان غربی یعنی شهر ارومیه قرار گرفته است. داده‌های مورد نیاز از بررسی‌های اسنادی و کتابخانه‌ای اخذ و نقشه‌های پایه GIS مورد استفاده، با مراجعه حضوری به دفتر فنی شهرداری اشنویه گرفته شد.

به‌منظور سنجش و ارزیابی میزان آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهر اشنویه، ابتدا شاخص‌ها و عوامل موثر بر میزان آسیب‌پذیری محدوده مورد مطالعه شناسایی شدند که با توجه به بررسی وضعیت موجود شهر اشنویه و دسترسی به اطلاعات، ۸ معیار موثر در موضوع مورد مطالعه (نوع سازه، قدمت بنا، کیفیت بنا، تعداد طبقات، مساحت قطعات، کاربری اراضی، تراکم جمعیت، حریم رودخانه و شیب) گردآوری شدند. در ادامه به‌منظور تعیین وزن و بیان اهمیت نسبی هر یک از معیارها از روش مقایسه زوجی در قالب مدل AHP استفاده شده است. بعد از مشخص شدن وزن معیارهای انتخابی، در محیط GIS به تهیه نقشه‌های معیار پرداخته شد و سپس برای تحلیل و اولویت‌بندی وضعیت آسیب‌پذیری کلی ساختمان‌های شهر اشنویه تکنیک ویکور (VIKOR) به کار گرفته شد. در نهایت برای اینکه سنجشی واقعیت‌تر از وضعیت آسیب‌پذیری شهری ارائه شود، سازه‌های شهری که با استفاده از تکنیک ویکور در محیط Arc GIS 10.2 مدل‌سازی شده بود، به‌منظور اعمال سناریوهای زلزله در شدت‌های مختلف فازی‌سازی شد. بعد از اینکه داده‌ها از طریق فازی‌سازی به مقیاس مشترک تبدیل و استانداردسازی شدند در مرحله بعدی برای ارزیابی دقیق میزان آسیب‌پذیری با استفاده از فرمول زیر به طراحی سناریوهای زلزله در شدت‌های مختلف پرداخته شد تا با توجه به تحلیل‌های حاصله، ارزیابی دقیقی از میزان آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهر اشنویه ارائه شود.

به ارزیابی نقش اطلاعات و داده‌های جغرافیایی در مطالعات مربوط به اندازه‌گیری آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله اشاره نمود و با توجه به زیرساخت داده‌های مکانی به پهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری اجتماعی و کالبدی شهر مدیلبین واقع در کشور کلمبیا پرداخته است [Botero, 2009]. محققان در مقاله‌ای تحت عنوان تخمین خسارات ناشی از زلزله با استفاده از مدل رادیوس و GIS (مطالعه موردی: شهرستان اشکذر) به این نتیجه دست یافته‌اند که خسارت ناشی از زلزله در دو سناریوی احتمالی وقوع زلزله در منطقه مورد مطالعه ناچیز است، به‌گونه‌ای که در سناریوی گسل جنوب غرب، خسارت اندکی وارد می‌شود و در سناریوی گسل شرقی، میزان خسارت صفر است [Kamranzad et al., 2020]. صادقی و همکاران، نیز در مقاله‌ای با عنوان تحلیل و برآورد آسیب‌پذیری مساکن شهری در برابر زلزله (مطالعه موردی: شهر گرگان) به بررسی و مطالعه ارزیابی میزان آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهر گرگان پرداخته و نتایج حاصل از تحقیق آنان نشان می‌دهد که در حدود ۳۰۰ هکتار یعنی معادل ۳۳/۱۷٪ از مساحت کل شهر گرگان در محدوده بسیار آسیب‌پذیر قرار دارند. همچنین تبیین درجات آسیب‌پذیری نشان می‌دهد، پهنه‌های مسکونی که اصول فنی ساخت‌وساز مطابق با آیین‌نامه ۲۸۰۰ را رعایت کرده‌اند، در محدوده آسیب‌پذیر ناچیز قرار داشته و ۲۵/۵۸٪ از کل فضاهای ساخته‌شده شهر را به خود اختصاص داده‌اند [Sadeghi et al., 2018]. علوی و همکاران، در مقاله‌ای با عنوان ارزیابی میزان آسیب‌پذیری بافت‌های شهری با استفاده از تحلیل شبکه و GIS (مطالعه موردی: شهر سمیرم) بافت شهر سمیرم را از منظر آسیب‌پذیری مطالعه کردند و به‌منظور نیل به اهداف پژوهش، به بررسی شاخص‌هایی همچون کیفیت ابنیه، شیب زمین، فاصله از خطوط گسل، فضای باز و سبز و غیره پرداخته‌اند و نتایج تحقیق آنان حاکی از آن است که میزان آسیب‌پذیری در قسمت شمالی و مرکزی شهر سمیرم به علت نزدیکی به خط گسل و فرسوده‌بودن بناها بیشتر از سایر مناطق است [Alavi et al., 2017]. زارع و همکاران، در مقاله‌ای میزان آسیب‌پذیری بافت‌های فرسوده شهر مرودشت در برابر زلزله را ارزیابی نمودند. در این پژوهش تعداد ۹ شاخص از قبیل جنس سازه، قدمت بنا، کیفیت ساختمان، عرض معابر، تراکم جمعیت و غیره تعریف شده و وزن شاخص‌ها با استفاده از مدل فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی انجام شد. نتایج تحقیق نشانگر این است که مناطق یا آسیب‌پذیری بالا حدود ۳۲٪ از مساحت بافت و آسیب‌پذیری متوسط حدود ۳۱٪ از بافت را در بر گرفته است [Zare et al., 2016]. مشکینی و همکاران، در پژوهشی تحت عنوان تحلیل آسیب‌پذیری بافت شهری در برابر زلزله (منطقه مورد مطالعه: منطقه دو شهرداری تهران) با استفاده از روش تحلیل شبکه و عملگر فازی به این نتیجه دست یافته‌اند که بافت شهری منطقه ۲ شهرداری تهران به میزان متوسط و رو به بالایی آسیب‌پذیر است و این میزان در مناطق شرقی و جنوبی، با توجه به نتایج حاصل از تکنیک فازی بیشتر است [Meshkini et al., 2015].

$$\mu_D = 2/5 \left[1 + \tanh \left(\frac{I + 6/25 \bar{V}_1 - 13/1}{2/3} \right) \right]$$

که در این رابطه، I: شدت زلزله بر اساس واحد مرکالی اصلاح شده و \bar{V}_1 : مقدار آسیب‌پذیری کلی ساختمان است که برای تعیین این شاخص از مدل AHP-VIKOR استفاده شده است. بعد از اینکه شاخص متوسط درجه آسیب برای هر کدام از ساختمان‌های شهری در شدت‌های مختلف زلزله محاسبه شد، میزان آسیب وارده در ۵ گروه عمده مورد طبقه‌بندی قرار می‌گیرد (جدول ۱).

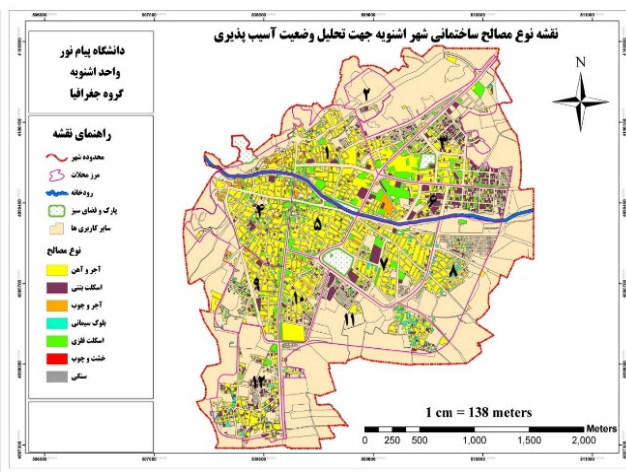
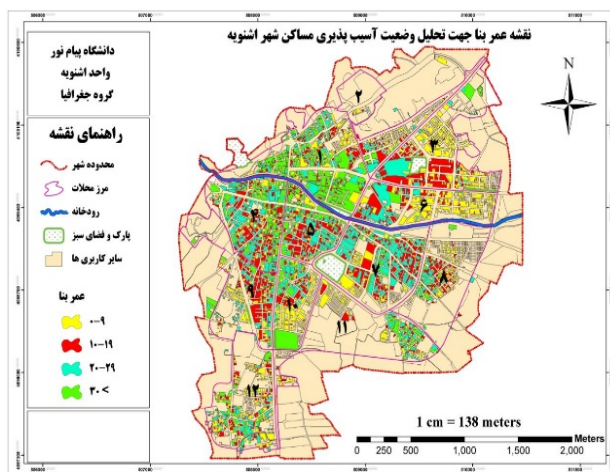
جدول ۱) طبقه‌بندی درجه آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در برابر زلزله

درجه	دامنه	نوع	درصد
D ₁	۰-۰/۲	جزیی و بدون اغماض	۰
D ₂	۰/۲-۰/۴	متوسط	۲
D ₃	۰/۴-۰/۶	قابل توجه تا سنگین	۱۰
D ₄	۰/۶-۰/۸	بسیار سنگین	۵۰
D ₅	۰/۸-۱	نابودی کامل	۱۰۰

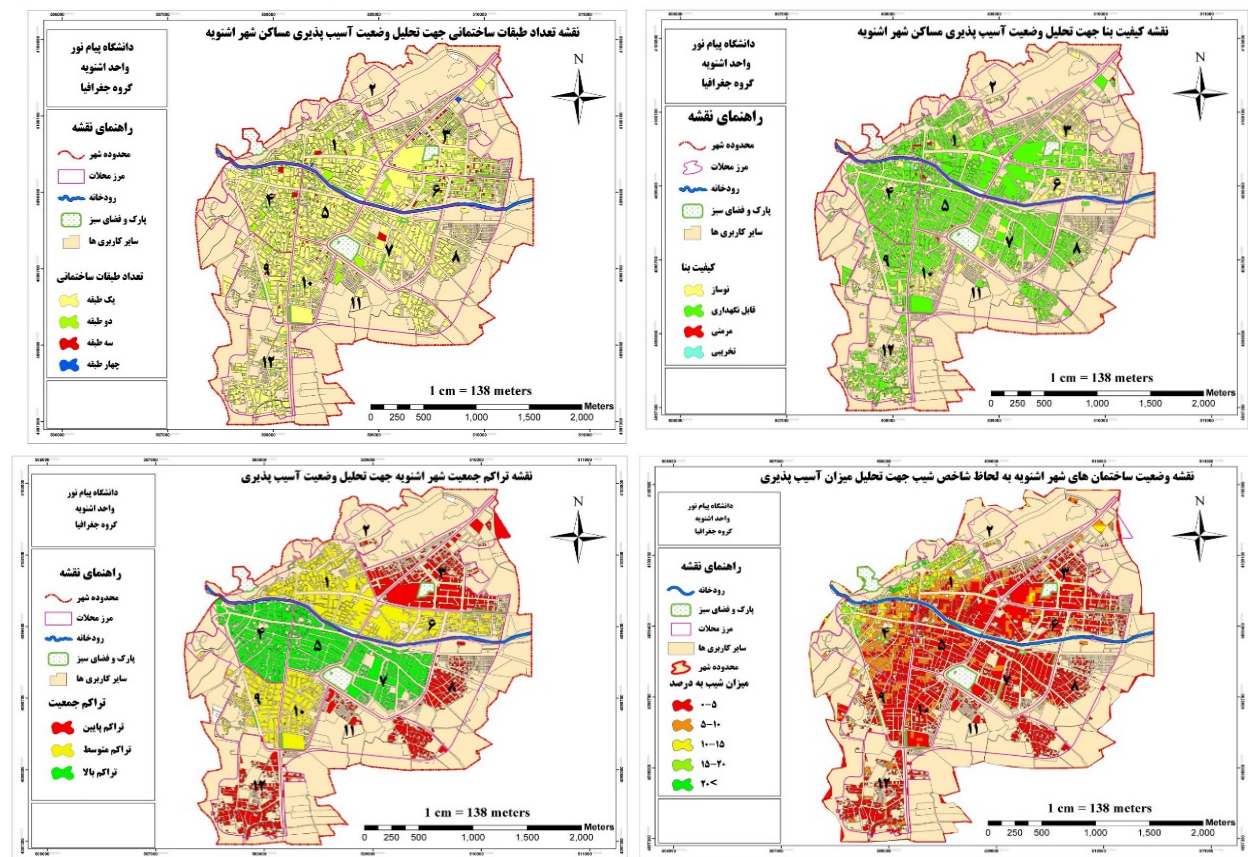
یافته‌ها

در راستای ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهر اشنویه در برابر زلزله نتایج حاصل از اقدامات در قالب نقشه پهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری سازه‌های شهری به صورت زیر ارائه شدند:
مرحله نخست؛ ورود اطلاعات: ابتدا لایه‌های ورودی شامل داده‌های رقومی و رستری هر کدام از معیارهای پژوهش در محیط GIS به عنوان پروژه پهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری معرفی شدند. برای تهیه هر کدام از نقشه‌های معیار، ابزارهای Feature to Raster و Spatial Analyst استفاده شد (شکل ۱).

مرحله دوم؛ ارزش‌گذاری و استانداردسازی نقشه‌های معیار: ارزش‌گذاری به معنای آن بود که به مقادیر اندازه‌گیری شده از معیارها برحسب میزان مطلوبیت هر کدام از معیارها، ارزشی تعلق گرفت. به عنوان مثال وقتی گفته شد هر چقدر مقدار شیب بیشتر بود، میزان آسیب‌پذیری سازه‌های شهری نیز افزایش یافت، به معنای آن است که مقدار شیب‌های با درصد بالا، آسیب‌پذیری بیشتری داشتند (ارزش‌گذاری مستقیم)؛ یا وقتی گفته می‌شود که با بالارفتن فاصله از گسل، میزان آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری کمتر می‌شود به معنای آن است که فاصله‌های بیشتر در واحد متر، آسیب‌پذیری کمتری دارند و هر چقدر فاصله سازه‌ها از گسل کمتر باشد، آسیب‌پذیری بیشتر است (ارزش‌گذاری معکوس). از آنجا که در تحقیق حاضر، مرحله مربوط به ارزش‌گذاری و استانداردسازی به صورت توأم و بر مبنای ارزش عضویت در مجموعه فازی انجام گرفت (جدول ۲)، بر همین اساس با استفاده از امکاناتی که در تابع فازی از نرم‌افزار GIS و Idrisi نسخه ۳۲ وجود دارد، برای استانداردسازی نقشه‌هایی که به صورت نقشه‌های معیار تهیه شدند، به تناسب از توابع عضویت خطی و سیگموئیدل در قالب‌هایی چون افزایشی به صورت یکنواخت، کاهشی به صورت یکنواخت استفاده شد و نقشه‌های استاندارد شده هر یک از معیارها در دامنه صفر و یک به دست آمد. بدین صورت که ارزش ۱ بیانگر حداکثر آسیب‌پذیری و ارزش صفر بیانگر حداقل آسیب‌پذیری سازه‌های شهری بودند. شکل ۲ نمونه‌ای از لایه‌های استاندارد شده به روش منطق فازی را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه محدوده مورد مطالعه کوچک بود و موقعیت قرارگیری مسکن نسبت به فاصله از گسل در میزان آسیب‌پذیری چندان تاثیری ندارد، معیار حریم گسل مورد استفاده قرار نگرفت.



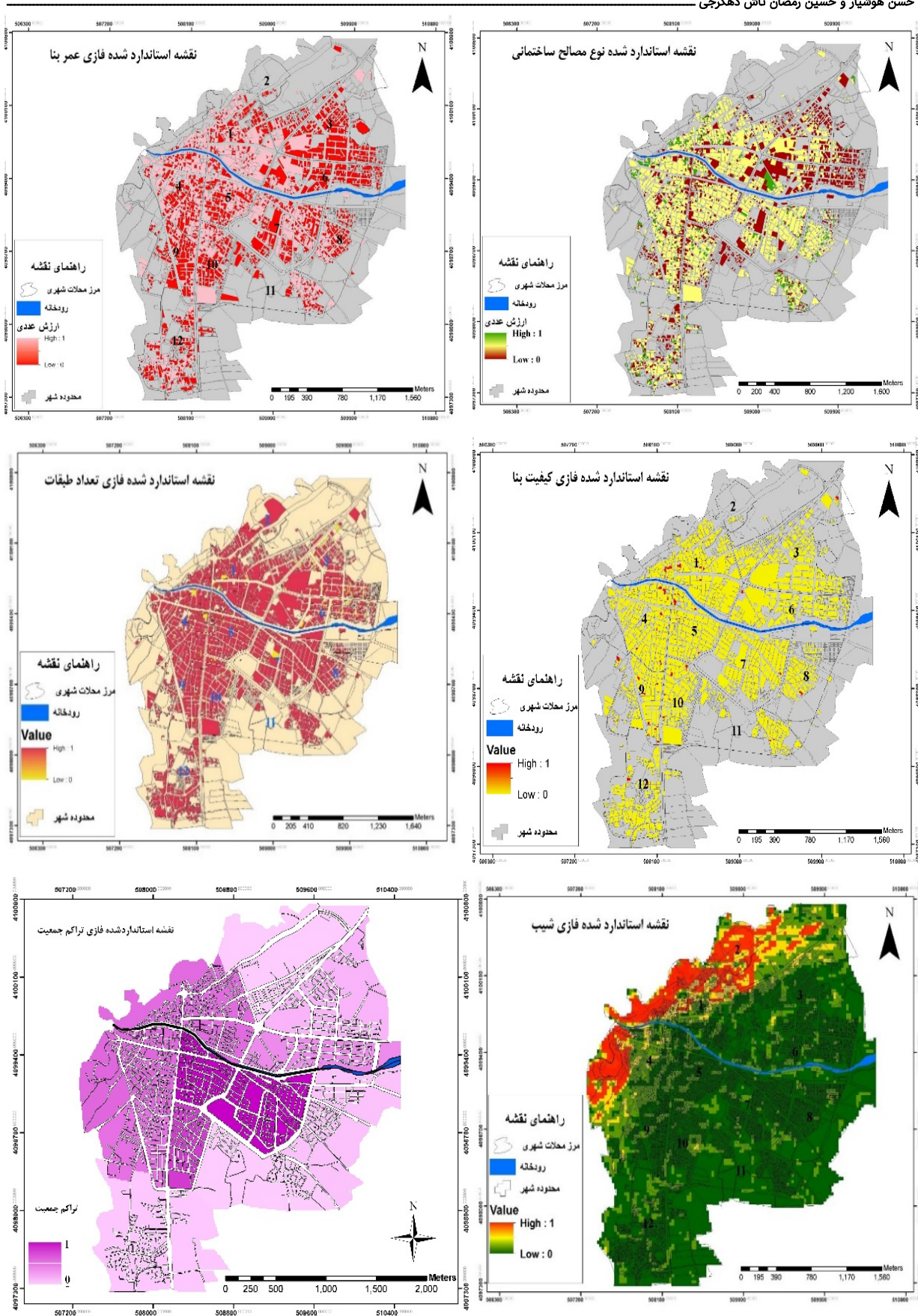
شکل ۱) لایه‌های ورودی و نقشه‌های معیار به منظور تعیین میزان آسیب‌پذیری



ادامه شکل ۱) لایه‌های ورودی و نقشه‌های معیار به‌منظور تعیین میزان آسیب‌پذیری

جدول ۲) معیارها و نوع استانداردسازی و میزان آسیب‌پذیری زیرمعیارها بر اساس نظرات کارشناسان

نام معیار	نوع تابع فازی	نام تابع فازی	میزان آسیب
تعداد طبقات	کاهشی	خطی	خیلی زیاد ۱
			زیاد ۲
			کم ۳
			خیلی کم ۴ و بیشتر
عمر بنا (سال)	افزایشی	خطی	خیلی کم ۰-۹
			متوسط ۱۰-۱۹
			زیاد ۲۰-۲۹
نوع مصالح	افزایشی	خطی	خیلی کم ۳۰ و بیشتر
			کم اسکلت بتنی
			متوسط آجر و آهن
			زیاد آجر و چوب
کیفیت بنا	افزایشی	خطی	خیلی زیاد بلوک سیمانی؛ خشت و چوب؛ سنگی
			خیلی کم نوساز
			کم قابل نگهداری
			زیاد مرمتی
تراکم جمعیت	افزایشی	خطی	خیلی زیاد تخریبی
			کم تراکم پایین
			زیاد تراکم متوسط
کاربری اراضی	افزایشی	خطی	خیلی کم پارک و فضای سبز؛ اداری و نظامی
			کم آموزشی و درمانی
			متوسط تجاری
			زیاد تأسیسات و تجهیزات شهری؛ مسکونی
شیب	افزایشی	سیگموئیدل	هر چقدر مقدار شیب بیشتر باشد، میزان آسیب‌پذیری سازه‌های شهری نیز افزایش می‌یابد.
حریم رودخانه	کاهشی	خطی	به موازات فاصله از رودخانه میزان آسیب‌پذیری کمتر می‌شود و بالعکس.



شکل ۲) نقشه‌های استاندارد شده فازی برای تعیین میزان آسیب‌پذیری

در این محلات بود؛ بناهای ایجاد شده بدون کمترین توجه به آیین‌نامه‌های ساختمانی احداث شده‌اند. نتایج خروجی سناریوها نشان می‌دهد که محله‌های ۲ و ۳ شهر اشنویه دچار کمترین آسیب نسبت به سایر محلات بودند. علت آسیب‌پذیری کمتر این محلات استفاده از مصالح بادوام (اسکلت فلزی و بتنی)، قدمت کمتر بناها، نوسازی محلات، رعایت آیین‌نامه‌های طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله بود. به‌طور کلی در سطح شهر اشنویه در یک زلزله احتمالی با شدت ۸ مرکالی ۴۳۰۸ (۴۹/۲۱٪) ساختمان در سطح شهر اشنویه دچار تخریب کامل، ۱۱۸۲ (۱۳/۵٪) ساختمان دچار آسیب جدی و ۴۲۶ (۴/۸۶٪) دچار آسیب جزئی می‌شوند. آمار و ارقام و نقشه‌های خروجی نشان از آسیب‌پذیری منطقه داشت.

جدول ۳) نتایج وزن‌دهی معیارهای مورد استفاده در تحلیل وضعیت آسیب‌پذیری

رتبه	وزن	معیار
۱	۰/۲۴۳	نوع سازه
۲	۰/۱۲۵	قدمت ساختمان
۵	۰/۱۱۲	کیفیت بنا
۶	۰/۱۰۲	تعداد طبقات
۷	۰/۰۹۵	حریم رودخانه
۳	۰/۱۱۹	تراکم جمعیت
۴	۰/۱۱۳	اندازه قطعات
۸	۰/۰۶۹	نوع کاربری
۹	۰/۰۲۲	شیب

جدول ۴) توزیع آماری آسیب‌پذیری ساختمان‌ها و مسکن شهری اشنویه در برابر زلزله بر مبنای روش ویکور

میزان آسیب‌پذیری	تعداد ساختمان	درصد در شهر
خیلی کم	۸۰۵	۹/۱۹
کم	۱۵۵۰	۱۷/۷۱
متوسط	۲۴۰۹	۲۷/۵۲
زیاد	۳۴۹۹	۳۷/۹۷
خیلی زیاد	۴۹۱	۵/۶۱
مجموع	۸۷۵۴	۱۰۰

جدول ۵) توزیع آماری آسیب به ساختمان‌های شهر اشنویه (n=۸۷۵۴) در زلزله‌های با شدت‌های مختلف

درجات آسیب	شدت ۶ مرکالی (سناریوی اول)	شدت ۷ مرکالی (سناریوی دوم)	شدت ۸ مرکالی (سناریوی سوم)
	تعداد درصد	تعداد درصد	تعداد درصد
۱	۵۷/۸۱ ۵۰۶۱	۲۲۶۸ ۲۵/۹۰	۱۰۴۶ ۱۱/۹۴
۲	۳۲/۶۲ ۲۸۵۵	۲۴۰۴ ۲۷/۴۷	۸۴۱ ۹/۶۰
۳	۷/۷۷ ۶۸۰	۱۳۱۷ ۱۵/۰۴	۱۳۷۷ ۱۵/۷۳
۴	۱/۳۶ ۱۱۹	۱۱۱۴ ۱۲/۷۳	۱۱۸۲ ۱۳/۵۱
۵	۰/۴۴ ۳۹	۱۶۵۱ ۱۸/۸۶	۴۳۰۸ ۴۹/۲۲

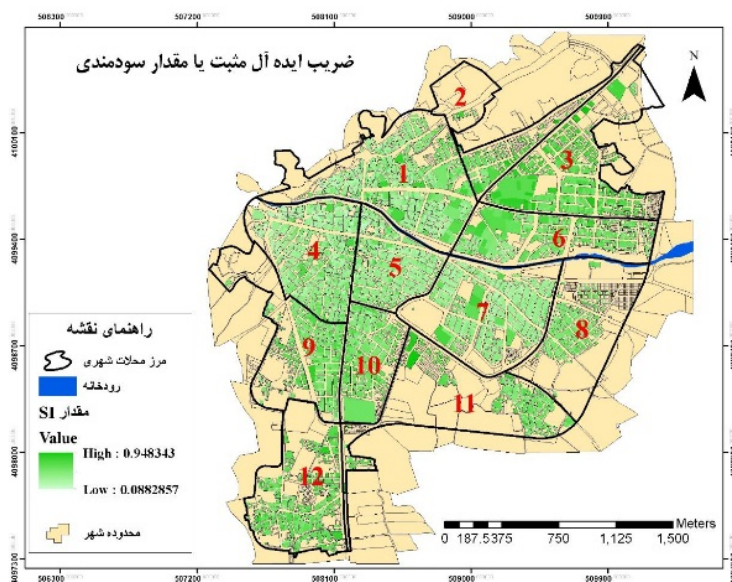
مرحله سوم؛ ملاحظات مطرح در وزن‌دهی معیارهای مورد استفاده: در تحلیل وضعیت آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری در برابر زلزله شاخص‌های نوع مصالح، عمر بنا، تعداد طبقات، فاصله از گسل و غیره موثر بودند که تاثیرگذاری هر یک از معیارها در تحلیل آسیب‌پذیری این سازه‌ها متفاوت بود. وزن نهایی هر یک از معیارها با نرخ ناسازگاری ۰/۰۷ انجام گرفت که با توجه به کم‌تر بودن از ۱/۰ مدل نهایی قابل قبول است (جدول ۳). با توجه به خروجی مدل شاخص نوع سازه با ضریب ۰/۲۴۳ دارای بیشترین وزن و شاخص شیب (۰/۰۲۲) دارای کمترین وزن بودند.

مرحله چهارم؛ تعیین شاخص سودمندی (S) و شاخص تاسف (R): در این مرحله بالاترین ارزش و پایین‌ترین ارزش توابع معیار برای همه لایه‌ها تعیین شد (شکل‌های ۳ و ۴).

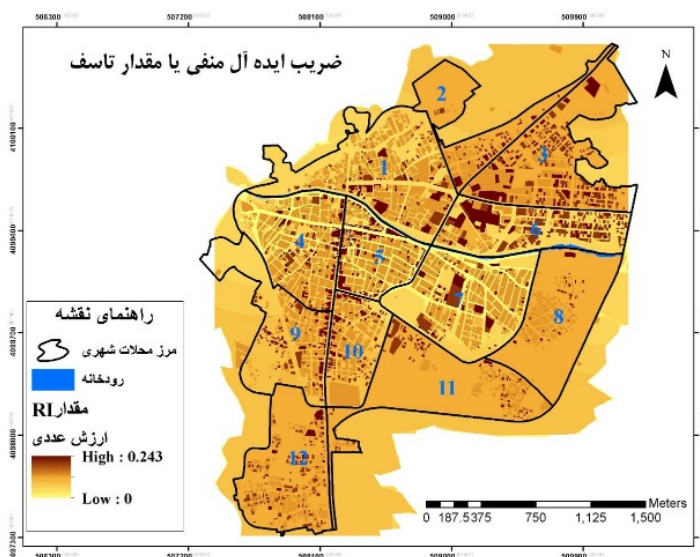
مرحله پنجم؛ محاسبه شاخص ویکور (Q): ارزش به‌دست‌آمده به روش ویکور در حد فاصل ۰/۱۴ تا ۰/۹۷ بود (شکل ۵). به‌منظور تحلیل وضع موجود، نقشه ارزش‌گذاری نهایی مدل ویکور در ۵ طیف آسیب‌پذیری خیلی کم تا خیلی زیاد طبقه‌بندی شد. با توجه به خروجی نهایی مدل‌سازی، محلات ۲ و ۳ و قسمت‌هایی از محلات ۶، ۱۱ و ۱۲ شهر اشنویه به دلیل برخورداری از مصالح مقاوم در ساخت‌وساز و همچنین رعایت استانداردهای رایج در کشور از جمله آیین‌نامه ۲۸۰۰ آسیب‌پذیری کمتری داشتند. در حالی که محلات دیگر شهر اشنویه (محلات ۱، ۴، ۵ و ۷) به دلیل استفاده از مصالح کم‌دوام در ساخت‌وساز و همچنین بالابودن عمر بالای ساختمان‌های موجود در آن آسیب‌پذیری نسبتاً بالایی داشتند (شکل ۶).

برای تحلیل نقشه‌ها و همچنین مطالعه دقیق میزان آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهر اشنویه نتایج به‌صورت کمی مورد استخراج قرار گرفت (جدول ۴). در کل شهر فقط ۸۰۵ ساختمان یعنی تنها حدود ۹/۱۹٪ از ساختمان‌ها و مسکن شهری آسیب‌پذیری خیلی کمی داشتند.

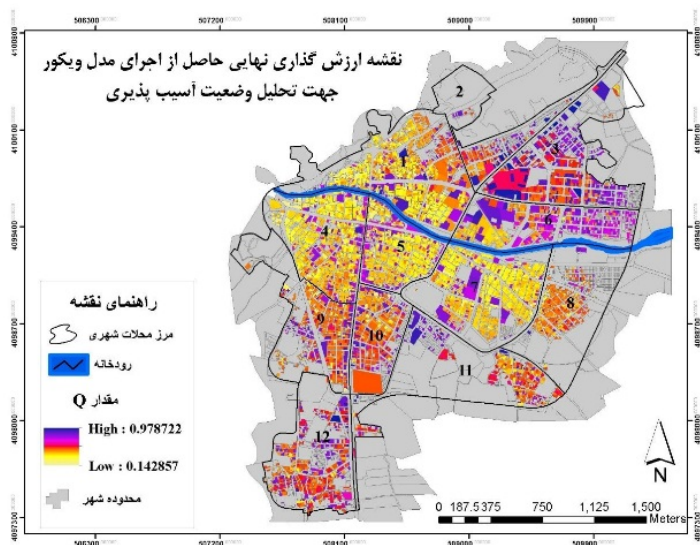
مرحله ششم؛ طراحی سناریو در زلزله با شدت‌های مختلف به‌منظور ارزیابی میزان خسارات به سازه‌های شهری: با توجه به فرمول شدت متوسط آسیب‌پذیری، تحلیل آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهر اشنویه در ۳ سناریوی مختلف زلزله با شدت‌های ۶، ۷ و ۸ مرکالی انجام گرفت (شکل ۷ و ۸). جدول ۵ نیز توزیع آماری آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری را در شدت‌های مختلف زلزله نشان داد. نتایج به‌دست‌آمده از تحلیل درجات آسیب‌پذیری با در نظر گرفتن سه سناریوی مختلف در شدت‌های ۶ تا ۸ مرکالی نشان داد که میزان آسیب وارده به ساختمان‌ها در محلات (۱، ۴، ۵ و ۷) در هر سه سناریو بیشتر از سایر محلات بودند. دلایل آسیب‌پذیری در این محلات استفاده از مصالح کم‌دوام نظیر آجر و خشت و چوب و عمر بالای ساختمان‌ها، پایین بودن کیفیت ساختمان‌ها و عرض کم معابر



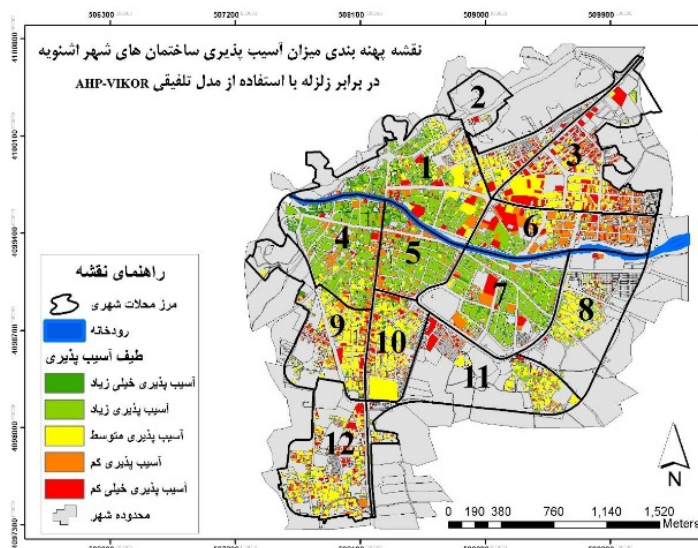
شکل ۳) مقدار سولفوردی



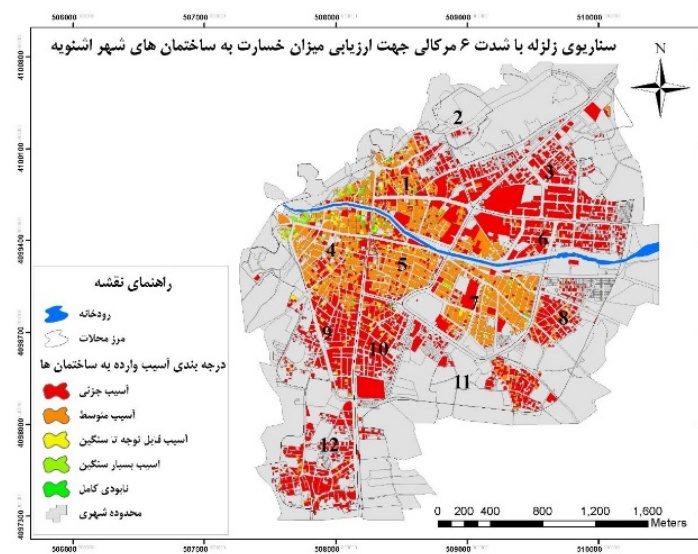
شکل ۴) مقدار تاسف



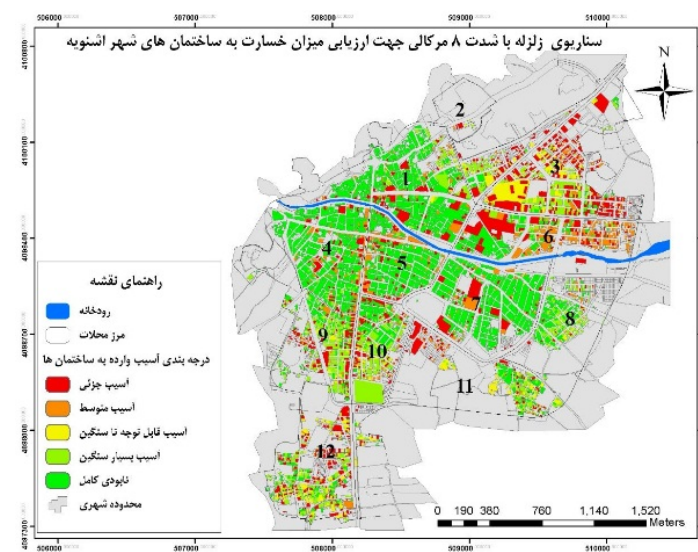
شکل ۵) خروجی نهایی مدل ویکور



شکل ۶) پهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری کلی



شکل ۷) سناریوی زلزله در شدت ۶ مرکزی



شکل ۸) سناریوی زلزله در شدت ۸ مرکزی

شوند: بازسازی و مقاوم‌سازی ساختمان‌های قدیمی و فرسوده؛ جلوگیری از ساخت بناهای با تراکم بالا؛ ایجاد فضای باز در دو جهت ساختمان‌های در حال احداث؛ تخفیف عوارض نوسازی برای ساختمان‌های با مصالح کم‌دوام و ناپایدار؛ افزایش نفوذپذیری معابر در سطوح آسیب‌پذیر محلات؛ مطالعه و بررسی میزان آسیب‌پذیری سازه‌های شهری در هنگام وقوع زلزله و تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری در راستای شناسایی و برنامه‌ریزی به‌منظور کاهش خسارات ناشی از زلزله.

از آنجایی که در پژوهش حاضر، آسیب‌پذیری مستقیم از زلزله، مورد نظر بود و بررسی آثار سوانح ثانویه پس از زلزله مورد مطالعه قرار نگرفت، شاخص‌های مربوط به آن که اغلب مربوط به بحث ایمنی تاسیسات شهری مانند برق و گاز برای جلوگیری از وقوع آتش‌سوزی و انفجار می‌شود، در نظر گرفته نشده است که جزو محدودیت‌های این پژوهش بود.

نتیجه‌گیری

در خصوص آسیب‌پذیری نواحی شهری اشنویه در برابر زلزله، خطرانی جانی و مالی وجود دارد. از همین رو، ضروری است که مدیران شهری، قوانین، آیین‌نامه‌ها، طرح‌های توسعه شهری و شیوه‌های مدیریت شهری و آمایش سرزمین را مورد بازبینی و اصلاح قرار دهند.

تشکر و قدردانی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

تأییدیه اخلاقی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

تعارض منافع: نگارنده اول عضو هیات علمی دانشگاه پیام نور و مقاله حاصل دستاورد پژوهشی و کار میدانی هر دو نویسنده است.
سهم نویسندگان: حسن هوشیار (نویسنده اول)، نگارنده مقدمه/روش‌شناسی/نگارنده بحث (۶۰٪)؛ حسین رمضان تاش دهگرچی (نویسنده دوم)، پژوهشگر کمکی (۴۰٪)

منابع مالی: موردی توسط نویسندگان گزارش نشده است.

منابع

- Abedini M, Sarmasti N (2016). Vulnerability factor of Tabriz metropolitan against earthquake risk assessment and estimation of casualties. *Physical Geography Quarterly*. 9(32):35-56. [Persian]
- Abo El Ezz A, Nollet MJ, Nasteve M (2015). Assessment of earthquake-induced damage in Quebec City, Canada. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. (12):16-24.
- Ahamadi A, Fathi S, Akbari E (2019). Assessment of urban resilience against natural hazards with an emphasis on earthquake and using fuzzy logic and GIS (a case study of Urmia city). *Journal of Geography and Environmental Hazards*. 7(3):57-73. [Persian]
- Alavi S, Hosseini S, Bahrami F, Ashorlo M (2017). Evaluation of urban fabric vulnerability rateto earthquake using ANP and GIS techniques (Case study: Semirom city). *Scientific - Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*. 25(100):129-146. [Persian]
- Amini J, Ahadnezhad M, Farajzadeh M (2015). The vulnerability assessment of urban housing in earthquake against (a case study: 9th district of Tehran municipality).

امروزه یکی از مهم‌ترین دغدغه‌های مسئولان شهرها کاهش آثار زلزله در بین ساکنان شهر و محیط‌های شهری، چه قبل و چه بعد از وقوع آن است. در این باره، شناسایی محلات شهری آسیب‌پذیر در مقابل زلزله امری ضروری است. زیرا، با شناسایی محلات پرخطر می‌توان با برنامه‌ریزی مناسب وضعیت کالبدی ساختمان‌ها، افزایش خدمات اضطراری را در این محلات بهبود بخشید تا در صورت وقوع زلزله، علاوه بر کاهش آسیب‌پذیری در کمترین زمان ممکن به ارایه خدمات در این نواحی پرداخت. بنابراین در این پژوهش، چند فاز عملیاتی صورت گرفت و بر اساس معیارهایی که در فرآیند تحلیل وضعیت آسیب‌پذیری تاثیرگذار هستند، به تهیه نقشه‌های معیار از آن‌ها اقدام شد و در ادامه به ارزش‌گذاری و استانداردسازی نقشه‌های مذکور با روش فازی پرداخته شد. به‌منظور وزن‌دهی نقشه‌های معیار از روش AHP استفاده شد. به‌منظور تعیین میزان آسیب‌پذیری کلی ساختمان‌های شهر اشنویه روش تصمیم‌گیری چند معیاری یعنی تکنیک ویکور به کار گرفته شد. نتایج نقشه آسیب‌پذیری کلی بر اساس روش ویکور نشان می‌دهد که حدود ۹/۱۹٪ از ساختمان‌ها و مسکن شهری آسیب‌پذیری خیلی کم و حدود ۴۵/۵۸٪ از ساختمان‌ها آسیب‌پذیری بالا و خیلی بالا داشتند که این آمار نشان از آسیب‌پذیر بودن محلات شهر اشنویه در برابر زلزله است. در ادامه برای اینکه سنجشی دقیق‌تر از وضعیت آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهر اشنویه ارایه شود، با فازی سازی نقشه آسیب‌پذیری کلی، سناریوهای زلزله در شدت‌های مختلف طراحی و بر روی نقشه آسیب‌پذیری کلی شهر اعمال شد. نتایج حاصل از تحلیل درجات آسیب‌پذیری با در نظر گرفتن ۳ سناریوی مختلف در شدت‌های ۶ تا ۸ مرکالی نشان داد که میزان آسیب وارده به ساختمان‌ها در محلات ۱، ۴، ۵ و ۷ در هر سه سناریو بیشتر از سایر محلات هستند. همچنین نتایج خروجی سناریوها نشان می‌دهد که محله ۲ و ۳ شهر اشنویه دچار کمترین آسیب نسبت به سایر محلات خواهد شد. علت آسیب‌پذیری کمتر این محلات نسبت به سایر محله‌ها استفاده از مصالح بادوام و پایدار، قدمت کمتر بناها، نوسازی محلات و غیره است که با تحقیق [Tabibian & Mozafari, 2018] در استفاده از شاخص‌های کالبدی و تحقیق [Ratiranjan et al., 2020] در استفاده از شاخص‌های طبیعی همسو است و در خروجی نقشه آسیب‌پذیری و استفاده از مدل‌های ترکیبی با تحقیق [Yariyan et al., 2020] مطابقت دارد.

برنامه‌ریزی شهری نقش عمده‌ای در کاهش آسیب‌پذیری شهر در برابر زلزله دارد و در میان سطوح گوناگون برنامه‌ریزی کالبدی شهر، کاربری اراضی، شبکه‌های ارتباطی، زیرساخت‌های شهری، توزیع متناسب جمعیت، قدمت و کیفیت ابنیه، نوع مصالح، فاصله از خط گسل، رعایت آیین‌نامه‌های ساختمانی از جمله عوامل مهمی هستند که نقش مهمی در کاهش اثرات و تبعات ناشی از زلزله دارند. در راستای یافته‌های پژوهش، اجرای پیشنهادهای زیر می‌تواند در کاهش آسیب‌پذیری محلات شهر اشنویه موثر واقع

- Meshkini A, Ghaed Rahmati S, Shabanzadeh Namini R (2015). Analysis of urban fabric vulnerability against earthquake (Case study: Tehran, District 2). *Human Geography Research Quarterly*. 46(4):843-856.
- Modiri M, Shaterian M, Hosseini, S (2017). Modeling the vulnerability of urban areas at the time of earthquake (Case study: Tehran metropolitan area 3). *Journal of Natural Environment Hazards*.13(4):143-164. [Persian]
- Ratiranjan J, Biswajeet P, Ghassan B (2020). Earthquake vulnerability assessment in Northern Sumatra province by using a multi-criteria decision-making model. *International Journal of Disaster Risk Reduction*. 46:101518-101530.
- Ratiranjan J, Biswajeet P, Ghassan B, Abdullah M, Ardiansyahe N, Hizir S (2020). Earthquake hazard and risk assessment using machine learning approaches at Palu, Indonesia. *Science of the Total Environment*. 749(141582).
- Sadeghi N, Bezi Kh, Khajeh Shokouhi A, Rezaei H (2018). Analysis and estimation of earthquake vulnerability of urban housing case study: Gorgan. *Journal of Environmental Geography*. 7(25):73-88. [Persian]
- Sarris A, Loupasakis C, Soupios P, Trigkas V, Vallianatos F (2009). Earthquake vulnerability and seismic risk assessment of urban areas in high seismic regions: application to Chania City, Crete Island, Greece. *Natural Hazards*. 54:395-412.
- Tabibian M, Mozafari N (2018). Assessment of vulnerability of residential areas to earthquake disasters and its planning guidelines (case study: District number 6, Tehran municipality). *MOTALEATE SHAHRI*. 7(27):93-112. [Persian]
- Yariyan P, Avand M, Soltani F, Ghorbanzadeh O, Blaschke T (2020). Earthquake vulnerability mapping using different hybrid models. *Symmetry*. 12(3):405.
- Zare M, Rezaei M, Rahimi A (2016). Vulnerability assessment of eroded tissue of Marvdasht city against earthquake using ANP and GIS. *Journal of Urban Research and Planning*. 7(26):75-92. [Persian]
- Urban Regional Studies and Research.3(9):19-36. [Persian]
- Botero V (2009). Geo-information for measuring vulnerability to earthquake: a fitness for use approach [dissertation]. Netherland: ITC.
- Eshghi Chaharborj A, Nazmfar H, Ghaffari A (2017). Assessing the physical resilience of a city against possible earthquakes (Case Study: region one of Tehran). *Journal of Physical Development Planning*. 2(4):11-26. [Persian]
- Federico R, Silvia C, Walter S, Tiago M, Paulo B (2021). An improved seismic vulnerability assessment approach for historical urban centres: the case study of Campi Alto di Norcia, Italy. *Applied Sciences*. 11(2):849.
- Ghaffari A, Yazdani M, Gholami, A (2018). Land suitability analysis in locating compost production centers (case study: Fars province). *Geography and Environmental Planning (University of Isfahan)*. 29(1):127-152. [Persian]
- Hatami Nejad H, Haraeini M, Alizade P (2018). An analysis of cultural facility distribution in the cities of Qazvin province. *Journal of Regional Planning*. 8 (30):67-76. [Persian]
- Iranmanesh F, Eshraghi M (2006). Application of GIS in planning and location of evacuation spaces of earthquake-affected population's Case study: District 22 of Tehran. Third Conference on Spatial Information System, Tehran, Iran Mapping Organization. Tehran: CIVILICA. [Persian]
- Jafari Azar S, Sabzghabaei GH, Tavakoly M, Dashti S (2018). Application of multi-criteria decision-making methods in environmental risk assessment (case study: the international wetland of Shadegan, Khur_e_Omayyeh and Khur_e_Mousa Estuary). *Journal of Geography and Environment Hazards*. 6(4):97-119. [Persian]
- Kamranzad F, Memarian H, Zare M (2020). Earthquake risk assessment for Tehran, Iran. *International Journal of Geo-Information*. 9(7):430.
- Lantada N, Pujades L, Barbat, A (2009). Vulnerability index and capacity spectrum, based method for urban seismic risk evaluation. *Natural Hazards*. 51(3):501-524.