

RESEARCH ARTICLE

DOI:10.22067/geoeh.2022.76899.1235

Open access

## Evaluating the Vulnerability of the Urban Fabric of District 18 of Tehran under the Influence of Land Subsidence using ANP and GIS

Ramin Rezaei Shahabi<sup>a\*</sup>, Alireza Arab<sup>b</sup>, Hassan Ahmadi<sup>c</sup>, Amir Pishva<sup>d</sup>, Mohammad Iqbal Shahbakhsh Musa Zehi<sup>e</sup>

<sup>a</sup> MA in Urban Planning, Isfahan University of Arts, Isfahan, Iran

<sup>b</sup> MA in Geotechnics, Kharazmi University, Tehran, Iran

<sup>c</sup> Associate Professor, Urban Planning Department, Faculty of Art and Architecture, Guilan University, Rasht, Iran

<sup>d</sup> MA Student in Geographic Information System, Kharazmi University, Tehran, Iran

<sup>e</sup> MA in Roads, Khajeh Nasir University, Tehran, Iran

Received: 26 May 2022

Revised: 28 August 2022

Accepted: 8 September 2022

### Abstract

Due to the uncontrolled abstraction of groundwater resources in the last half century, the water level of groundwater aquifers in most plains of Iran has decreased sharply. Sharp drop in groundwater levels is the main cause of land subsidence in Iran. Land subsidence has the potential to cause a major human catastrophe, and if it happens, it will expose agricultural lands, urban fabric, vital arteries, and many other environmental aspects to extreme vulnerability. This study evaluated the vulnerability of urban fabric in District 18 of Tehran regarding the influence of land subsidence. The spatial study was carried out by implementing an analytical model in three steps. In the first step, the indicators of vulnerability of urban tissue affected by land subsidence were identified and classified based on three criteria of physical and demographic, access and proximity to high risk centers. In the second step, using a questionnaire and expert's ideas, the priorities of urban tissue vulnerability in relation to land subsidence were identified and based on the network analysis process, the weight of each criterion was determined. In the third step, the weight obtained from the ANP model was applied to the spatial layers of the region in ArcGIS software. The results of model implementation showed that a high percentage of District 18 have features such as worn texture, buildings with low structural strength, very low building quality, high population and construction density and are prone to high vulnerability. Moreover, Zone 1 with 96%, Zone 2 with 88.5%, Zone 3 with 90.4%, Zone 4 with 85%, and Zone 5 with 92.3% have high vulnerability. About 90% of the total buildings constructed in District 18 of Tehran are affected by land subsidence in a highly vulnerable area.

**Keywords:** Assessment, Vulnerability, Urban Texture, Subsidence, Analytic Network Process (ANP), District 18 of Tehran

\*. Corresponding author: Ramin RezaeiShahabi

E-mail: r.r.shahabi@gmail.com

Tel: + 989010327735

**How to cite this Article:** RezaeiShahabi, R., Arab, A., Ahamadi, H., Pishva, A., & Shahbakhsh Musa Zehi, M. A. (2022). Evaluating the vulnerability of the urban fabric of District 18 of Tehran under the influence of land subsidence using ANP and GIS. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(4), 193-219  
DOI:10.22067/geoeh.2022.76899.1235



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





Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)

## Geography and Environmental Hazards

Volume 11, Issue 4 - Number 44, Winter 2023

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

 <https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.76899.1235> 

جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال یازدهم، شمارهٔ چهل و چهارم، زمستان ۱۴۰۱، صص ۲۱۹-۱۹۳

مقاله پژوهشی

ویژه‌نامه (چالش جهانی فرونشست زمین: مدیریت بحران یا بحران مدیریت)

ارزیابی آسیب‌پذیری بافت شهری منطقه ۱۸ تهران تحت تأثیر فرونشست زمین با استفاده از تحلیل

شبکه‌ای ANP و GIS

رامین رضایی شهابی<sup>۱</sup> - کارشناس ارشد شهرسازی، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران.

علیرضا عرب - دانشجوی کارشناسی ارشد ژئوتکنیک، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

حسن احمدی - دانشیار گروه شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه گیلان، رشت، ایران.

امیر پیشوا - دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران.

محمد اقبال شه‌بخش موسی‌زهی - کارشناس ارشد راه، دانشگاه خواجه نصیر، تهران، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۳/۵ تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۶/۶ تاریخ تصویب: ۱۴۰۱/۶/۱۷

### چکیده

به دلیل برداشت بی‌رویه از منابع آب زیرزمینی در نیم‌قرن اخیر تراز آب سفره‌های زیرزمینی در اغلب دشت‌های کشور به شدت کاهش پیدا کرده است. افت شدید تراز آب سفره‌های زیرزمینی عامل اصلی پدیده فرونشست زمین در ایران است. فرونشست زمین پتانسیل ایجاد یک فاجعه عظیم انسانی را دارد و در صورت وقوع آن، زمین‌های کشاورزی، بافت شهرها، شریان‌های حیاتی و بسیاری از جنبه‌های زیست‌محیطی را در معرض آسیب‌پذیری شدید قرار خواهد داد. درگیر شدن دشت جنوب غرب تهران با مسأله فرونشست زمین ایده اولیه پژوهش حاضر بوده است. در این پژوهش، آسیب‌پذیری بافت شهری منطقه ۱۸ شهر تهران تحت تأثیر فرونشست زمین مورد ارزیابی قرار گرفته است که در قالب مطالعات فضایی — مکانی و با اجرای مدل تحلیلی در سه گام انجام شده است. در گام اول، شناسایی و دسته‌بندی

Email: r.r.shahabi@gmail.com

۱ نویسنده مسئول: ۰۹۰۱۰۳۲۷۷۳۵

نحوه ارجاع به این مقاله:

رضایی شهابی، رامین؛ عرب، علیرضا؛ احمدی، حسن؛ پیشوا، امیر؛ شه‌بخش موسی‌زهی، محمد اقبال؛ ۱۴۰۱. ارزیابی آسیب‌پذیری بافت شهری منطقه ۱۸ تهران تحت تأثیر فرونشست زمین با استفاده از تحلیل شبکه‌ای ANP و GIS. جغرافیا و مخاطرات محیطی.

۱۱(۴)، صص ۲۱۹-۱۹۳

<https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.76899.1235>

شاخص‌های آسیب‌پذیری بافت شهری تحت تأثیر فرونشست زمین بر اساس سه معیار کالبدی و جمعیتی، دسترسی و همجواری با مراکز ریسک بالا صورت گرفت و در گام دوم، با استفاده از ابزار پرسشنامه و نظرسنجی کارشناسی، اولویت‌های آسیب‌پذیری بافت شهری در ارتباط با فرونشست زمین مشخص گردید و بر پایه فرآیند تحلیل شبکه‌ای، تعیین وزن هر یک از معیارها انجام گرفت. در نهایت، در گام سوم وزن حاصل از مدل ANP، در محیط نرم‌افزار ArcGIS بر لایه‌های مکانی منطقه اعمال شد. نتایج اجرای مدل نشان داد که درصد بالایی از اراضی ساخته شده منطقه ۱۸ دارای ویژگی‌هایی نظیر بافت فرسوده، بناهایی با مقاومت سازه‌ای پایین، کیفیت ساخت بسیار پایین بناها، تراکم بالای جمعیتی و ساختمانی بوده و مستعد آسیب‌پذیری زیاد می‌باشند. همچنین ناحیه ۱ با ۹۶ درصد، ناحیه ۲ با ۸۸/۵ درصد، ناحیه ۳ با ۹۰/۴ درصد، ناحیه ۴ با ۸۵ درصد و ناحیه ۵ با ۹۲/۳ درصد اراضی ساخته شده در محدوده آسیب‌پذیری بالا قرار گرفته‌اند. در مجموع از کل اراضی ساخته شده منطقه ۱۸ شهر تهران در حدود ۹۰ درصد بافت ساخته شده در محدوده آسیب‌پذیری زیاد تحت تأثیر فرونشست زمین قرار دارد.

**کلیدواژه‌ها:** ارزیابی، آسیب‌پذیری، بافت شهری، فرونشست زمین، فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP)، منطقه ۱۸ تهران.

#### ۱- مقدمه

ساختارهای فیزیکی و اجتماعی شهرها در برابر بحران‌های انسانی و طبیعی بسیار آسیب‌پذیر است. اگر بخواهیم چرایی این مسأله را بیان کنیم می‌توان گفت که شهر مجموعه پیچیده‌ای است که درگیر فرآیندهای گسترده‌ای از قبیل تمرکز سرمایه، ثروت و جمعیت، موقعیت و رشد شتابان مراکز شهری، تغییر و تحولات ساختارهای شهری، توسعه سکونتگاه‌های آسیب‌پذیر و مهم‌تر از همه ناکامی برنامه‌ریزان و مدیران شهری در بهینه‌سازی استانداردهای ساخت‌وساز، هنجارهای اجتماعی و استراتژی‌های برنامه‌ریزی کاربری اراضی است. این فرآیندها هر یک به نحوی در شکل‌گیری بحران‌های مختلف تأثیرگذار می‌باشند. شواهد نشان می‌دهد که همزمان با رشد شهرها خطرآفرینی آن‌ها نیز افزایش می‌یابد (واندرسون<sup>۱</sup>، ۲۰۰۵). مفهوم آسیب‌پذیری سرمایه‌های فیزیکی و انسانی به هنگام وقوع بحران در شهرها یکی از مهم‌ترین مسائلی است که امروزه در بسیاری از بخش‌های مطالعاتی از قبیل جامعه‌شناسی، انسان‌شناسی اجتماعی، مدیریت بحران، علوم محیطی و پدافند غیرعامل مورد توجه قرار گرفته است (روستین<sup>۲</sup>، ۱۹۶۵). آسیب‌پذیری برحسب مبانی متفاوتی مانند درجه زیان و آسیب حاصل از یک پدیده بالقوه آسیب‌رسان، شرایط و موقعیت اجتماعی — اقتصادی (کانون و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۰۳؛ بلیکی و همکاران<sup>۴</sup>، ۲۰۰۴) و خصیصه‌ای از یک سیستم

1 Wanderson

2 Rustin

3 Cannon et al

4 Blaikie et al

زوجی انسانی — محیطی (ترنر و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۳) تعریف شده است. آسیب‌پذیری اغلب به ظرفیت برای خسارت (کاتر<sup>۲</sup>، ۱۹۹۶)، درجه و میزان تخریب در عامل یا گروهی از عوامل که از وقوع هر پدیده حاصل می‌شود (لیتله و همکاران<sup>۳</sup>، ۲۰۰۴) یا به ظرفیت نداشتن کافی جامعه برای رویارویی در برابر تهدیدها و مخاطرات تعریف می‌شود که بر پایه موقعیت افراد و گروه‌ها در دنیای فیزیکی و اجتماعی استوار است (کلارک و همکاران<sup>۴</sup>، ۱۹۹۸). آسیب‌پذیری به‌عنوان عامل خطر درونی موضوع یا یک سیستم تعریف می‌شود که در معرض اتفاقی قرار دارد و طبق تمایل ذاتی‌اش تحت تأثیر قرار می‌گیرد یا مستعد خسارت است و بیانگر حساسیت فیزیکی، اقتصادی، اجتماعی و یا تمایل جامعه به خلل در شرایط تهدیدهای طبیعی یا با منشأ انسانی است (کاردونا<sup>۵</sup>، ۲۰۰۳؛ امریچ و کاتر<sup>۶</sup>، ۲۰۱۱). این مفهوم در پژوهش‌های مختلف استفاده شده است، اما در مورد معنی و تعاریف آن توافقی وجود ندارد (هوفشمیت<sup>۷</sup>، ۲۰۱۱) اما به زبان ساده، شاخصی از امکان خسارت در آینده است (وولف و همکاران<sup>۸</sup>، ۲۰۱۳).

به‌طور کلی، انواع متفاوتی از آسیب‌پذیری وجود دارد که به چهار دسته اصلی فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی و محیطی تقسیم می‌شوند (احسان و وارنر<sup>۹</sup>، ۲۰۱۴؛ کیم و مارکویلر<sup>۱۰</sup>، ۲۰۱۵). همچنین آسیب‌پذیری بر اساس منشأ حادثه، در دو طیف طبیعی و انسان‌ساخت طبقه‌بندی شده است (سنوالد و بایلی<sup>۱۱</sup>، ۲۰۱۵). در این راستا موضوع فرونشست<sup>۱۲</sup> زمین به‌عنوان یکی از عوامل مهم تهدیدکننده مناطق شهری، صنعتی و کشاورزی در نیم‌قرن اخیر مطرح شده است. نتایج تحقیقات نشان می‌دهد که فرونشست زمین بیش از ۱۲ میلیون کیلومتر مربع (۸۰ درصد) از سطح زمین را در جهان با احتمال بیشتر از ۵۰ درصد تهدید می‌کند و از ۷۳۴۳ شهر بزرگ دنیا در حدود ۱۵۹۶ شهر بزرگ (۲۲ درصد) در مناطق بالقوه فرونشست زمین قرار دارد و همچنین ۱۹ درصد از جمعیت جهان در معرض خطر ناشی از فرونشست قرار دارند (گارسیا و همکاران<sup>۱۳</sup>، ۲۰۲۱). فرونشست زمین می‌تواند ناشی از عوامل طبیعی زمین‌ساختی مانند زمین‌لرزه، فرسایش، انحلال، آب‌شدگی یخ‌ها و تراکم نهشته‌ها، حرکات آرام پوسته، فعالیت‌های تکتونیکی و خروج گدازه از پوسته جامد زمین باشد (طالب‌بیدختی و همکاران، ۱۳۹۶). همچنین فعالیت‌های انسانی

1 Turner et al

2 Cutter

3 Little et al

4 Clark et al

5 Cardona

6 Emrich and Cutter

7 Hufschmidt

8 Wolf et al

9 Ahsan and Warner

10 Kim and Marcouiller

11 Sennewald and Baillie

22 Subsidence

33 Garcia et al

از دیگر عوامل بسیار بااهمیت در وقوع فرونشست است (بورچرز و کارپنتر، ۲۰۱۴) که از جمله این فعالیت‌ها می‌توان به معدنکاری، برداشت آب‌های زیرزمینی و نفت اشاره نمود. در این میان یکی از مهم‌ترین دلایل فرونشست زمین برداشت بی‌رویه از سفره‌های آب زیرزمینی است (اروجی و همکاران، ۲۰۱۹). تغییرات اقلیمی و افزایش جمعیت باعث برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی شده و در پی آن بسیاری از دشت‌ها در کشورهای مختلف دنیا با بیلان منفی روبه‌رو شده‌اند که این امر باعث تراکم لایه‌های خاک گردیده و نهایتاً باعث مرگ یک آبخوان و از بین رفتن ظرفیت ذخیره آب در آن می‌گردد. هنگامی که تراز آب زیرزمینی در یک آبخوان کاهش می‌یابد به دلیل از بین رفتن نیروی شناوری آب، پدیده تحکیم لایه‌های رسی خاک شروع می‌شود و این اتفاق باعث فرونشست زمین می‌گردد (زانگ و همکاران، ۲۰۲۰). فرونشست زمین پیامدهای زیانباری بر مستحذات روی خاک و شریان‌های حیاتی مدفون در خاک دارد که در صورت ادامه روند برداشت آب از یک آبخوان این پدیده می‌تواند باعث از بین رفتن کارایی سازه‌ها و شریان‌های حیاتی (شامل خطوط اصلی انتقال آب، نفت، گاز و ...) گردد و نتیجه آن مواجهه با یک بحران در منطقه خواهد بود (گالووی و همکاران، ۲۰۰۸).

به دلیل برداشت کنترل نشده آب‌های زیرزمینی، ایران در حال حاضر یکی از رکورددارترین کشورها در زمینه نرخ سالیانه فرونشست (۲۵ سانتی‌متر فرونشست در سال) است (گارسیا و همکاران، ۲۰۲۱). برداشت بیش‌ازحد آب از سفره‌های آب زیرزمینی در طول دهه‌ها برای مصارف کشاورزی و صنعتی باعث فرونشست شدید زمین در بسیاری از دشت‌های ایران مانند دشت قره‌بلاغ استان فارس (یمانی و همکاران، ۱۳۸۸)، رفسنجان (موتق و همکاران، ۲۰۱۷)، مشهد (دهقانی و همکاران، ۲۰۰۹)، تهران (آزادنژاد و همکاران، ۲۰۱۹؛ آزادنژاد و همکاران، ۲۰۲۰)، قزوین (بابایی و همکاران، ۲۰۲۰) و نیشابور (رضایی و همکاران، ۲۰۲۰) شده است. در این میان دشت جنوب غرب تهران یکی از مناطقی است که با کاهش تراز آب‌های زیرزمینی مواجه بوده و به تبع آن آثار فرونشست در این منطقه دیده می‌شود (محمودپور و همکاران، ۲۰۱۶) و این مسأله تهدیدی جدی برای بافت و کالبد شهری و صنعتی و همچنین اراضی کشاورزی این منطقه است. در این راستا منطقه ۱۸ شهرداری تهران یکی از مناطقی است که فرونشست زمین در آن به وقوع پیوسته (مرادی و همکاران، ۱۳۹۹) و در حال فرونشینی به نرخ ۱ الی ۲۵ سانتی‌متر است (کریمی و همکاران، ۱۳۹۲). احتمال همزمانی سانحه فرونشست با زمین‌لرزه به دلیل همجواری منطقه ۱۸ با گسل فعال ری (به‌عنوان عامل

1 Borchers and Carpenter

2 Oruji et al

3. Zhang et al

4 Galloway et al

5 Motagh et al

6 Dehghani et al

7 Azadnejad et al

8 Babae et al

9 Rezaei et al

00 Mahmoudpour et al

ماشه‌ای برای رویداد سانحه فروریزش در اراضی)، تراکم زیاد جمعیتی و ساختمانی، وجود بافت فرسوده گسترده و وضعیت نامناسب استقرار عناصر کالبدی و کاربری‌های نامناسب شهری در منطقه ۱۸ این منطقه را مستعد بروز فاجعه‌ای شدید با تلفات انسانی بالا می‌کند. از این روی هدف این پژوهش ارزیابی آسیب‌پذیری بافت شهری منطقه ۱۸ تهران تحت تأثیر فرونشست زمین با استفاده از تحلیل شبکه‌ای ANP و GIS خواهد بود. در جدول ۱ به برخی از مطالعات که در رابطه با فرونشست زمین و تأثیرات آن بر سکونتگاه‌های شهری صورت گرفته است، اشاره شده است.

### جدول ۱- مطالعات انجام یافته در رابطه با فرونشست زمین و تأثیر آن بر سکونتگاه‌های شهری

محققان	نتایج پژوهش
پرت و جانسون <sup>۱</sup>	در سال ۱۹۲۶ پرت و جانسون اولین مشاهده در مورد نشست زمین مرتبط با فرآیندهای زیرسطحی را انجام داده‌اند. آن‌ها اشاره کرده‌اند که «علت فرونشست را باید در استخراج گسترده سیال از زیر منطقه آسیب دیده یافت».
ترزاقی <sup>۲</sup>	اولین نقطه عطف در نظریه تحکیم آبخوان به دلیل پمپاژ آب زیرزمینی در سال ۱۹۲۳ توسط ترزاقی معرفی گردید که اصل «تنش مؤثر بین دانه‌های خاک» را معرفی کرد (گامبولاتی و همکاران، ۲۰۱۵).
گامبولاتی و فریز <sup>۳</sup>	در اوایل دهه ۱۹۷۰، گامبولاتی و فریز با ظهور فناوری کامپیوتری اولین مدل‌سازی ریاضی فرونشست را توسعه دادند (گامبولاتی و همکاران، ۲۰۱۵). از آن زمان، فهم، اندازه‌گیری و شبیه‌سازی پدیده فرونشست به‌طور چشمگیری افزایش یافته است.
پولند	در اواخر دهه ۱۹۵۰ و ۱۹۶۰، مفاهیم مرتبط با فرونشست زمین و برداشت آب به لطف کمک‌های اساسی پولند — پیشگام در مطالعات فرونشست زمین بر اثر عوامل انسانی — پذیرفته شد (پولند، ۱۹۵۸، ۱۹۶۰، ۱۹۶۱؛ پولند و داویس، ۱۹۵۶، ۱۹۶۹؛ پولند و همکاران، ۱۹۵۹؛ پولند و گرین، ۱۹۶۲) <sup>۴</sup>
فت <sup>۵</sup>	«گسیختگی‌های زمین مرتبط با فرونشست زمین» برای اولین بار در سال ۱۹۴۹ در مرکز آریزونا توسط فت (۱۹۵۱) مشاهده شد و در پی آن، بیش از ۲۰ سال طول کشید تا سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده تحقیقات عمده‌ای را در مناطقی که دچار فرونشست شده‌اند (کالیفرنیا، آریزونا، تگزاس و نوادا) در جنوب غربی ایالات متحده — جایی که فیشرها زمین به‌صورت گسترده‌ای مشکل‌ساز شده‌اند — انجام دهد (هولزر و داویس، ۱۹۷۶؛ هولزر و همکاران، ۱۹۷۹) <sup>۶</sup> .
هولزر و پامپیان <sup>۷</sup>	هولزر و پامپیان در سال ۱۹۸۱ تشخیص دادند که فیشرها ناشی از عوامل انسانی هستند (جاچنز و هولزر، ۱۹۷۹؛ هولزر و پامپیان، ۱۹۸۱؛ جاچنز و هولزر، ۱۹۸۲) <sup>۸</sup> .
چائوسارد و همکاران <sup>۹</sup>	چائوسارد و همکاران در سال ۲۰۱۳ در مقاله‌ای با عنوان «شهرهای در معرض ایجاد فروچاله در اندونزی: فرونشست سریع ناشی از آب‌های زیرزمینی و استخراج گاز» به بررسی فرونشست زمین با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری در شش شهر واقع در

1 Pratt and Johnson

2 Terzaghi K. V.

3 Gambolati et al

4 Gambolati and Freeze

5 Poland; Poland and Davis; Poland et al; Poland and Green

6. Feth

7 Holzer and Davis, 1976; Holzer et al., 1979

8 Holzer and Pampeyan

9 Jachens and Holzer; Holzer and Pampeyan; Jachens and Holzer

ññ Chaussard et al

محققان	نتایج پژوهش
	غرب اندونزی پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که بارندگی شدید همراه با طوفان‌های موسمی و استوایی، فقدان دفاع ساحلی یا رودخانه‌ای و همچنین پتانسیل محدود تخلیه، آسیب‌پذیری شهرهای اندونزی را افزایش می‌دهد (چائوسارد و همکاران، ۲۰۱۳).
کاستلازی و همکاران <sup>۱</sup>	کاستلازی و همکاران در سال ۲۰۱۶ در مقاله‌ای با عنوان «فرونشست زمین در شهرهای بزرگ مکزیک مرکزی: تحلیل نقشه فرونشست زمین برگرفته از InSAR با داده‌های هیدروژئولوژیکی» به بررسی تأثیر فرونشست بر مکزیک مرکزی پرداختند و یک همخوانی بین تغییرات اخیر نرخ فرونشست با داده‌های زمین‌شناسی و پیشنهادهایی برای کاهش آسیب‌های آتی به زیرساخت‌ها و کمک به مدیریت منابع آب زیرزمینی را ارائه دادند (کاستلازی و همکاران، ۲۰۱۶).
هررا لئون و همکاران <sup>۲</sup>	هررا لئون و همکاران در سال ۲۰۱۸ در مقاله‌ای با عنوان «فرونشست زمین و تأثیرات آن بر مناطق شهری در شهر تپیک <sup>۳</sup> مکزیک» به بررسی فرونشست زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای پرداختند. آنها در این تحقیق به بررسی رابطه بین عوامل طبیعی و عوامل انسانی به‌عنوان دلایل پیدایش فرونشست در منطقه تپیک پرداخته‌اند (هررا لئون و همکاران، ۲۰۱۸).

در تحقیقات ارائه شده، محققان تلاش کرده‌اند اهمیت فرونشست زمین و خطرات ناشی از وقوع آن را مورد تأکید قرار دهند. بررسی این تحقیقات نشان می‌دهد که در هیچ‌کدام از مطالعات مربوط به فرونشست زمین، میزان آسیب‌پذیری بافت کالبدی و جمعیتی شهرها در صورت وقوع فرونشست بررسی و تحلیل نشده و همچنین از تحلیل شبکه‌ای (ANP) برای تعیین معیارها و شاخص‌های آسیب‌پذیری بافت شهری تحت تأثیر فرونشست زمین استفاده‌ای نشده است و این می‌تواند از نقاط قوت این تحقیق نیز باشد. فرونشست زمین می‌تواند خسارات جدی و پرهزینه‌ای از جمله تخریب سازه‌ها و ساختمان‌ها، شبکه راه‌ها و دسترسی‌ها و تأسیسات مخازن آب، نیروگاه‌ها، خطوط مخابراتی و برق را به همراه داشته باشد. مطالعات اخیر نشان می‌دهد که دشت جنوب غرب تهران درگیر پدیده فرونشست زمین شده است (محمودپور و همکاران، ۲۰۱۶) و در این پهنه، منطقه ۱۸ تهران یکی از مناطقی است که خطر فرونشست می‌تواند یک بحران جدی با تلفات انسانی در مقیاس بالا را ایجاد کند. نقشه الگوی توزیع فضایی نواحی مسکونی منطقه ۱۸ نشان دهنده استقرار بخش قابل توجهی از اراضی ساخته شده این منطقه در عرصه درگیر با پدیده فرونشست است (کریمی و همکاران، ۱۳۹۲). فروریزش ناگهانی زمین و تخریب و ریزش سازه‌های آسیب‌پذیر از سوانح محتمل ناشی از عوارض فرونشست است که در منطقه ۱۸ به دلیل تراکم زیاد جمعیت و بافت فرسوده آن می‌تواند با ایجاد تلفات انسانی زیاد فاجعه‌آفرین باشد.

1 Castellazzi et al

2 Herrera Leon et al

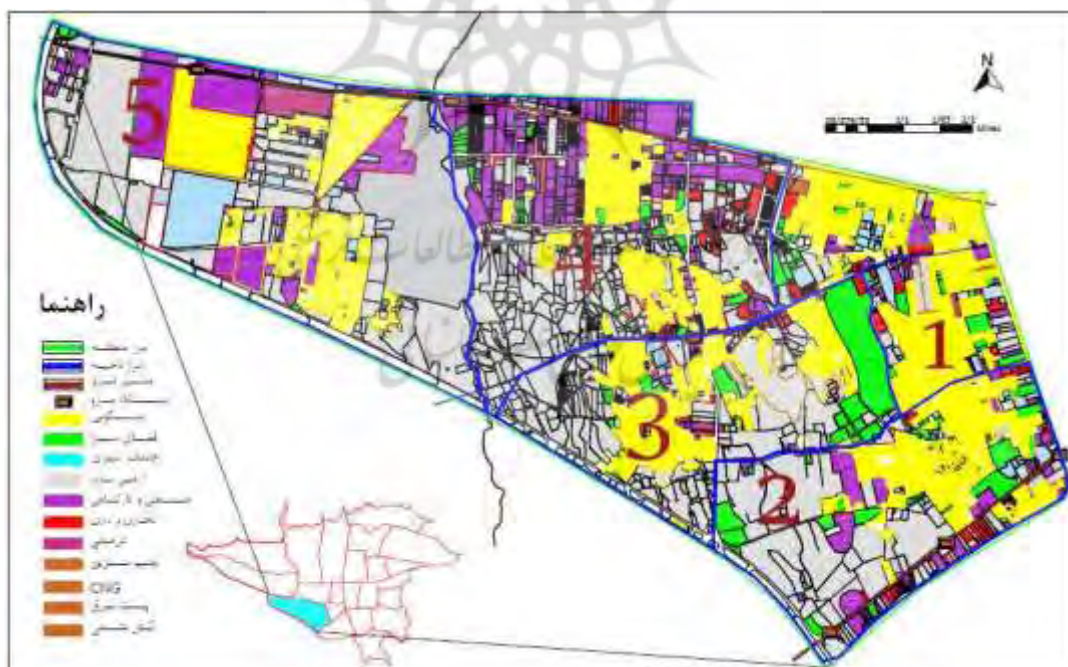
3 Tepic

4 Mahmoudpour et al

## ۲- مواد و روش

## ۲-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه ۱۸ با ۳۷۸۸ هکتار مساحت (معادل ۸ درصد مساحت کل شهر تهران) یکی از بزرگ‌ترین مناطق شهر تهران است که دارای ۵ ناحیه و ۱۳ محله است. جمعیت منطقه حدود ۴۴۴۸۸۶ هزار نفر و با تراکم خالص جمعیتی حدود ۷۶۰ نفر در هکتار است. این منطقه به لحاظ جغرافیایی از شمال به بزرگراه فتح و ۴۵ متری زرنند، از شرق به بزرگراه آیت‌الله سعیدی، از غرب به بزرگراه آزادگان و شهرستان قدس و شهریار و از جنوب به بزرگراه آیت‌الله سعیدی و بزرگراه آزادگان محدود می‌شود. منطقه ۱۸ در بخش جنوب‌غربی شهر تهران واقع و با مناطق ۹ و ۲۱ (شمال)، شهرستان شهریار (غرب)، اسلام‌شهر (جنوب) و ۱۷ و ۱۹ (شرق) همجوار است. این منطقه در سال ۱۳۵۹ به تهران بزرگ الحاق شده و هسته اولیه این منطقه روستای یافت‌آباد بوده که با گسترش مهاجرت توسعه و رشد یافته است. اغلب کاربری‌های این منطقه قبل از توسعه شهری و ساخت‌وساز کشاورزی بوده است. منطقه ۱۸ با داشتن ۱۰۰۰ هکتار اراضی با کاربری صنعتی (۳۰ درصد اراضی منطقه) رتبه نخست را از لحاظ مساحت در کل سطح تهران بزرگ را دارا است. بافت مسکونی بسیار پرتراکم و معابر کم‌عرض از ویژگی‌های بارز این منطقه به حساب می‌آید (شهرداری تهران، ۱۴۰۰).

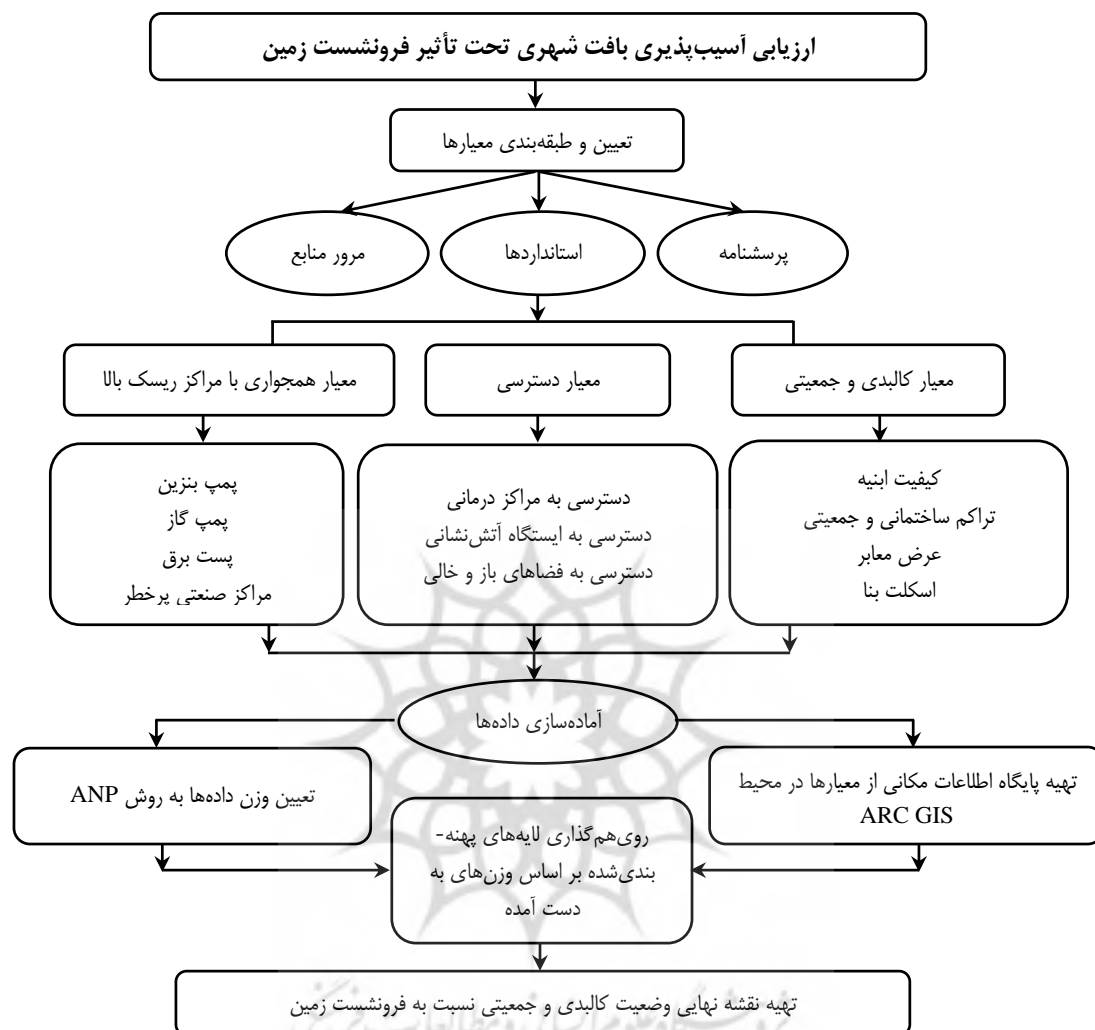


شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه ۱۸ شهر تهران



## ۲-۲- روش‌شناسی پژوهش

هدف از این پژوهش، ارزیابی آسیب‌پذیری بافت شهری منطقه ۱۸ تهران تحت تأثیر فرونشست زمین است که در قالب مطالعات فضایی — مکانی با اجرای یک مدل تحلیلی در سه گام اول، اصول و مبانی آسیب‌پذیری با مطالعه سوابق و با مراجعه به منابع علمی و معتبر به دست آمد. در گام دوم، اولویت‌های آسیب‌پذیری بافت شهری در ارتباط با پدیده فرونشست زمین در منطقه مورد مطالعه با استفاده از ابزار پرسشنامه تعیین شد و توزیع پرسشنامه بین ۳۰ کارشناس ستاد حوادث غیرمترقبه، شهرداری، اداره‌های مسکن و شهرسازی و اساتید دانشگاه‌ها صورت گرفت. در گام سوم، مدل تحلیلی بر پایه روش ANP تعریف شد و وزن هر یک از زیرمعیارها و معیارها، با استفاده از نرم‌افزار Super Decision به دست آمد. اوزان اختصاصی حاصل از مدل‌سازی ANP روی لایه‌های مکانی منطقه اعمال شد. در گام بعد، این وزن‌ها در محیط نرم‌افزار ArcGIS 10.8 به هر یک از لایه‌های مربوط به معیارها اعمال شدند و همراه با آن، تلفیق لایه‌ها نیز صورت گرفت. سپس نقشه نهایی به صورت رستری در سیستم اطلاعات جغرافیایی به دست آمد. در شکل ۲ مدل تحلیلی تدوین شده برای ارزیابی آسیب‌پذیری بافت شهری تحت تأثیر فرونشست زمین ارائه شده است.



شکل ۲- مدل تحلیلی ارزیابی آسیب‌پذیری بافت شهری منطقه ۱۸ تهران تحت تأثیر فرونشست زمین با استفاده از روش تحلیل شبکه‌ای ANP و GIS

### ۲-۳- مدل تحلیل شبکه (ANP)

فرآیند تحلیل شبکه یا ANP، یکی دیگر از تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره است که شباهت زیادی به روش AHP دارد و به عبارت بهتر، شکل گسترش‌یافته فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی است. این فرآیند که آن را ساعتی<sup>۱</sup> در سال ۱۹۹۶ مطرح و معرفی کرد، در مجموعه مدل‌های جبرانی قرار می‌گیرد. همچنین این فرآیند، نظریه‌ای

1 Saaty T.

جدید است که در آن، ساختار شبکه‌ای جانشین ساختار سلسله‌مراتبی شده است. این ویژگی سبب می‌شود که وابستگی‌ها و بازخوردهای بین معیارها و زیرمعیارها، به‌صورت نظام‌مند بررسی شود (چانگ و لی، ۲۰۰۵). روش فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) ارتباطات پیچیده میان عناصر تصمیم را از طریق جایگزینی ساختار سلسله‌مراتبی با ساختار شبکه‌ای در نظر می‌گیرد. به همین دلیل، در سال‌های اخیر استفاده از ANP در اغلب زمینه‌ها افزایش یافته است (زبردست، ۱۳۹۰). روش ANP دارای گام‌هایی به شرح زیر است: گام اول، پایه‌ریزی مدل و ساختار مسئله، گام دوم ماتریس مقایسات زوجی و برآورد وزن نسبی، گام سوم تشکیل سوپر ماتریس اولیه، گام چهارم تشکیل سوپر ماتریس وزنی، گام پنجم محاسبه بردار وزنی عمومی، گام ششم محاسبه وزن نهایی معیارها و در گام هفتم با توجه به جدول وزن خوشه‌ها و سوپر ماتریس حد، وزن نهایی معیارها محاسبه می‌شود.

#### ۲-۴- معرفی معیارها و شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری بافت شهری

در این پژوهش با بررسی آراء صاحب‌نظران معیارهای مربوط به آسیب‌پذیری بافت شهری منطقه ۱۸ تهران تحت تأثیر فرونشست زمین را می‌توان به شرح زیر دانست:

- ساختار کالبدی و جمعیتی؛
- قابلیت دسترسی؛
- همجواری با مراکز ریسک بالا.

جدول ۲- معیارهای ارزیابی آسیب‌پذیری بافت شهری تحت تأثیر فرونشست زمین

معیارها	معیار کالبدی و جمعیتی	معیار دسترسی	معیار همجواری با مراکز ریسک بالا
شاخص‌ها	کیفیت ابنیه تراکم ساختمانی و جمعیتی عرض معابر اسکلت بنا	دسترسی به مراکز درمانی دسترسی به ایستگاه آتش‌نشانی دسترسی به فضاهای باز و خالی	پمپ‌بنزین پمپ گاز پست برق مراکز صنعتی پرخطر

به‌منظور ارزیابی میزان آسیب‌پذیری و در چارچوب معیارهای مطرح شده، شاخص‌های زیر تعیین گردید تا بتوان به‌صورت کمی در مورد میزان آسیب‌پذیری قضاوت کرد:

۲-۴-۱- کیفیت ابنیه: هرچه مقاومت بنا بیشتر باشد و از مصالح بادوام‌تری ساخته شده باشد، آسیب‌پذیری کمتری خواهد داشت (احدث‌آدروشنی و همکاران، ۱۳۹۴؛ توکلی و اکبرپور، ۱۳۸۹؛ صیامی و همکاران، ۱۳۹۳). بدیهی است احتمال مقاومت ساختمان‌های با کیفیت بالا (نوساز) نسبت به ساختمان‌های تخریبی بیشتر است. کیفیت ابنیه و ساخت آن‌ها از عوامل اثرگذار بر مقاومت ساختمان‌های شهری در برابر فشارهای وارده است. از این منظر

ساختمان‌های شهری به سه دسته نوساز، مرمتی و تخریبی قابل تفکیک است. شاخص کیفیت ابنیه رابطه مستقیمی با نوع مصالح، الگوی معماری و عمر بناها نیز دارد (محمدی ده‌چشمه، ۱۳۹۲؛ فرزام‌شاد و عراقی‌زاده، ۱۳۹۱؛ ابراهیمیان قاجاری و همکاران، ۱۳۹۳).

۲-۴-۲- تراکم ساختمانی: شاخص مهمی است که با بیشتر شدن آن احتمال تخریب و آسیب‌پذیری بیشتر می‌شود. از میان رفتن فضای سبز و باغ‌ها و تبدیل آن‌ها به مجموعه‌های پرتراکم علاوه بر اینکه سبب افت کیفیت زیستی و نابودی منابع زیست‌محیطی می‌گردد، توزیع نامناسب فضاهای باز را نیز باعث می‌گردد و موجب می‌شود که برای استقرار آسیب‌دیدگان به‌صورت اسکان موقت، در برخی مناطق کمبودهای جدی به وجود آید و انتقال آسیب دیدگان به فواصل بسیار دور مشکل‌ساز شود. با تفکیک شهر به شبکه ۲۵۰×۲۵۰ متر، شبکه‌هایی که تعدد ساختمانی تا ۷۵ ساختمان باشد آسیب‌پذیری کم، ۱۵۰-۷۵ ساختمان در هر شبکه آسیب‌پذیری متوسط و ۳۰۰-۱۵۰ ساختمان آسیب‌پذیری زیاد خواهد بود (صیامی و همکاران، ۱۳۹۳؛ ابراهیمیان قاجاری و همکاران، ۱۳۹۳).

۲-۴-۳- تراکم جمعیتی: یکی از معیارهای اصلی آسیب‌پذیری در یک شهر تراکم جمعیتی شهرها است که به‌واسطه تجمع و تمرکز جمعیت، ارتباط مستقیمی بین این بخش و آسیب‌پذیری‌های شهر وجود دارد. در سوانح اعم از طبیعی و غیرطبیعی، در همان ساعات اولیه بروز سانحه جمعیت مردمی از آسیب‌پذیرترین بخش‌ها است که آسیب‌پذیری شهر را بیشتر می‌کند. تراکم جمعیتی عموماً به‌عنوان یک عامل تشدیدکننده آسیب‌پذیری بافت‌های شهری مطرح می‌شود (حبیبی و همکاران، ۱۳۸۷). بدیهی است که با افزایش تراکم جمعیت آسیب‌پذیری نیز افزایش می‌یابد (انارسون و مورو، ۱۹۹۸؛ پیاکوک و همکاران، ۱۹۹۷؛ تیرنی، ۲۰۰۶)!

۲-۴-۴- عرض معابر: یکی دیگر از معیارهای مؤثر در آسیب‌پذیری بافت کالبدی و جمعیتی شهرها، عرض معابر است. عرض معبر هرچه کمتر باشد احتمال آسیب‌پذیری بیشتر خواهد بود زیرا با آوار شدن در خیابان، عملیات کمک‌رسانی به‌سختی صورت می‌گیرد. همچنین هرچه عرض معابر بیشتر باشد، امکان ایجاد ترافیک عبوری نیز کمتر خواهد شد (حبیبی و همکاران، ۱۳۸۷؛ عزیزی و برنافر، ۱۳۹۱؛ ابراهیمیان قاجاری و همکاران، ۱۳۹۳).

۲-۴-۵- اسکلت بنا: مقاومت انواع ساختمان‌ها به‌شدت بارهای وارده می‌تواند تعریف شود و آسیب‌پذیری ساختمان یکی از فاکتورهای اصلی مؤثر بر تلفات انسانی است؛ بنابراین تجزیه و تحلیل ایمنی ساختمان در برابر حوادث موضوع بسیار مهمی است (اوکادا و تاکای، ۲۰۰۰). اسکلت‌های فلزی و بتن مسلح نسبت به سایر مصالح دارای آسیب‌پذیری کمتر، اسکلت‌های آجری و سنگی دارای آسیب‌پذیری متوسط و اسکلت‌های چوبی، بلوک سیمانی، خشت و گل دارای آسیب‌پذیری زیاد است (حاتمی‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۸؛ فیروزی و همکاران، ۱۳۹۳؛ ابراهیمیان قاجاری و همکاران، ۱۳۹۳).

1 Enarson and Morrow; Peacock et al; Tierney

2 Okada and Takai

۲-۴-۶- دسترسی به مراکز درمانی: دسترسی به مراکز درمانی موجب سرعت بخشیدن به عملیات امداد و نجات و خدمات‌رسانی می‌شود. به این ترتیب با دور شدن از مراکز درمانی، احتمال آسیب‌پذیری بیشتر می‌شود. موضوع عدم دسترسی مناسب به مراکز حیاتی از قبیل بیمارستان‌ها یکی از مشکلاتی است که از عدم توجه به لزوم دسترسی سریع و آسان به چنین مراکزی در هنگام مکانیابی این مراکز در سطح شهر ناشی گردیده است. دسترسی مناسب به مراکز درمانی امکان رسیدگی به وضعیت مصدوم‌ها و مجروحان را مهیا می‌سازد (عزیزی و برنافر، ۱۳۹۱؛ صیامی و همکاران، ۱۳۹۳؛ فرزام‌شاد و عراقی‌زاده، ۱۳۹۱).

۲-۴-۷- دسترسی به ایستگاه آتش‌نشانی: دسترسی مناسب به مراکز امدادی می‌تواند از آسیب ناشی از فرونشست زمین بکاهد. ایستگاه‌های آتش‌نشانی با پوشش مناسب می‌تواند از شدت حوادث و خسارات مالی و جانی به شدت بکاهد (صیامی و همکاران، ۱۳۹۳).

۲-۴-۸- دسترسی به فضاهای باز و خالی: پراکندگی مناسب مکان‌هایی که قابلیت اسکان موقت مردمی که خانه‌های آنان تخریب شده سبب کاهش آسیب در حین و بعد از وقوع حادثه می‌شود و از جمله این فضاها شامل فضای سبز، فضای باز و سالن‌های ورزشی سرپوشیده در سطح شهرها است (صیامی و همکاران، ۱۳۹۳).

۲-۴-۹- همجواری با پمپ‌بنزین: آسیب دیدن برخی از تأسیسات شهری می‌تواند سبب افزایش خسارات شود؛ بنابراین حفظ حریم‌های مربوط به آن‌ها ضرورت دارد. به صورت عمده در سطح شهرها، این موارد شامل سه شاخص اصلی حریم جایگاه‌های سوخت‌رسانی (پمپ‌بنزین، جایگاه CNG و مخازن ذخیره سوخت)، حریم پست‌های برق و ایستگاه‌های S.B.T شبکه گازرسانی دانست. در سطح شهر، مخازن ذخیره سوخت، پمپ‌بنزین‌ها و مراکزی که پتانسیل آزاد کردن انرژی زیادی دارند را می‌توان به‌عنوان کاربری‌های آسیب‌رسان لحاظ کرد (عزیزی و برنافر، ۱۳۹۱؛ صیامی و همکاران، ۱۳۹۲). همجواری مراکز صنعتی پرخطر با کاربری‌های مسکونی نیز می‌تواند پتانسیل بالایی از خطر را در هنگام وقوع حادثه ایجاد نماید.

جدول ۳- معیارها و شاخص‌های ارزیابی آسیب‌پذیری بافت شهری منطقه ۱۸ تهران تحت تأثیر فرونشست زمین

مأخذ	میزان آسیب‌پذیری			شاخص	معیار
	زیاد	متوسط	کم		
احدنژادروشنی و همکاران، ۱۳۹۴؛ توکلی و اکبرپور، ۱۳۸۹؛ صیامی و همکاران، ۱۳۹۳؛ محمدی ده‌چشمه، ۱۳۹۲؛ فرزام‌شاد و عراقی‌زاده، ۱۳۹۱؛ ابراهیمیان قاجاری و همکاران، ۱۳۹۳	تخریبی	مرمتی	نوساز	کیفیت ابنیه	کالبدی و جمعیتی
صیامی و همکاران، ۱۳۹۳؛ ابراهیمیان قاجاری و همکاران، ۱۳۹۳	۱۵۰-۳۰۰	۷۵-۱۵۰	۰-۷۵	تراکم ساختمانی	

مأخذ	میزان آسیب‌پذیری			شاخص	معیار
	زیاد	متوسط	کم		
حبیبی و همکاران، ۱۳۸۷؛ انارسون و مورو، ۱۹۹۸؛ بیاکوک و همکاران، ۱۹۹۷؛ تیرنی، ۲۰۰۶	بیشتر از ۲۰۰ نفر در هکتار	۱۰۰-۲۰۰ نفر در هکتار	کمتر از ۱۰۰ نفر در هکتار	تراکم جمعیتی	
علیخانی و همکاران، ۱۳۹۷؛ صیامی و همکاران، ۱۳۹۳؛ حبیبی و همکاران، ۱۳۸۷؛ عزیزی و برنافر، ۱۳۹۱؛ ابراهیمیان قاجاری و همکاران، ۱۳۹۳	بن‌بست، زیر ۶ متر، ۹-۶ متر	۹-۱۴ متر	بیشتر از ۱۴ متر	عرض معابر	
حاتمی‌نژاد و همکاران، ۱۳۸۸؛ فیروزی و همکاران، ۱۳۹۳؛ ابراهیمیان قاجاری و همکاران، ۱۳۹۳؛ اوکادا و تاکای، ۲۰۰۰	سایر	فلزی	بتنی	اسکلت بنا	
عزیزی و برنافر، ۱۳۹۱؛ صیامی و همکاران، ۱۳۹۳؛ فرزامشاد و عراقی‌زاده، ۱۳۹۳	بیشتر از ۵۰۰ متر	۲۰۰-۵۰۰ متر	کمتر از ۲۵۰ متر	دسترسی به مراکز درمانی	
صیامی و همکاران، ۱۳۹۳	بیشتر از ۱۵۰۰ متر	۷۵۰-۱۵۰۰ متر	کمتر از ۷۵۰ متر	دسترسی به آتش-نشانی	
صیامی و همکاران، ۱۳۹۳	بیشتر از ۵۰۰ متر	۲۵۰-۵۰۰ متر	کمتر از ۲۵۰ متر	دسترسی به فضاهای باز، خالی	
عزیزی و برنافر، ۱۳۹۱؛ صیامی و همکاران، ۱۳۹۲	کمتر از ۷۵ متر	۷۵-۱۵۰ متر	بیشتر از ۱۵۰ متر	پمپ‌بنزین	همجواری با مراکز ریسک بالا
	کمتر از ۵۰ متر	۵۰-۱۰۰ متر	بیشتر از ۱۰۰ متر	جایگاه گاز	
	کمتر از ۵۰ متر	۵۰-۱۰۰ متر	بیشتر از ۱۰۰ متر	پست برق	
پردازش‌های پژوهش	کمتر از ۲۰۰ متر	۲۰۰-۴۰۰ متر	بیشتر از ۴۰۰ متر	مراکز صنعتی	

## ۲-۵- انجام تحلیل سلسله‌مراتبی

همان‌طور که پیش‌تر اشاره شد، به‌منظور ارزیابی آسیب‌پذیری بافت شهری منطقه ۱۸ تهران تحت تأثیر فرونشست زمین، پس از تعیین معیارها به روش دلفی و تهیه لایه‌های اطلاعاتی، روش ANP بر داده‌ها اعمال شد. سپس وزن هر یک از زیرمعیارها و معیارها مشخص و به نرم‌افزار Super Decision وارد شد.

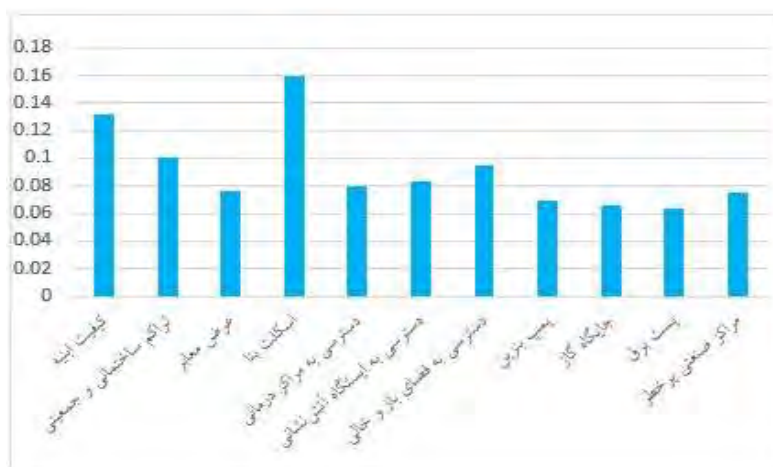
جدول ۴- ماتریس مقایسات زوجی و وزن معیارهای اصلی

معیارها	کالبدی و جمعیتی	دسترسی	همجواری با مراکز ریسک بالا	وزن نهایی
کالبدی و جمعیتی	۱	۵	۶	۰/۷۰۹
دسترسی	۱/۵	۱	۴	۰/۲۱۲
همجواری با مراکز ریسک بالا	۱/۶	۱/۴	۱	۰/۰۷۹

وزن حاصل از مدل‌سازی ANP بر لایه‌های ورودی اعمال شد. در انتها، نقشه نهایی برای تعیین وضعیت آسیب‌پذیری کاربری مسکونی به صورت رستری حاصل شد.

جدول ۵- سوپر ماتریس حدی محاسبه شده برای ارزیابی آسیب‌پذیری بافت شهری

مراکز صنعتی پرخطر	پست برق	جایگاه گاز	پمپ‌بنزین	معیار دسترسی			معیار کالبدی و جمعیتی				معیار کالبدی و جمعیتی	
				دسترسی به فضای باز و خالی	دسترسی به ایستگاه آتش‌نشانی	دسترسی به مراکز درمانی	تراکم ساختمانی و جمعیتی	عرض معابر	اسکلت بنا	کیفیت ابنیه		
۰/۱۳۲	۰/۱۳۲	۰/۱۳۲	۰/۱۳۲	۰/۱۳۲	۰/۱۳۲	۰/۱۳۲	۰/۱۳۲	۰/۱۳۲	۰/۱۳۲	۰/۱۳۲	کیفیت ابنیه	معیار کالبدی و جمعیتی
۰/۱۰۱	۰/۱۰۱	۰/۱۰۱	۰/۱۰۱	۰/۱۰۱	۰/۱۰۱	۰/۱۰۱	۰/۱۰۱	۰/۱۰۱	۰/۱۰۱	۰/۱۰۱	تراکم ساختمانی و جمعیتی	
۰/۰۷۶	۰/۰۷۶	۰/۰۷۶	۰/۰۷۶	۰/۰۷۶	۰/۰۷۶	۰/۰۷۶	۰/۰۷۶	۰/۰۷۶	۰/۰۷۶	۰/۰۷۶	عرض معابر	
۰/۱۵۹	۰/۱۵۹	۰/۱۵۹	۰/۱۵۹	۰/۱۵۹	۰/۱۵۹	۰/۱۵۹	۰/۱۵۹	۰/۱۵۹	۰/۱۵۹	۰/۱۵۹	اسکلت بنا	
۰/۰۸۰	۰/۰۸۰	۰/۰۸۰	۰/۰۸۰	۰/۰۸۰	۰/۰۸۰	۰/۰۸۰	۰/۰۸۰	۰/۰۸۰	۰/۰۸۰	۰/۰۸۰	دسترسی به مراکز درمانی	معیار دسترسی
۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	۰/۰۸۳	دسترسی به ایستگاه آتش‌نشانی	
۰/۰۹۵	۰/۰۹۵	۰/۰۹۵	۰/۰۹۵	۰/۰۹۵	۰/۰۹۵	۰/۰۹۵	۰/۰۹۵	۰/۰۹۵	۰/۰۹۵	۰/۰۹۵	دسترسی به فضای باز و خالی	
۰/۰۶۹	۰/۰۶۹	۰/۰۶۹	۰/۰۶۹	۰/۰۶۹	۰/۰۶۹	۰/۰۶۹	۰/۰۶۹	۰/۰۶۹	۰/۰۶۹	۰/۰۶۹	پمپ‌بنزین	معیار همجواری با مراکز
۰/۰۶۶	۰/۰۶۶	۰/۰۶۶	۰/۰۶۶	۰/۰۶۶	۰/۰۶۶	۰/۰۶۶	۰/۰۶۶	۰/۰۶۶	۰/۰۶۶	۰/۰۶۶	جایگاه گاز	
۰/۰۶۴	۰/۰۶۴	۰/۰۶۴	۰/۰۶۴	۰/۰۶۴	۰/۰۶۴	۰/۰۶۴	۰/۰۶۴	۰/۰۶۴	۰/۰۶۴	۰/۰۶۴	پست برق	
۰/۰۷۵	۰/۰۷۵	۰/۰۷۵	۰/۰۷۵	۰/۰۷۵	۰/۰۷۵	۰/۰۷۵	۰/۰۷۵	۰/۰۷۵	۰/۰۷۵	۰/۰۷۵	مراکز صنعتی پرخطر	



شکل ۳- وزن نهایی خروجی مدل ANP

با بررسی مدل ارزیابی آسیب‌پذیری مشخص شد که معیارها و شاخص‌های آسیب‌پذیری از اهمیت یکسانی برخوردار نیستند و در این میان معیار کالبدی و جمعیتی به دلیل گستردگی و اهمیت کالبدی آن با وزن ۰/۷۰۹ بالاترین ارزش در ارزیابی میزان آسیب‌پذیری را داراست. همچنین از بین شاخص‌های مورد بررسی، شاخص اسکلت بنا با وزن ۰/۱۵۹ و شاخص کیفیت ابنیه با وزن ۰/۱۳۲ بالاترین ارزش در ارزیابی میزان آسیب‌پذیری را به خود اختصاص داده است.

### ۳- نتایج و بحث

در این تحقیق تعداد ۱۱ شاخص برای بررسی آسیب‌پذیری بافت شهری منطقه ۱۸ شهر تهران انتخاب شد. با تقسیم محدوده مورد مطالعه به ۵ ناحیه و با کمک نرم‌افزار ArcGIS، میزان آسیب‌پذیری برحسب کم، متوسط و زیاد به دست آمد. با توجه به فرسوده بودن بافت شهری منطقه ۱۸ و وجود مراکز صنعتی زیاد، هر یک از نواحی این منطقه دارای ویژگی‌های متفاوتی است که در **جدول ۶** به آن‌ها اشاره شده است.

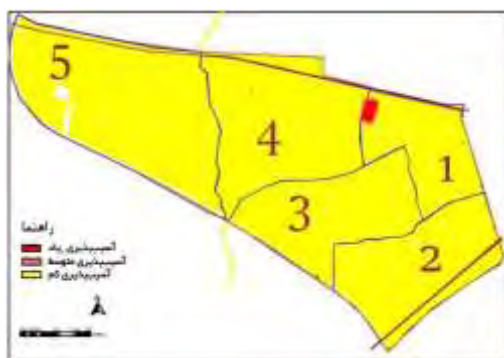
جدول ۶- خصوصیات هر یک از نواحی منطقه ۱۸ شهر تهران (مساحت به هکتار)

ویژگی‌ها	ناحیه ۱	درصد	ناحیه ۲	درصد	ناحیه ۳	درصد	ناحیه ۴	درصد	ناحیه ۵	درصد	منطقه ۱۸
مساحت	۴۶۸	۱۲/۳	۷۰۹	۱۸/۷	۶۸۰	۱۷/۹	۹۴۵	۲۴/۹	۱۲۴۸	۳۲/۹	۳۷۸۸
مساحت اراضی ساخته شده	۳۴۲	۱۹/۲	۳۰۳	۱۷	۲۶۱	۱۴/۶	۳۸۷	۲۱/۷	۴۸۳	۲۷/۱	۱۷۷۷
کاربری مسکونی	۲۵۹	۲۴	۲۰۲	۱۸/۸	۲۳۵	۲۱/۸	۱۶۱	۱۵	۲۵۳	۲۳/۵	۱۱۱۳
بافت فرسوده	۳۳۱	۹۶/۷	۲۷۲	۸۹/۷	۲۴۰	۹۲	۳۳۵	۸۶/۵	۴۵۱	۹۳/۳	۱۶۲۹
جمعیت	۱۰۴۴۴۰	۲۳/۴	۸۰۷۰۸	۱۸/۱	۹۴۳۷۹	۲۱/۲	۶۳۴۳۰	۱۴/۳	۱۰۱۹۲۵	۲۲/۹	۴۴۴۸۸۶

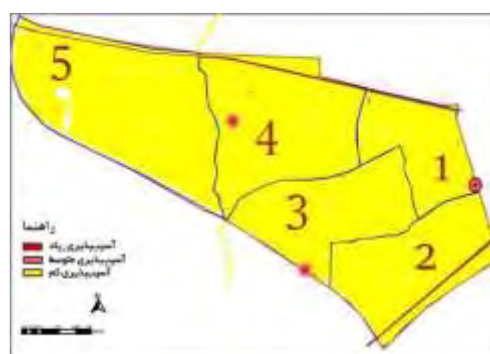


از نظر مساحت به ترتیب ناحیه ۵ (۳۲/۹ درصد) و ناحیه ۴ (۲۴/۹ درصد) بیشترین مساحت منطقه را دارا می‌باشند. از نظر جمعیت به ترتیب ناحیه ۱ (۲۳/۴ درصد) و ناحیه ۵ (۲۲/۹ درصد) بیشترین درصد جمعیت را دارا هستند. از نظر اراضی ساخته شده، ناحیه ۵ با ۲۷/۱ درصد بیشتر مساحت را داراست. ناحیه ۱ و ۵ بیشترین درصد کاربری مسکونی را دارا بوده و از نظر بافت فرسوده بیش از ۹۱/۶ درصد تمامی نواحی منطقه ۱۸ دارای بافتی فرسوده هستند.

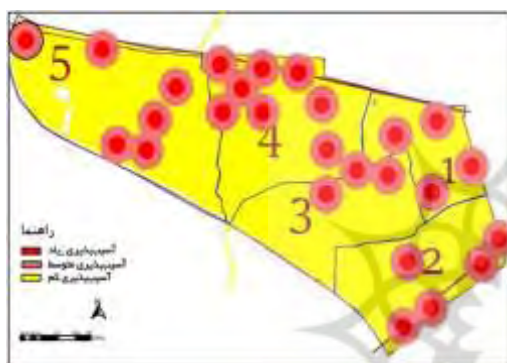
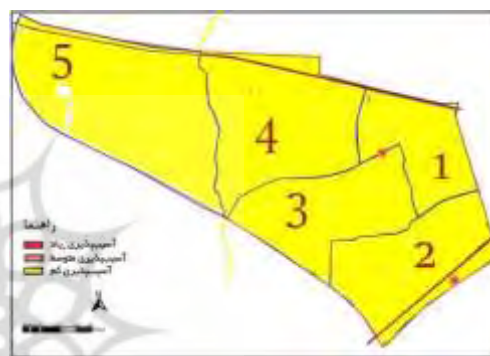
تعداد ۳ پمپ‌بنزین در محدوده مورد مطالعه وجود دارد که با توجه به استاندارد موجود، بافت ساخته شده‌ای که در شعاع کمتر از ۷۵ متری پمپ‌بنزین قرار دارند، دارای آسیب‌پذیری زیاد بوده و بر این اساس حدود ۰/۲ درصد از مساحت کل اراضی ساخته شده منطقه در محدوده آسیب‌پذیری زیاد قرار دارند. (شکل ۴) همچنین تعداد ۱ پست برق در محدوده مورد مطالعه موجود بوده که با توجه به استاندارد فاصله ۵۰ متری، حدود ۰/۷ درصد از کل مساحت اراضی ساخته شده منطقه در شعاع آسیب‌پذیری زیاد قرار دارد. (شکل ۵) تعداد ۲ ایستگاه CNG در محدوده مورد مطالعه وجود داشته و با توجه به استاندارد فاصله ۵۰ متری، حدود ۰/۰۸ درصد از اراضی ساخته شده در شعاع آسیب‌پذیری زیاد قرار دارد. (شکل ۶) ۲۶ مرکز صنعتی پرخطر در منطقه ۱۸ وجود دارد که با توجه به استانداردهای وزارت نیرو و صنعت، بافت ساخته شده‌ای که در شعاع کمتر از ۲۰۰ متری قرار دارند، دارای آسیب‌پذیری زیاد بوده و بر این اساس حدود ۱۱۳ هکتار (در حدود ۶/۳۵ درصد) از مساحت کل اراضی ساخته شده منطقه در محدوده آسیب‌پذیری زیاد قرار دارند. (شکل ۷) در مجموع با تحلیل شاخص‌های معیار همجواری با مراکز ریسک بالا مشخص گردید که از کل مساحت اراضی ساخته شده منطقه ۱۸ (۱۷۷۷ هکتار) در حدود ۷/۴ درصد (۱۳۲ هکتار) از اراضی ساخته شده در شعاع خطر با آسیب‌پذیری زیاد قرار دارند. همچنین ناحیه ۴ منطقه ۱۸ بالاترین میزان آسیب‌پذیری را از نظر معیار اراضی همجواری با مراکز ریسک بالا را به خود اختصاص داده است.



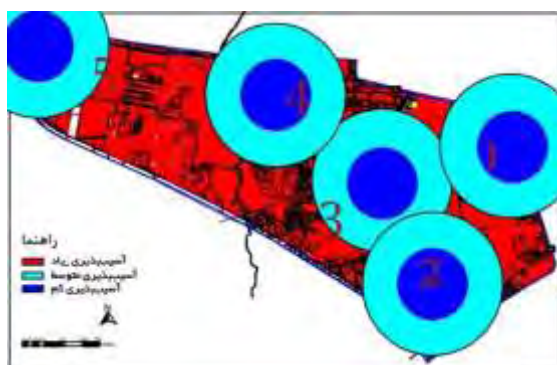
شکل ۵- نقشه آسیب‌پذیری ناشی از انفجار پست‌های برق



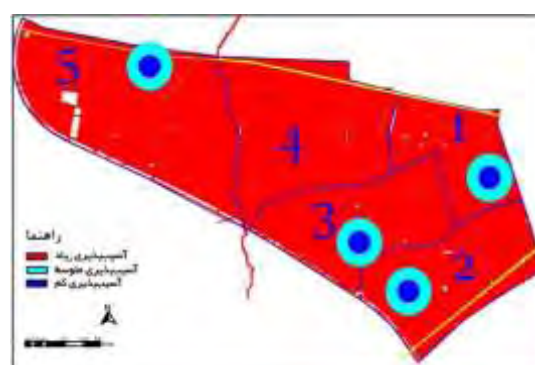
شکل ۴- نقشه آسیب‌پذیری برحسب فاصله از پمپ بنزین

شکل ۷- نقشه آسیب‌پذیری برحسب فاصله از مراکز صنعتی  
پرخطرشکل ۶- نقشه آسیب‌پذیری برحسب انفجار ایستگاه‌های  
CNG

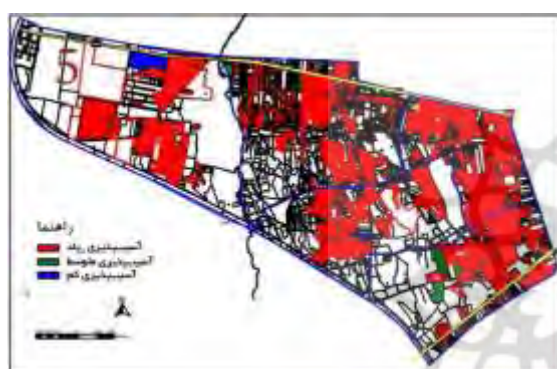
بر اساس شاخص دسترسی به مراکز درمانی، ناحیه ۴ آسیب‌پذیری زیادی نسبت به بقیه نواحی دارد. (شکل ۸) در مجموع در حدود ۲۱۷۱ هکتار (۵۷ درصد) از کل مساحت منطقه ۱۸ خارج از شعاع دسترسی مؤثر (دارای فاصله بیشتر از ۵۰۰ متر) از مراکز درمانی قرار دارند. تعداد ۵ ایستگاه آتش‌نشانی در سطح منطقه ۱۸ وجود داشته که در حدود ۳۴۴ هکتار (در حدود ۱۹/۳۵ درصد) از کل مساحت بافت ساخته شده منطقه ۱۸ خارج از شعاع دسترسی مؤثر (دارای فاصله بیشتر از ۱۵۰۰ متر) از ایستگاه آتش‌نشانی قرار دارند. (شکل ۹) دسترسی به مکان‌های باز و خالی یکی دیگر از شاخص‌هایی است که می‌تواند در کاهش صدمات انسانی در حین و پس از وقوع بحران مؤثر باشد. بررسی این شاخص در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد که منطقه ۱۸ دارای فضاهای باز، سبز و بایر کافی بوده و تحلیل داده‌ها نشان داد که در حدود ۳۴۳ هکتار (۹ درصد) از کل محدوده خارج از شعاع دسترسی مؤثر (دارای فاصله بیشتر از ۵۰۰ متر) از فضاهای باز و خالی قرار دارند. (شکل ۱۰) در مجموع با تحلیل شاخص‌های معیار دسترسی مشخص گردید که نواحی ۴ و ۵ بیشترین درصد آسیب‌پذیری را دارا هستند.



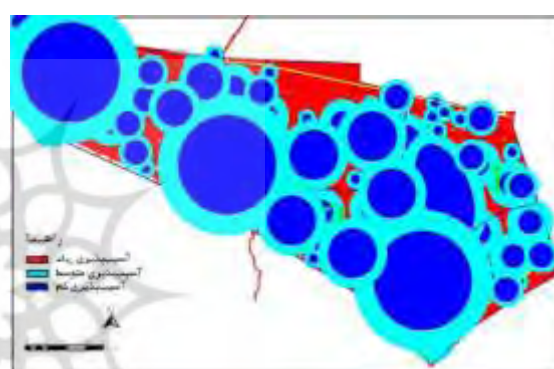
شکل ۹- نقشه آسیب‌پذیری برحسب دسترسی به ایستگاه آتش‌نشانی



شکل ۸- نقشه آسیب‌پذیری برحسب دسترسی به مراکز درمانی



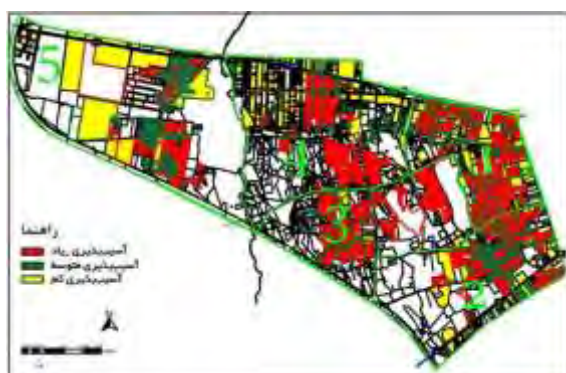
شکل ۱۱- نقشه آسیب‌پذیری برحسب کیفیت ابنیه



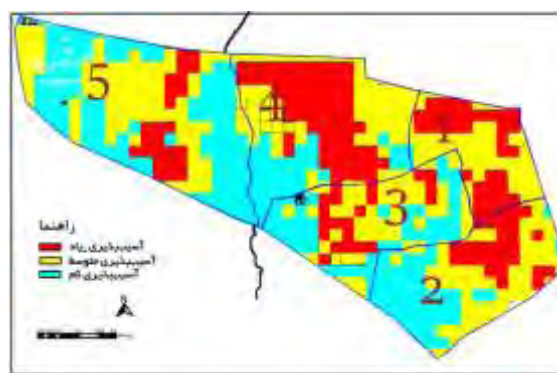
شکل ۱۰- نقشه آسیب‌پذیری برحسب دسترسی به فضاهای باز و خالی

با بررسی نقشه آسیب‌پذیری برحسب کیفیت ابنیه در منطقه ۱۸ مشخص گردید که از کل اراضی ساخته شده، ۳۲۹ هکتار (۱۸/۵ درصد) دارای بناهایی با کیفیت قابل نگهداری و ۱۲۳ هکتار (۷ درصد) دارای بناهایی با کیفیت مقاوم و نوساز بوده و ۱۳۲۵ هکتار (۷۴/۶ درصد) دارای بناهای فرسوده است. همچنین همه ۵ ناحیه محدوده مورد مطالعه درصد بالایی از بافت فرسوده را داراست. (شکل ۱۱) درصدهای فوق نشان می‌دهد که اکثریت قریب به اتفاق بناهای موجود در منطقه ۱۸ دارای بافتی فرسوده بوده و در صورت وقوع فرونشست زمین منطقه ۱۸ شاهد یک فاجعه انسانی خواهد بود. از نظر شاخص تراکم ساختمانی، تمام نواحی منطقه ۱۸ دارای تراکم بالای ساختمانی بوده و درصد آسیب‌پذیری زیادی را دارا می‌باشند. در این میان، ناحیه ۴ دارای بیشترین تراکم ساختمانی است. (شکل ۱۲) شاخص عرض معابر شاخص مهمی است که در صورت وقوع فاجعه در یک منطقه نقش بسیار مهمی را ایفاء خواهد کرد. بررسی‌ها نشان داد که از کل مساحت اراضی ساخته شده منطقه ۱۸، ۳۵۰ هکتار (۱۹/۷ درصد) دارای

آسیب‌پذیری کم، ۱۴۵ هکتار (۸/۱ درصد) دارای آسیب‌پذیری متوسط و ۱۲۸۲ هکتار (۷۲/۱ درصد) دارای آسیب‌پذیری زیاد است. بررسی فوق نشان می‌دهد که بیشتر از ۷۰ درصد محدوده مورد مطالعه دارای معابری کم‌عرض و فاقد سلسله‌مراتب دسترسی بوده و در صورت وقوع بحران معضلات عدیده‌ای جهت فرار ساکنین از محدوده خطر ایجاد خواهد شد. همچنین از بین نواحی ۵ گانه محدوده مورد مطالعه، ناحیه ۴ وضعیت حادث‌تری از حیث عرض معبر و دسترسی‌ها داشته و دارای آسیب‌پذیری زیادی است. (شکل ۱۳) اسکلت بنا یکی دیگر از شاخص‌هایی مهمی است که می‌تواند در کاهش صدمات انسانی در حین وقوع بحران مؤثر باشد. بررسی این شاخص در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد که در حدود ۴۲ هکتار (۲/۴ درصد) از بناهای ساخته شده دارای اسکلت بتنی، ۱۱۸ هکتار (۶/۶ درصد) از بناهای ساخته شده دارای اسکلت آهنی و آجری و ۱۶۱۷ هکتار (۹۰/۱ درصد) از بناهای موجود، اسکلتی بی‌دوام و ضعیف دارد و دارای آسیب‌پذیری زیادی است. در مجموع هر ۵ ناحیه منطقه ۱۸ دارای بناهایی با اسکلت بی‌دوام بوده و در صورت وقوع بحران فرونشست زمین تلفات انسانی آن ناگزیر خواهد بود. (شکل ۱۴) تأثیرگذارترین شاخص ارزیابی آسیب‌پذیری بافت شهری در برابر حوادث تراکم جمعیتی است. در محدوده مورد مطالعه بیشترین تراکم جمعیتی به میزان ۴۱۲ نفر در هکتار است. در این بین تمامی نواحی منطقه ۱۸ دارای تراکم جمعیتی بالاتر از سطح استاندارد (ناحیه ۱، ۴۰۳ نفر در هکتار؛ ناحیه ۲، ۳۹۹ نفر در هکتار، ناحیه ۳، ۴۰۱ نفر در هکتار، ناحیه ۴، ۳۹۳ نفر در هکتار و ناحیه ۵، ۴۰۲ نفر در هکتار) بوده و دارای آسیب‌پذیری زیاد است و در صورت بروز فاجعه فرونشست زمین بیشترین تلفات انسانی را به خود خواهد دید. (شکل ۱۵)



شکل ۱۳- نقشه آسیب پذیری برحسب عرض معابر



شکل ۱۲- نقشه آسیب پذیری برحسب تراکم ساختمان‌ها



شکل ۱۵- نقشه آسیب پذیری برحسب تراکم جمعیتی

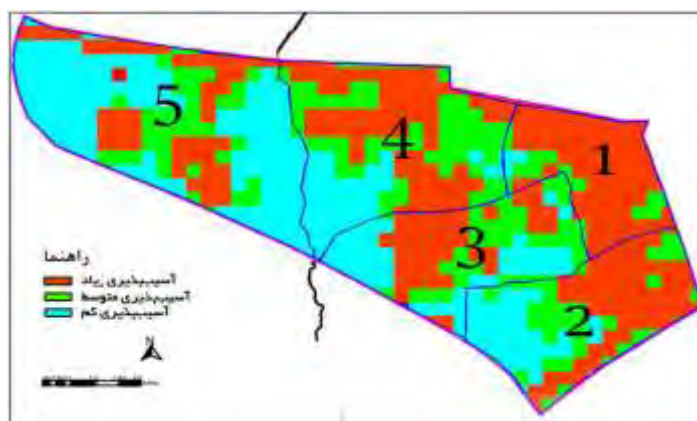


شکل ۱۴- نقشه آسیب پذیری برحسب نوع اسکلت بناها

### ۳-۱- تلفیق لایه‌ها و تهیه نقشه نهایی آسیب پذیری منطقه ۱۸ تهران

از طریق همپوشانی لایه‌های آسیب پذیری با نواحی منطقه ۱۸ تهران، وضعیت آسیب پذیری نواحی در سه سطح کم، متوسط و زیاد تعیین شد. بررسی‌های این تحقیق نشان داد که درصد بالایی از اراضی ساخته شده منطقه ۱۸ دارای ویژگی‌هایی نظیر بافت فرسوده، بناهایی با مقاومت سازه‌ای پایین، کیفیت ساخت بسیار پایین بناها و تراکم بالای ساختمانی بوده و مستعد آسیب پذیری زیاد می‌باشند. بر این اساس از کل مساحت اراضی ساخته شده ناحیه ۱ (۳۴۲ هکتار)، در حدود ۳۲۸ هکتار (۹۶ درصد) در محدوده آسیب پذیری زیاد قرار دارد و در بین تمام نواحی منطقه ۱۸، این ناحیه بیشترین میزان آسیب پذیری را دارا است. همچنین از کل مساحت اراضی ساخته شده ناحیه ۲ (۳۰۳ هکتار) در حدود ۲۶۸ هکتار آن (۸۸/۵ درصد)، از کل مساحت اراضی ساخته شده ناحیه ۳ (۲۶۱ هکتار) در حدود ۲۳۶ هکتار آن (۹۰/۴ درصد)، از کل مساحت اراضی ساخته شده ناحیه ۴ (۳۸۷ هکتار) در حدود ۳۲۹ هکتار آن (۸۵ درصد) و از کل مساحت اراضی ساخته شده ناحیه ۵ (۴۸۳ هکتار) در حدود ۴۴۶ هکتار آن (۹۲/۳ درصد) در محدوده

آسیب‌پذیری زیاد قرار دارد. (شکل ۱۶) در مجموع از کل اراضی ساخته شده منطقه ۱۸ شهر تهران در حدود ۹۰ درصد بافت موجود در محدوده آسیب‌پذیری زیاد تحت تأثیر فرونشست زمین قرار دارد.



شکل ۱۶- نقشه نهایی آسیب‌پذیری برحسب نواحی منطقه ۱۸ شهر تهران

#### ۴- جمع‌بندی

هرچند تعیین کمی و کیفی آسیب‌های احتمالی به بافت‌های شهری به صورت کامل ممکن نیست، پیش‌بینی و ارزیابی آسیب‌پذیری با هدف بررسی معیارها و شاخص‌های تأثیرگذار برای اشراف بر مسائل بعدی و احتمالی ناشی از بروز فرونشست زمین، این امکان را برای مدیران و مسئولان فراهم می‌کند که در صورت وقوع بحران، با آموزش نیروی انسانی و افزایش میزان مقاومت سازه‌ها برای کاهش زیان‌ها، تمهیدات لازم را برای پیش‌بینی، برخورد مناسب و برگشت سریع به وضع عادی اعمال کنند. بافت شهرها به‌عنوان یکی از ارکان مهم در برنامه‌ریزی کالبدی کشورها جهت رویارویی با حوادث طبیعی و انسان‌ساخت اهمیت زیادی دارد. مدیریت ساخت‌وساز و توجه به الزامات ایمنی سازه‌ها در بافت‌های شهری به دلیل تراکم جمعیتی، بسیار حائز اهمیت است. تحلیل مقر و موقعیت فضاهای مسکونی، صنعتی، درمانی، اداری و ... به‌عنوان اجزاء اصلی بافت هر شهری به‌منظور ارزیابی آسیب‌پذیری آن‌ها در مواجهه با پدیده فرونشست ایده اولیه این تحقیق به حساب می‌آید. تراکم بالای جمعیتی و ساختمانی، وجود بافتی فرسوده، بناهایی با مقاومت سازه‌ای پایین، کیفیت ساخت بسیار پایین بناها، همجواری اراضی ساخته شده با مراکز صنعتی پرخطر و درگیر شدن دشت جنوب غرب تهران با مسأله فرونشست زمین باعث شده تا ارزیابی آسیب‌پذیری بافت شهری منطقه ۱۸ تحت تأثیر فرونشست زمین از اهمیت خاصی برخوردار باشد و به‌عنوان محدوده مطالعاتی این تحقیق تعیین گردد. در این تحقیق، به روش دلفی و روش ANP، مؤثرترین معیارها و شاخص‌ها برای تعیین وضعیت آسیب‌پذیری بافت شهری تحت تأثیر فرونشست زمین معرفی شدند. با توجه به تحلیل‌های انجام گرفته در

نرم افزار ArcGIS، در خصوص محدوده مورد مطالعه، می توان موارد زیر را به عنوان اصلی ترین مسائل موجود در محدوده مطرح کرد:

- از نظر معیار همجواری با مراکز ریسک بالا، ناحیه ۴ بالاترین میزان آسیب پذیری را دارا است.
  - از نظر شاخص دسترسی به مراکز درمانی، ناحیه ۴ آسیب پذیری بالایی دارد.
  - هر ۵ ناحیه منطقه ۱۸ دارای درصد بالایی از بافت فرسوده می باشند.
  - هر ۵ ناحیه منطقه ۱۸ دارای تراکم بالای ساختمانی بوده و در این بین ناحیه ۴ نسبت به بقیه نواحی بیشترین تراکم ساختمانی را دارد.
  - بیشتر از ۵۰ درصد منطقه ۱۸ دارای معابری کم عرض و فاقد سلسله مراتب دسترسی است. همچنین از بین نواحی ۵ گانه منطقه ۱۸، ناحیه ۴ وضعیت حادثتری از حیث عرض معبر و دسترسی ها دارد.
  - هر ۵ ناحیه منطقه ۱۸ دارای بناهایی با مقاومت سازه ای پایین است.
  - هر ۵ ناحیه منطقه ۱۸ دارای تراکم جمعیتی بالاتر از سطح استاندارد می باشند.
- از طریق همپوشانی لایه های آسیب پذیری با نواحی منطقه ۱۸ تهران، وضعیت آسیب پذیری نواحی در سه سطح کم، متوسط و زیاد تعیین شد. نتایج این تحقیق نشان داد که درصد بالایی از اراضی ساخته شده منطقه ۱۸ دارای ویژگی هایی نظیر بافت فرسوده، بناهایی با مقاومت سازه ای پایین، کیفیت ساخت بسیار پایین بناها، تراکم بالای جمعیتی و ساختمانی بوده و مستعد آسیب پذیری زیاد می باشند. همچنین ناحیه ۱ با ۹۶ درصد، ناحیه ۲ با ۵۸٫۸ درصد، ناحیه ۳ با ۹۰٫۴ درصد، ناحیه ۴ با ۸۵ درصد و ناحیه ۵ با ۹۲٫۳ درصد اراضی ساخته شده در محدوده آسیب پذیری بالا قرار گرفته اند. در مجموع از کل اراضی ساخته شده منطقه ۱۸ شهر تهران در حدود ۹۰ درصد بافت ساخته شده در محدوده آسیب پذیری زیاد تحت تأثیر فرونشست زمین قرار دارد. در واقع، وضعیت نامناسب استقرار عناصر کالبدی و کاربری های نامناسب شهری، عرض کم معابر و شبکه ناکارآمد دسترسی ها، بافت فشرده و فرسوده شهری، تراکم بالای ساختمانی و جمعیتی و دسترسی نامناسب به مراکز درمانی نقشی اساسی در افزایش میزان آسیب های وارده به بافت شهری منطقه ۱۸ تهران در برابر وقوع فرونشست زمین خواهد داشت و احتمال بروز یک فاجعه انسانی در این منطقه بسیار بالا خواهد بود. با توجه به اهمیت موضوع فرونشست زمین و لزوم پرداختن مسئولین مدیریت بحران کشور به این مسأله، راهکارهای اجرایی — عملیاتی ذیل برای جلوگیری احتمال وقوع یک بحران پیشنهاد می گردد:

- تزریق دوغاب به محل های دارای فرونشست با استفاده از روش های جت گروتینگ یا میکروپایل؛
- استفاده از ژئوسنتتیک ها در زیر پی های سطحی به منظور کاهش تأثیر فرونشست بر سازه؛
- تزریق و پمپاژ آب در داخل زمین به منظور کاهش نرخ فرونشست؛

- استفاده از پی‌های انعطاف‌پذیر در زمان ساخت‌وسازهای جدید در مناطق مستعد فرونشست؛ و
- ممنوعیت ساخت‌وساز در مناطق دارای فرونشست شدید.

#### کتابنامه

- ابراهیمیان قاجاری، یاسر؛ آل‌شیخ، علی‌اصغر؛ مدیری، مهدی؛ حسنوی، رضا؛ عباسی، مرتضی؛ ۱۳۹۳. مدل‌سازی آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری با استفاده از روش‌های دلفی و تحلیل سلسله‌مراتبی در محیط GIS. فصلنامه اطلاعات جغرافیایی سپهر. دوره ۲۳. شماره ۹۱. ۲۰-۵. <https://www.sid.ir/paper/253169/fa>
- احدنژادروشنی، محسن؛ روستایی، شهریور؛ کاملی‌فر، محمدجواد؛ ۱۳۹۴. ارزیابی آسیب‌پذیری شبکه معابر شهری در برابر زلزله با رویکرد مدیریت بحران، مطالعه موردی: منطقه یک شهر تبریز. فصلنامه اطلاعات جغرافیایی سپهر. دوره ۲۴. شماره ۹۵. <https://www.sid.ir/paper/253205/fa>
- توکلی، حمیدرضا؛ اکبرپور، سوده؛ ۱۳۸۹. ملاحظات بهسازی ساختمان‌ها در برابر اجزای پیش‌رونده. اولین کنفرانس پدافند غیرعامل و سازه‌های مقاوم. <https://civilica.com/doc/126066>
- حاتمی‌نژاد، حسین؛ فتحی، حمید؛ عشق‌آبادی، فرشید؛ ۱۳۸۸. ارزیابی میزان آسیب‌پذیری لرزه‌ای در شهر، نمونه مورد مطالعه: منطقه ۱۰ شهرداری تهران. پژوهش‌های جغرافیای انسانی. شماره ۶۸. ۲۰-۱. <https://www.sid.ir/paper/139105/fa>
- حبیبی، کیومرث؛ پوراحمد، احمد؛ مشکینی، ابوالفضل؛ عسگری، علی؛ نظری‌عدلی، سعید؛ ۱۳۷۷. تعیین عوامل ساختمانی مؤثر در آسیب‌پذیری بافت کهن شهری زنجان با استفاده از GIS و FUZZY LOGIC. هنرهای زیبا. شماره ۳۳. ۳۲-۲۷. <https://www.sid.ir/paper/5630/fa>
- زبردست، اسفندیار؛ ۱۳۹۰. کاربرد فرآیند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای. نشریه هنرهای زیبا. دوره ۲. شماره ۴۱. ۹۶-۷۳. [https://jfaup.ut.ac.ir/article\\_22270.html](https://jfaup.ut.ac.ir/article_22270.html)
- شهرداری تهران، معرفی منطقه‌ها. <https://www.mantagheha.com/article/233>
- صیامی، قدیر؛ لطیفی، غلامرضا؛ تقی‌نژاد، کاظم؛ زاهدی‌کلاکی، ابراهیم؛ ۱۳۹۳. آسیب‌شناسی پدافندی ساختار شهری با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی AHP و GIS؛ مطالعه موردی شهر گرگان. آمایش جغرافیای فضا. دوره ۳. شماره ۱۰. ۴۲-۲۱. [http://gps.gu.ac.ir/article\\_7382.html](http://gps.gu.ac.ir/article_7382.html)
- طالب‌بیدختی، ناصر؛ شیخعلی، محدثه؛ ۱۳۹۶. بررسی فرونشست، فروچاله و ترک‌های رخ داده در استان فارس. شانزدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشگاه محقق اردبیلی. ۱۲-۱. <https://civilica.com/doc/727282>
- عزیزی، محمدمهدی؛ برنافر، مهدی؛ ۱۳۹۱. فرآیند مطلوب برنامه‌ریزی شهری در حمله‌های هوایی از دیدگاه پدافند غیرعامل (مطالعه موردی: ناحیه یک منطقه ۱۱ تهران). فصلنامه مطالعات شهری. دوره ۱. شماره ۱. ۲۲-۱۰. <https://www.sid.ir/paper/468589/fa>



- علیخانی، آرزو؛ برزگربفرویی، اکرم؛ نورالهی، حانیه؛ ۱۳۹۷. ارائه مدل ارزیابی جامع آسیب پذیری پهنه‌های شهری به تفکیک لایه‌های تشکیل دهنده شهر با رویکرد پدافند غیرعامل. *فصلنامه مدیریت بحران*. شماره ۱۶. ۳۳-۶۶.
- <https://magiran.com/p2103514>
- فرزام شاد، مصطفی؛ عراقی زاده، مجتبی؛ ۱۳۹۱. *مبانی برنامه‌ریزی و طراحی شهر امن از منظر پدافند غیرعامل*. انتشارات علم آفرین. تهران.
- <https://www.gisoom.com/book/1936523/>
- فیروزی، محمدعلی؛ محمدی ده‌چشمه، مصطفی؛ نظریوردزکی، رضا؛ شجاعیان، علی؛ ۱۳۹۳. *سنجش میزان آسیب پذیری سازه‌های بیمارستان‌ها از منظر پدافند غیرعامل با مدل سلسله‌مراتب فازی*. *فصلنامه برنامه‌ریزی و آمایش فضا*. دوره ۲۰. شماره ۱. ۱۷۷-۱۴۹.
- <https://www.sid.ir/paper/515003/fa>
- کریمی، مرتضی؛ قنبری، علی اصغر؛ امیری، شهرام؛ ۱۳۹۲. *سنجش خطرپذیری سکونتگاه‌های شهری از پدیده فرونشست زمین مطالعه موردی: منطقه ۱۸ شهر تهران*. *برنامه‌ریزی فضایی*. دوره ۳. شماره ۱. ۵۵-۳۷.
- <https://www.sid.ir/paper/395139/fa>
- محمدی ده‌چشمه، مصطفی؛ ۱۳۹۲. *ایمنی و پدافند غیرعامل شهری*. انتشارات دانشگاه شهید چمران. اهواز.
- <https://www.gisoom.com/book/11022222/>
- محمدی ده‌چشمه، مصطفی؛ ۱۳۹۲. *شکل خوب شهر از منظر ملاحظاتی پدافند غیرعامل*. کنگره انجمن ژئوپلتیک ایران.
- <https://civilica.com/doc/233879/>
- مرادی، آیدین؛ عمادالدی، حسین؛ آرخ، صالح؛ رضایی، خلیل؛ ۱۳۹۹. *تحلیل فرونشست زمین با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری، اطلاعات چاه‌های ژئوتکنیکی و پیرومتری (مطالعه موردی: منطقه شهری ۱۸ تهران)*. *تحلیل فضایی مخاطرات محیطی*. دوره ۷. شماره ۱. ۱۵۳-۱۷۶.
- <https://www.sid.ir/paper/378951/fa>
- مرکز تحقیقات راه، مسکن و شهرسازی، گزارش مصور از فرونشست و فروریزش زمین در ایران. دکتر علی بیت‌اللهی. دبیر کارگروه ملی مخاطرات زلزله، لغزش لایه‌های زمین، ابنیه، ساختمان و شهرسازی.
- یمانی، مجتبی؛ نجفی، اسماعیل؛ عابدینی، محمدحسین؛ ۱۳۸۸. *ارتباط فرونشست زمین و افت سطح آب‌های زیرزمینی در دشت قره‌بلغا استان فارس*. *جغرافیا*. دوره ۳. شماره ۹-۸. ۲۷-۹.
- <https://www.sid.ir/paper/208007/fa>
- Ahsan MN, Warner J., 2014. The socioeconomic vulnerability index: A pragmatic approach for assessing climate change led risks-A case study in the south-western coastal Bangladesh. *International Journal of Disaster Risk Reduction* 8: 32-49. <https://doi.org/10.1016/j.ijdr.2013.12.009>
- Azadnejad S, Maghsoudi Y, Perissin D., 2020. Evaluation of polar metric capabilities of dual polarized Sentinel-1 and TerraSAR-X data to improve the PSInSAR algorithm using amplitude dispersion index optimization. *Int J Appl Earth Obs Geoinf* 84: 101950. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.101950>
- Azadnejad S, Y. Maghsoudi., 2019. Investigating the effect of the physical scattering mechanism of the dual polarization sentinel1 data on the temporal coherence optimization results. *Int J Remote Sens* 1: 15-7047. <https://doi.org/10.1080/01431161.2019.1597309>

- Babae S, Masoumi Z, Mousavi Z., 2020. Land subsidence from interferometric SAR and groundwater patterns in the Qazvin plain, Iran. *Int J Remote Sens* 41: 4780-4798. <https://doi.org/10.1080/01431161.2020.1724345>
- Blaikie P, Cannon T, Davis I, Wisner B., 2004. *Disasters and Disasters*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203714775>
- Borchers J W, Carpenter M. 2014. Land subsidence from groundwater use in California. Full Report of Findings, California Water Foundation. <https://cawaterlibrary.net/document/land-subsidence-from-groundwater-use-in-california/>
- Cannon T, Twigg J., 2003. *Social vulnerability, Sustainable Livelihoods and Disasters*. London: Department for international development DFID; Government of the United Kingdom.
- Cardona OD., 2003. *The Need for Rethinking the Concepts of Vulnerability and Risk from a Holistic Perspective: A Necessary Review and Criticism for Effective Risk Management, Mapping Vulnerability*. Disasters, Development and People. ISBN: 9781849771924
- Castellazzi P, Arroyo-Domínguez N, Martel R, Calderhead A, C.L. Normand J, Gárfias J, Rivera A., 2016. Land subsidence in major cities of Central Mexico: Interpreting InSAR-derived land subsidence mapping with hydrogeological data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 47: 102-111. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2016.12.002>
- Chaussard E, Amelung F, Abidin H, Hong S., 2013. Sinking cities in Indonesia: ALOS PALSAR detects rapid subsidence due to groundwater and gas extraction. *Remote Sensing of Environment* 128: 150-161. ISSN0034-4257. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.10.015>
- Chung SH, Lee WL., 2005. Analytic network process approach for mix planning. *International Journal of Production Economics* 18(96): 15-36. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2004.02.006>
- Clark GE, Moser S, Ratick S, Dow K, Meyer W, Emani S, Jin W, Kasperson J, Kasperson R & Schwarz H. 1998. Assessing the vulnerability of coastal communities to extreme storms: the case of Revere, MA., USA. *Mitigation and adaptation strategies for global change* 3(1): 59-82. <https://doi.org/10.1023/A:1009609710795>
- Cutter SL., 1996. Vulnerability to environmental hazards. *Progress in human geography* 20(4): 529-539. <https://doi.org/10.1177/030913259602000407>
- Dehghani M, Dehghani Mohammad M, Valadan Zoj M, Entezam I, Saatchi S., 2009. InSAR monitoring of progressive land subsidence in Neyshabour, northeast Iran. *Geophys J Int* 178(1): 47-56. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2009.04135.x>
- Emrich CT, Cutter SL., 2011. Social vulnerability to climate sensitive hazards in the southern United States. *Weather, Climate, and Society* 3(3): 193-208. <https://doi.org/10.1175/2011WCAS1092.1>
- Enarson E, Morrow BH., 1998. *The Gendered Terrain of Disaster*. Westport, CT: Praeger. .
- Galloway DL, et al. 2008. *Land Subsidence Hazards*. In: Baum RL, Galloway DL, Harp, EL (Eds.), *Landslide and Land Subsidence Hazards to Pipelines*. U.S. Geological Survey, Open-File Report 2008-1164. .
- Gambolati G, Teatini P., 2015. Geomechanics of subsurface water withdrawal and injection. *Water Resources Research* 51(6): 3922-3955. <https://doi.org/10.1002/2014WR016841,2015>
- García GH, Ezquerro P, Tomás R, Pizarro MB, Vinielles JL, Rossi M, Mateos RM, Freyre DC, Lambert J, Teatini P, Cano EC, Erkens G, Galloway D, Hung WC, Kakar N, Sneed M, Tosi L, Wang H & Ye S., 2021. Mapping the global threat of land subsidence. *SCIENCE* 371(6524): 34-36. DOI: 10.1126/science.abb8549
- Herrera Leon WH, Martínez J, Hernández Marin M, de la Luz Pérez-Rea M., 2018. Land subsidence and its effects on the urban area of TEPIC city Mexico. *WIT Transactions on The Built Environment* 179: 369-380. <https://doi.org/10.2495/UG180341>

- Holzer TL, Davis SN. 1976. Earth fissures associated with water-table declines. *Geol. Soc. Am. Abstr. Programs* 8(6): 923-924. .
- Holzer TL, Pampeyan EH., 1981. Earth fissures and localized differential subsidence. *Water Resour. Res* 17(1): 223-227. <https://doi.org/10.1029/WR017i001p00223>
- Holzer TL. 1979. Faulting caused by groundwater extraction in south central Arizona. *J. Geophys. Res* 84(B2): 603-612. <https://doi.org/10.1029/WR016i006p01065>
- Hufschmidt G., 2011. A comparative analysis of several vulnerability concepts. *Natural Hazards* 58(2): 621-643. <https://doi.org/10.1007/s11069-011-9823-7>
- Jachens RC, Holzer TL., 1979. Geophysical investigations of ground failure related to groundwater withdrawal-Picacho Basin, Arizona. *Ground Water* 17(6): 574. <https://doi.org/10.1111/J.1745-6584.1979.TB03358.X>
- Jachens RC, Holzer TL., 1982. Differential compaction mechanism for earth fissures near Casa Grande, Arizona. *Bull. Geol. Soc. Am* 93(10): 998-1012. <https://doi.org/10.1130/0016-7606%281982%2993%3C998%3ADCMEFE%3E2.0.CO%3B2>
- Kim H, Marcouiller DW., 2015. *Urban Vulnerability and Resiliency to Natural Disasters: An Integrative Tourism Planning Perspective. Cities at Risk :Planning for and Recovering from Natural Disasters* 159. ISBN: 9781315572109.
- Little M, Paul K, Jordens c, Sayers E., 2004. Vulnerability in the narratives of patients and their careers: studies of colorectal cancer. *Health* 4(4): 495-510. . <https://doi.org/10.1177/136345930000400405>
- Mahmoudpour M, Khamehchiyan M, Nikudel M, Ghassemi M., 2016. Numerical simulation and prediction of regional land subsidence caused by groundwater exploitation in the southwest plain of Tehran, Iran. *Engineering Geology* 201: 6-28. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2015.12.004>
- Motagh M, Shamshiri R, Haghghi M, Wetzel H, Akbari B, Nahavandchi H, Roessner S, Arabi S., 2017. Quantifying groundwater exploitation induced subsidence in the Rafsanjan plain, southeastern Iran, using InSAR time-series and in situ measurements. *Eng Geol* 218:134-151. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2017.01.011>
- Okada S, Takai N., 2000. Classification of structural types and damage patterns of building for earthquake field investigation, Twelfth World Conference on Earthquake Engineering. Balkema, Rotterdam. [https://doi.org/10.3130/AIJS.64.65\\_5](https://doi.org/10.3130/AIJS.64.65_5)
- Oruji S, Ketabdar M, Gregorian K, Motamed R., 2019. Climate change resiliency of natural gas pipelines: Overview of land subsidence and associated issues in central California. *International Conference on Sustainable Infrastructure*. <https://doi.org/10.1061/9780784482650.001>
- Peacock WG, Hugh Gladwin, Betty Hearn Morrow., 1997. *Hurricane Andrew: Ethnicity, Gender and the Sociology of Disaster*. London: Routledge. ISBN: 9780203351628. <https://doi.org/10.4324/9780203351628>
- Poland JF, Davis GH., 1969. Land subsidence due to withdrawal of fluids. In: Varnes DJ, Kiersch G (Eds.). *Reviews in Engineering Geology* 2: 187-269. <https://doi.org/10.1061/9780784415702>
- Poland JF, Green JH., 1962. Subsidence in the Santa Clara Valley, California-A progress report. *U.S. Geol. Surv. Water Supply Pap* 1619-C: 16. <https://books.google.com/books?id=Z3kuwQEACAAJ>
- Poland JF., 1958. Land subsidence due to ground-water development. *J. Irrig. Drain. Div. Am. Soc. Civ. Eng* 84(IR3): 11. .
- Poland JF., 1959. Geology, hydrology, and chemical character of ground waters in the Torrance-Santa Monica area, California. *U.S. Geol. Surv. Water Supply Pap* 1461: 142-146. <https://books.google.com/books?id=CekYzQEACAAJ>

- Poland JF., 1960. Land subsidence in the San Joaquin Valley, California, and its effect on estimates of ground-water resources, *comm. SubTerranean Waters Publ* 52: 324-335. .
- Poland JF., 1961. The coefficient of storage in a region of major subsidence caused by compaction of an aquifer system. *U.S. Geol. Surv. Prof. Pap* 424(B): 52-54. .
- Rezaei M, Yazdani Noori Z, Dashti Barmaki M., 2020. Land subsidence susceptibility mapping using analytical hierarchy process (AHP) and Certain Factor (CF) models at Neyshabur plain, Iran. *Geocarto Int* 1-20. <https://doi.org/10.1080/10106049.2020.1768596>
- Rustin B., 1965. From protest to politics: the future of civil Right movement commentary. *Journal of social justice* 29(28): 44-62. .
- Sennewald CA, Baillie C., 2015. *Effective Security Management: Butterworth-Heinemann*. ISBN-13 : 978-0128027745
- Tierney K., 2006. Social Inequality, Hazards, and Disasters In *On Risk and Disaster: Lessons from Hurricane Katrina*, edited by Daniels RJ, Kettl DF, Kunreuther H. Philadelphia: University of Pennsylvania Press. <https://doi.org/10.9783/9780812205473>
- Turner BL, Turner II, B L and Kasperson, Roger and Matson, Pamela and Mccarthy, James and Corell, Robert and Christensen, Lindsey and Selin, Noelle and Kasperson, Jeanne and Luers, Amy and Martello, Marybeth and Polsky, Colin and Pulsipher, Alexander and Schiller, Andrew},. 2003. A Framework for Vulnerability Analysis in Sustainability Science. *PNAS* 100(14). <https://doi.org/10.1073/pnas.1231335100>
- Wanderson J., 2005. An index of riot severity and some correlates. *Journal of American Sociology* 12(15): 23-35. <https://doi.org/10.1086/224683>
- Wolf S, Hinkel J, Hallier M, Klein R . 2013. Clarifying vulnerability definitions and assessments using formalization. *International Journal of Climate Change Strategies and Management* 5(1): 54-70. <https://doi.org/10.1108/17568691311299363>
- Zhang X, Li X, Sun Z, He Y, Xu W, Campbell H, Dunlop L, Timofeeva M, Theodoratou E., 2020. Physical activity and COVID-19: An observational and mendelian randomization study. *J Glob Health* 10: 020514. <https://doi.org/10.7189/jogh.10.020514>