

فرمانده معظم کل قوا: «در زمینه دیپلماسی، کارآمدی، تحرک بی‌وقفه، جهتدار بودن و حضور فعال در معاهدات و مجموعه‌ها و هسته‌های منطقه‌ای و جهانی مورد نظر است» بیانات در مورخه ۱۳۸۲/۵/۱۵

## ارزیابی آسیب‌پذیری مراکز نظامی شهر تهران در برابر مخاطرات طبیعی: با تاکید بر سیل و زلزله

رسول افسری<sup>۱</sup>

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۱۰

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۸/۲۰

### چکیده

ارزیابی آسیب‌پذیری یکی از پیش نیازهای تحلیل ریسک در مدیریت بلایای طبیعی است. در این میان، یک از کاربری‌های حساس و پراهمیت در مناطق شهری، مراکز نظامی می‌باشد که تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری ناشی از مخاطرات طبیعی و شناسایی مراکز نظامی در معرض خطر منجر به اقدامات بهینه‌تری در مواقع بحران می‌شود. بنابراین، هدف از این مطالعه تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری ناشی از زلزله و سیل جهت شناسایی مراکز نظامی در معرض آسیب در سناریوهای مختلف تصمیم‌گیری می‌باشد. برای نیل به این هدف، ابتدا معیارهای موثر جهت ارزیابی آسیب‌پذیری زلزله و سیل در سه گروه در معرض قرار گرفتن، حساسیت و ظرفیت سازگاری قرار گرفتند. با استفاده از نظرات کارشناسان و مدل فرآیند تحلیل سلسله مراتبی اهمیت هر کدام از معیارها مشخص شد. از توابع فازی و مدل روش میانگین وزنی مرتب شده به ترتیب جهت نرمال‌سازی نقشه معیارها و تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری در سناریوهای مختلف استفاده شده است. همچنین، وضعیت مراکز نظامی در برابر مخاطرات طبیعی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش درجه  $ORness$  تعداد مراکز نظامی آسیب‌پذیر افزایش می‌یابد. به صورتی که نقشه‌های آسیب‌پذیری زلزله (سیل) نشان داد که در  $ORness=0$  از مجموع ۳۷ مرکز نظامی به ترتیب ۲ و ۰ در کلاس با آسیب‌پذیری خیلی بالا و بالا اما در  $ORness=1$  به ترتیب ۲۰ و ۳۲ مرکز در کلاس با آسیب‌پذیری خیلی بالا و بالا قرار گرفته بودند.

**واژگان کلیدی:** آسیب‌پذیری، مخاطرات طبیعی، مراکز نظامی، ریسک در تصمیم‌گیری، تهران، سیلی، زلزله

۱. استادیار، گروه پدافند غیرعامل (شهرسازی گرایش پدافند غیرعامل)، دانشگاه عالی دفاع ملی، تهران

## مقدمه

مخاطرات طبیعی رخدادهایی هستند که در وقوع آنها انسان دخالت مستقیم ندارد ولی به علت گستردگی تأثیر بر منابع مادی و انسانی و قطع روند طبیعی حیات، خارج از ظرفیت تطابق جوامع بوده و پتانسیل ایجاد بحران‌های بزرگ را دارا می‌باشد (Kyul et al., 2017). حوادث طبیعی به طور متوسط سالانه بیش از ۱۵۰ هزار نفر تلفات انسانی و بیش از ۱۴۰ میلیارد دلار خسارت بر کشورها، به ویژه کشورهای در حال توسعه در بردارند (Qin et al., 2020)، به گونه ای که بین سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۲۰ میلادی بلایای طبیعی جان بیش از ۵۲۶ هزار نفر را گرفته و زندگی بیش از ۱۰ میلیون نفر را تحت تأثیر قرار دادند (Abedi et al., 2020). از سویی دیگر، میزان خسارات اقتصادی وارده به دلیل بلایای طبیعی در همین بازه زمانی، ۳/۴۷ هزار میلیارد دلار در سراسر جهان اعلام شد (Peek et al., 2020). در دهه‌های اخیر بلایای طبیعی و تأثیر آن بر جوامع انسانی رو به افزایش می‌باشد. رشد بالای جمعیت، افزایش شهرنشینی، نابرابرای اقتصادی و تغییرات اقلیمی زمین به ویژه در کشورهای در حال توسعه از علل مهم افزایش تأثیر بلایای طبیعی بر زندگی انسان‌ها هستند.

آسیب‌پذیری مناطق مختلف ناشی از مخاطرات طبیعی همچون سیل و زلزله تحت تأثیر معیارهای مختلف از جمله معیارهای مرتبط با در معرض قرار گرفتن، حساسیت و سازگاری می‌باشند. به صورت کلی<sup>۱</sup> GIS به عنوان یک ابزار قدرتمند و یکپارچه برای ذخیره‌سازی، دستکاری و تجزیه و تحلیل معیارهای موثر (جلالی‌نسب و همکاران، ۱۳۹۶) می‌تواند برای مدلسازی آسیب‌پذیری مناطق مختلف ناشی از مخاطرات طبیعی مفید باشد (Roy et al., 2001; Rashed and Weeks, 2003; Ouma and Tateishi, 2014; Rahman et al., 2015; Sowmya et al., 2015; Abebe

---

۱. Geographic Information System

(et al., 2018). بسیاری از تصمیم‌گیری‌های مکانی در دنیای واقعی به طور ذاتی، تصمیم‌گیری‌های چند معیاره می‌باشند. بدین معنا که این تصمیم‌ها بر مبنای شاخص‌ها و با معیارهای مختلف مکانی که وضعیت مطلوب یا رفع مشکل در دنیای واقعی را در نظر می‌گیرند، صورت می‌پذیرد. از دیدگاه مفهومی، یک تصمیم‌گیری مکانی چند معیاره عبارت است از فرآیندی که در آن یک یا چند گزینه مکان-مرجع بر اساس مجموعه‌ای از معیارهای مختلف، توسط یک یا گروهی از افراد، ارزیابی شده و انتخاب می‌گردند. براساس این رویکرد، تحلیل تصمیم‌گیری مکانی چند معیاره می‌تواند به عنوان فرآیند ترکیب و تبدیل داده‌های مکانی (نقشه‌های معیار) و ارزش‌های مربوط به داوری افراد (اولویت تصمیم‌گیران) به منظور بدست آوردن اطلاعات ارزشمند برای تصمیم‌گیری، محسوب شود (Malczewski, 1999; Malczewski, 1996; Boroushaki and Malczewski, 2010; Feizizadeh and Blaschke, 2015; Malczewski and Rinner, 2014). با توجه به اینکه برای تعیین آسیب-پذیری مناطق مختلف معیارهای زیادی می‌توانند تاثیر داشته باشند، استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌تواند در مدلسازی آسیب‌پذیری مناطق مختلف ناشی از مخاطرات طبیعی کاربرد موثر و فراوانی داشته باشد. طی سال‌های گذشته تکنیک‌های تصمیم‌گیری چند معیاره و GIS در زمینه مدلسازی آسیب‌پذیری مناطق مختلف ناشی از مخاطرات طبیعی مورد استفاده قرار گرفته‌اند (Yalcin and Akyurek, 2004; Feizizadeh et al., 2014; Alvarado et al., 2016).

بلایا و مخاطرات طبیعی در همه کشورهای دارای پیامدها و دلالت‌هایی برای امنیت ملی است. بلایای طبیعی از طریق سه سازوکار اصلی ممکن است امنیت ملی یک کشور را تهدید کنند (مرادی، ۱۳۹۷):

(۱) در شرایط بحرانی پس از بلایای طبیعی، به ویژه اگر سطح گسترده‌ای از مناطق کشور را درگیر کند یا بخش توجهی از امکانات کشور را به خود مشغول دارد خطر

بروز سایر تهدیدات امنیتی همچون حملات تروریستی، تهاجم خارجی و آشوب‌های اجتماعی افزایش می‌یابد.

۲) شرایط بحرانی ناشی از بلایای طبیعی، آزمون بزرگ کارآمدی حکومت‌هاست. در هنگام بحران، فشار سیاسی و اجتماعی شدیدی ایجاد می‌شود تا حکومت «کاری کند». در این شرایط، بحران طبیعی به سرعت تبدیل به بحران انسانی می‌شود و بحران انسانی به نوبه خود با بازنمایی رسانه‌ای گسترده، منحنی تقاضاها و انتظارات را به شدت صعودی و فزاینده می‌کند. به این ترتیب، بحران کارآمدی در جوامعی که وضعیت پیشینی آنها از منظر شاخص‌های اعتماد سیاسی در وضعیت مناسبی نیست، ممکن است به سرعت به وضعیت بحران اعتماد سیاسی منجر شود. بحران اعتماد نیز به نوبه خود با بحران مشروعیت و نارضایتی اجتماعی رابطه مستقیم دارد.

۳) گذشته از دو مورد بالا، بلایای طبیعی ممکن است برخی روندهای اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی بلندمدت‌تر در جامعه ایجاد کنند که آثار آن تا سال‌ها و دهه‌ها برای کشور می‌تواند پیامدهای امنیتی داشته باشد. نمونه بارز چنین روندهایی مهاجرت است. گاهی بلایایی چون سیل، زلزله و حتی خشکسالی ممکن است موج عظیمی از مهاجرت بین شهری و بین منطقه‌ای ایجاد کنند.

## ۲- مبانی نظری

اصطلاح آسیب‌پذیری از واژه لاتین "vulnerare" به معنای "آسیب" سرچشمه گرفته است. بنابراین، آسیب‌پذیری می‌تواند به عنوان "ظرفیت آسیب دیده" بیان شود (Dow, 1992). مفهوم آسیب‌پذیری برای اولین بار در دهه ۱۹۷۰ در زمینه مخاطرات طبیعی استفاده شد و از آن زمان تاکنون در رشته‌های مختلفی مورد استفاده قرار گرفته

۱. Wound

۲. The capacity to be wounded

است. تعدادی از مطالعات موجود درباره مفهوم<sup>۱</sup> VM و همچنین در مورد رویکردهای تحلیلی<sup>۲</sup> VAM به تغییرات محیطی بیشتر در زمینه تغییرات آب و هوایی بحث کرده‌اند (به عنوان مثال: Adger, 1999; Singh et al., 2003; Füssel, 2005; Cutter et al., 2009; Pearson et al., 2011). علاوه بر این، مطالعات متعددی چارچوب‌های مفهومی را برای انجام ارزیابی آسیب‌پذیری ارائه می‌دهند (به عنوان مثال: Adger and Kelly, 1999; Pritchett et al., 2000; Turner et al., 2003; Brooks, 2003; Schröter et al., 2005; Füssel, 2007; Polsky et al., 2007; Moreno and Becken, 2009; Cinner et al., 2012).

طی دهه‌های گذشته، از آسیب‌پذیری در مطالعات بین رشته‌ای برای توصیف میزان آمادگی مجموعه‌های اجتماعی-اقتصادی و زیست محیطی در معرض آسیب یا خطر استفاده شده است. با وجود منابع فراوان که به موضوع اختصاص داده شده است، به دست آوردن یک تعریف واحد که همه زمینه‌ها را شامل شود، دشوار است. در این میان، یکی از شناخته شده‌ترین تعاریف از سوی سازمان ملل و در قالب راهبردی بین‌المللی برای کاهش بلایا مطرح گردیده است که بر مبنای آن، آسیب‌پذیری شرایطی است که توسط عوامل یا فرایندهای فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی تعیین می‌شود و آمادگی جوامع را در مقابل اثرات و پیامدهای ناشی از بلایا را کاهش می‌دهد (ISDR, 2004). در مقابل، برنامه توسعه ملی سازمان ملل، آسیب‌پذیری را به عنوان شرایط یا فرایندهای انسانی تلقی می‌کند که از عوامل فیزیکی، اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی منتج شده و احتمال و میزان خسارات ناشی از بلایا را تعیین می‌کند (UNDP, 2004). در حالی که تعریف نخست، آسیب‌پذیری را شامل شرایط مختلفی می‌داند که بر آمادگی جامعه تاثیر دارند؛ تعریف دوم، آسیب‌پذیری را به مثابه

---

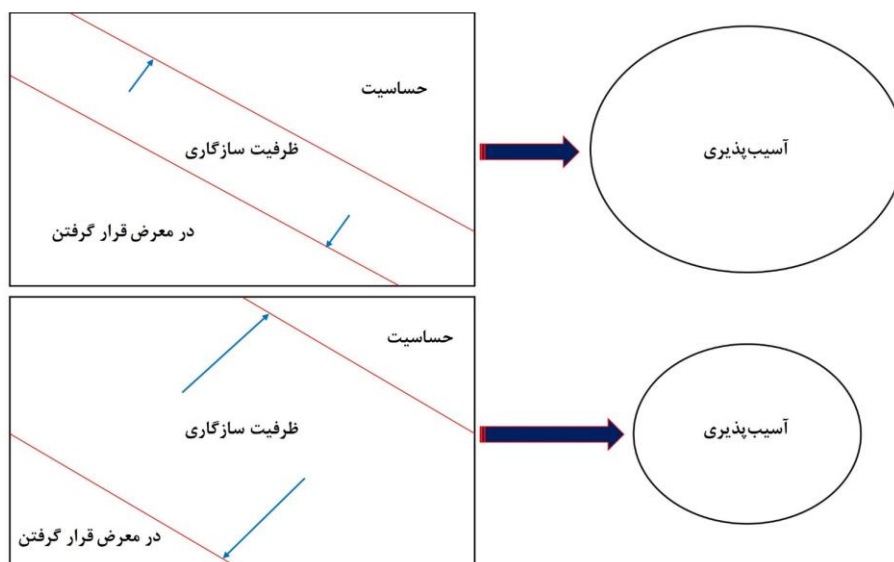
۳. Vulnerability mapping

۴. Vulnerability assessment and mapping

شرایط یا فرآیندهای انسانی می‌داند. علاوه بر آن، آسیب‌پذیری به میزان زیادی به شرایط و زمینه محیطی وابسته است؛ به نحوی که در بسیاری از موارد پیامدهای مشابه در موقعیت‌های اجتماعی و اقتصادی مختلف، متفاوت می‌باشد و می‌توان این تفاوت‌ها را به تمایز مکانی آسیب‌پذیری نسبت داد (Muris et al., 2001). همچنین آسیب‌پذیری عاملی پویا می‌باشد که می‌تواند به عنوان پیامد تعامل موجود میان طیف وسیعی از عوامل اجتماعی-اقتصادی قلمداد شود (Antypa et al., 2017). در نتیجه فرآیندهای زیست محیطی ممکن است برای یک جامعه خاص به منزله تهدیدی جدی تلقی شوند ولی برای جامعه دارای ویژگی‌های متفاوت به عنوان بلای طبیعی محسوب نشود.

آسیب‌پذیری را می‌توان تابعی از سه مولفه در معرض قرار گرفتن، حساسیت و ظرفیت سازگاری در نظر گرفت و آنرا می‌توان توانایی سازگاری یکی مجموعه از سه جنبه آسیب‌پذیری (در معرض قرار گرفتن، حساسیت و ظرفیت سازگاری) در برابر شرایط غیرعادی و نیروهای خارجی مرتبط با مخاطره عنوان کرد (Füssel, 2010). به بیان دیگر آسیب‌پذیری را می‌توان حساسیت یک مجموعه که با در معرض قرار گرفتن تغییرات زیست محیطی و اجتماعی به دلیل فقدان ظرفیت برای سازگاری آسیب می‌بیند، دانست (Smit & Wandel, 2006). درک آسیب‌پذیری و فعل و انفعالاتی که بین ساختار و فرآیندهای مختلف آن روی می‌دهد از این جهت مفید می‌باشد که با شناخت مجموعه می‌توان اقدامات بهینه‌ای برای کاهش و تعدیل اثرات مخرب آن تدارک دید. از این رو ارزیابی آسیب‌پذیری را می‌توان به عنوان یک ابزار موثر برای تعیین حساسیت یک مجموعه دانست که اطلاعات لازم جهت اولویت‌بندی برنامه‌های مدیریتی و حفاظتی را در اختیار مدیران قرار می‌دهد و خروجی‌های آن می‌تواند راه‌حلی برای کاهش میزان آسیب‌پذیری از طریق کاهش تهدیدات و ارائه راهکارهای فنی باشد. در این تعریف آسیب‌پذیری؛ در معرض قرار گرفتن "مجموعه‌ای

از روش‌های برخورد با فشارهای محیطی، اجتماعی و اقتصادی است. قرار گرفتن در معرض خطر اشاره به فشارهای ناشی از تغییر در دفعات، ماهیت، شدت، مدت و ناحیه تغییرات دارد"، تعریف می‌شود (Pearce et al., 2010). حساسیت اشاره به ویژگی‌های درونی گونه‌ها و یا مجموعه‌ها دارد و درجه‌ای است که مجموعه بر اساس آن تحت تاثیر عامل بیرونی قرار می‌گیرد. همچنین حساسیت را می‌توان احتمال برخورد با درجات مختلفی از اثرات مواجه شدن با اختلالات و شوک‌ها تعریف کرد (Füssel, 2007). ظرفیت سازگاری به توانایی یک مجموعه به طوری که قادر باشد با تنش‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی مقابله کند و یا آنها را حل کند اطلاق می‌شود. توانایی یک مجموعه برای پاسخ در مواجهه با فشارها و تنش‌ها به منظور تطبیق و مقابله با اثرات را ظرفیت سازگاری گویند (Lindner et al., 2010). شکل شماره ۱ نشان می‌دهد که چگونه ظرفیت سازگاری نقش مهمی در تعیین آسیب‌پذیری با تعدیل دو مؤلفه در معرض قرار گرفتن و حساسیت دارد. همان گونه که نشان داده شده است دو مؤلفه حساسیت و در معرض قرار گرفتن مستقیماً روی آسیب‌پذیری تأثیر می‌گذارند به طوری که هرچه میزان در معرض قرار گرفتن یا حساسیت بیشتر باشد، آسیب‌پذیری بیشتر است. از طرف دیگر، ظرفیت سازگاری با آسیب‌پذیری رابطه معکوس دارد.



شکل شماره ۱: تأثیر ظرفیت سازگاری در آسیب‌پذیری

### ۳- داده‌ها و روش پژوهش

#### ۳-۱- منطقه مورد مطالعه

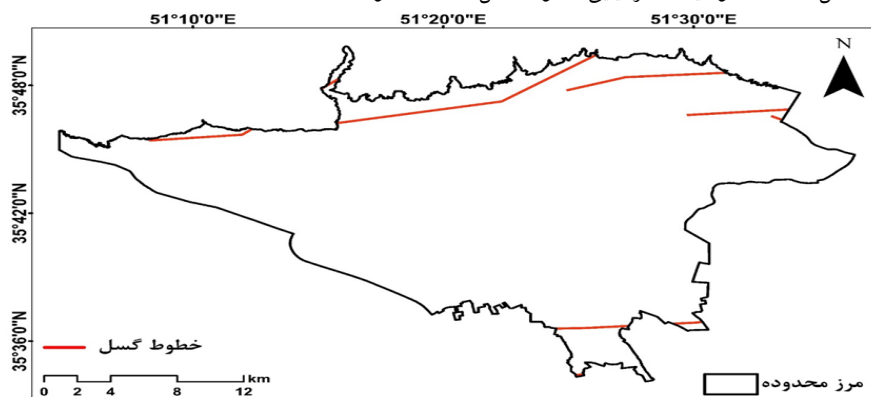
از گذشته تا به حال فهرست زمین‌لرزه‌های ایران در مقیاس‌های نزدیک ۷ ریشتر در اطراف تهران در جدول شماره ۱ نشان داده شده است. داده‌ها نشان می‌دهد که در منطقه‌ی تهران حدود هر ۱۵۸ سال یک زمین‌لرزه اتفاق می‌افتد. آخرین زمین‌لرزه برجسته در تهران مربوط به سال ۱۸۳۰ میلادی و به بزرگی  $7/2$  ریشتر بوده است.



جدول شماره ۱. فهرست زمین‌لرزه‌های ایران در مقیاس‌های نزدیک ۷ ریشتر در اطراف تهران (Asgary et al., 2007)

سال	بخش	گسل	اندازه	مقیاس مرکالی
۳۰۰۰ پیش از میلاد	ری	پارچین، ری	۷/۶	X
۷۴۳ میلادی	دروازه خزر	گرمسار	۷/۲	VIII+
۸۵۵ میلادی	ری	کهریزک	۷/۱	VIII+
۹۵۸ میلادی	طالقان	مشاء	۷/۷	X
۱۱۱۷ میلادی	کرج	تهران	۷/۲	VIII+
۱۶۶۵ میلادی	دماوند	مشاء	۶/۵	VIII+
۱۸۱۵ میلادی	دماوند	مشاء	نامعلوم	V+
۱۸۳۰ میلادی	دماوند	مشاء	۷/۲	VIII+

در شکل شماره ۲ موقعیت جغرافیایی خطوط گسل در منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل شماره ۲: موقعیت جغرافیایی خطوط گسل در منطقه مورد مطالعه

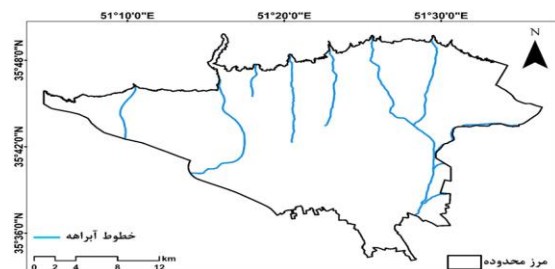
- به طور کلی، آب‌های سطحی حوضه تهران از سه سیستم تشکیل شده است: (۱) رودخانه‌ها و نهرها (مانند رودخانه کن) که به سمت جنوب غربی تهران می‌ریزند. (۲) رودخانه‌ها و نهرها (مانند رودخانه سرخه حصار) که در جنوب شرقی تهران جریان

دارند. و (۳) نهرها و کانال‌ها (مانند رودخانه دربند) در بخش مرکزی و جنوبی تهران (Radmehr & Araghinejad, 2015). حوادث سیل ناگهانی گزارش شده در تهران در جدول شماره ۲ نشان داده شده است. اولین سیل ثبت شده در سال ۱۹۵۴ بود که در آن ۲۱۵۰ نفر جان باختند. در سال ۱۹۸۷، بارندگی شدید باعث طغیان آبهای سطحی، مجروح شدن ۱۰۲۷ نفر و کشته شدن ۱۰۱۰ نفر شد. همچنین بیش از ۷ میلیون دلار خسارت اقتصادی به بار آورد. در مجموع از سال ۱۹۵۴ تاکنون ۱۲۶۷ نفر مجروح و ۳۴۸۲ نفر در اثر سیل جان خود را از دست داده‌اند.

جدول شماره ۲. خلاصه‌ای از سیل‌های رخ داده در شهر تهران (Moghadas et al., 2019)

سال	مرگ	افراد مجروح - مفقود	خانه‌های ویران شده	خسارت‌های اقتصادی (دلار)
۱۹۵۴	۲۱۵۰	-	-	-
۱۹۵۵-۱۹۸۶	۱۱۸	۴۰	-	۱۰۷۰۰
۱۹۸۷	۱۰۱۰	۱۰۲۷	۸۶۲	۷۶۵۵۰۰۰
۱۹۸۸	۱۴۶	۱۰۶	۱۰۰	۱۵۰۰۰۰
۱۹۸۹-۲۰۱۰	۳۹	۶۵	۳۴۸	۳۸۰۰۰
۲۰۱۲	۸	۷	-	۲۱۰۰۰
۲۰۱۵	۱۱	۲۲	-	-

در شکل شماره ۳ موقعیت جغرافیایی خطوط آبراهه در منطقه مورد مطالعه نشان داده شده است.



شکل شماره ۳: موقعیت جغرافیایی خطوط آبراهه در منطقه مورد مطالعه

### ۳-۲- داده‌های مورد استفاده

در این مطالعه جهت تهیه نقشه آسیب‌پذیری ناشی از زلزله و سیل از مجموعه داده‌های مکانی شطرنجی و برداری استفاده شده است. داده‌های شطرنجی شامل مجموعه‌ای از نقاط یا سلول‌هایی است که عوارض زمین را در یک شبکه منظم می‌پوشاند. به طوری که کل سطح گرافیکی نقشه به شبکه‌ای از سلول‌های ریز و منظم که پیکسل نیز نامیده می‌شود، تقسیم می‌شود، مانند ارتفاع، شیب، جهت شیب، پوشش گیاهی، بارش، کاربری اراضی، جریان تجمعی و سطوح نفوذناپذیر. داده‌های برداری شامل عوارض جهان واقعی به وسیله عناصر هندسی مثل نقطه، خط و سطح، نمایش داده می‌شوند، مانند تراکم جمعیت، شبکه آبراهه، مراکز درمانی، ایستگاه سوخت، خطوط انتقال نیرو، داروخانه، نوع مصالح، نوع اسکلت و ایستگاه آتش نشانی. مراکز نظامی با استفاده از گوگل ارث استخراج شده‌اند. از نرم‌افزار Arc GIS جهت پیش‌پردازش لایه‌ها و تحلیل‌های مکانی و از نرم‌افزار IDRISI جهت تهیه نقشه آسیب‌پذیری استفاده شده است. IDRISI یک نرم‌افزار GIS و RS است که با ساختار داده‌های شطرنجی کار می‌کند. دارای چهار بخش اصلی شامل مدیریت پروژه، وارد سازی داده‌ها، تجزیه و تحلیل داده‌ها و تبادل داده‌ها می‌باشد. از ویژگی‌های مهم این نرم‌افزار، توانایی آن در

ایجاد مدل رقومی ارتفاع و انجام تحلیل‌های مربوط به سطح زمین می‌باشد. مشحصات داده‌های مورد استفاده در جدول شماره ۳ نشان داده شده است.

جدول شماره ۳: مشحصات داده‌های مورد استفاده

مونه	معیار	سیل زلزله	فرمت	منبع
در معرض قرار گرفتن	ارتفاع	سیل زلزله	شظرنجی	<a href="https://earthexplorer.usgs.gov/">https://earthexplorer.usgs.gov/</a>
	شیب	سیل زلزله	شظرنجی	Extracted from the DEM
	جهت شیب	سیل	شظرنجی	Extracted from the DEM
	شکله آبراهه	سیل	برداری	<a href="https://frw.ir/">https://frw.ir/</a>
	جریان تجمعی	سیل	شظرنجی	Extracted from the DEM
	بارش	سیل	شظرنجی	<a href="https://wapor.apps.fao.org/">https://wapor.apps.fao.org/</a>
	پوشش گیاهی	سیل	شظرنجی	<a href="https://earthexplorer.usgs.gov/">https://earthexplorer.usgs.gov/</a>
	سطوح فرودآب‌پذیر	سیل	شظرنجی	<a href="https://earthexplorer.usgs.gov/">https://earthexplorer.usgs.gov/</a>
	کسل	زلزله	برداری	<a href="https://gsi.ir/">https://gsi.ir/</a>
	حساسیت	تراکم جمعیت کل	سیل زلزله	برداری
تراکم جمعیت آسیب‌پذیر		سیل زلزله	برداری	<a href="https://www.tehran.ir/">https://www.tehran.ir/</a>
تراکم جمعیت ناشایست		سیل زلزله	برداری	<a href="https://www.tehran.ir/">https://www.tehran.ir/</a>
تراکم جمعیت پسماند		سیل زلزله	برداری	<a href="https://www.tehran.ir/">https://www.tehran.ir/</a>
تضرر نقل و تیرو		سیل زلزله	برداری	<a href="https://fa.ncc.gov.ir/">https://fa.ncc.gov.ir/</a>
ظرفیت سازگاری	ایستگاه سوخت	سیل زلزله	برداری	<a href="https://www.tehran.ir/">https://www.tehran.ir/</a>
	ایستگاه آتش نشانی	سیل زلزله	برداری	<a href="https://www.tehran.ir/">https://www.tehran.ir/</a>
	داروخانه	سیل زلزله	برداری	<a href="https://www.tehran.ir/">https://www.tehran.ir/</a>
	مراکز درمانی	سیل زلزله	برداری	<a href="https://www.tehran.ir/">https://www.tehran.ir/</a>
	شکله راه	سیل زلزله	برداری	<a href="https://fa.ncc.gov.ir/">https://fa.ncc.gov.ir/</a>
	نوع مصالح	زلزله	برداری	<a href="https://www.tehran.ir/">https://www.tehran.ir/</a>
	نوع اسکلت	زلزله	برداری	<a href="https://www.tehran.ir/">https://www.tehran.ir/</a>
	ایستگاه حمل و نقل	سیل زلزله	برداری	<a href="https://www.tehran.ir/">https://www.tehran.ir/</a>

جامعه آماری این مطالعه شامل ۸۲ نفر از متخصصان دانشگاهی و سازمانی بوده است. که از این تعداد، از نظرات ۴۲ متخصص برای آسیب‌پذیری سیل (شامل مهندسی سیل و سوانح طبیعی، مدیریت شهری و مهندسی منابع طبیعی) و ۴۰ متخصص برای آسیب‌پذیری زلزله (شامل مهندسی زلزله و سوانح طبیعی، مهندسی سازه، مدیریت شهری و برنامه‌ریزان شهری) استفاده شده است. از مجموع ۸۲ متخصص، ۱۲ نفر دارای تحصیلات کارشناسی، ۳۰ نفر دارای تحصیلات کارشناسی ارشد و ۴۰ نفر دارای تحصیلات دکتری و بالاتر می‌باشند. همچنین بازه سنی آنها بین ۲۸ تا ۶۰ سال متغیر بوده است.

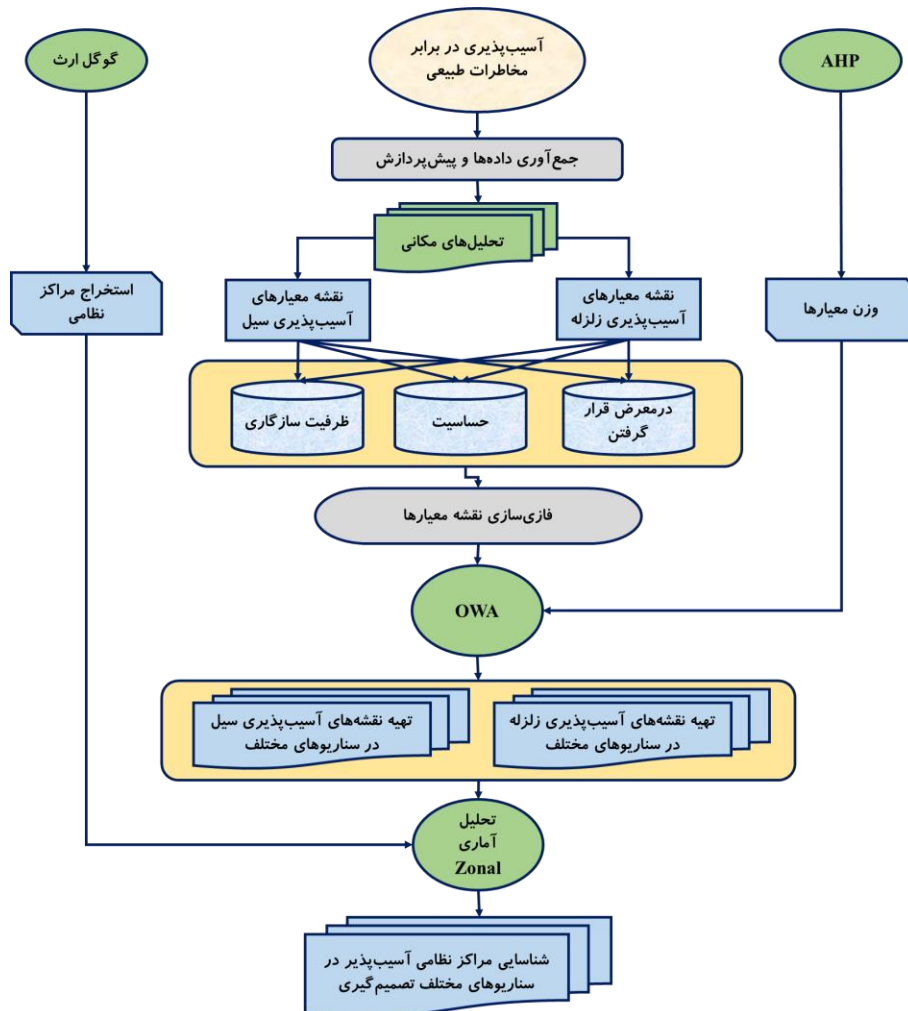
### ۳-۳- روش پژوهش

شکل شماره ۴ فرآیند روش تحقیق در این مطالعه را نشان می‌دهد که شامل ۵ مرحله می‌باشد:

- (۱) شناسایی مهم‌ترین عوامل موثر برای هر مخاطره از طریق بررسی ادبیات،
- (۲) گردآوری داده‌ها و پیش‌پردازش آنها،
- (۳) تهیه نقشه مولفه‌های در معرض قرار گرفتن، حساسیت و ظرفیت سازگاری با استفاده از تحلیل‌های مکانی،
- (۴) استاندارد سازی معیارها و محاسبه وزن و اهمیت معیارها با استفاده از روش AHP، (۵) خروجی مرحله (۴) وارد مدل OWA شده و نقشه‌های آسیب‌پذیری در مقابل سیل و زلزله در هر سناریو تهیه شد.

<sup>۱</sup>.Analytic hierarchy process

<sup>۲</sup>.Ordered Weighted Averaging



شکل شماره ۴: روندنمای مراحل اصلی پژوهش

به دلیل ماهیت متفاوت هر شاخص و همچنین ناهماهنگ بودن واحد و ابعاد آنها، نمی‌توان از آن به طور مستقیم استفاده کرد. به عنوان مثال، معیار "شیب" با واحد درصد و معیار "فاصله از جاده" با واحد کیلومتر استفاده می‌شود. بنابراین، برای ارزیابی همه معیارها با همدیگر نیاز به تبدیل لایه‌ها به واحدهای قابل مقایسه می‌باشد. برای معیارهای که مقادیر بالای آنها باعث افزایش آسیب‌پذیری می‌شود (مانند ارتفاع) از

معادله (۱) برای معیارهای که مقادیر پایین آنها باعث افزایش آسیب‌پذیری می‌شود (مانند فاصله از گسل) از معادله (۲) استفاده می‌شود.

$$Y_i = \frac{y_i - y_{min}}{y_{max} - y_{min}} \quad (1)$$

$$Y_i = \frac{y_{max} - y_i}{y_{max} - y_{min}} \quad (2)$$

که در آن،  $Y_i$  مقدار فازی‌سازی شده معیار  $i$ ،  $y_i$  مقدار اولیه معیار  $i$ ،  $y_{max}$  حداکثر مقدار معیار  $i$  و  $y_{min}$  حداقل مقدار معیار  $i$  می‌باشد.

## ۲- فرآیند تحلیل سلسله مراتبی

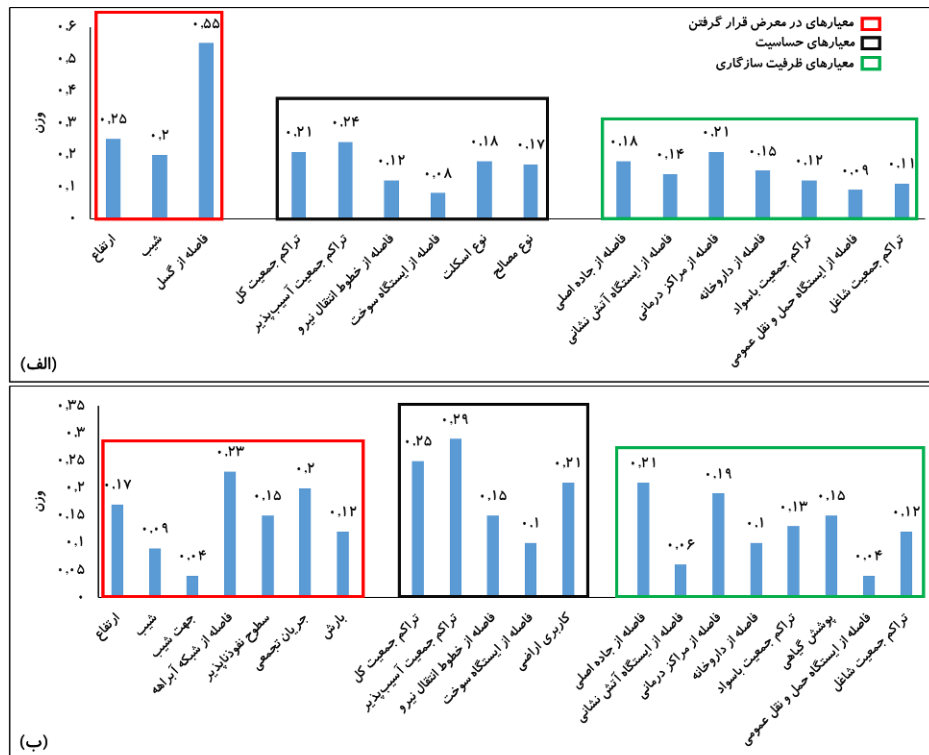
فرآیند تحلیل سلسله مراتبی یکی از معروف‌ترین فنون تصمیم‌گیری چند شاخصه است که توسط ساعتی<sup>۱</sup> در سال ۱۹۸۰ ابداع شد (Saaty, 1980). این روش هنگامی که عمل تصمیم‌گیری با چند گزینه و شاخص تصمیم‌گیری روبه‌رو است، می‌تواند مفید باشد. فرآیند AHP ترکیب معیارهای کیفی همراه با معیارهای کمی را به طور همزمان امکان‌پذیر می‌سازد. اساس این روش بر مقایسه‌های زوجی یا دوبه‌دویی آلترناتیوها و معیارهای تصمیم‌گیری است (Saaty & Vargas, 1980). این امر به تصمیم‌گیرندگان این امکان را می‌دهد که فارغ از هر گونه نفوذ و مزاحمت خارجی تنها روی مقایسه دو معیار و یا گزینه تمرکز کنند. افزون بر این مقایسه دوبه‌دویی، به دلیل اینکه پاسخ دهنده فقط دو عامل را نسبت به هم می‌سنجد و به عوامل دیگر توجه ندارد، اطلاعات ارزشمندی را برای مسئله مورد بررسی فراهم می‌آورد و فرآیند تصمیم‌گیری را منطقی می‌سازد.

۱. Saaty

#### ۴- یافته‌های تحقیق و تجزیه و تحلیل آن‌ها

##### ۴-۱- تعیین وزن و اهمیت معیارها

در شکل شماره ۵ وزن و اهمیت معیارها نشان داده شده است. مقادیر وزن معیارها بین ۰ تا ۱ می‌باشد. صفر نشان دهنده کمترین اهمیت و ۱ نشان دهنده اهمیت زیاد می‌باشد.



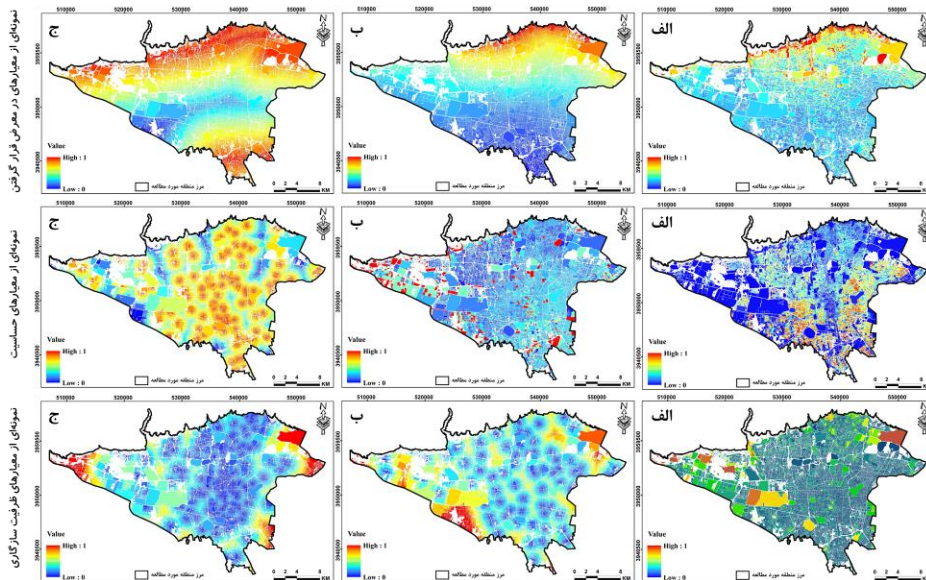
شکل شماره ۵: الف) وزن معیارهای آسیب‌پذیری زلزله، ب) وزن معیارهای آسیب‌پذیری سیل

##### ۴-۲- نقشه معیارها فازی سازی شده

بعد از اینکه مجموعه معیارهای موثر جهت تهیه نقشه آسیب‌پذیری سیل و زلزله انتخاب شدند هر معیار به عنوان یک نقشه GIS در پایگاه داده مکانی ذخیره شد. برای ارزیابی همه معیارها با همدیگر نیاز به تبدیل لایه‌ها به واحدهای قابل مقایسه می‌باشد (Bolorani et al., 2021). از آنجایی که در برخی معیارها از مقادیر "بالا" و در برخی مقادیر "پایین"



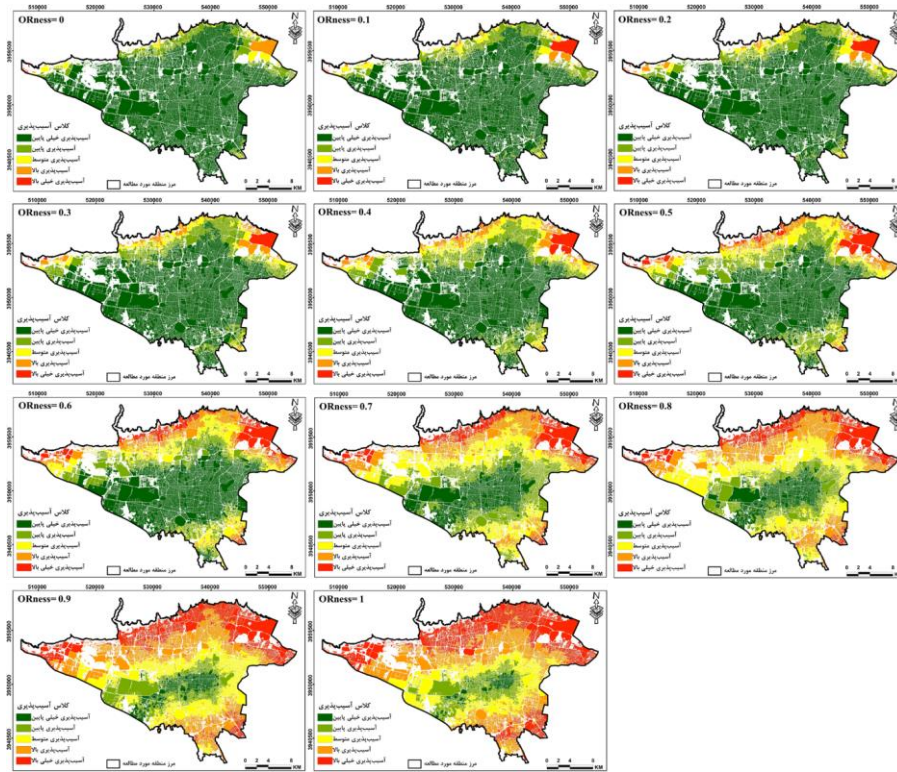
جهت تهیه نقشه آسیب‌پذیری دارای اهمیت بیشتری می‌باشد در این مطالعه از توابع فازی استفاده شده است. معیارها به دو دسته معیارهای سود (معیارهای که مقدار بالای آنها نشان دهنده آسیب‌پذیری بالا می‌باشد) و معیارهای هزینه (معیارهای که مقدار پایین آنها نشان دهنده آسیب‌پذیری بالا می‌باشد) تقسیم‌بندی شدند. مقدار صفر نشان دهنده آسیب‌پذیری خیلی پایین و مقدار ۱ نشان دهنده آسیب‌پذیری خیلی بالا می‌باشد. نمونه‌های از معیارهای فازی‌سازی شده در معرض قرار گرفتن، حساسیت و ظرفیت سازگاری در شکل شماره ۶ نشان داده شده است.



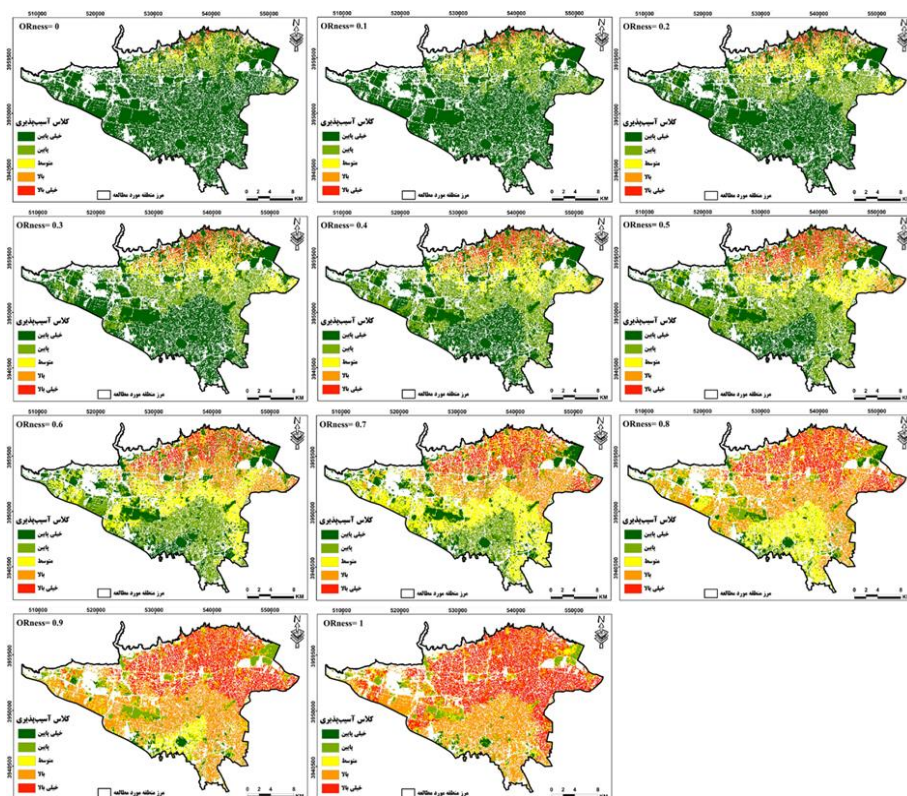
شکل شماره ۶: نمونه‌های از نقشه‌های فازی‌سازی شده معیارهای در معرض قرار گرفتن (الف: شیب؛ ب: ارتفاع؛ ج: فاصله از گسل)، معیارهای حساسیت (الف: تراکم جمعیت آسیب‌پذیر؛ ب: نوع اسکلت؛ ج: فاصله از ایستگاه سوخت) و معیارهای ظرفیت سازگاری (الف: فاصله از جاده اصلی؛ ب: فاصله از ایستگاه آتش‌نشانی؛ ج: فاصله از مراکز درمانی)

#### ۳-۴- نقشه‌های آسیب‌پذیری

با توجه به روابط ارائه شده در بخش‌های قبل می‌توان در سناریوهای مختلف ریسک (از بدبینانه‌ترین حالت تا خوش بینانه‌ترین حالت) نقشه‌های آسیب‌پذیری را تولید نمود. نقشه‌های آسیب‌پذیری در این تحقیق در ۱۱ سناریو مختلف ریسک ( $ORness = 0, 0.1, 0.2$ ) تولید شده است (شکل شماره ۷ و ۸). در این نقشه‌ها درجه آسیب‌پذیری هر پیکسل با یک عدد حقیقی در بازه  $[0, 1]$  نشان داده شده و در نهایت پیکسل‌ها به ۵ کلاس آسیب‌پذیری "خیلی پایین" ( $0-0.2$ )، "پایین" ( $0.2-0.4$ )، "متوسط" ( $0.4-0.6$ )، "بالا" ( $0.6-0.8$ ) و "خیلی بالا" ( $0.8-1$ ) کلاس‌بندی شده است. نتایج نشان داد که هر چه مقدار  $ORness$  بیشتر می‌شود مقدار ریسک‌پذیری در تصمیم‌گیری افزایش می‌یابد. قابلیت  $OWA$  در این است که در سناریوهای مختلف امکان تصمیم‌گیری وجود دارد. به عبارتی در  $ORness=0$  شرایط بسیار بدبینانه‌ای در منطقه مورد مطالعه وجود دارد به این معنی مناطقی در کلاس آسیب‌پذیری بالا قرار می‌گیرند که در همه معیارها دارای شرایط نامساعدی باشند. اما در  $ORness=1$  شرایط بسیار خوشبینانه در نظر گرفته می‌شود به صورتی مساحت قابل توجهی از منطقه مورد مطالعه در کلاس با آسیب‌پذیری بالا قرار می‌گیرد.



شکل شماره ۷: نقشه‌های آسیب‌پذیری زلزله در سناریوهای مختلف



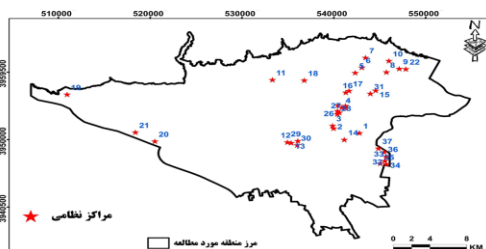
شکل شماره ۸: نقشه‌های آسیب‌پذیری سیل در سناریوهای مختلف

در جدول شماره ۴ و ۵ به ترتیب درصد مساحت طبقات کلاس‌های آسیب‌پذیری ناشی از زلزله و سیل در سناریوهای مختلف نشان داده شده است. با تحلیل نتایج می‌توان به این نتیجه رسید که درجه آسیب‌پذیری ناشی از زلزله و سیل با افزایش درجه ریسک‌پذیری افزایش می‌یابد. درجه ریسک‌پذیری همان میزان نزدیکی عملگر OWA به عملگر OR می‌باشد. با افزایش تدریجی درجه ریسک‌پذیری تعداد پیکسل‌هایی که در طبقه آسیب‌پذیری "خیلی کم" هستند کمتر شده و تعداد پیکسل‌هایی که در طبقه آسیب‌پذیری "خیلی زیاد" هستند بیشتر می‌شود. به عبارتی، در سناریو بسیار ریسک‌گریز ( $ORness=0$ ) مساحت طبقه با آسیب‌پذیری خیلی بالا برای زلزله و سیل به ترتیب  $0/2$  و  $0/3$  درصد از کل منطقه مورد مطالعه و

در سناریو بسیار ریسک‌پذیر ( $OR_{ness}=1$ ) مساحت طبقه با آسیب‌پذیری خیلی بالا برای زلزله و سیل به ترتیب  $۳۴/۱$  و  $۳۶/۴$  درصد از کل منطقه مورد مطالعه می‌باشد. در حالت اول (ریسک‌گریز) مناطقی به عنوان آسیب‌پذیر در نظر گرفته می‌شوند که تمام پیکسل‌های آن در همه معیارها دارای ارزش و جامعیت بالایی می‌باشند. مدیران و برنامه‌ریزان ریسک‌گریز در زمینه برنامه‌ریزی در طرح‌های مربوط به کاهش آسیب‌پذیری ناشی از زلزله بیشتر به دنبال مناطقی برای تخصیص اعتبار هستند که در این مناطق تمامی معیارها موثر در بهترین حالت ممکن باشند. اما در حالت دوم (ریسک‌پذیری) پیکسل‌های که با احتمال خیلی پایین آسیب‌پذیر خواهند بود به عنوان مناطق آسیب‌پذیر انتخاب می‌شوند. این حالت برای زمانی که مدیران و برنامه‌ریزان از لحاظ اقتصادی و زمانی محدودیتی نداشته باشند می‌توان استفاده کرد.

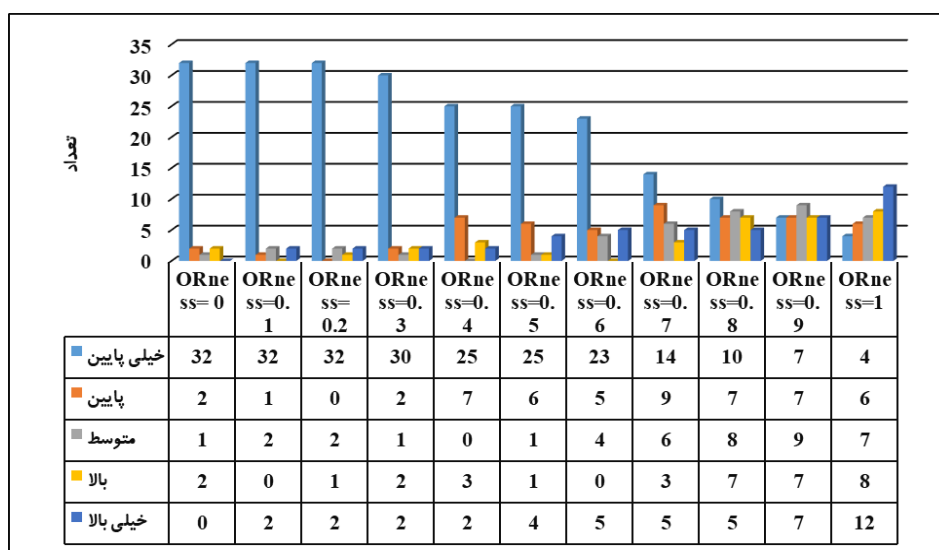
#### ۴-۴- ارزیابی آسیب‌پذیری مناطق نظامی

برای ارزیابی وضعیت آسیب‌پذیری مناطق نظامی، ابتدا این مناطق شناسایی و سپس موقعیت مکانی آنها از روی گوگل ارث استخراج شد. در این مطالعه ستادهای کل و مراکز که قابلیت استخراج موقعیت مکانی آنها از روی گوگل ارث دارا بودند، انتخاب شد. در نهایت، ۳۷ مرکز نظامی شناسایی شد. موقعیت مراکز نظامی شناسایی شده در شکل شماره ۹ نشان داده شده است.

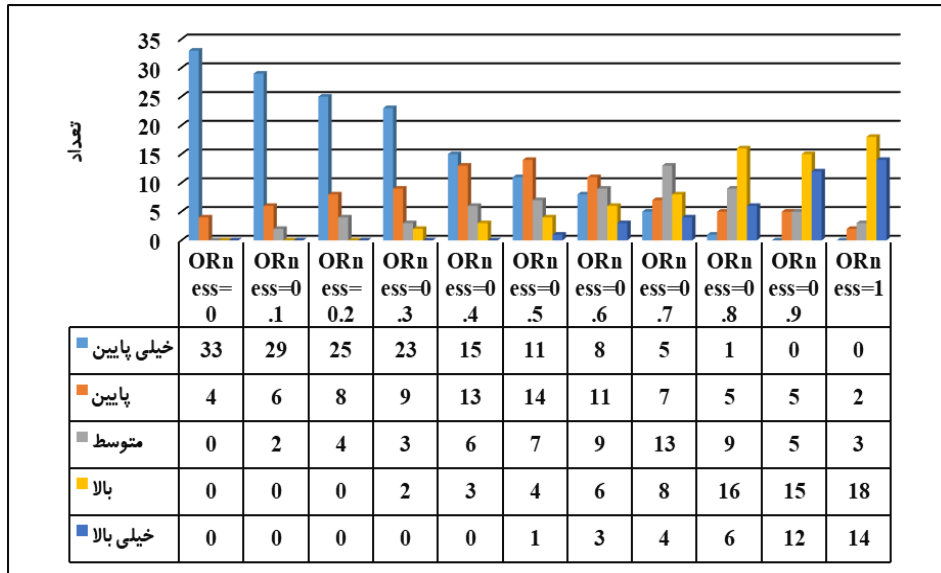


شکل شماره ۹: موقعیت مکانی مراکز نظامی: ۱) ستاد فرماندهی نیروی هوایی ارتش، ۲) نیرو هوایی سپاه، ۳) پادگان ولیمصر، ۴) ستاد فرماندهی کل ارتش، ۵) پادگان نیروی زمینی ۶۰۰۶، ۶) سازمان صنایع دفاع، ۷) وزارت دفاع و پشتیبانی نیروهای مسلح، ۸) مرکز آموزش شهید فیض الله امامی، ۹) مرکز آموزش شهید امینی، ۱۰) ستاد نیروی زمینی ارتش، ۱۱) پادگان خاتم‌الانبیا، ۱۲) پادگان حر، ۱۳) پادگان نیروی زمینی، ۱۴) صنایع جنگ افزایشی وزارت دفاع، ۱۵) پادگان کوهک، ۱۶) وزارت اطلاعات، ۱۷) سازمان اطلاعات سپاه، ۱۸) ستاد فرماندهی فراجا، ۱۹) فرماندهی لجستیک مصطفی خمینی، ۲۰) پادگان شهید بروجردی، ۲۱) پادگان امام حسین، ۲۲) دانشگاه دانا، ۲۳) ستاد کل نیروهای مسلح، ۲۴) پادگان شهید خلیل زاده، ۲۵) وزارت ارتباطات و فناوری اطلاعات، ۲۶) پادگان امام رضا، ۲۷) سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، ۲۸) فرمانده انتظامی تهران بزرگ، ۲۹) ستاد فرماندهی کل قوا، ۳۰) دانشگاه امام علی، ۳۱) ستاد نیروی دریایی ارتش، ۳۲) آماد و پشتیبانی نیروی هوایی، ۳۳) مرکز آموزشی ۰۰۲ (۳۴) تیپ ۶۵ نوهد، ۳۵) دانشگاه خاتم‌الانبیا، ۳۶) فرماندهی کل سپاه، ۳۷) مرکز آموزشی ۰۱

تعداد مراکز نظامی در طبقات مختلف آسیب‌پذیری ناشی از زلزله و سیل به ترتیب در شکل شماره ۱۰ و ۱۱ نشان داده شده است. همانطور که نشان داده شده است، در  $OR_{ness}=0$  باتوجه به اینکه شرایط ریسک‌گریزی (سختگیرانه) در منطقه حاکم است برای آسیب‌پذیری ناشی از زلزله ۳۴ منطقه نظامی در کلاس‌های با آسیب‌پذیری خیلی پایین و پایین قرار گرفته‌اند اما برای آسیب‌پذیری ناشی از سیل تمام مناطق نظامی در کلاس‌های با آسیب‌پذیری خیلی پایین و پایین قرار گرفته‌اند. اما هر چقدر مقدار  $OR_{ness}$  افزایش می‌یابد، به دلیل اینکه شرایط ریسک‌پذیری (خوشبینانه) بر منطقه حاکم می‌شود تعداد مراکز نظامی که در کلاس‌های با آسیب‌پذیری خیلی بالا و بالا قرار می‌گیرند افزایش می‌یابد. به صورتی که از مجموع ۳۷ مراکز نظامی، در نقشه آسیب‌پذیری ناشی از زلزله ۲۰ مرکز در کلاس با آسیب‌پذیری خیلی بالا و بالا و در نقشه آسیب‌پذیری ناشی از زلزله ۳۳ مرکز در کلاس با آسیب‌پذیری خیلی بالا و بالا قرار گرفته است.



شکل شماره ۱۰: تعداد مراکز نظامی در طبقات مختلف برای هر  $OR_{ness}$  (آسیب‌پذیری زلزله)



شکل شماره ۱۱: تعداد مراکز نظامی در طبقات مختلف برای هر ORness (آسیب پذیری سیل)

## ۵- نتیجه گیری و پیشنهادها

با وجود پیشرفت‌های چشمگیر در مقاوم‌سازی ساختمان‌های شهری و افزایش دانش و توانایی متخصصان در کنترل بلایای طبیعی، امروزه رشد بی‌رویه جمعیت، تسطیح زمین و اشغال حریم رودخانه‌ها و مسیل‌ها، توسعه روزافزون و بدون برنامه‌ریزی شهری در کشورهای در حال توسعه مشکلات زیادی را برای ساکنان و زیرساخت‌های شهری ایجاد کرده است. زلزله و سیل پدیده‌های طبیعی هستند که موجب ایجاد مخاطرات طبیعی شده و به گونه جدی مناطق شهری را تهدید می‌کنند. در این میان، یک از کاربری‌های حساس و پراهمیت در مناطق شهری، مراکز نظامی می‌باشد که تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری ناشی از زلزله و سیل و شناسایی مراکز نظامی پرخطر منجر به اقدام‌های بهینه‌تری در پیش از بحران، در زمان بحران و دوران پس از بحران می‌شود. بنابراین، هدف از این مطالعه تهیه نقشه‌های آسیب‌پذیری ناشی از زلزله و سیل جهت شناسایی مراکز نظامی در معرض آسیب در سناریوهای مختلف می‌باشد.

نتایج این مطالعه نشان داد که مدل OWA با انعطاف‌پذیری بسیار بالا در ترکیب ورودی‌های مختلف امکان دستیابی به نتایج یک تصمیم‌گیری مکانی در درجات ریسک مختلف را فراهم می‌کند. درجات ریسک مختلف در تصمیم‌گیری شامل یک زنجیره پیوسته از تصمیم‌گیری خیلی بدبینانه تا خیلی خوشبینانه می‌باشد. در این زنجیره پیوسته، با افزایش درجه خوشبینی در تصمیم‌گیری، درصد ریسک در تصمیم‌گیری افزایش می‌یابد. یک تصمیم‌گیرنده ریسک‌گریز شرایط بسیار سخت را در تصمیم‌گیری لحاظ می‌کند. بنابراین بین گزینه‌های مختلف، گزینه‌ای را انتخاب می‌کند که از نظر معیارهای مختلف شرایط نامناسبی داشته باشد به همین دلیل تعداد گزینه‌ها آسیب‌پذیر در این حالت محدود می‌باشند. برای تصمیم‌گیر ریسک‌پذیر بر عکس. در نقشه آسیب‌پذیری ناشی از سیل؛ در سناریو بسیار ریسک‌گریز ( $ORness=0$ ) مساحت طبقه با آسیب‌پذیری خیلی بالا  $0/3$  درصد و در سناریو بسیار ریسک‌پذیر ( $ORness=1$ ) مساحت طبقه با آسیب‌پذیری خیلی بالا  $36/4$  درصد می‌باشد. در نقشه آسیب‌پذیری ناشی از زلزله؛ در سناریو بسیار ریسک‌گریز ( $ORness=0$ ) مساحت طبقه با آسیب‌پذیری خیلی بالا  $0/16$  درصد از کل منطقه مورد مطالعه و در سناریو بسیار ریسک‌پذیر ( $ORness=1$ ) مساحت طبقه با آسیب‌پذیری خیلی بالا  $34/07$  درصد از کل منطقه مورد مطالعه می‌باشد. بررسی آسیب‌پذیری مراکز نظامی نشان داد که با افزایش درجه  $ORness$  تعداد مراکز نظامی آسیب‌پذیر افزایش می‌یابد. به صورتی که نقشه‌های آسیب‌پذیری زلزله (سیل) نشان داد که در  $ORness=0$  از مجموع  $37$  مرکز نظامی به ترتیب  $2$  و  $0$  در کلاس با آسیب‌پذیری خیلی بالا و بالا اما در  $ORness=1$  به ترتیب  $20$  و  $32$  مرکز در کلاس با آسیب‌پذیری خیلی بالا و بالا قرار گرفته بودند. همچنین، در راستای یافته‌های پژوهش اجرای پیشنهادهای زیر می‌توانند در ارتقای ایمنی و کاهش خسارات ناشی از مخاطرات طبیعی در شهرداری تهران مؤثر واقع شوند:



- ۱- تلاش برای تمرکز زدایی از تهران و انتقال وزارتخانه‌ها و مراکز مهم حکومتی و بعضی از مراکز آموزشی و مؤسسات مالی، و... از تهران به سایر شهرهای کشور؛
- ۲- اختصاص فضای بیشتر به فضاهای باز و سبز در محلات و مناطق متراکم؛
- ۳- تخریب یا تغییر مکان ساختمان‌ها در مجاورت تأسیسات و ایستگاه‌های گاز و برق؛
- ۴- اتخاذ تدابیری برای اطمینان از قرار نگرفتن کاربری‌های ناسازگار در کنار یکدیگر؛
- ۵- استقرار کاربری‌های پزشکی و مراکز پشتیبانی مدیریت بحران در امتداد خیابان‌های اصلی و عریض برای تسریع عملیات و خدمات امداد و نجات؛
- ۶- شناسایی مراکز نظامی آسیب‌پذیرتر به لحاظ بافت و سازه‌ها، که تهدیدپذیری بیشتری دارند و بررسی امکان کمک رسانی و محافظت به موقع از آنها.

## منابع

### الف. منابع فارسی

۱. جلالی‌نسب، عبدالله، مددی، سعید، تومانیان، آرا، (۱۳۹۶). شناسایی و ارزیابی خطرپذیری‌های توسعه زیرساخت داده‌های مکانی دفاعی، راهبرد دفاعی، دوره ۱۵، شماره ۴، ص ۱۳۵-۱۰۵.
۲. مرادی، نادر، (۱۳۹۷)، تحلیل ریسک و آسیب‌پذیری مخاطرات ناشی از زلزله در حوزه‌ی شهری سرپل ذهاب، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.
۳. مرادیان، محسن، هادی‌نژاد، فرهاد، پورمنافی، ابوالفضل، (۱۳۹۷). ارائه الگویی برای ارزیابی و تحلیل قدرت نظامی کشورها، راهبرد دفاعی، دوره ۱۶، شماره ۴، ص ۲۰۰-۱۶۹.

### ب. منابع انگلیسی

۱. Abebe, Y., Kabir, G., & Tesfamariam, S. (2018). Assessing urban areas vulnerability to pluvial flooding using GIS applications and Bayesian Belief Network model. *Journal of Cleaner Production*, 174, 1629-1641.
۲. Abedi, S., Ghasemi, A., & Mortazavi, H. (2020). The effect of macroeconomic variables on the financial and casualties of natural disasters in Iran. *Iranian journal of Ecohydrology*, 7(4), 921-933.

- Adger, W. N. (2006). Vulnerability. *Global environmental change*, 16(3), 268-281. ۳
- Adger, W. N., & Kelly, P. M. (1999). Social vulnerability to climate change and the architecture of entitlements. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 4(3), 253-266. ۴
- Antypa, N., Verkuil, B., Molendijk, M., Schoevers, R., Penninx, B. W., & Van Der Does, W. (2017). Associations between chronotypes and psychological vulnerability factors of depression. *Chronobiology international*, 34(8), 1125-1135. ۵
- Asgary, A., Levy, J. K., & Mehregan, N. (2007). Estimating willingness to pay for a hypothetical earthquake early warning systems. *Environmental Hazards*, 7(4), 312-320. ۶
- Bakhshi Lomer, A. R., Rezaeian, M., Rezaei, H., Lorestani, A., Mijani, N., Mahdad, M., ... & Arsanjani, J. J. (2023). Optimizing Emergency Shelter Selection in Earthquakes Using a Risk-Driven Large Group Decision-Making Support System. *Sustainability*, 15(5), 4019. ۷
- Bolloorani, A. D., Shorabeh, S. N., Samany, N. N., Mousivand, A., Kazemi, Y., Jaafarzadeh, N., ... & Rabiei, J. (2021). Vulnerability mapping and risk analysis of sand and dust storms in Ahvaz, IRAN. *Environmental Pollution*, 279, 116859. ۸
- Borouhaki, S., & Malczewski, J. (2010). Using the fuzzy majority approach for GIS-based multicriteria group decision-making. *Computers & Geosciences*, 36(3), 302-312. ۹
- Brooks, N. (2003). Vulnerability, risk and adaptation: A conceptual framework. Tyndall Centre for climate change research working paper, 38, 1-16. ۱۰
- Cinner, J. E., McClanahan, T., Graham, N., Daw, T., Maina, J., Stead, S., . . . Bodin, Ö. (2012). Vulnerability of coastal communities to key impacts of climate change on coral reef fisheries. *Global Environmental Change*, 22(1), 12-20. ۱۱
- Cutter, S. L., Emrich, C. T., Webb, J. J., & Morath, D. (2009). Social vulnerability to climate variability hazards: a review of the literature. Final Report to Oxfam America, 5. ۱۲
- Dow, K. (1992). Exploring differences in our common future (s): the meaning of vulnerability to global environmental change. *Geoforum*, 23(3), 417-436. ۱۳
- Feizizadeh, B., Blaschke, T., & Nazmfar, H. (2014). GIS-based ordered weighted averaging and Dempster-Shafer methods for landslide susceptibility mapping in the Urmia Lake Basin, Iran. *International Journal of Digital Earth*, 7(8), 688-708. ۱۴
- Füssel, H. M. (2005). Vulnerability in climate change research: A comprehensive conceptual framework. ۱۵
- Füssel, H. M. (2007). Vulnerability: A generally applicable conceptual framework for climate change research. *Global environmental change*, 17(2), 155-167. ۱۶
- Füssel, H. M. (2010). Review and quantitative analysis of indices of climate change exposure, adaptive capacity, sensitivity, and impacts. ۱۷
- ISDR, U. (2004). Living with risk. United Nation International Strategy for Disaster Reduction, United Nation-International Strategy for Disaster Risk Reduction. ۱۸
- Kyul, E. V., Apazhev, A. K., Kudzaev, A. B., & Borisova, N. A. (2017). Influence of anthropogenic activity on transformation of landscapes by natural hazards. *Indian journal of ecology*, 44(2), 239-243. ۱۹
- Lindner, M., Maroschek, M., Netherer, S., Kremer, A., Barbati, A., Garcia-Gonzalo, J., ... & Lexer, M. J. (2010). Climate change impacts, adaptive capacity, and vulnerability of European forest ecosystems. *Forest ecology and management*, 259(4), 698-709. ۲۰

- Malczewski, J. (1996). A GIS-based approach to multiple criteria group decision-making. *International Journal of Geographical Information Systems*, 10(8), 955-971. .۲۱
- Malczewski, J. (1999). GIS and multicriteria decision analysis. John Wiley & Sons. .۲۲
- Malczewski, J. (2006). Integrating multicriteria analysis and geographic information systems: the ordered weighted averaging (OWA) approach. *International Journal of Environmental Technology and Management*, 6(1-2), 7-19. .۲۳
- Malczewski, J., & Rinner, C. (2015). Multicriteria decision analysis in geographic information science. Springer, New York. .۲۴
- Malczewski, J., Chapman, T., Flegel, C., Walters, D., Shrubsole, D., & Healy, M. A. (2003). GIS-multicriteria evaluation with ordered weighted averaging (OWA): case study of developing watershed management strategies. *Environment and Planning A*, 35(10), 1769-1784. .۲۵
- Moghadas, M., Asadzadeh, A., Vafeidis, A., Fekete, A., & Kötter, T. (2019). A multi-criteria approach for assessing urban flood resilience in Tehran, Iran. *International journal of disaster risk reduction*, 35, 101069. .۲۶
- Mokarram, M., & Hojati, M. (2017). Using ordered weight averaging (OWA) aggregation for multi-criteria soil fertility evaluation by GIS (case study: Southeast Iran). *Computers and Electronics in Agriculture*, 132, 1-13. .۲۷
- Moreno, A., & Becken, S. (2009). A climate change vulnerability assessment methodology for coastal tourism. *Journal of Sustainable Tourism*, 17(4), 473-488. .۲۸
- Muris, P., Schmidt, H., Lambrichs, R., & Meesters, C. (2001). Protective and vulnerability factors of depression in normal adolescents. *Behaviour research and therapy*, 39(5), 555-565. .۲۹
- Ouma, Y. O., & Tateishi, R. (2014). Urban flood vulnerability and risk mapping using integrated multi-parametric AHP and GIS: methodological overview and case study assessment. *Water*, 6(6), 1515-1545. .۳۰
- Pearce, T., Smit, B., Duerden, F., Ford, J. D., Goose, A., & Kataoyak, F. (2010). Inuit vulnerability and adaptive capacity to climate change in Ulukhaktok, Northwest Territories, Canada. *Polar Record*, 46(2), 157. .۳۱
- Pearson, L. J., Nelson, R., Crimp, S., & Langridge, J. (2011). Interpretive review of conceptual frameworks and research models that inform Australia's agricultural vulnerability to climate change. *Environmental Modelling & Software*, 26(2), 113-123. .۳۲
- Peek, L., Tobin, J., Adams, R., Wu, H., & Mathews, M. (2020). A framework for convergence research in the hazards and disaster field: The natural hazards engineering research infrastructure CONVERGE facility. *Frontiers in Built Environment*, 6, 110. .۳۳
- Polsky, C., Neff, R., & Yarnal, B. (2007). Building comparable global change vulnerability assessments: The vulnerability scoping diagram. *Global Environmental Change*, 17(3), 472-485. .۳۴
- Pritchett, L., Suryahadi, A., & Sumarto, S. (2000). Quantifying vulnerability to poverty: A proposed measure, applied to Indonesia: World Bank Publications. .۳۵
- Qin, G., Zhang, P., Hou, X., Wu, S., & Wang, Y. (2020). Risk assessment for oil leakage under the common threat of multiple natural hazards. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(14), 16507-16520. .۳۶

- Radmehr, A., & Araghinejad, S. (2015). Flood vulnerability analysis by fuzzy spatial multi criteria decision making. *Water resources management*, 29, 4427-4445. .۳۷
- Rahman, N., Ansary, M. A., & Islam, I. (2015). GIS based mapping of vulnerability to earthquake and fire hazard in Dhaka city, Bangladesh. *International journal of disaster risk reduction*, 13, 291-300. .۳۸
- Rashed, T., & Weeks, J. (2003). Assessing vulnerability to earthquake hazards through spatial multicriteria analysis of urban areas. *International Journal of Geographical Information Science*, 17(6), 547-576. .۳۹
- Roy, L., Leconte, R., Brissette, F. P., & Marche, C. (2001). The impact of climate change on seasonal floods of a southern Quebec River Basin. *Hydrological processes*, 15(16), 3167-3179. .۴۰
- Saaty, T. (1980, November). The analytic hierarchy process (AHP) for decision making. In Kobe, Japan (Vol. 1, p. 69). .۴۱
- Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (1980). Hierarchical analysis of behavior in competition: Prediction in chess. *Behavioral science*, 25(3), 180-191. .۴۲
- Schröter, D., Polsky, C., & Patt, A. G. (2005). Assessing vulnerabilities to the effects of global change: an eight step approach. *Mitigation and adaptation strategies for global change*, 10(4), 573-595. .۴۳
- Shorabeh, S. N., Firozjaei, M. K., Nematollahi, O., Firozjaei, H. K., & Jelokhani-Niaraki, M. (2019). A risk-based multi-criteria spatial decision analysis for solar power plant site selection in different climates: A case study in Iran. *Renewable Energy*, 143, 958-973. .۴۴
- Singh, A., Hossain, N., Foresman, T., & Cheatle, M. (2003). Assessing human vulnerability to environmental change: concepts, issues, methods and case studies: PNUD. .۴۵
- Smit, B., & Wandel, J. (2006). Adaptation, adaptive capacity and vulnerability. *Global environmental change*, 16(3), 282-292. .۴۶
- Sowmya, K., John, C. M., & Shrivasthava, N. K. (2015). Urban flood vulnerability zoning of Cochin City, southwest coast of India, using remote sensing and GIS. *Natural Hazards*, 75(2), 1271-1286. .۴۷
- Tripathi, A. K., Agrawal, S., & Gupta, R. D. (2021). Comparison of GIS-based AHP and fuzzy AHP methods for hospital site selection: a case study for Prayagraj City, India. *GeoJournal*, 1-22. .۴۸
- Turner, B. L., Kasperson, R. E., Matson, P. A., McCarthy, J. J., Corell, R. W., Christensen, L., . . . Martello, M. L. (2003). A framework for vulnerability analysis in sustainability science. *Proceedings of the national academy of sciences*, 100(14), 8074-8079. .۴۹
- UNDP. (2004). Reducing disaster risk: a challenge for development-a global report. United Nations. .۵۰
- Zabihi, H., Alizadeh, M., Kibet Langat, P., Karami, M., Shahabi, H., Ahmad, A., . . . & Lee, S. (2019). GIS Multi-Criteria Analysis by Ordered Weighted Averaging (OWA): toward an integrated citrus management strategy. *Sustainability*, 11(4), 1009. .۵۱

## Assessing the vulnerability of military centers in Tehran city against natural hazards: with emphasis on floods and earthquakes

### Abstract

Vulnerability assessment is one of the prerequisites of risk analysis in disaster management. Meanwhile, one of the sensitive and important uses in urban areas is military centers, which prepare maps of vulnerability caused by earthquakes and floods and identify high-risk military centers, leading to more optimal measures in times of crisis. Therefore, the purpose of this study is to prepare maps of vulnerability caused by earthquakes and floods in order to identify military centers exposed to damage in different scenarios. To achieve this goal, first, the effective criteria for evaluating earthquake and flood vulnerability were placed in three groups: exposure, sensitivity, and adaptive capacity. Using the opinions of experts and the analysis hierarchical process model, the importance of each of the criteria was determined. Fuzzy functions and ordered weighted average method model have been used respectively to normalize the criteria map and prepare vulnerability maps in different scenarios. Also, the situation of military centers against natural hazards was evaluated. The results showed that the number of vulnerable military centers increases with the increase in the degree of ORness. In the way that earthquake (flood) vulnerability maps showed that in ORness = 0, out of a total of 37 military centers, there are 2 and 0 centers in the class with very high and high vulnerability, respectively, but in ORness = 1, there are 20 and 32 centers, respectively. They were placed in the class with very high and high vulnerability.

**Keywords:** vulnerability, natural hazards, military centers, risk at the decision-making level, Tehran.