جغرافیا و آمایش شهری - منطقه‌ای، شماره ۲۱ ، زمستان۹۵
وصول مقاله : ۹۵/۲/۲۲
تأیید نهایی : ۹۵/۹/۴
صفحات : ۱۳۸- ۱۲۵

پهنه‌بندی آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر زلزله با استفاده از تکنیک WLC وOWA مورد شناسی: منطقهٔ ۷ تهران

رؤیا رمضانی کیاسج‌محله[۱]، دکتر سعید کریمی[۲]، فاطمه‌سادات علوی‌پور[۳]

چکیده

زلزله یکی از عوامل مخرب و تهدیدکنندهٔ حیات انسانی است که همه ساله خسارت‌های جانی و مالی زیادی بر کشورها به‌ویژه کشورهای درحال‌توسعه وارد می‌سازد. کشور ایران نیز به‌دلیل ساختار طبیعی مخاطره‌آمیزش از این قاعده مستثنی نبوده است؛ به‌طوری‌که بیشتر شهرهای ایران روی خط زلزله قرار دارند و تهران به‌عنوان بزرگترین کلان‌شهر ایران به‌واسطهٔ وجود گسل‌های فعال در اطرافش با ریسک بالایی روبه‌روست. بنابراین با توجه به اینکه روش شناخته شده‌ای برای تغییر مکانیسم زلزله وجود ندارد و هنوز نمی‌توان به‌طور دقیق زمان و مکان وقوع زلزله را تخمین زد، می‌توان با شناسایی نقاط آسیب‌پذیر، پهنه‌بندی و سیاست‌گذاری صحیح، خسارت‌های ناشی از زلزله را کاهش داد. در این پژوهش به‌منظور پهنه‌بندی آسیب‌پذیری منطقهٔ ۷ تهران در برابر زلزله؛ ۱۰ پارامتر شیب زمین، جهت دامنه، ارتفاع، تراکم جمعیت، فاصله از گسل، کاربری اراضی، فاصله از راه های اصلی، فاصله تا رودخانه های اصلی، جنس زمین (زمین شناسی) و مقدار بارش سالانه؛ از سه شاخص محیطی، کالبدی و اجتماعی انتخاب گردید. نقشهٔ پارامترها در محیط نرم‌افزار ArcGIS تهیه و در محیط نرم‌افزار IDRISI فازی‌سازی شد. وزن‌دهی پارامترها به روش ANP انجام و با استفاده از تکنیک‌های WLC و OWA نقشه‌ها تلفیق شده و نقشهٔ پهنه‌بندی آسیب‌پذیری منطقهٔ ۷ تهیه شد. نتایج نشان داد که نواحی شرقی و مرکزی، آسیب‌پذیری بیشتری نسبت به سایر نقاط دارند.

کلید واژگان : پهنه‌بندی، زلزله، ArcGIS، IDRISI، WLC، OWA، منطقهٔ ۷ تهران.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد آموزش محیط زیست دانشگاه تهران roya.ramezani@ut.ac.ir
۲- استادیار دانشکده محیط زیست دانشگاه تهران (نویسنده مسئول) karimis@ut.ac.ir
۳- دانشجوی دکترای تخصصی برنامه‌ریزی محیط زیست دانشگاه تهران f.s.alavipoor@ut.ac.ir

مقدمه

در بیست سال گذشته، زمین‌لرزه‌های مخرّب بزرگی در نواحی شهری در سراسر جهان رخ داده است و این امر، محققان را وادار به انجام مطالعات بزرگ‌مقیاس روی تلفات مورد انتظار ناشی از زمین‌لرزه‌های عمده کرده است؛ از جمله این نوع مطالعات، برآوردن اهداف اصلی برای طراحی استراتژی‌های کاهش خطرات، برنامه‌ریزی اضطراری و اقدامات ترمیمی است (Pitilakis & kakadri, 2011: 10). با وجود سطح بالای عدم قطعیت، زمین‌لرزه‌ها پدیده‌هایی هستند که برای جوامع ما دارای اهمیت‌اند. تلاش‌هایی برای پیش‌بینی زمین‌لرزه و کاهش اثرات آن بر توسعهٔ اقتصادی- اجتماعی جوامع شده؛ درحالی‌که نتایج به‌دست‌آمده درخصوص پیش‌بینی زمین‌لرزه‌ها کمتر موفق بوده است و روندها روی کاهش فرایندها از طریق بررسی عوامل مؤثر در خسارت زمین‌لرزه‌ها متمرکزند. مسئلهٔ زمین‌لرزه‌ها، کاهش خسارت حاصل از آنهاست که برآورد خسارت زمین‌لرزه‌ها، در ارتباط با برخی از عوامل مؤثر و وابستگی آشکارشان تعیین می‌شود (Jahanpeyma & Delavar, 2011: 5).

زمین‌لرزه‌ها پدیده‌های ژئوفیزیکی عظیم، ناگهانی و کاملاً غیرقابل‌پیش‌بینی هستند. محل، فرکانس و بزرگی آنها می‌تواند تداخلی منفی با رفتار منظم محیط‌های سیاسی، اقتصادی و اجتماعی جوامع، جمعیت‌ها یا حتی کشورها داشته باشد. شدت فاجعهٔ ایجاد شده به وسیلهٔ رخدادهای زمین‌لرزه، نتیجهٔ تعامل بین پدیده‌های ژئوفیزیکی و جمعیت‌ها؛ یعنی محیط ساخته شدهٔ آن است (Oliver-Smith, 2004 & Martins et al., 2012: 2731). شدت زمین‌لرزه به‌طور گسترده برای ارزیابی سطوح آسیب‌های ناشی از یک زمین‌لرزه استفاده می‌شود. برخلاف مقیاس‌های بزرگ زمین‌لرزه که بیان کنندهٔ انرژی‌لرزه‌ای منتشر شده به‌وسیلهٔ زمین‌لرزه است، شدت زمین‌لرزه نشان می‌دهد که چگونه این شدت، یک مکان خاص را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد (Liu et al., 2012: 519). خصوصیات ژئوتکنیکی، یک عنصر مهم در تجزیه‌وتحلیل خطر زمین‌لرزه است. شرایط خاک محلی، نقش مهمی در تقویت امواج زمین‌لرزه و در تجربهٔ زمین‌لرزه‌های گذشته داشته است. طبیعت و عمق لایه‌های خاک، نفوذ زیادی روی سختی سطح زمین دارد (Manne & Satyam D, 2011: 192). بافت متراکم، مسائل زیادی برای تأمین ایمنی و اجتناب از خرابی‌های زیاد یا بحرانی فراهم می‌کند. از سوی دیگر، نیازی برای جامعه در برابر هر خطری است که در تماس با اکوسیستم‌های شهری می‌باشد (Georgescu et al., 2014: 2).

رشد سریع زیر ساخت‌های ساحلی، منازل شخصی و دیگر ویژگی‌های مرتبط با شهرسازی و توسعهٔ اقتصادی، مسئله آمادگی برای زمین‌لرزه را که مرتبط با چالش‌های اقتصادی-اجتماعی و آسیب‌پذیری مراکز شهری در برابر مخاطرات طبیعی است، افزایش می‌دهد (Amir et al., 2012: 83). درحالی‌که مخاطرات طبیعی ادامه می‌یابند تا رخ دهند، ظرفیتشان به فاجعه یا صرفاً یک رویداد کنترل‌پذیر تبدیل می‌شود که وابسته به فاکتورهای بسیاری شامل: دامنهٔ خطر، آسیب‌پذیری مردم و جوامع آنها، سیستم‌های سیاسی و محیط زیستی ساخته شده است؛ بنابراین، نقشه‌برداری و ارزیابی ریسک خاص مکان باید اولین گام در تلاش پیش‌گیرانه به‌منظور بهبود انعطاف‌پذیری جوامع باشد (Güzey et al., 2013: 2). جوامع، توانایی تعدیل خطر زمین‌لرزه با اتخاذ واکنش‌های رسمی به فاجعه‌ها را دارند (Birkmann et al., 2010: 639 & Martin et al., 2012: 2731) که اساساً در سیاست‌های کاهش ریسک موجودند. کاهش ریسک، یک استراتژی هماهنگ شده براساس اهداف، سیاست‌ها و اقدامات برای به حداقل رساندن تلفات مادی و انسانی حاصل از خطرات و بلایای طبیعی است که به‌طور معمول در طولانی مدت برنامه‌ریزی شده است (Martin et al., 2012: 2731). ایمنی زلزله، موضوعی است که در برابر خطر زمین‌لرزه مطرح شده است. از آنجایی که هنوز روش شناخته‌شده‌ای برای تغییر مکانیسم زلزله وجود ندارد، فقط ممکن است خطر زمین‌لرزه در نواحی شهری را به‌وسیلهٔ شناخت قانون زمین‌لرزه و رفتار آن در نواحی شهری و استفاده از طرح‌ها و استراتژی‌های مناسب در زمینهٔ برنامه‌ریزی شهری، طراحی و روش‌های ساخت به‌منظور کاهش آسیب‌های

احتمالی به حداقل رساند (Momenian & Zekavat, 2013: 184).

یکی از مسائلی که امروزه مورد توجه متخصصان رشته‌های گوناگون قرار دارد، مسئلهٔ آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله است که این مسئله در کشورهایی مانند ایران که دارای ساختار طبیعی مخاطره‌آمیز است، به‌صورت جدی‌تری مورد توجه قرار دارد. ایران یکی از کشورهای زلزله خیز جهان است که نود درصد خاک آن روی کمربند زلزله قرار دارد (شماعی و همکاران، ١٣٩٢: ٩٦). براساس گزارش سازمان ملل، کشور ایران یکی از کشورهایی است که در زمینهٔ آسیب‌های ناشی از زلزله و تلفات آن رتبهٔ بالایی داشته و در بین سوانح طبیعی، زلزله در ایران بیشتر به وقوع می‌پیوندد. زلزله‌های اخیر در ایران، آسیب‌پذیری مناطق شهری و روستایی را نشان می‌دهد. زلزله‌های بویین زهرا (١٣٤١)، رودبار (١٣٦٩) و بم (١٣٨٢) که هرکدام تلفات زیادی برجای گذاشتند (احدنژادروشتی و جلیل‌پور، ١٣٩١: ٢٥). کشور ایران از نظر کشته‌های حاصل از زلزله، ۶ درصد تلفات زلزله‌ای جهان را دارد (موّدت و ملکی، ١٣٩٣: ٨٧) و می‌توان گفت علّت اصلی تلفات ناشی از زلزله، ساخت‌وسازهای غیراصولی در مناطق مختلف است که باعث چنین فجایعی می‌شوند (احدنژادروشتی و جلیل‌پور، ١٣٩١: ٢٥). افزایش جمعیت و مهاجرت روستاییان به شهرها، منجر به ساخت‌وسازهای غیراصولی و توسعهٔ فیزیکی شهرها در مکان‌های نامساعد شده که خواهان هدایت و ساماندهی فضای شهری است (قربانی و همکاران،١٣٩٢: ٢). توسعهٔ شهر، روندی مستمر است که باعث می‌شود کالبد شهر به‌لحاظ کمّیت و کیفیت ارتقا یافته و اگر این روند بدون اصول و برنامه صورت گیرد، فضای شهر را با مشکل مواجه خواهد کرد (خواجه‌شکوهی و همکاران،١٣٩١: ٧٣). با وجود این، شهر به‌عنوان مجموعه‌ای از پدیده‌های انسانی، اجتماعی، فرهنگی و کالبدی تعریف می‌شود تا با اتخاذ روش‌هایی مناسب برای ارزیابی کالبدی و فیزیکی شهر و شاخص‌های آسیب‌پذیری آن، راهکارهایی برای به حداقل رساندن آسیب‌پذیری شهر ارائه کرد (فرجزاده اصل و همکاران،١٣٩٠: ٢١).

هدف از این مطالعه، شناسایی مناطق آسیب‌پذیر، بررسی عوامل تأثیرگذار در آسیب‌پذیری شهر و پهنه‌بندی آسیب‌پذیری مناطق شهری در برابر زلزله در منطقهٔ ٧ شهر تهران با استفاده از نرم‌افزارهای ArcGIS 9.3 و IDRISI با کاربرد مدل‌های WLC و OWA و به‌کارگیری تکنیک ANP است.

پیشینهٔ تحقیق

تاکنون تحقیقات گوناگونی در ارتباط با آسیب پذیری در برابر زلزله با استفاده از روش های مختلف انجام گرفته است؛ از جمله:

کریمی سنگ‌چینی و همکاران (١٣٩١)، پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضهٔ آبخیز چهل‌چای استان گلستان را با استفاده از ۴ مدل کمّی و نیمه‌کمّی شامل مدل آماری دو متغیرهٔ تراکم سطح، وزن‌دهی شده با AHP، مدل رگرسیون چند متغیرهٔ گام‌به‌گام، مدل رگرسیون چند متغیرهٔ لجستیک و روش ترکیب خطی وزین WLC مقایسه کرد که مدل AHP به‌عنوان مدل برتر در حوضهٔ مورد بررسی شناخته شد.

فرجزاده اصل و همکاران (١٣٩٠)، آسیب‌پذیری مساکن شهری در برابر زلزله را در منطقه ٩ شهرداری تهران ارزیابی نموده و از مدل AHP در تحلیل سازگاری کاربری‌ها و از مدل TOPSIS Fuzzy برای ارزیابی آسیب‌پذیری مساکن منطقهٔ ٩ شهرداری تهران استفاده کرد و نتایج نشان داد که منطقه آسیب‌پذیر است.

کامل باسمنج و همکاران (١٣٩١)، آسیب‌پذیری لرزه‌ای در منطقهٔ یک شهر تبریز را با استفاده از مدل تحلیلی چند متغیرهٔ فضایی ارزیابی کرده و نتیجه گرفتند که محله‌هایی که تراکم جمعیتی بالایی دارند، فاقد بناهای محکم بوده و براساس اصول و برنامه‌ریزی ساخته نشده‌اند و آسیب‌پذیری آنها بالاست.

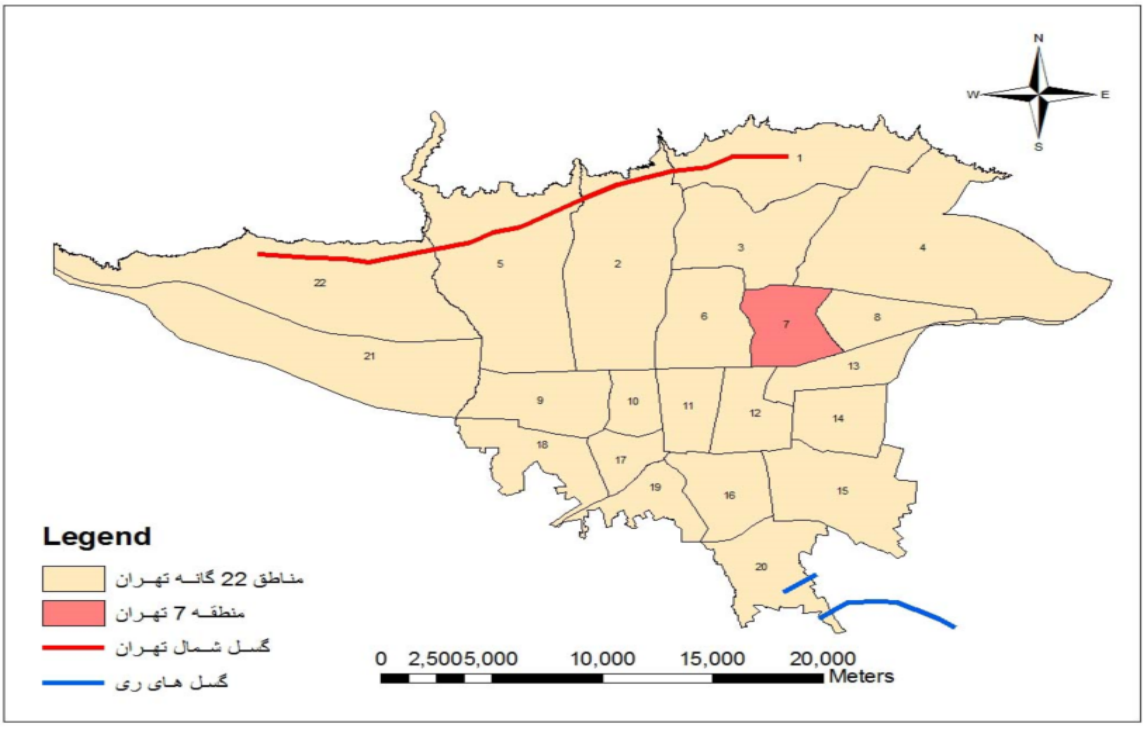
راهنما و طالعی (١٣٩٠)، بازسازی مناطق شهری در برابر زلزله را با کمک مدل فازی و GIS اولویت‌بندی نموده و دریافتند که نواحی شمال تهران به‌علت نزدیکی به گسل و مناطق جنوب و جنوب شرق تهران، به‌دلیل تراکم جمعیت بالا و تعدّد واحدهای ساختمانی در برابر زلزله

آسیب‌پذیرند، درحالی‌که مناطق غربی و مرکزی تهران آسیب‌پذیری کمتری بعد از وقوع زلزله دارند.

قنبری و همکاران (۱۳۹۲)، پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهرها در مقابل خطر زمین‌لرزه در شهر تبریز را با استفاده از دو مدل تحلیل سلسله‌مراتبی و شاخص هم‌پوشانی مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که شهر تبریز در برابر زلزله وضعیت مطلوبی ندارد

مواد و روش‌ها

منطقهٔ ۷ شهرداری تهران یکی از مناطق واقع در پهنهٔ مرکزی تهران با مساحت ۱,۵۳۶,۸۰۰ متر مربع است که حدود ۲,۱ درصد مساحت کل تهران را دربرگرفته و از لحاظ وسعت، مقام پانزدهم را در بین مناطق ۲۲گانهٔ شهر تهران داراست. جمعیت ساکن منطقه در سال ۱۳۹۰، حدود ۳۲۹,۹۲۰ نفر بوده و تراکم نسبی جمعیت نیز حدود ۲۰,۳۱۴ در هر کیلومتر مربع است. این منطقه از شمال به منطقهٔ ۳ و ۴، از جنوب به مناطق ۱۲ و ۱۳، از غرب به منطقهٔ ۶ و از شرق به منطقهٔ ۸ محدود است. منطقهٔ مذکور، دارای ۵ ناحیه و ۱۶ محله است (جهانی دولت‌آباد و همکاران،۱۳۹۲: ۱۹).



شکل ۱. موقعیت منطقهٔ مورد مطالعه و گسل‌های موجود در شهر تهران

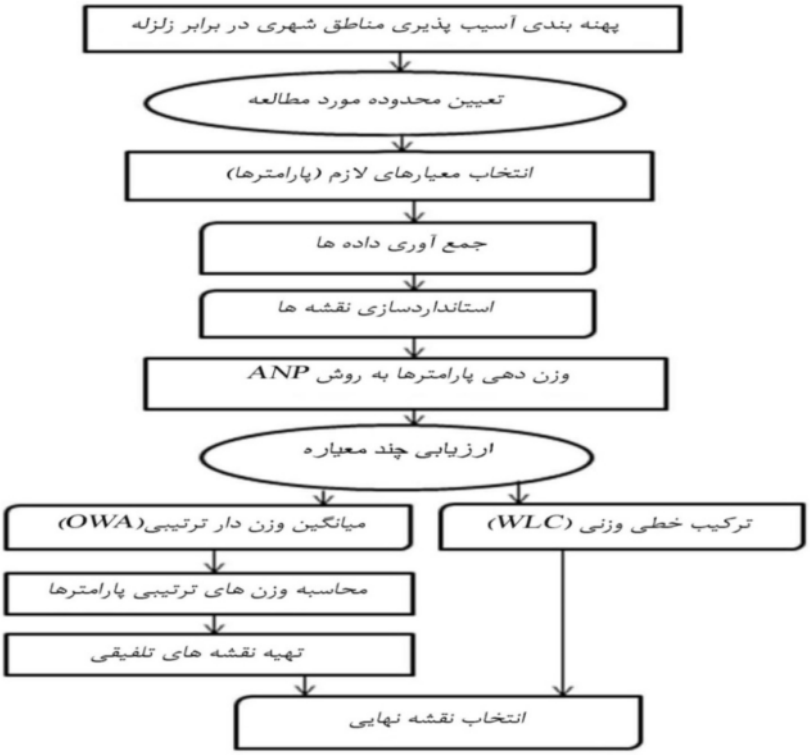
منبع: نویسندگان، ۱۳۹۴

الف- روش شناسی

این مطالعه از نظر روش جزء تحقیقات توصیفی-تحلیلی و به‌لحاظ نوع، جزء تحقیقات کاربردی است. روش کار بر مبنای تجزیه و تحلیل لایه‌های اطلاعاتی در محیط نرم‌افزارهای ArcGIS و IDRISI بوده و از روش ANP برای وزن‌دهی معیارها استفاده شده است. برای انجام تحقیق، منطقه ۷ استان تهران به عنوان منطقهٔ مورد مطالعه انتخاب شده است. تجزیه‌وتحلیل اطلاعات جمع‌آوری شده با توجه به روش فازی و با بهره‌گیری از مدل‌های مورد استفاده و نرم‌افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی صورت پذیرفته است.

در ابتدا با مطالعهٔ تحقیقات پیشین در زمینهٔ موضوع مورد مطالعه، ۱۰ پارامتر مؤثر از سه شاخص در آسیب‌پذیری منطقهٔ ۷ تعیین شده که شاخص‌های محیطی شامل شیب زمین، جهت دامنه، ارتفاع، فاصله از گسل، فاصله تا رودخانه‌های اصلی و مقدار بارش سالانه هستند.

شاخص‌های کالبدی شامل فاصله از راه‌های اصلی، زمین‌شناسی و کاربری اراضی و شاخص اجتماعی شامل تراکم جمعیت است. سپس با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی (۱/۲۵۰,۰۰۰) و نقشه‌های زمین‌شناسی (۱/۲۵,۰۰۰) منطقه، داده‌های موجود تهیه و نقشه‌های بدست آمده در محیط نرم‌افزار IDRISI فازی شدند. در مرحلهٔ بعد، پارامترها با استفاده از روش ANP وزن دهی شدند. سپس نقشه‌ها با روش ترکیب خطی وزنی WLC و روش میانگین‌گیری وزن‌دار ترتیبی OWA روی‌هم‌گذاری شده و درنهایت، نقشهٔ ترکیب نهایی به‌دست آمد.



شکل ۲. فلوچارت مراحل پژوهش

منبع: نویسندگان، ۱۳۹۴

ب- مبانی نظری تحقیق

معرفی شاخص‌های آسیب‌پذیری

شاخص‌های محیطی

شیب: یکی از عوامل درونی مؤثر در آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله، شیب است. از جمله حوادثی که پس از زلزله ممکن است روی دهد، روانگرایی است که به نوع خاک و شیب زمین بستگی دارد. بنابراین، هر چه شیب زمین بیشتر باشد، آسیب‌پذیری نسبت به زلزله بیشتر می‌شود و بالعکس (احدنژادروشتی و جلیل‌پور، ۱۳۹۱: ۳۷). در این پژوهش نیز، شیب‌های کمتر از ۵ درصد آسیب‌پذیری کمی داشته و با افزایش درصد، آسیب‌پذیری افزایش می‌یابد (شکل شمارهٔ (۳) A).

جهت: عوامل مؤثر بر زمین‌لرزه به دو دسته تقسیم می‌شود: عوامل پویا و استاتیک. عوامل استاتیک شامل شیب، جهت، ویژگی‌های تکتونیک و ساختاری، رودخانه و پوشش زمین است درحالی‌که عوامل پویا شامل بارش و زلزله‌خیزی است (Pareek et al, 2013: 50). در این پژوهش، بیشترین آسیب‌پذیری در جهت‌های شمال شرقی و جنوب غربی بوده و جهت جنوب شرقی آسیب‌پذیری کمتری را در برابر زلزله نشان می‌دهد (شکل شمارهٔ (۳) B).

ارتفاع: در ارتفاعات بالاتر به‌دلیل ناپایداری، خطر زمین‌لغزش بیشتر است؛ زیرا در ارتفاعات بالا، انرژی بیشتر بوده و بارش بیشتری دریافت می‌شود؛ در نتیجه، زمین

بیشتر مستعد لغزش است (عابدینی و ستایشی‌نساز،۱۳۹۳: ۱۵۲)؛ بنابراین، در ارتفاعات کمتر از ۱۲۵۰ متر، آسیب‌پذیری کمتر بوده و ارتفاع بیش از ۱۳۵۰ متر بیشترین آسیب‌پذیری را در برابر زلزله نشان می‌دهند (شکل شمارهٔ (۳) C).

فاصله از گسل: گسل‌ها از عوامل اصلی تأثیرگذار در وقوع زمین‌لغزش هستند؛ به‌طوری‌که زمین‌لرزه اغلب درنتیجهٔ حرکت گسل‌ها به‌وجود می‌آیند. هر چه نقاط شهری در فاصله کمتری از گسل‌ها قرار داشته باشند، آسیب‌پذیریشان نسبت به زلزله بیشتر می شود و بالعکس. به همین دلیل، کارشناسان حداقل فاصلهٔ سازه‌ها از گسل را ۳۰۰ متر در نظر گرفته‌اند (کامل باسمنج و همکاران،۱۳۹۱: ۱۳۴). با وجود اینکه گسل‌ها از عوامل اصلی آسیب‌پذیری در برابر زلزله هستند؛ اما به‌دلیل اینکه منطقهٔ مورد مطالعه فاقد گسل است و با توجه به اینکه فاصلهٔ منطقه از گسل‌های شمال و ری به ترتیب ۷ و ۱۲ کیلومتر است (شکل شمارهٔ ۱)؛ تأثیر آنها در حد متوسط بوده و در وزن‌دهی به پارامترها، به پارامتر گسل امتیاز کمتری داده شد.

فاصله از رودخانه‌های اصلی: شبکه‌های هیدروگرافی نیز یکی از عوامل تأثیرگذار در وقوع زلزله هستند. هر چه فواصل از رودخانه‌ها در زمان وقوع زمین‌لغزش بیشتر باشد، آسیب‌پذیری کمتر خواهد بود (حجازی،۱۳۹۳: ۱۴۵). رودخانهٔ دارآباد از داخل منطقه عبور می‌کند؛ لذا در فاصلهٔ ۰ تا ۵۰۰ متری از رودخانه، بیشترین آسیب‌پذیری و در فواصل بیش از ۳۰۰۰ متری کمترین آسیب‌پذیری نشان داده شده است (شکل شمارهٔ (۳) F).

مقدار بارش سالانه: مقدار بارش و نفوذ آب در خاک، یکی از عواملی است که می تواند در وقوع زمین‌لغزش نقش داشته باشد اما بایستی با پارامترهای مؤثر دیگری سنجیده شود و به تنهایی عامل وقوع زمین‌لغزش نیست (عابدینی و قاسمیان، ۱۳۹۴: ۲۱۷)

۲. شاخص‌های اجتماعی

تراکم جمعیت: تراکم جمعیت تنها شاخص اجتماعی مورد استفاده در این پژوهش است که برابر تعداد جمعیت در واحد سطح بوده و به‌صورت نفر در هکتار بیان می‌شود. به عنوان یکی از پارامترهای بسیار مؤثر در آسیب‌پذیری مناطق شهری است، به‌طوری‌که هر چه تراکم جمعیت در شهر بیشتر بوده و این جمعیت به‌صورت نامتعادل توزیع شده باشد؛ آسیب‌پذیری در برابر زلزله بیشتر بوده و تلفات و خسارت‌های بیشتری را نیز سبب می‌شود (مؤدت و ملکی،۱۳۹۳: ۹۱).

۳. شاخص‌های کالبدی

فاصله از راه‌های اصلی: میزان تراکم حرکات توده‌ای با فاصله از جاده کاهش می‌یابد؛ در نتیجه، هر چه فاصله از جاده بیشتر باشد، آسیب‌پذیری نسبت به زلزله کاهش می‌یابد (عابدینی و قاسمیان، ۱۳۹۴: ۲۱۶). در این پژوهش نیز نقاط نزدیک به جاده آسیب‌پذیرتر بوده و هرچه فاصله از جاده بیشتر می‌شود، آسیب‌پذیری کاهش می‌یابد (شکل شمارهٔ (۳) E).

زمین‌شناسی: ساختارهای زمین‌شناسی از نظر رفتار در برابر امواج زمین‌لرزه، یکی از پارمترهای مهم وقوع زلزله هستند؛ به‌طوری‌که هر چه این ساختارها سخت‌تر باشند، توان انتقال امواج زمین‌لرزه کم شده و قدرت تخریبی زلزله کاهش می‌یابد (کامل باسمنج و همکاران،۱۳۹۱: ۱۳۴)

کاربری اراضی: کاربری زمین‌های شهری باید به‌صورت برنامه‌ریزی شده باشد تا آسیب‌پذیری در برابر زلزله کاهش یابد. اگر کاربری زمین‌های شهری به گونه‌ای باشد که باعث عدم تمرکز شده و کاربری‌ها ناسازگار در کنار هم قرار داده نشوند، می‌توان تا حد زیادی آسیب‌پذیری ناشی از زلزله را کاهش داد (قنواتی و شیخی،۱۳۸۹: ۳۸).

فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP)

فرایند تحلیل شبکه، یکی از تکنیک‌های جدید تصمیم‌گیری چند معیاره است (پورخباز و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۵۷) که توسط توماس ساعتی در سال ۲۰۰۱ معرفی شده است. این روش کامل‌تر و توسعه‌یافته‌تر از روش تحلیل سلسله‌مراتبی AHP است، به‌طوری‌که معایب AHP را نداشته و از یک ساختار شبکه‌ای استفاده می‌کند که در آن تمامی معیارها بر هم تأثیرگذارند (رضوی‌طوسی

و همکاران،۱۳۹۲: ۷۹). در این مدل تصمیم‌گیری، از روش‌های کمّی، کیفی و مقایسه‌ای به‌صورت هم‌زمان برای جمع‌آوری داده‌ها و تحلیل نتایج استفاده می‌شود. همچنین، به‌منظور دستیابی به مقیاس‌های نسبی از ماتریس‌های مقایسه‌ای زوجی استفاده می‌گردد (تسلیمی و همکاران،۱۳۹۱: ۳۰). این مدل براساس ریاضیات و الگوریتم روانشناسانهٔ انسان بنا نهاده شده و منطبق بر ساختار ذهن انسان است (نخعی کمال‌آبادی و همکاران،۱۳۸۹: ۲۴). در سال‌های اخیر ANP به دلایلی چون به‌روز بودن، وابستگی‌ها و پیچیدگی‌های مسائل مختلف محیط زیستی، در اکثر کارهای محیطی مورد توجه فراوان بوده است (فرجی‌سبکبار و همکاران،۱۳۹۰: ۱۵۳).

روش ترکیب خطی وزنی (WLC)

رایج‌ترین تکنیک در تحلیل، ارزیابی چند معیاره است که روش وزن‌دهی جمع‌پذیر و روش امتیازدهی نیز نامیده می‌شود. اساس این روش بر مبنای میانگین وزنی است و تصمیم‌گیرنده مستقیماً بر مبنای اهمیت نسبی معیارها، وزن‌هایی به آنها می‌دهد، سپس با ضرب وزن نسبی در مقدار آن معیار، یک وزن نهایی برای هر گزینه به‌دست می‌آید. پس از به‌دست آمدن وزن نهایی گزینه‌ها، گزینه‌ای که بیشترین مقدار را داشته باشد، مناسب‌ترین گزینه برای هدف مورد نظر خواهد بود (رسولی و همکاران،۱۳۹۱: ۴۵). تکنیک WLC یکی از روش‌های ارزیابی چند معیاره MCE است که مطابق معادلهٔ شمارهٔ (۱) محاسبه می‌شود (تقی‌زاده دیوا و همکاران،۱۳۹۲: ۱۳۲):

معادلهٔ شمارهٔ (۱):

$$S = \sum wixi$$

که در آن S معرف، xi تناسب سرزمین، wi وزن فاکتور iام و xi معرف محدودیت iام است. روش ترکیب خطی وزنی کاربرد وسیعی در GIS پیدا کرده است. این تکنیک در محیط GIS شامل مراحل زیر است: ۱- مشخص کردن لایه‌های نقشه؛ ۲- استانداردسازی نقشه‌ها؛ ۳- تعیین وزن معیار؛ ۴- ایجاد لایه‌های استاندارد شدهٔ وزنی با ضرب لایه‌های نقشهٔ استاندارد شده در وزن‌های متناظر آنها؛ ۵. انجام عملیات هم‌پوشانی نقشه‌های استاندارد شدهٔ وزنی و رتبه‌بندی امتیازها برای تعیین بهترین گزینه (ویسی ناب و همکاران،۱۳۹۴: ۴۹). در این پژوهش تکنیک WLC در محیط IDRISI و با استفاده از تابع MCE انجام شد.

میانگین‌گیری وزن‌دار ترتیبی (OWA)

روشی برای رتبه‌بندی معیارها و پرداختن به عدم اطمینان اثر متقابل آنهاست که نخستین بار در سال ۱۹۸۸ توسط یاگر معرفی شد. این روش شامل وزن‌های ترتیبی (vj) می‌باشد که با وزن‌های معیار (wj) متفاوت است. وزن‌های ترتیبی به ارزش معیارها اختصاص داده می‌شوند؛ اما وزن‌های معیارها به معیارهای مورد استفاده اختصاص می‌یابند. در روش OWA می‌توان دامنهٔ وسیعی از نتایج را به‌دست آورد؛ به‌طوری‌که این روش منجر به درجه‌بندی پیوستهٔ سناریوهایی بین عملگر اشتراک (خطر ناسازگاری ریسک‌ناپذیری) و عملگر اجتماع (ریسک‌پذیری) می‌شود که عملگر اشتراک (AND) ریسک پایین را نشان می‌دهد و عملگر اجتماع (OR) ریسک بالا را در تصمیم‌گیری نشان می‌دهد (رهنما و همکاران،۱۳۹۱: ۹۲). عملگر OWA با استفاده از معادلهٔ شماره (۲) قابل استنتاج است (طالعی و همکاران،۱۳۹۳: ۱۴۵):

معادلهٔ شمارهٔ (۲):

$$OWAi = \sum_{j=1}^{n}\left(\frac{wjvj}{\sum_{j=1}^{n} wjvj}\right) \text{Zij}$$

که در آن $zij \geq \cdots \geq zi1$ به طریق ترتیب ارزش‌های یک معیار (xij) به‌دست می‌آید. vj وزن ترتیبی و wj وزن معیار است. وزن‌های ترتیبی جهت ترکیب معیارهای وزن‌دار استفاده می‌شوند که در آن‌ها وزن‌ها به موقعیت مکانی پیکسل‌های لایه‌ها اختصاص می‌یابند. به‌عبارت‌دیگر، تمام پیکسل‌هایی که در یک موقعیت در چند نقشه قرار گرفته‌اند، وزن‌های ترتیبی یکسانی را می‌پذیرند. با استفاده از کمّیت‌سنج‌های مفهومی فازی می‌توان وزن‌های ترتیبی ساخت. کمیت‌سنج‌های مفهومی به دو دستهٔ مطلق و نسبی تقسیم می‌شوند. عباراتی مانند «حداقل ۴» و «حدود ۵» جزء کمیت‌سنج‌های مطلق و کمیت‌سنج‌های نسبی با عباراتی نظیر «اکثراً (All)»، «اغلب (Most)»، «تعداد زیادی (Many)»، «نیمی (Half)»، «برخی (Some)»، «اندکی (Few)» و «حداقل یکی (At least

one)» مشخص می‌شوند. کمّیت‌سنج‌ها، استراتژی‌های تصمیم‌گیری مختلفی را در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار می‌دهند؛ به‌طوری‌که با تغییر پارامتر α می‌توان مجموعه‌ای از نتایج ارزیابی را برای هدف تصمیم‌گیری به‌دست آورد. به‌عبارت‌دیگر، کاهش مقدار α باعث افزایش خوش‌بینی تصمیم‌گیرنده و افزایش مقدار α باعث کاهش خوش‌بینی شده و بدبینی تصمیم‌گیرنده را افزایش می‌دهد (طالع جنکانلو و همکاران،۱۳۹۴: ۳۲).

در این پژوهش، از کمّیت‌سنج نسبی منظم افزایشی استفاده شده است (جدول شمارهٔ ۱).

جدول۱. کمّیت‌سنج‌های زبانی متناظر و پارامتر α

کمّیت‌سنج زبانی Q	At least one	Few	Some	Half	Many	Most	All
α	α =۰/۰۰۰۱	α = ۰/۱	α = ۰/۵	α =۱	α =۲	α =۱۰	α = ۱۰۰۰
استراتژی ترکیبی	OR (max)	_	_	WLC	_	_	AND (min)
استراتژی تصمیم‌گیری	به‌شدت خوش‌بینانه	خیلی خوش‌بینانه	خوش‌بینانه	خنثی	بدبینانه	خیلی بدبینانه	به‌شدت بدبینانه

منبع: (جنکانلو و همکاران،۱۳۹۴: ۳۲)

وزن‌های ترتیبی با استفاده از وزن‌های معیار و به روش زیر تعریف می‌شود (Yager,1997; Makzewski, 2006; فتاحی و آقاجانی، ۱۳۹۱: ۶۵)

معادلهٔ شمارهٔ (۳):

$$vj = \left(\sum_{k=1}^{j} uk\right)^{\alpha} - \left(\sum_{k=1}^{j-1} uk\right)^{\alpha}$$

uk وزن j امین معیار (wj) است که دوباره مرتب شده است $0 \le vj \le 1$ و $\sum_{j=1}^{n} vj = 1$.

یافته‌های تحقیق

در این پژوهش، پارامترها براساس آسیب پذیری در مقابل زلزله، به ۵ طبقهٔ آسیب‌پذیری خیلی کم، آسیب‌پذیری کم، آسیب‌پذیری متوسط، آسیب‌پذیری زیاد و آسیب‌پذیری خیلی زیاد تقسیم شد. جداول شمارهٔ ۲، ۳و ۴ به‌ترتیب طبقات آسیب‌پذیری پارامترها، میزان آسیب‌پذیری طبقات جنس زمین (زمین‌شناسی) و میزان آسیب‌پذیری طبقات کاربری اراضی را نشان می‌دهند؛ سپس، نقشه‌ها مطابق شکل شمارهٔ (۳) فازی‌سازی شدند.

جدول ۲. طبقات آسیب‌پذیری پارامترها

پارامترها	آسیب پذیری خیلی کم	آسیب پذیری کم	آسیب پذیری متوسط	آسیب پذیری زیاد	آسیب پذیری خیلی زیاد
فاصله از رودخانه‌های اصلی (متر)	بیش از ۳۰۰۰	۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰	۱۰۰۰ تا ۲۰۰۰	۵۰۰ تا ۱۰۰۰	صفر تا ۵۰۰
شیب (درصد)	صفر تا ۲	۲ تا ۵	۵ تا ۸	۸ تا ۱۲	۱۲ تا ۱۵
ارتفاع (متر)	کمتر از ۱۲۰۰	۱۲۰۰ تا ۱۲۵۰	۱۲۵۰ تا ۱۳۰۰	۱۳۰۰ تا ۱۳۵۰	بیش از ۱۳۵۰
فاصله از جاده‌های اصلی (متر)	بیش از ۳۰۰	۲۰۰ تا ۳۰۰	۱۰۰ تا ۲۰۰	۵۰ تا ۱۰۰	صفر تا ۵۰
تراکم جمعیت (نفر در هکتار)	کمتر از ۱۵۰۰	۱۵۰۰ تا ۲۲۰۰	۲۲۰۰ تا ۲۸۰۰	۲۸۰۰ تا ۳۲۰۰	بیش از ۳۲۰۰

منبع: نویسندگان، ۱۳۹۴

جدول ۳. طبقات جنس زمین (زمین‌شناسی)

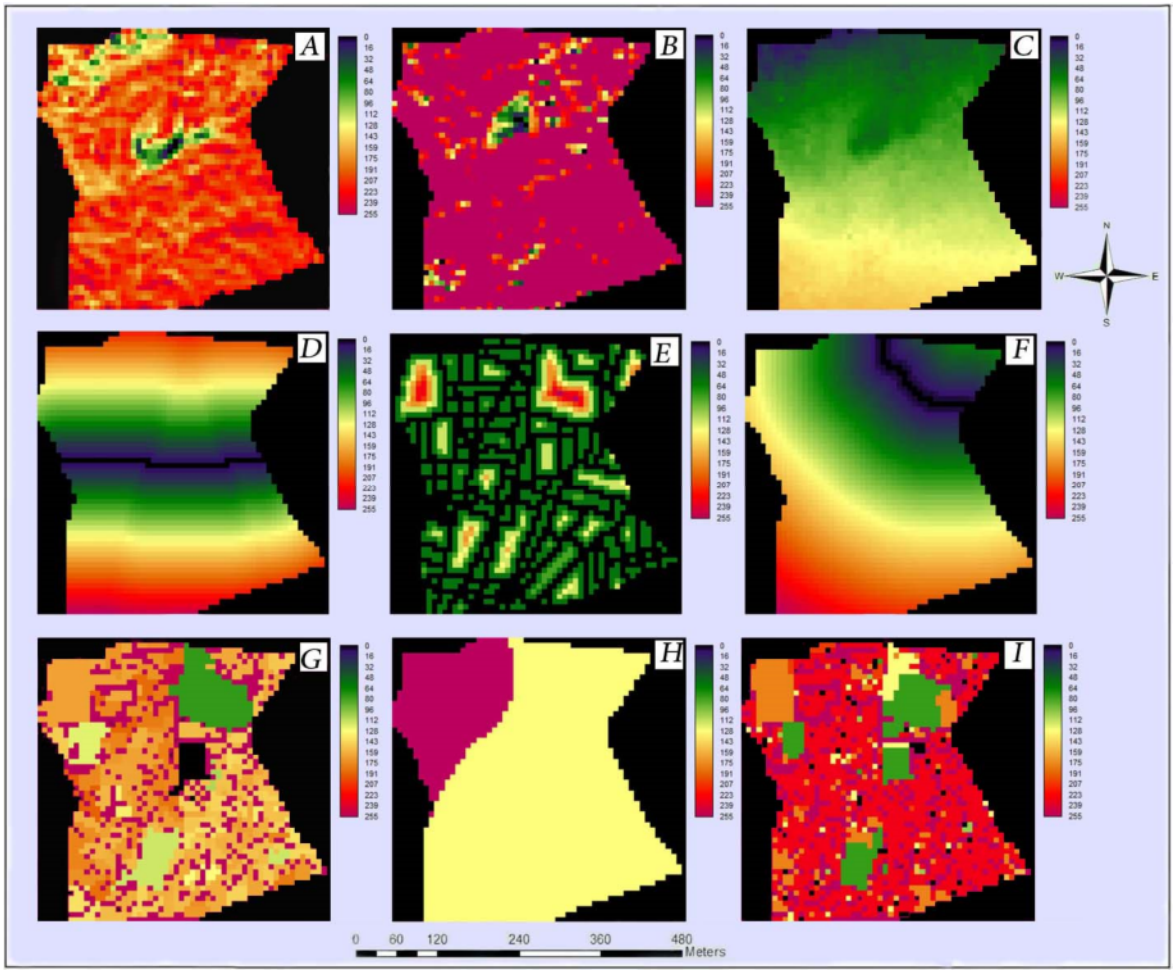
پارامتر	آسیب‌پذیری کم	آسیب‌پذیری زیاد
جنس زمین (زمین‌شناسی)	کنگلومرا	پادگانه آبرفتی

منبع: نویسندگان، ۱۳۹۴

جدول ۴. طبقات کاربری اراضی

پارامتر	آسیب‌پذیری خیلی کم	آسیب‌پذیری کم	آسیب‌پذیری متوسط	آسیب‌پذیری زیاد	آسیب‌پذیری خیلی زیاد
کاربری اراضی	فضای سبز	خدمات شهری و تجاری و اداری	حمل‌ونقل و انبارداری و سایر کاربری‌ها	مسکونی و نظامی	صنعتی و کارگاهی

منبع: نویسندگان، ۱۳۹۴



شکل ۳. نقشهٔ استاندارد شدهٔ پارامترها: A) شیب؛ B) جهت؛ C) ارتفاع؛ D) میزان بارش؛ E) فاصله از جاده‌های اصلی؛ F) فاصله از رودخانه‌های اصلی؛ G) تراکم جمعیت؛ H) جنس زمین (زمین‌شناسی)؛ I) کاربری اراضی.

منبع: نویسندگان، ۱۳۹۴

محاسبهٔ وزن پارامترها

برای وزن‌دهی به پارامترها به روش ANP ، از نرم‌افزار Super Decision استفاده شده است. در ANP معیارها براساس اهمیت آنها در گزینه‌ها اولویت‌بندی می شوند. در این پژوهش، گزینهٔ تراکم جمعیت در اولویت اول قرار گرفت و سایر گزینه‌ها مطابق جدول شمارهٔ ۵، در اولویت های بعدی قرار گرفتند و وزن نهایی پارامترها تعیین شد.

جدول ۵. وزن نهایی حاصل از روش ANP

پارامترها	وزن ایده‌آل	وزن نهایی
تراکم جمعیت	۱/۰۰۰۰۰۰	۰/۲۵۱۲۵۳
فاصله از جاده‌های اصلی	۰/۸۹۹۶۷۲	۰/۲۲۶۰۴۵
شیب	۰/۶۴۲۷۹۲	۰/۱۶۱۵۰۳
جنس زمین (زمین‌شناسی)	۰/۴۷۳۹۶۴	۰/۱۱۹۰۸۵
کاربری اراضی	۰/۳۲۲۵۳۴	۰/۰۸۱۰۳۸
میزان بارش	۰/۲۲۸۳۵۵	۰/۰۵۷۳۷۵
فاصله از رودخانه‌های اصلی	۰/۱۶۰۷۴۳	۰/۰۴۰۳۸۷
جهت	۰/۱۰۷۳۳۸	۰/۰۲۶۹۶۹
ارتفاع	۰/۰۸۱۹۷۷	۰/۰۲۰۵۹۷
فاصله از گسل	۰/۰۶۲۶۷۷	۰/۰۱۵۷۴۸

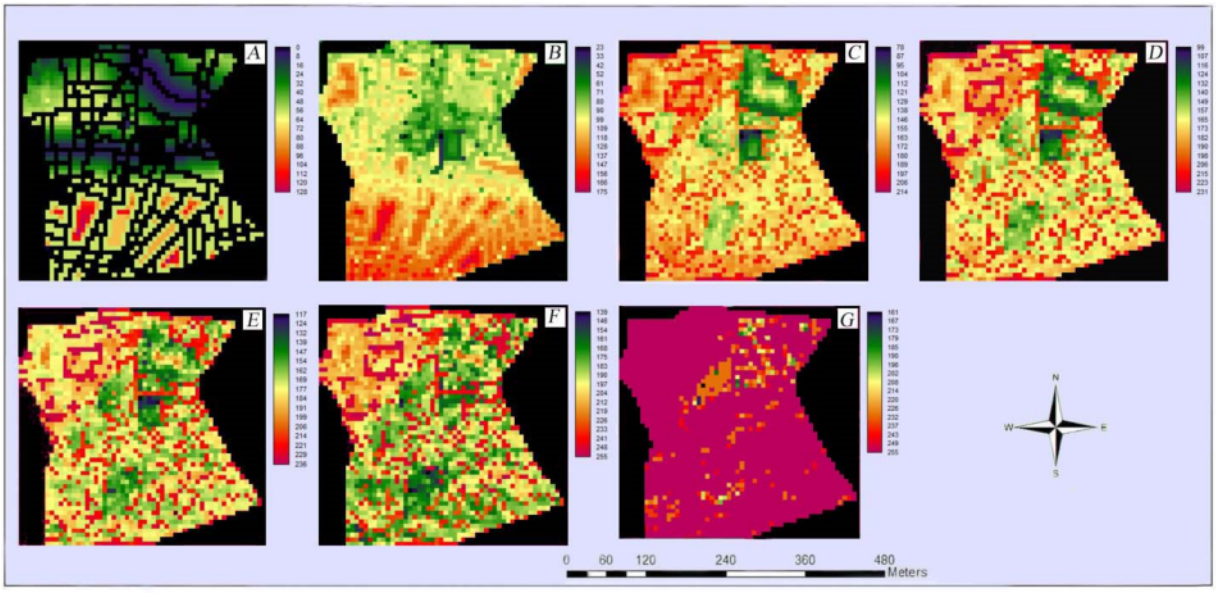
در مرحلهٔ بعد با استفاده از وزن‌های به‌دست آمده از روش ANP، اقدام به محاسبهٔ وزن‌های ترتیبی (OWA) مطابق جدول شمارهٔ ۶ شد. وزن های ترتیبی مختص موقعیت مکانی پیکسل ها بوده و روشی برای ترکیب معیارهای وزن‌دار است. وزن‌های ترتیبی به تصمیم‌گیرنده کمک می کند تا معیارهای با اهمیت بیشتر را با همان اهمیت در تصمیم‌گیری دخالت دهد. به‌عبارت‌دیگر، این وزن‌ها سطح ریسک‌پذیری و جبران‌کنندگی را برای تصمیم‌گیرنده ممکن می‌سازند. به‌طوری‌که هر چه مقدار α افزایش پیدا می‌کند، خوش‌بینی تصمیم‌گیرنده کاهش می‌یابد که نشان‌دهندهٔ این است که وزن‌های ترتیبی بالا به معیارهای با اهمیت کمتر اختصاص می‌یابد. همان‌طور که در جدول نشان داده شده است، در بیشتر موارد وزن‌های ترتیبی بالا به پارامترهای با اهمیت کمتر داده شده و پارامترهای با اهمیت بیشتر وزن ترتیبی کمتری دارند؛ بنابراین، با کاهش α شدت آسیب‌پذیری نیز کاهش می‌یابد.

جدول ۶. وزن‌های ترتیبی به‌دست آمده به روش OWA

پارامترها	At least one OR (MAX)	Few	Some	Half WLC	Many	Most	All AND (MIN)
	α =۰/۰۰۰۱	α =۰/۱	α =۰/۵	α =۱	α =۲	α =۱۰	α =۱۰۰۰
تراکم جمعیت	۰	۰	۰	۰/۰۱	۰/۰۳	۰/۱۴	۱
فاصله از جاده‌های اصلی	۰	۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۱۶	۰
شیب	۰	۰	۰/۰۱	۰/۰۲	۰/۰۵	۰/۱۷	۰
جنس زمین (زمین‌شناسی)	۰	۰	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۱۸	۰
کاربری اراضی	۰	۰	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۱	۰/۱۶	۰
میزان بارش	۰	۰/۰۱	۰/۰۴	۰/۰۸	۰/۱۲	۰/۱۱	۰
فاصله از رودخانه‌های اصلی	۰	۰/۰۱	۰/۰۷	۰/۱۱	۰/۱۶	۰/۰۵	۰
جهت	۰	۰/۰۳	۰/۱۱	۰/۱۶	۰/۱۸	۰/۰۱	۰
ارتفاع	۰	۰/۰۵	۰/۱۹	۰/۲۲	۰/۱۶	۰	۰
فاصله از گسل	۱	۰/۸۷	۰/۵	۰/۲۵	۰/۰۶	۰	۰

منبع: نویسندگان، ۱۳۹۴

پس از محاسبهٔ وزن‌های ترتیبی با استفاده از تصاویر فازی شده و وزن‌های به‌دست آمده به روش ANP ، نقشه‌های تلفیق شدهٔ پارامترها مطابق شکل شمارهٔ ۴ به دست آمده و نواحی آسیب‌پذیر در برابر زلزله مشخص شدند.



شکل ۴. پهنه‌بندی آسیب‌پذیری منطقهٔ ۷ تهران در برابر زلزله A) All B) Most C) Many D) (WLC) Half E) Some F) Few G) At least one

منبع: نویسندگان، ۱۳۹۴

همان‌طور که در شکل شمارهٔ ۴ نشان داده شده است، رنگ‌های آبی و سبز شدت آسیب‌پذیری خیلی زیاد و زیاد را نشان می‌دهند. رنگ زرد آسیب‌پذیری متوسط و رنگ نارنجی و قرمز آسیب پذیری کم و خیلی کم را نمایش می‌دهند. در تصویر All که ۱۰۰۰ α= بوده و استراتژی تصمیم‌گیری با توجه به جدول شمارهٔ ۱، به‌شدت بدبینانه است، بیش از نیمی از منطقه با آسیب پذیری بالا و قسمتی نیز با آسیب‌پذیری متوسط نشان داده شده و فقط قسمت‌های کمی از جنوب و جنوب غربی با آسیب پذیری کم و خیلی کم نشان داده شده اند. در تصویر Most با کاهش α به ۱۰، قسمت‌های شمالی و مرکزی آسیب‌پذیری بالایی داشته و سایر قسمت‌ها آسیب‌پذیری کم تا متوسط دارند. در تصاویرMany و WLC همان‌طور که نشان داده شده، بیشتر نواحی آسیب پذیری متوسط و قسمت‌هایی نیز در شمال شرقی و نواحی مرکزی آسیب‌پذیری بالا دارند که البته نواحی با آسیب‌پذیری بالا در تصویر WLC بیشتر است. در تصویر Some از شدت آسیب‌پذیری نواحی شمالی کمی کاسته شده ولی گستردگی نواحی با آسیب پذیری بالا افزایش یافته است. در تصویر Few هر چند ضریبα تا ۰/۱کاهش یافته اما نواحی با آسیب پذیری بالا تا نواحی جنوبی کشیده شده و بیشتر قسمت‌ها آسیب‌پذیری زیاد را نشان می‌دهند. در تصویر At least one یعنی حالت به‌شدت خوش‌بینانه، منطقه آسیب پذیری خیلی کم دارد یا آسیب پذیر نیست؛ بنابراین، مقایسهٔ نقشه‌ها نشان می‌دهد که با افزایش α شدت آسیب‌پذیری منطقه افزایش می‌یابد، اما با کاهش α؛ در حالت‌های خوش‌بینانه یعنی ۰/۵α= و خیلی خوش‌بینانه یعنی ۰/۱α= از شدت آسیب پذیری کاسته شده، ولی بر وسعت نقاط آسیب‌پذیر افزوده شده است.

نتیجه‌گیری و پیشنهاد

در پژوهش حاضر، بعد از تعیین پارامترهای آسیب رسان در برابر زلزله، نقشهٔ پارامترها در نرم‌افزار ArcGIS تهیه شد و پس از فازی‌سازی در محیط نرم‌افزار IDRISI و وزن‌دهی آنها، پهنه‌بندی آسیب‌پذیری منطقهٔ ۷ تهران با استفاده از مدل‌های OWA و WLC در محیط نرم‌افزار IDRISI مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. با توجه به داده‌های حاصل از مدل OWA که مدل WLC نیز یک نمونه از آن است، پارامترها براساس کمّیت‌سنج‌های زبانی مختلف بررسی شدند که این کمّیت‌سنج‌ها استرتژی‌های تصمیم‌گیری مختلفی در اختیار پژوهشگر قرار می دهند که از به شدت خوش‌بینانه ۰/۰۰۰۱ α =تا به‌شدت بدبینانه ۱۰۰۰ α = متغیر است و این از مزیت‌های مدل OWA است که امکان تجزیه‌وتحلیل بهتری را برای پژوهشگر فراهم می‌کند.

با توجه به اینکه منطقهٔ مورد مطالعه فاقد گسل بوده است؛ اما نتایج حاصل از OWAنشان داد که قسمت‌های شرقی به دلیل تراکم جمعیتی بالا و نزدیکی به رودخانه دارای آسیب‌پذیری بالایی هستند. مناطق مرکزی نیز به‌دلیل شیب زیاد و تراکم جمعیت آسیب‌پذیرند. همچنین نزدیکی به جاده و زمین‌شناسی منطقه نیز از عوامل آسیب‌پذیری منطقه به‌شمار می‌آید. با بررسی نتایج به‌دست آمده، تصویر Some پوشش بهتری از آسیب پذیری منطقه را به نمایش می گذارد. در این تصویر با توجه به جدول شمارهٔ ۶، به پارامترهای با اهمیت بیشتر وزن کمتری داده شده است؛ بنابراین، معیارهای با اهمیت کمتر نیز تأثیر خود را اعمال نموده‌اند. در این تصویر، مناطق شمال شرق و مرکز منطقه که تراکم جمعیتی بیشتری دارند، آسیب‌پذیرتر بوده و نزدیکی به جاده‌های اصلی و شیب منطقه نیز در این نواحی در طبقهٔ با آسیب‌پذیری زیاد قرار می‌گیرد. همچنین، با توجه به اینکه قسمت اعظم منطقه کاربری مسکونی است و این عامل خود شرایط را آسیب پذیرتر می‌کند؛ لذا سایر نواحی از جمله قسمت‌های جنوبی نیز با آسیب‌پذیری کم تا زیاد نشان داده شده است.

مقایسهٔ نتایج این پژوهش تا حدودی با پژوهش انجام شده توسط راهنما و طالعی در سال ۱۳۹۰ برابری می کند. در پژوهش راهنما و طالعی، گسل به عنوان عامل اصلی آسیب‌پذیری بالای مناطق شمال تهران معرفی شده و عامل اصلی آسیب پذیری مناطق جنوب و جنوب شرقی تراکم بالای جمعیت و تعّدد واحدهای ساختمانی تعیین شده است. همچنین، در پژوهشی که توسط قنبری و

همکاران انجام شده، جمعیت زیاد در نقاط با آسیب‌پذیری بالا ساکن هستند. با توجه به اینکه در این پژوهش از روش ANP برای وزن دهی به پارامترها استفاده شده، همهٔ معیارها به‌صورت شبکه به هم مرتبط شده است و به‌علت به‌کارگیری تکنیک OWA، سناریوهای مختلفی در اختیار تصمیم‌گیرنده قرار داده شده تا بتواند نتایج را با دقت بیشتری مورد بررسی قرار دهد. به‌عبارت‌دیگر هدف تکنیک OWA دستیابی به یک پاسخ نبوده؛ بلکه این تکنیک توانایی‌های دیگری را به نمایش می‌گذارد؛ به‌عنوان مثال، تکنیک OWA ابزاری برای سطح جبران‌کنندگی معیارها فراهم می‌آورد که از این طریق می‌توان به ارزیابی سریع و توضیح سناریوها و وابستگی بین پارامترها دست یافت. توانایی دیگر این روش، ترکیب داده های ناسازگار با استفاده از اطلاعات تخصصی، انعطاف پذیری در گزینش معیارهای مناسب برای مناطق مختلف و مسائل گوناگون در تصمیم‌گیری فردی یا گروهی و استقلال در گسترش سناریوهایی برای تصمیم گیری است. در پایان، پیشنهاد می‌شود که به‌منظور کاهش آسیب‌پذیری منطقه، با توجه به اینکه بیشترین حجم منطقه را کاربری مسکونی تشکیل می‌دهد، اقداماتی جهت مقاوم‌سازی ساختمان‌ها به‌خصوص در بخش‌های مرکزی که آسیب‌پذیری بیشتری دارند، صورت گیرد و نیز با توجه به اینکه منطقه دارای تراکم جمعیتی بالایی بوده که خود از عوامل اصلی آسیب‌پذیری منطقه می‌باشد، بهتر است مراکز سکونتگاهی و تأسیسات اداری به خارج از منطقه یا در نقاطی که آسیب‌پذیری کمتری داشته و شیب ملایم‌تری دارند ایجاد گردند تا با کاهش تمرکز جمعیت در یک نقطه بتوان خسارت‌های ناشی از زلزله، به‌خصوص تلفات حاصل از آن را تا حدی زیادی کاهش داد

منابع

احدنژاد روشتی، محسن؛ جلیل پور، شهناز (۱۳۹۱). ارزیابی عوامل درونی تأثیرگذار در آسیب پذیری ساختمان های شهری در برابر زلزله با استفاده از GIS (نمونهٔ موردی: بافت قدیم شهر خوی). فصلنامهٔ آمایش محیط. شماره ۲۰. صص ۵۲-۲۳.

پورخباز، حمیدرضا؛ جوانمردی، سعیده؛ یاوری، احمدرضا؛ فرجی سبکبار، حسنعلی (۱۳۹۲). کاربرد روش تصمیم‌گیری چند معیاره و مدل تلفیقی ANP-DEMATEL در آنالیز تناسب اراضی کشاورزی (مطالعهٔ موردی: دشت قزوین). محیط‌شناسی. سال ۳۹. شماره ۳. صص ۱۶۴-۱۵۱.

تسلیمی، حسن؛ غفارنژاد، ابوالحسن؛ حاله، حسن (۱۳۹۱). اولویت‌بندی تجهیزات بازیافت انرژی در کوره رنگ خودرو براساس معیارهای اقتصادی، زیست محیطی و گرمایش زمین با استفاده از روش ANP. نشریهٔ مدیریت انرژی. سال دوم. شمارهٔ ۳. صص ۳۷-۲۸ .

تقی‌زاده دیوا، سیدعلی؛ سلمان‌ماهینی، عبدالرسول؛ خیرخواه‌زرکش، میر مسعود (۱۳۹۲). مکان یابی چند معیاری محل دفن مواد زائد ساختمانی با استفاده از رویکرد ترکیبی تحلیل سلسله مراتب فازی. (مطالعهٔ موردی: شهر گرگان). مجلهٔ آمایش جغرافیایی فضا. سال سوم. شماره مسلسل دهم. صص ۱۳۹-۱۲۲.

جهانی‌دولت‌آباد، رحمان؛ شماعی، علی؛ جهانی‌دولت‌آباد، اسماعیل (۱۳۹۲). سنجش میزان هویت محله ای با تأکید بر نقش نهادهای مردمی در منطقهٔ ۷ تهران. نشریهٔ تحقیقات کاربردی علوم جغرافیا. سال ۱۳. شمارهٔ ۳۱. صص ۲۱۰-۱۹۱.

حجازی، سیداسدالله (۱۳۹۳). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در حوضهٔ گویجه‌بل اهر با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیای (GIS). نشریهٔ جغرافیا و برنامه ریزی. سال ۱۸. شمارهٔ ۵۰. صص ۱۵۲-۱۳۵.

خواجه‌شکوهی، علیرضا؛ کریم‌زاده، حسین؛ حسین‌نژاد، مجتبی (۱۳۹۱). پیاده‌سازی ماتریس‌های همجواری برای ارزیابی سازگاری کاربری‌های شهری به روش تصمیم‌گیری چند معیارهٔ فازی (مورد مطالعه: کاربری های آموزشی دبیرستان شهر گرگان). جغرافیا و پایداری محیط. شمارهٔ ۵. صص ۹۲-۷۱.

راهنما، امیرحسین؛ طالعی، محمد (۱۳۹۰). اولویت بندی بازسازی مناطق شهری در برابر زلزله به کمک مدل فازی وGIS، فصلنامهٔ آمایش محیط. شمارهٔ ۱۶. صص ۷۱-۵۱.

رسولی، علی اکبر؛ محمودزاده، حسن؛ یزدچی، سعید؛ زرّین‌بال، محمد (۱۳۹۱). ارزیابی روش های تحلیل سلسله مراتبی و ترکیب خطی وزنی در مکان یابی محل دفن مواد زائد شهری (مورد شناسی: شهرستان مرند). جغرافیا و آمایش شهری و منطقه ای. شمارهٔ ۴. صص ۵۲-۴۱.

رضوی‌طوسی، سیده‌لیلا؛ محمدولی‌سامانی، جمال (۱۳۹۲). اولویت بندی مدیریتی تعدادی از حوضه های آبریز کشور با استفاده از روش‌های فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) و الگوریتم ترکیبی

جدید براساس TOPSIS-ANP فازی. مدیریت آب و آبیاری. دورهٔ ۳. شمارهٔ ۲. صص ۹۰-۷۵ .

رهنما، محمدرحیم؛ آقاجانی، حسین؛ فتاحی، مهدی (۱۳۹۱). مکان‌یابی محل دفن زباله با ترکیب روش میانگین‌گیری وزن‌دار ترتیبی (OWA) و GIS در مشهد. جغرافیا و مخاطرات محیطی. شمارهٔ ۳. صص ۱۰۵-۸۷.

شماعی، علی؛ حیدرزاده، نجمه؛ لطفی‌مقدم، بابک (۱۳۹۲). سنجش عوامل آسیب رسان ناشی از زلزله در منطقهٔ یک شهر تهران با استفاده از .GIS نشریهٔ جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری (دانشکدهٔ جغرافیا). سال ۱۷. شمارهٔ ۴۳. صص ۱۲۲-۹۳ .

طالع جنکانلو، علی؛ طالعی، محمد؛ کریمی، محمد (۱۳۹۴). ارزیابی تناسب اراضی مسکونی به روش فازی TOPSIS-OWA گروهی. نشریهٔ علوم و فنون نقشه برداری. دورهٔ ۴. شمارهٔ ۴. صص ۴۵-۲۹.

طالعی، محمد؛ سلیمانی، حسین؛ فرج زاده اصل، منوچهر (۱۳۹۳). ارزیابی تناسب اراضی برای کشت دیم بر مبنای مدل فائو و با استفاده از تکنیک تلفیقی Fuzzy-AHP-OWA در محیط GIS(مطالعهٔ موردی: شهرستان میانه). نشریهٔ آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۸. شمارهٔ ۱. صص ۱۵۶-۱۳۹.

عابدینی، موسی؛ ستایشی نساز، حسن (۱۳۹۳). پهنه بندی خطر وقوع لغزش با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) (مطالعهٔ موردی: حوضهٔ آبخیز گلجه)، نشریهٔ جغرافیا و برنامه‌ریزی. سال ۱۸. شمارهٔ ۴۹. صص ۱۶۵-۱۳۹.

عابدینی، موسی؛ قاسمیان، بهاره (۱۳۹۴). پهنه‌بندی خطر زمین‌لغزش در شهرستان بیجار به روش تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP). نشریهٔ جغرافیا و برنامه‌ریزی. سال ۱۹. شمارهٔ ۵۲. صص ۲۲۷-۲۰۵.

فتاحی، مهدی؛ آقاجانی، حسین (۱۳۹۱). الگوهای توسعهٔ مجتمع‌های مسکونی با روش تصمیم‌گیری چند معیاره (FUZZY AHP_OWA) مبتنی بر GIS (مطالعهٔ موردی: شهر مشهد). فصلنامهٔ جغرافیا و برنامهریزی شهری چشم انداز زاگرس. سال چهارم. شمارهٔ ۱۳. صص ۷۵-۵۹.

فرج‌زاده‌اصل، منوچهر؛ احدنژاد، محسن؛ امینی، جمال (۱۳۹۰). ارزیابی آسیب پذیری مساکن شهری در برابر زلزله (مطالعهٔ موردی: منطقهٔ ۹ شهرداری تهران). مطالعات و پژوهش های شهری و منطقه‌ای. سال سوم. شمارهٔ ۹. صص ۳۶-۱۹.

فرجی‌سبکبار، حسنعلی؛ نصیری، حسین؛ حمزه، محمد؛ طالبی، سمیه؛ رفیعی، یوسف (۱۳۹۰). تعیین عرصه های مناسب برای تغذیهٔ مصنوعی بر پایهٔ تلفیق روشهای ANP و مقایسه زوجی در محیط GIS ، (مطالعهٔ موردی: دشت گربایگان فسا). مجلهٔ جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. سال ۲۲. شمارهٔ پیاپی ۴۴. شمارهٔ ۴. صص ۱۶۶-۱۴۳.

قربانی، رسول؛ محمودزاده، حسن؛ تقی‌پور، علی‌اکبر (۱۳۹۲). تحلیل تناسب اراضی (LSA) برای توسعهٔ شهری در محدودهٔ مجموعه شهری تبریز با استفاده از روش تحلیل فرایند سلسله مراتبی. جغرافیا و آمایش شهری – منطقه‌ای. شمارهٔ ۸. صص ۱۴-۱.

قنبری، ابوالفضل؛ سالکی‌ملکی، محمدعلی؛ قاسمی، معصومه (۱۳۹۲). پهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری شهرها در مقابل خطر زمین‌لرزه (نمونه موردی: شهر تبریز). جغرافیا و مخاطرات محیطی. شماره ۵. صص ۳۵-۲۱.

قنواتی، عزت‌الله؛ شیخی، مسعود (۱۳۸۹). نقش برنامه‌ریزی شهری در کاهش خطر زلزله در بافت های فرسوده (مطالعهٔ موردی: منطقه ۱۲ تهران). فصلنامهٔ جغرافیای طبیعی. سال سوم. شمارهٔ ۹. صص ۴۲-۲۹.

کامل باسمنج، بتول؛ میرجعفری، بابک؛ علوی، سیدعلی (۱۳۹۱). ارزیابی آسیب پذیری لرزه ای درمنطقهٔ یک شهر تبریز با استفاده از مدل تحلیل چند معیارهٔ فضایی. برنامه ریزی و آمایش فضا. دورهٔ ۱۶. شمارهٔ ۲. صص ۱۴۰-۱۲۲.

کریمی سنگ چینی، ابراهیم؛ اونق، مجید؛ سعدالدین، امیر (۱۳۹۱). مقایسه کارایی ۴ مدل کمّی و نیمه کمّی پهنه‌بندی خطر زمین لغزش در حوضهٔ آبخیز چهل چای استان گلستان. مجلهٔ پژوهش های حفاظت آب و خاک. جلد ۱۹. شمارهٔ ۱. صص ۱۹۶-۱۸۳.

موّدت، الیاس؛ ملکی، سعید (۱۳۹۳). طیف بندی و سنجش فضایی آسیب فیزیکی- اجتماعی شهرها در برابر زلزله با به کارگیری تکنیک VIKOR و GIS (مورد شناسی شهر یزد). جغرافیا و آمایش شهری - منطقه ای. شمارهٔ ۱۱. صص ۱۰۳-۸۵.

نخعی کمال‌آبادی، عیسی؛ امیرآبادی، محمد؛ محمدی‌پور، هیرش (۱۳۸۹). انتخاب استراتژی بهینه براساس تحلیل SWOT و روش فرایند تحلیل شبکه‌ای) (ANP) مطالعهٔ موردی: شهرک پتروشیمی اراک). فصلنامهٔ مدیریت صنعتی دانشکده علوم انسانی دانشگاه‌آزاد اسلامی‌واحدسنندج. سال ۵. شمارهٔ ۱۱. صص ۳۴-۲۱.

ویسی‌ناب، فتح‌الله؛ بابایی‌اقدم، فریدون؛ صادقیه‌اهری، سعید؛ اسدی، غلامرضا (۱۳۹۴). مکان‌یابی بیمارستان‌ها با استفاده از مدل تلفیقی خطی وزن‌دار (WLC) در محیط GIS در شهر اردبیل. مجله سلامت و بهداشت. دورهٔ ۶. شمارهٔ ۱. صص ۵۶-۴۳.

Amir, L., Cisternas, A., Vigneresse, J. L., Dudley, W., & Mc Adoo, B. (2012). Algeria's vulnerablity to tsunamis from near-field seismic sources. Science of Tsunami Hazards, Vol. 31, No. 1. 82-98

Birkmann, J., Buckle, P., Jaeger, J., Pelling, M., Setiadi, N., Garschagen, M., ... & Kropp, J. (2010). Extreme events and disasters: a window of opportunity for change? Analysis of organizational, institutional and political changes, formal and informal responses after mega-disasters. Natural Hazards, 55(3), 637-655.

Georgescu, E. S., Gociman, C. O., Craifaleanu, I. G., Florescu, T., Moscu, C., Georgescu, M. S., & Dragomir, C. S. (2014, August). Urban heritage value and seismic vulnerability mapping: challenges for engineering and architectural assessments. Case study of a protected area in Bucharest, Romania. In Paper submitted to the 2nd European Conference of Earthquake Engineering and Seismology, Istanbul, Turkey.

Güzey, Ö., Aksoy, E., Gel, A. C., Anil, Ö., Gültekin, N., & Akbas, S. O. (2013). An inter-disciplinary approach for earthquake vulnerability assessment in urban areas: A case study of Central District, Yalova. In Regional Studies Association, Annual European Conference.

Jahanpeyma, M., Delavar, M. R., Malek, M. R., & Kamalian, N. (2011). Analytical evaluation of uncertainty propagation in seismic vulnerability assessment of Tehran using GIS. Journal Civil Eng Urban, 05-09.

Liu, J. G., Mason, P. J., Yu, E., Wu, M. C., Tang, C., Huang, R., & Liu, H. (2012). GIS modelling of earthquake damage zones using satellite remote sensing and DEM data. Geomorphology, 139, 518-535.

Malczewski,J. (2006a). GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. International Journal of Geographical Information Science 20 (7), 703–726.

Manne, A., & Satyam, D. N. (2011). Geotechnical site characterization for Vijayawada urban. In Proc. 3rd Indian Young Geotechnical Engineers Conference (3IYGEC), New Delhi. New Delhi: Indian Geotechnical Society (pp. 191-196).

Martins, V. N., Cabral, P., & Sousa e Silva, D. (2012). Urban modelling for seismic prone areas: the case study of Vila Franca do Campo (Azores Archipelago, Portugal). Natural Hazards and Earth System Science, 12(9), 2731-2741.

Momenian, A., & Zekavat, M. (2013). Seismic approach to urban design. Life Science Journal, 10(5s).

Oliver-Smith, A. (2004). Theorizing vulnerability in a globalized world: a political ecological perspective. Mapping vulnerability: disasters, development and people. Earthscan, London, 10-24.

Pareek, N., Pal, S., Sharma, M. L., & Arora, M. K. (2013). Study of effect of seismic displacements on landslide susceptibility zonation (LSZ) in Garhwal Himalayan region of India using GIS and remote sensing techniques. Computers & Geosciences, 61, 50-63.

Pitilakis, D. K., & Kakderi, G. K. (2011, January). Seismic risk assessment and management of lifelines, utilities and infrastructures. In 5th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering (pp. 10-13).

Saaty, T. L. (2001). Analytic network process. In Encyclopedia of Operations Research and Management Science (pp. 28-35). Springer US.

Yager, R. R. (1988). On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decision making. Systems, Man and Cybernetics, IEEE Transactions on, 18(1), 183-190.

Yager, R. R. (1997). On the inclusion of importances in OWA aggregations. In The ordered weighted averaging operators (pp. 41-59). Springer US.

.