تحلیل ناپایداری بافت‌های شهری و پهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری در برابر زلزله با استفاده از GIS&AHP، نمونه موردی: بخشی از هسته مرکزی شهر سنندج*

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۱/۳
تاریخ پذیرش نهایی: ۹۱/۲/۹

کیومرث حبیبی - کومار جوانمردی*****

چکیده

شهر سنندج در گذشته دور براساس مقتضیات معماری و اقلیم و تا اندازه‌ای ضروریات اقتصادی- اجتماعی تکوین یافته و به مقاوم‌سازی آن توجه نشده است. ریزدانگی قطعات، استفاده از مصالح نامرغوب در ساخت ابنیه، فرسوده بودن اغلب ساختمان‌ها و کمبود فضاهای عمومی و کمبود سرانه فضای سبز، عرض کم معابر و پیچ‌درپیچ بودن آن‌ها و عدم رعایت اصول فنی و شهرسازی و آیین‌نامه ۲۸۰۰ در خصوص این بافت، سبب آسیب‌پذیری بالای این بافت شده و این امر طبیعی است که آنچه در رودبار و منجیل و بم اتفاق افتاده به شکل مشابه می‌تواند برای سنندج نیز اتفاق افتد. هدف اصلی از این پژوهش، ارائه روشی برای تحلیل آسیب‌پذیری لرزه‌ای بافت‌های قدیمی با استفاده از شاخص‌های آسیب‌پذیری لرزه‌ای به منظور کارآمد نمودن فرآیند مدیریت بحران زلزله در بخشی از هسته مرکزی و قدیمی شهر سنندج است. در این مقاله تلاش شده که مدلی براساس تحلیل فضایی برای بررسی میزان آسیب‌پذیری در اثر زلزله با استفاده از توابع تحلیل فضایی GIS ارائه شود که بتواند معیاری برای میزان خطرپذیری ناشی از زلزله در هسته مرکزی شهر سنندج باشد. بدین منظور با ترکیب فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و روش فازی به سنجش میزان آسیب‌پذیری محدوده مورد مطالعه پرداخته شده است. سپس به تحلیل آماری نقشه‌های آسیب‌پذیری و متغیرهای تحقیق به کمک نرم‌افزار SPSS پرداخته شده است. نتایج تحقیق نشان می‌دهد که درصد بالایی از قطعات موجود در محدوده مورد مطالعه با آسیب‌پذیری بالایی در برابر زلزله روبرو هستند و این امر لزوم برنامه‌ریزی صحیح جهت ساماندهی بافت مذکور را نمایان می‌سازد.

واژگان کلیدی: آسیب‌پذیری، زلزله، هسته مرکزی سنندج، روش فازی، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی.

* این مقاله برگرفته از «طرح پژوهشی از سنه تا سنندج» می‌باشد که در معاونت پژوهشی دانشگاه کردستان در حال انجام است.

** استادیار شهرسازی، دانشکده هنر و معماری، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران (نویسنده مسئول).
Email: habibi_ki@yahoo.co.uk
*** دانشجوی کارشناسی‌ارشد برنامه‌ریزی شهری، پردیس هنر های زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.

مقدمه

در سرتاسر جهان، نگرانی در مورد وقوع مخاطرات طبیعی روزبه‌روز در حال افزایش است و مسائلی از این دست نظیر سونامی اقیانوس هند در سال ۲۰۰۴، طوفان کاترینا و زلزله پاکستان در سال ۲۰۰۵، حجم وسیعی از توجهات را در رسانه‌ها و سازمان‌های کمک‌رسان به خود اختصاص داده‌است (Birkmann, 2007, p.1). طی بیست سال گذشته تعداد حوادث مرتبط با مخاطرات طبیعی و اثرات آن‌ها پیوسته در حال افزایش است. بیشترین تعداد حوادث ناگوار در سال ۲۰۰۰ به ثبت رسیده است (۸۵۰ حادثه) که ۱۴ درصد از این حوادث به زمین‌لرزه و رانش زمین اختصاص داشته است. علاوه بر این در این سال از هر ۳۰ نفر ۱ نفر در سرتاسر جهان از بلایای طبیعی متأثر گشته است و این در حالی است که از حدود ۹۲۷۰ نفر تلفات جانی، سهم زمین‌لرزه چیزی در حدود ۴ درصد بوده است (Armas, 2006, p.1).

چنین برآورد شده است که در هزاره سوم، زمین‌لرزه‌هایی عظیم شهرها و کلان‌شهرهای واقع در نواحی لرزه‌خیز شناسایی‌شده را در خواهند نوردید که این حوادث در شهرهای کشورهای در حال توسعه، جایی که ساختارهای مقاوم در برابر زلزله وجود نداشته و یا به خوبی تحکیم نیافته است، خسارات جبران‌ناپذیری را به همراه خواهند داشت (Blaike et al.,1994).

زلزله‌های مخرب و فاجعه‌آمیز چند دهه اخیر نشان داد که ایران کشوری زلزله‌خیز است و هیچ نقطه‌ای از آن از خطر زلزله در امان نیست. از آنجا که متأسفانه برخی از شهرهای ایران در حاشیه گسل‌ها شکل‌گرفته‌اند و حرکت‌های افقی یا عمودی آن‌ها منجر به بروز زلزله در این‌گونه شهرها یا نواحی پیرامون آن‌ها می‌شود، از این‌رو ضرورت پرداختن به علت وقوع زلزله و همچنین تأثیر گسل‌ها بر شهرهای کشور به خوبی احساس می‌گردد، تا اولاً به مکان‌گزینی شهرها و شناخت گسل‌ها دقت بیشتری شود و ثانیاً مقاوم‌سازی ساختمان‌ها با معیارهای علمی فراموش نشود.

شهر سنندج در گذشته دور براساس مقتضیات معماری و اقلیم و تا اندازه‌ای ضروریات اقتصادی- اجتماعی تکوین یافته و به مقاوم‌سازی آن توجه نشده است. هسته مرکزی شهر سنندج، با توجه به ریزدانگی قطعات، استفاده از مصالح نامرغوب در ساخت ابنیه، فرسوده بودن اغلب ساختمان‌ها و کمبود فضاهای عمومی، عرض کم معابر و پیچ در پیچ بودن آن‌ها، بن‌بست بودن اغلب معابر، شیب زیاد در برخی از محدوده‌های بافت و جنس نامقاوم خاک، سبب گردیده آسیب‌پذیری در بافت مذکور در صورت وقوع بحران در سطح بالایی باشد. در این راستا سؤال مورد بحث این پژوهش این خواهد بود که چه عواملی موجب افزایش آسیب‌پذیری[1] هسته مرکزی شهر سنندج در برابر زلزله می‌شود؟ و سهم هر یک از این عوامل به چه میزان است.

با توجه به موضوع اصلی تحقیق و طرح مسئله و سؤالات برخاسته از این موضوع، هدف اصلی این تحقیق، «ارائه روشی برای تحلیل آسیب‌پذیری لرزه‌ای بافت‌های قدیمی با استفاده از شاخص‌های آسیب‌پذیری لرزه‌ای به منظور کارآمد نمودن فرآیند مدیریت بحران زلزله در بخشی از هسته مرکزی و قدیمی شهر سنندج» می‌باشد.

۱. پیشینه تحقیق

در کشورهای حادثه‌خیز جهان شروع تحقیقات به منظور مقابله با حوادث طبیعی به سال‌های اولیه قرن بیستم بازمی‌گردد. سازمان ملل متحد نیز دهه پایانی قرن بیستم (2000-1990) را دهه بین‌المللی کاهش خطرات سوانح طبیعی نام‌گذاری کرد و کارشناسان این سازمان در جهت گسترش و تبادل تجربه میان ملت‌ها و مراکز تحقیقاتی کشورها کوشیدند.

راشد در سال ۲۰۰۳ از GIS در مدل‌سازی میزان آسیب‌پذیری ناشی از زلزله کمک می‌گیرد. او در مدل خود رویکردی فازی نسبت به جهان پیرامون دارد و با این نگاه مدلی را براساس فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)[2] برای پیش‌بینی میزان خطر تولید می‌کند. عواملی که وی در مدل خود به عنوان معیار به کار می‌برد شامل: حداقل عملکرد پل‌ها، سرویس‌های فوریت پزشکی، بیمارستان‌ها، خطوط انتقال نیرو، بزرگ‌راه‌ها و نیز حداکثر هزینه بازسازی ساختمان‌ها، نیاز به سرپناه، حجم آوار و درصد مناطق از بین رفته بر اثر آتش‌سوزی می‌باشد (Rashed & weeks, 2003, pp.547-576).

گرانجر (۱۹۹۶) در مطالعه‌ای به عنوان پروژه cities متدولوژی برای محاسبه آسیب‌پذیری جوامع ارائه داده است. وی اشاره می‌کند که انگیزه اصلی برای تدوین این متدولوژی، متدولوژی پژوهشی (EDRI)[3] که توسط دیویدسون ابداع‌شده، بوده است. شاخص‌هایی که در این پژوهش استفاده‌شده‌اند، به عنوان «5S» اشاره شده است، گروه‌بندی شده‌اند. این دسته‌ها زمینه جامعه، امنیت، معیشت و سکونت‌گاه می‌باشد. در داخل این ۵ گروه اصلی، شاخص‌ها مجموعه‌ای از عاملهای فیزیکی، ساختاری، اقتصادی و شیوه زندگی هستند که برای اندازه‌گیری آسیب‌پذیری یک جامعه انتخاب‌شده‌اند. پروژه cities بر روی مباحث آسیب‌پذیری پیرامون افراد و خانوارها تمرکز دارد. نقطه قوت این متدولوژی ساده و قابل‌اطمینان بودن آن است (Granger et al.,1999).

یکی از جامع‌ترین مدل‌ها در زمینه آسیب‌پذیری مدل دیویدسون است که در این مدل برآورد آسیب‌پذیری دارای ابعاد فیزیکی، اقتصادی، سیستم اجتماعی- سیاسی، جمعیتی است (Davidson,1997). در این مدل انعطاف‌پذیری و ظرفیت جامعه ذیل آسیب‌پذیری بررسی نمی‌شود و به عنوان مؤلفه جداگانه در برآورد ریسک قرار دارد. قالب کلی مدل برآورد

آسیب‌پذیری دیویدسون در شکل زیر و مؤلفه‌های چهارگانه آسیب‌پذیری و معیارهای ارزیابی هر یک مشاهده می‌شود.
BoteroFernandex در سال ۲۰۰۹ در رساله دکتری خود تحت عنوان اطلاعات جغرافیایی برای اندازه‌گیری میزان آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله، به ارزیابی نقش اطلاعات و داده‌های جغرافیایی در مطالعات مربوط به اندازه‌گیری آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله، اشاره نمود و با توجه به زیرساختار داده‌های مکانی به پهنه‌بندی میزان آسیب‌پذیری اجتماعی و کالبدی در شهر مدیلین واقع در کشور کلمبیا پرداخته است.
Martineli در سال (۲۰۰۸) در مقاله‌ای با عنوان ارزیابی آسیب‌پذیری ساختمان‌ها و ارائه سناریوهای آسیب برای شهرهای ایتالیا، ابتدا با استفاده از مدلهای ارزیابی آسیب‌پذیری از جمله مدل Risk-UE میزان آسیب‌پذیری ساختمانی را ارزیابی نموده و در نهایت با ارائه سناریوهای زلزله در شدت‌های مختلف به تخمین و مدل‌سازی خسارات ناشی از زلزله‌های احتمالی پرداخته است. Lantada و همکاران (۲۰۰۹) در تحقیقی ضمن مدل‌سازی آسیب‌پذیری شهر بارسلون با استفاده از مدل RISK-UE با به‌کارگیری مدل‌های موجود در زمینه تخمین خسارات، به ارزیابی خسارات انسانی و اقتصادی در شهر بارسلون پرداخته‌اند.
در بسیاری از تحقیقات مربوط به موضوع آسیب‌پذیری در برابر زلزله، به موضوع آسیب‌پذیری بافت‌های شهری اکثراً به صورت تک‌بعدی نگریسته شده است و بیشتر ابعاد کالبدی آسیب‌پذیری مورد توجه قرارگرفته و ابعاد اجتماعی و اقتصادی آسیب‌پذیری زلزله در اکثر تحقیقات و مطالعات مورد توجه قرار نگرفته است. حال آنکه به نظر می‌رسد ابعاد اجتماعی و اقتصادی تأثیر بسزایی را در میزان آسیب‌پذیری بافت‌های شهری دارد. در واقع برای سنجش آسیب‌پذیری بافت‌های شهری فقط توجه به ابعاد کالبدی کافی نیست و ابعاد اقتصادی و اجتماعی و محیطی نیز از اهمیت بالایی برخوردارند و برای تدقیق نقشه‌های پهنه‌بندی آسیب‌پذیری لزوم بررسی ابعاد مختلف مهم است.

۲. چارچوب نظری و متدولوژی تحقیق

در رابطه با آسیب‌پذیری دیدگاه‌های متفاوتی در ادبیات نظری موجود است که به طور کلی می‌توان آن‌ها را در سه دسته زیر تقسیم‌بندی نمود:

- دیدگاه فنی- فیزیکی: این دیدگاه مبتنی بر روش‌های کمی است و به نظریات و روش‌های کمی بی‌توجه است. ماهیت این دیدگاه مبتنی بر تفکرات مادی‌گرا و اثبات‌گرایانه است و راهبردهای کاهش خطر در این دیدگاه کاملاً فنی‌محور است. این دیدگاه بیشتر بر زیان‌های مادی و جانی ناشی از مخاطرات طبیعی تمرکز دارد (Ford, 2002;Trodneim, 2002).
- دیدگاه اجتماعی اقتصادی در قالب رویکرد ساخت اجتماعی: مطابق این نگرش وضعیت اجتماعی و اقتصادی مردم در آسیب‌پذیر بودن آن‌ها نسبت به مخاطرات بسیار موثر است و حتی این تأثیر به مراتب نسبت به طبیعت خطر و یا نزدیکی به منبع خطر بیشتر است. (Brindle, 2002) این دیدگاه در مقابل دیدگاه فنی قرار دارد و برخلاف آن مسائل کیفی را به عنوان علل ریشه‌ای در آسیب‌پذیری ناشی از مخاطرات می‌داند (Ford, 2002).
- دیدگاه همه‌جانبه به آسیب‌پذیری در قالب رویکرد ترکیبی: نگرش فنی و نگرش اجتماعی- اقتصادی هر کدام با بررسی مسائل مختلف دیدگاه‌های متفاوتی را نسبت به مسئله آسیب‌پذیری ارائه می‌دهند؛ اما در حقیقت این دو نگرش می‌توانند مکمل همدیگر باشند (Smith, 2000, p.53).

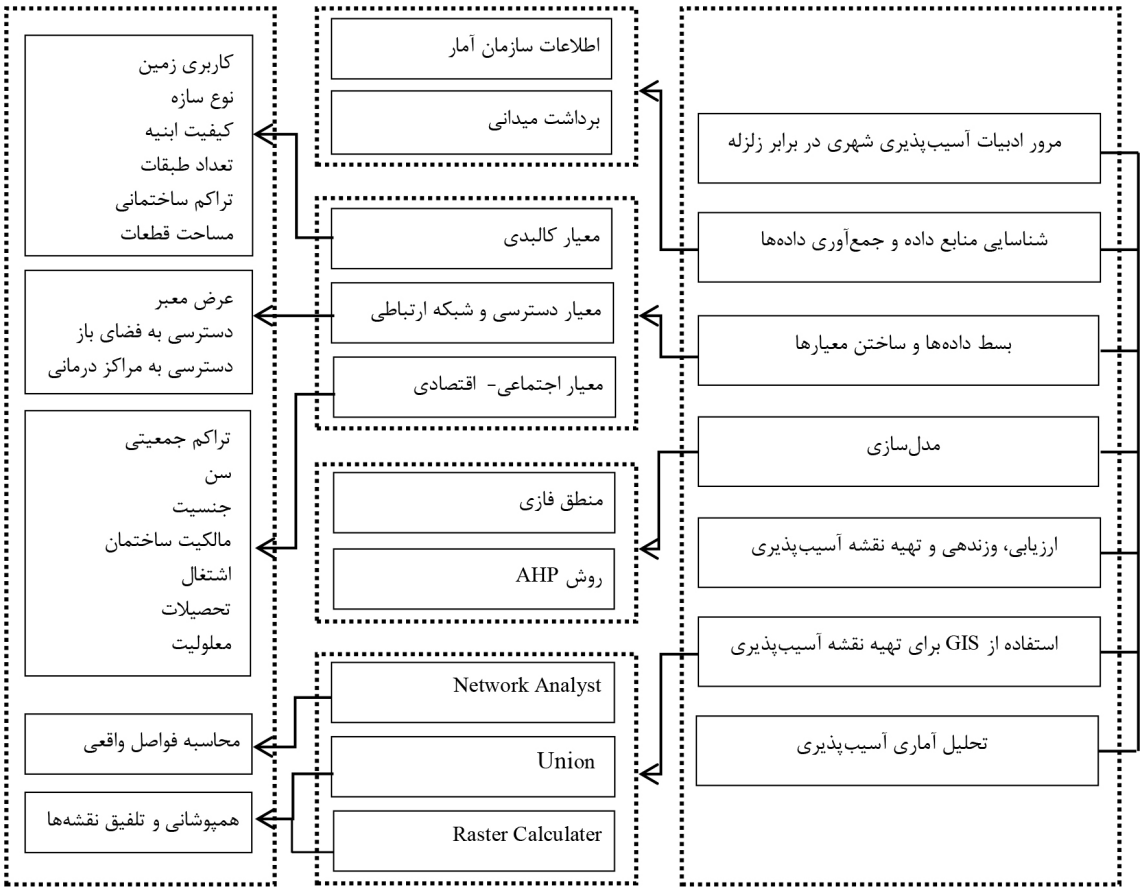
با توجه به این موضوع که نگرش یکپارچه و همه‌جانبه به آسیب‌پذیری در قالب دیدگاه ترکیبی، امتیازات هر دو دیدگاه فنی- فیزیکی و ساخت اجتماعی را داراست، بنابراین این نگرش دید جامع‌تری نسبت به آسیب‌پذیری دارد و به همین جهت در تحقیق حاضر از این دیدگاه برای تبیین مسئله آسیب‌پذیری استفاده شده است.
با توجه به مطالعات صورت گرفته در زمینه آسیب‌پذیری شهری که در تحقیقات مختلف صورت گرفته است، شاخص‌های مهم در این زمینه مشخص شده است. با انطباق این شاخص‌ها برای محدوده مورد مطالعه به بررسی میزان آسیب‌پذیری این مناطق در برابر زلزله پرداخته می‌شود. تلاش بر این است که به تمامی ابعاد آسیب‌پذیری در این پژوهش شامل ابعاد اقتصادی، اجتماعی و کالبدی توجه شود. بر این اساس ابعاد و شاخص‌های آسیب‌پذیری، با توجه به شرایط و اطلاعات قابل‌دسترس برای شهر سنندج در جدول زیر نمایش داده شده است.

جدول ۱: شاخص‌های مورد پذیرش جهت سنجش آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله

ابعاد	شاخص	منبع
کالبدی	کاربری زمین	Shieh (2011), Bahreiny (1997), Abdollahi (2002)
	نوع سازه	JICA (2001), Habibi (2009), Azizi (2009)
	کیفیت بنا	Habibi (2009), Abdollahi (2002), Shieh (2011)
	تعداد طبقات	Habibi (2009)
	تراکم ساختمانی	Shieh (2011)
	مساحت قطعات	JICA (2001), Habibi (2009), Azizi (2009)
دسترسی	عرض معبر	Habibi (2009)
	دسترسی به فضای باز	JICA (2001), Habibi (2009), Azizi (2009)
	دسترسی به مراکز درمانی	Shieh (2011), Habibi (2009)
اجتماعی و اقتصادی	تراکم جمعیتی	Azizi (2009), Shieh (2011), Bahreiny (1997), JICA (2001)
	سن	Cutter (2009), Dwyer (2004), Buckle (1995), Granger (1999), King (2000)
	جنسیت	Cutter (2009), Dwyer (2004), Fordham (2000), Granger (1999)
	مالکیت ساختمان	Cutter (2009), Dwyer (2004), Morrow (1999)
	اشتغال	Cutter (2009), Dwyer (2004), Buckle (2000)
	تحصیلات	Cutter (2009), Dwyer (2004), Buckle (2000), Morrow (1999)
	معلولیت	Dwyer (2004), Buckle (2000), Morrow (1999)

در تحقیق حاضر، با توجه به متدولوژی تحقیق (نمودار ۱)، ابتدا ادبیات آسیب‌پذیری لرزه‌ای را مورد مطالعه قرار داده و سپس به شناسایی و جمع‌آوری داده‌های مورد نظر تحقیق پرداخته می‌شود. سپس با بسط این داده‌ها و دسته‌بندی آن‌ها در سه گروه معیارهای کالبدی، دسترسی و اجتماعی- اقتصادی، به کمک روش فازی و فرآیند سلسله مراتبی AHP، متغیرهای آسیب‌پذیری را وزن‌دهی کرده و در نهایت به کمک GIS و با ابزارهای تلفیق نقشه‌ای، نقشه آسیب‌پذیری کلی را تهیه می‌نماییم.

نمودار ۱: متدولوژی تحقیق



۳. شناختی از محدوده مورد مطالعه از نظر آسیب‌پذیری لرزه‌ای

محدوده مورد مطالعه شامل بخشی از هسته مرکزی شهر سنندج شامل محلات آقازمان، محله بازار و چهارباغ می‌باشد که از شمال به خیابان اکباتان، از شرق به بلوار ۱۸ دی و بلوار بعثت، از جنوب به بلوار کردستان و از شرق به خیابان فردوسی و طالقانی محدود است. این محدوده کاملاً در بافت قدیمی شهر سنندج واقع است و از این لحاظ اهمیت فراوانی دارد. وجود عناصر باارزشی چون بازار سنندج به عنوان قلب اقتصادی شهر در این محدوده و ساختمان‌ها و عمارت‌های قدیمی و همچنین تراکم جمعیتی بالای این محدوده مخصوصاً در طول روز از عواملی است که آسیب‌پذیری این محدوده را در برابر مخاطرات طبیعی به خصوص زلزله، افزایش می‌دهد.

هسته مرکزی شهر سنندج با کمبود فضاهای سبز و فضاهای تفریحی مواجه است که این ویژگی علاوه بر اینکه شهر را از نظر کیفی تنزل می‌دهد، می‌تواند به کمبود فضای لازم برای اسکان موقت زلزله‌زدگان نیز منجر گردد. عدم کارایی سیستم حمل‌ونقل و معابر درون‌شهری، امدادرسانی پس از زلزله را با مشکلات جدی روبرو می‌کند. عدم کارایی و کفایت و عدم توجه به مکان‌یابی مناسب مراکز حیاتی، شامل بیمارستان‌ها، مراکز آتش‌نشانی نیز از مشکلات هسته مرکزی شهر سنندج است. همچنین نبود دسترسی مناسب به بسیاری از مراکز حیاتی مانند برخی از بیمارستان‌ها از جمله مشکلاتی است که به خصوص بعد از زلزله، زمان رسیدن خودروهای امدادی را طولانی می‌نماید.

تصویر ۱: ساخت‌وساز در معابر کم عرض، وجود ساختمان‌های مخروبه و کیفیت سازه‌ای پایین

۴. محاسبه میزان آسیب‌پذیری در برابر زلزله

در نوشتار حاضر، نقشه پهنه‌بندی خطر لرزه‌ای، طی سه مرحله تولید شده است. در مرحله نخست نقشه‌های اصلی که در تخریب ناشی از زلزله موثر هستند از نظر اهمیت درجه‌بندی و امتیازدهی شده، در مرحله دوم این نقشه‌ها با استفاده از توابع فازی به نقشه‌های فازی تبدیل‌شده، در مرحله سوم با توجه به امتیازات هر نقشه، نقشه‌های فازی براساس روش تحلیل سلسله مراتبی باهم ادغام گردیده‌اند. همچنین قابل‌ذکر است که نقشه‌های مرتبط با فاصله کاربری‌ها با فضای باز و مراکز درمانی، به کمک آکس معابر و اکستنشن network analyst تهیه شده است. به این ترتیب می‌توان فاصله واقعی هر نقطه دلخواه از کاربری‌های اطراف را محاسبه نمود.

تعداد نمونه‌های انتخاب‌شده جهت محاسبه میزان آسیب‌پذیری کالبدی و آسیب‌پذیری شبکه ارتباطی و دسترسی، شامل کل جامعه آماری یعنی تمامی قطعات (۱۷۱۱ قطعه) موجود در بافت مورد مطالعه است که اطلاعات مربوط به آن حاصل برداشت میدانی است. حال آنکه نمونه‌های بررسی‌شده برای شاخص‌های اجتماعی شامل کل بلوک‌های آماری (۱۳۸ بلوک آماری) موجود در بافت مورد مطالعه است که اطلاعات مربوط به آن از اطلاعات بلوک‌بندی آماری سال ۱۳۸۵ سازمان آمار کشور استخراج شده است.

۴-۱- فازی‌سازی عوامل موثر در میزان خطر ناشی از زلزله

فازی برای اولین بار توسط دانشمند ایرانی پروفسور لطفی‌زاده استاد دانشگاه برکلی آمریکا برای اقدام در شرایط عدم اطمینان ارائه شد. این نظریه قادر است بسیاری از مفاهیم و متغیرها و سیستم‌هایی را که نادقیق و مبهم‌اند صورت‌بندی ریاضی بخشیده و زمینه را برای استدلال، کنترل و تصمیم‌گیری در شرایط عدم اطمینان فراهم آورد (Farhoudi et al., 2005, p. 18).

در شاخص‌های یک ماتریس تصمیم‌گیری به دلیل وجود شاخص‌های مثبت و منفی باهم و وجود شاخص‌های کمی با واحدهای گوناگون مثل متر، کیلوگرم و غیره و به منظور قابل‌مقایسه شدن مقیاس‌های مختلف اندازه‌گیری، باید از بی‌مقیاس‌سازی استفاده کرد که به وسیله آن، مقادیر شاخص‌های مختلف، بدون بعد شده و جمع‌پذیر می‌شوند (Mome-ni, 2010, p. 9). یکی از روش‌های بی‌مقیاس‌سازی روش فازی است که در این بی مقیاس‌سازی، مقدار حاصله، بین صفر و یک خواهد بود و اگر شاخص دارای جنبه مثبت باشد از فرمول ۱ استفاده می‌کنیم:

فرمول ۱:

$$f(x)=\begin{cases}0 & x<a\\ \dfrac{x-x_{min}}{\Delta x} & a<x<b\\ 1 & x>b\end{cases}$$

$f(x)$: تابع فازی

x: عامل آسیب‌پذیری

a و b کمینه و بیشینه میزان قابل‌قبول برای عامل آسیب‌پذیری

Δx: اختلاف $x_{\min}$ و $x_{\max}$ می‌باشد.

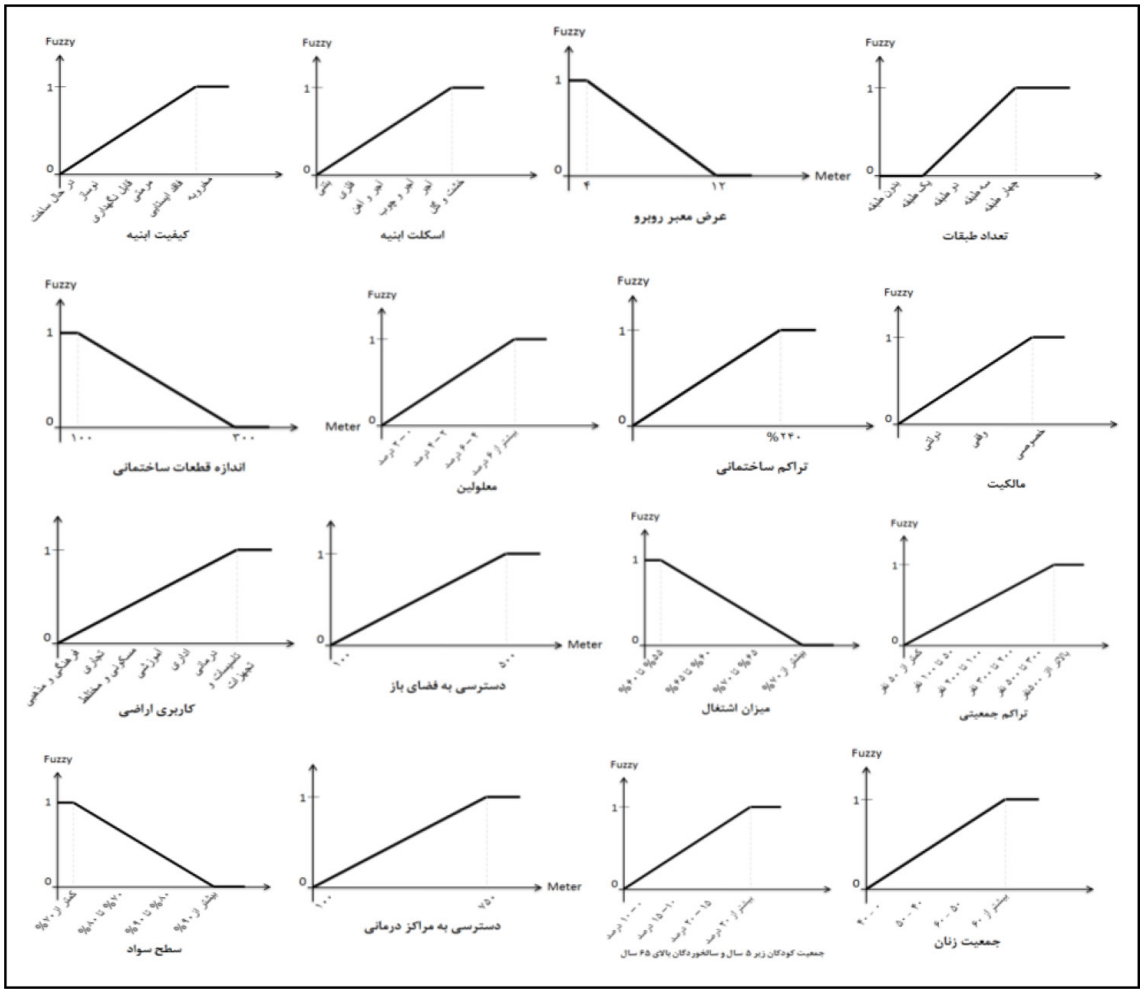
و در صورتی که شاخص مورد نظر دارای جنبه منفی باشد از فرمول ۲ استفاده می‌کنیم:

فرمول ۲:

$$f(x)=\begin{cases}0 & x>b\\ \dfrac{x_{max}-x}{\Delta x} & a<x<b\\ 1 & x<a\end{cases}$$

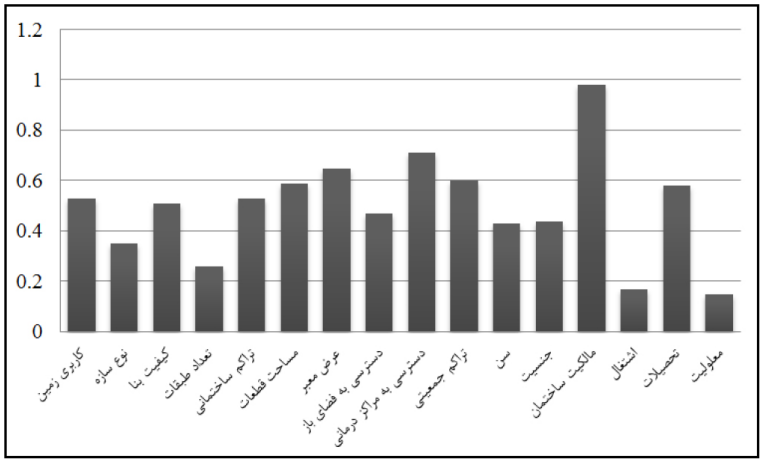
با استفاده از فرمول‌های ذکرشده، توابع عضویت مربوط به شاخص‌های آسیب‌پذیری در نمودار ۲ نشان داده شده است و با توجه به این توابع هر کدام از شاخص‌ها ارزشی بین صفر تا یک را به خود اختصاص می‌دهند.

نمودار ۲: توابع عضویت فازی برای لایه‌های مورد استفاده در محاسبه آسیب‌پذیری ناشی از زلزله



در نمودار ۳ میزان آسیب‌پذیری محدوده مورد مطالعه از نظر هر یک از شاخص‌های آسیب‌پذیری تحقیق، مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به این نمودار، هسته مرکزی شهر سنندج از لحاظ شاخص‌هایی چون کاربری زمین، کیفیت بنا، تراکم و مساحت ساختمانی، تراکم جمعیتی و دسترسی به مراکز درمانی، مالکیت ساختمان و سطح تحصیلات ساکنین، با آسیب‌پذیری بالایی روبروست.

نمودار ۳: میزان آسیب‌پذیری شاخص‌های تحقیق در محدوده مورد مطالعه

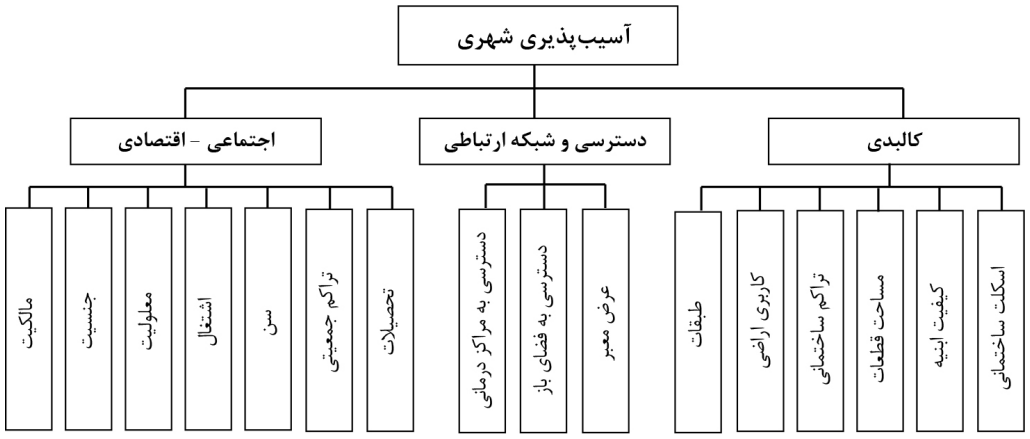


۲-۴- مرحله دوم: تعیین وزن معیارها و زیر معیارهای آسیب‌پذیری با استفاده از AHP

فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) روشی است منعطف، قوی و ساده که برای تصمیم‌گیری در شرایطی که معیارهای تصمیم‌گیری متضاد، انتخاب بین گزینه‌ها را با مشکل مواجه می‌سازد، استفاده می‌شود. این روش ارزیابی چند معیاره، ابتدا در سال ۱۹۸۰ به وسیله توماس ال ساعتی پیشنهاد گردید و تاکنون کاربردهای متعددی در علوم مختلف داشته است (Zebar dast, 2001, p. 53).

در مرحله اول برای تحلیل سلسله‌مراتبی باید یک ساختار سلسله‌مراتبی (نمودار ۴) از موضوع مورد بحث ایجاد شود که در آن هدف، معیارها و گزینه‌ها و ارتباط بین آن‌ها نشان داده می‌شود.

نمودار ۴: ساختار سلسله مراتبی آسیب‌پذیری در برابر زلزله



در مرحله بعد با مقایسه دو به دو معیارها و زیرمعیارها و به کمک جدول ۹ کمیتی ساعتی، وزن هر یک از آن‌ها را به دست آورده و در هر مرحله سازگاری میان قضاوت‌ها را بررسی‌شده و جهت سهولت در انجام محاسبات از روش میانگین هندسی استفاده شده است.

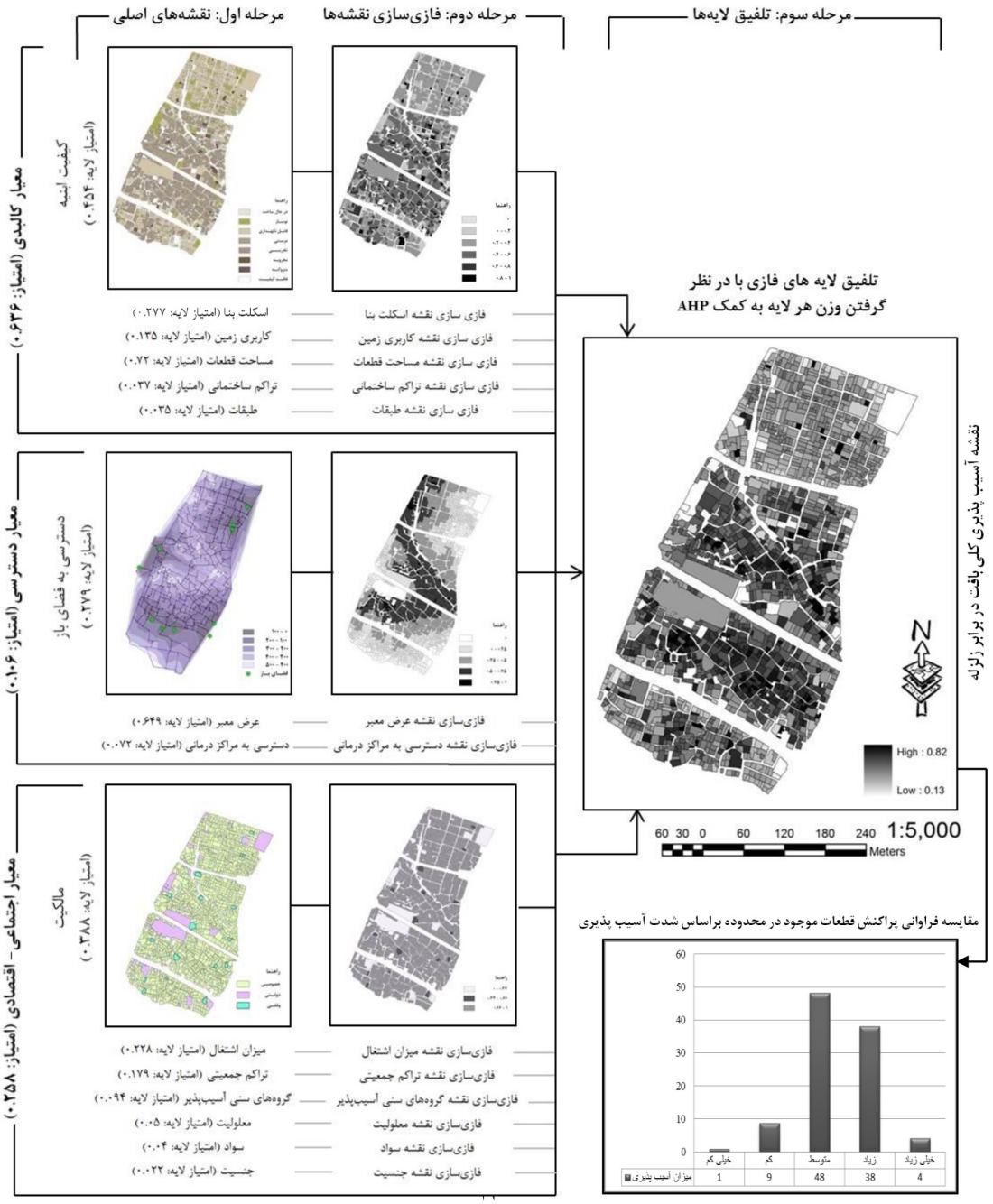
۳-۴- مرحله سوم: تلفیق نقشه‌ها و تولید نقشه آسیب‌پذیری

در این مرحله با استفاده از ابزار Raster Calculator و نیز توابع تلفیق نقشه‌ای چون UNION یا همپوشانی ستون‌های امتیازات مربوط به هر یک از لایه‌های اطلاعاتی ایجادشده (رستری و وکتوری) در بخش مربوط به خود با یکدیگر جمع می‌شوند. به این ترتیب مجموع ستون‌های مربوط به لایه‌های اطلاعاتی آن بخش در مورد هر یک از قطعات امتیاز هر قطعه را از نظر میزان آسیب‌پذیری در برابر زلزله نسبت به سایر قطعات مشخص می‌کند.

با توجه به نتایج حاصله و تصویر ۱، میزان آسیب‌پذیری بافت مورد مطالعه در طیف عددی ۰،۱۳ (به عنوان کمترین

میزان آسیب‌پذیری) و ۰,۸۲ (به عنوان بالاترین میزان آسیب‌پذیری) قرار می‌گیرد. تصویر زیر مراحل سه‌گانه ایجاد نقشه آسیب‌پذیری را نشان می‌دهد.

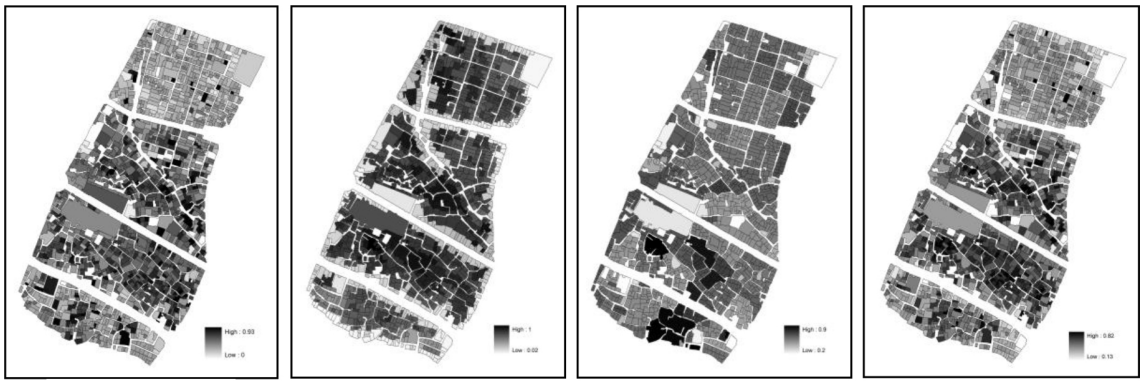
تصویر ۱: مراحل مدل‌سازی تعیین عوامل موثر بر آسیب‌پذیری ناشی از زلزله و تعیین نقشه آسیب‌پذیری کلی بافت



۴- ۴- مرحله چهارم: تحلیل آماری آسیب‌پذیری

در این مرحله نقشه‌های آسیب‌پذیری (تصویر ۲) و متغیرهای آسیب‌پذیری از لحاظ آماری مورد بررسی قرار می‌گیرد.

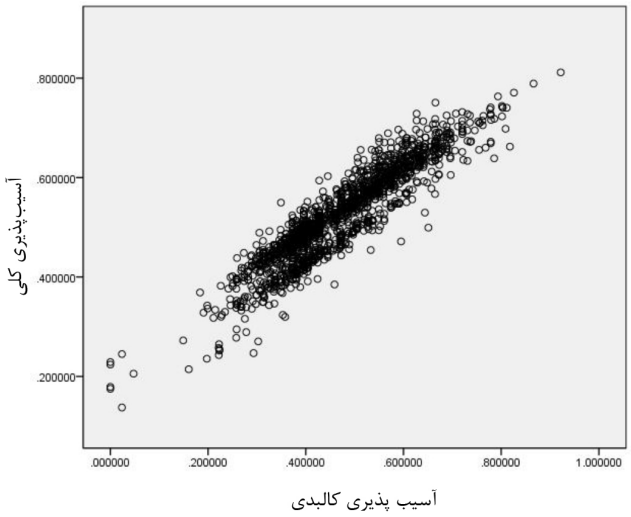
تصویر ۲: نقشه‌های آسیب‌پذیری هسته تاریخی شهر سنندج



آسیب‌پذیری کلی | آسیب‌پذیری اجتماعی- اقتصادی | آسیب‌پذیری دسترسی | آسیب‌پذیری کالبدی

با توجه به تحلیل‌های آماری به کمک نرم‌افزار spss، همبستگی معنی‌داری ($r = 0.926, n = 1711$) میان آسیب‌پذیری کلی بافت مورد مطالعه با آسیب‌پذیری کالبدی آن برقرار است و همچنین رابطه مستقیم و متوسط میان آسیب‌پذیری کلی با آسیب‌پذیری دسترسی وجود دارد. رابطه میان آسیب‌پذیری کلی با آسیب‌پذیری اجتماعی- اقتصادی و رابطه میان آسیب‌پذیری کالبدی و دسترسی به صورت مستقیم و ضعیف است.

نمودار ۵: همبستگی میان آسیب‌پذیری کلی و آسیب‌پذیری کالبدی



جدول ۲: همبستگی پیرسون[۴] میان آسیب‌پذیری کلی با شاخص‌های آسیب‌پذیری

	آسیب‌پذیری کلی	آسیب‌پذیری کالبدی	آسیب‌پذیری دسترسی	آسیب‌پذیری اجتماعی- اقتصادی
آسیب‌پذیری کلی	-	۰,۹۲۶	۰,۵۵۴	۰,۲۹۵
آسیب‌پذیری کالبدی	-	-	۰,۲۷۶	-

همچنین نتایج همبستگی میان آسیب‌پذیری کلی با برخی متغیرهای تحقیق حاکی از این امر است که رابطه قوی و مستقیم میان آسیب‌پذیری کلی و متغیر کیفیت ابنیه و اسکلت بنا وجود دارد. همچنین همبستگی قوی میان متغیر کیفیت ابنیه و اسکلت بنا ($r = 0.673, n = 1711$) وجود دارد حال آنکه رابطه مستقیم و متوسط میان آسیب‌پذیری کلی

و متغیر عرض معبر برقرار است. سایر روابط میان آسیب‌پذیری کلی با متغیرهای دیگر و همچنین همبستگی میان سایر متغیرها با یکدیگر به صورت ضعیف ارزیابی شده است.

جدول ۳: همبستگی پیرسون میان آسیب‌پذیری کلی و برخی از متغیرهای آسیب‌پذیری

	کیفیت ابنیه	اسکلت بنا	مالکیت	عرض معبر	فاصله از مراکز درمانی	فاصله از فضاهای باز
آسیب‌پذیری کلی	۰,۸۴۷	۰,۷۴۰	۰,۲۶۹	۰,۴۹۹	۰,۳۲۹	۰,۲۹۶
کیفیت ابنیه	–	۰,۶۷۳	–	–	۰,۲۳۹	۰,۱۹۹
اسکلت بنا	–	–	–	–	۰,۲۸۲	۰,۲۳۲
فاصله از مراکز درمانی	۰,۲۳۹	–	–	–	–	–

حال به بررسی ضرایب مدل رگرسیون (جدول شماره ۴) پرداخته می‌شود. ضرایب B نمایانگر میزان اهمیت هر یک از عوامل در تغییر میزان آسیب‌پذیری است و هرچه میزان این ضرایب بالاتر باشد آن عامل در میزان آسیب‌پذیری محدوده مورد مطالعه در برابر زلزله نقش بیشتری ایفا می‌کند. با توجه به مقدار مثبت B می‌توان گفت که رابطه بین متغیرهای مستقل با وابسته مستقیم است و با توجه به سطح معنی‌داری، در سطح اطمینان بیش از ۹۹,۹ درصد تأیید می‌شود.

جدول ۴: جدول ضرایب مدل رگرسیون

مدل	ضرایب استانداردنشده		ضرایب استانداردشده	t	سطح معناداری
	B	خطای استاندارد	Beta		
ثابت	۰,۰۰۲	۰,۰۰۰		۸,۵۰۴	۰,۰۰۰
آسیب‌پذیری کالبدی	۰,۶۳۶	۰,۰۰۰	۰,۸۲۸	۲۱۸۴,۴۳۸	۰,۰۰۰
آسیب‌پذیری دسترسی	۰,۱۰۶	۰,۰۰۰	۰,۳۰۷	۸۰۸,۷۰۹	۰,۰۰۰
آسیب‌پذیری اجتماعی	۰,۲۵۷	۰,۰۰۰	۰,۲۱۷	۵۹۲,۲۸۹	۰,۰۰۰

با توجه به جدول ۴ معادله رگرسیون غیراستاندارد به صورت زیر است:

فرمول ۳: V= 0.636 X1+0.106 X2+0.258 X3+0.002

در فرمول ۳، V میزان آسیب‌پذیری کلی، X۱ آسیب‌پذیری کالبدی، X۲ آسیب‌پذیری شبکه ارتباطی و دسترسی و X۳ آسیب‌پذیری اجتماعی- اقتصادی است. وزن Beta، نشان‌دهنده میزان تغییر متغیر پاسخ به ازای تغییر به اندازه یک انحراف معیار در متغیر مستقل است. برای مثال، به ازای هر واحد افزایش در آسیب‌پذیری کالبدی (با فرض ثابت بودن عوامل دیگر) ۰,۸۲۸ واحد بر میزان آسیب‌پذیری کلی افزوده می‌شود.

جدول بعدی شامل مقدار R چندگانه است که نسبت تغییرپذیری متغیر وابسته را که می‌تواند توسط خط برازش شده بیان شود، اندازه می‌گیرد. آماره‌ی بعدی مربع R (ضریب تعیین) است که در واقع مقداری از متغیر وابسته است که توسط متغیرهای مستقل تبیین می‌شود. برای مثال، با توجه به مقدار ۰,۸۶۱ برای ضریب تعیین آسیب‌پذیری کالبدی، این متغیر ۸۶,۱ درصد از تغییرات متغیر وابسته (آسیب‌پذیری کلی) را تبیین می‌کند.

جدول ۵: مقادیر همبستگی و ضریب تعیین

مدل	همبستگی	ضریب تعیین	ضریب تعیین تعدیل‌شده	انحراف معیار باقیمانده‌ها
آسیب‌پذیری کالبدی	۰,۹۲۸	۰,۸۶۱	۰,۸۶۱	۰,۰۳۵
آسیب‌پذیری دسترسی	۰,۵۹۵	۰,۳۵۵	۰,۳۵۳	۰,۰۷۵
آسیب‌پذیری اجتماعی	۰,۳۷۳	۰,۱۳۹	۰,۱۳۵	۰,۰۸۷۲

۵. جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

آسیب‌پذیری شهری به عنوان یک پدیده گسترده و همه‌جانبه بوده که تمامی عوامل موجود در یکی شهر را در برگرفته و به دلیل وابستگی عناصر به یکدیگر میزان آن به سرعت افزایش می‌یابد. به همین دلیل در این مقاله به موضوع آسیب‌پذیری شهری در برابر زلزله به صورت همه‌جانبه پرداخته‌شده و سعی شده است که تمامی عوامل مهم در زمینه آسیب‌پذیری مورد بررسی قرار بگیرد. در این مقاله تلاش شده که مدلی براساس تحلیل فضایی برای بررسی میزان آسیب‌پذیری در اثر زلزله با استفاده از توابع تحلیل فضایی GIS ارائه شود که بتواند معیاری برای میزان خطرپذیری ناشی از زلزله در هسته مرکزی شهر سنندج باشد. سیستم GIS با داشتن قابلیت‌هایی نظیر اخذ داده‌ها، پردازش، بازیافت، تجزیه و تحلیل، بهنگام‌سازی و نمایش اطلاعات مکانی، کاربردهای زیادی در زمینه سنجش آسیب‌پذیری زلزله دارد که از این قابلیت‌ها برای مدل‌سازی و هدف تحقیق که سنجش آسیب‌پذیری هسته مرکزی سنندج است، استفاده شده است. نتایج حاصل از تحقیق حاکی از این امر است که ۹۰ درصد از بافت محدوده با آسیب‌پذیری متوسط و متوسط به بالا روبروست و ۴۲ درصد از قطعات موجود در محدوده مورد مطالعه، آسیب‌پذیری زیادی در برابر زلزله دارند و تنها ۱۰ درصد از بافت محدوده مورد مطالعه آسیب‌پذیری کمی در برابر زلزله دارد. همچنین بخش‌هایی از بافت محدوده که دارای حداکثر آسیب‌پذیری می‌باشند، به طور متوسط از نظر کلیه عوامل دارای شرایط نامناسبی می‌باشند. در واقع تراکم جمعیتی بالا، تراکم ساختمانی بالا، کوچک بودن قطعات، معابر با عرض کم و بن‌بست، عدم دسترسی به فضاهای باز و مراکز درمانی، عمر بالای ساختمان‌ها و مقاومت پایین سازه‌ها در برابر زلزله و همچنین بالا بودن میزان افراد آسیب‌پذیر در برابر زلزله از ویژگی‌های این محدوده است.

تحلیل آماری نقشه‌های آسیب‌پذیری و متغیرهای آسیب‌پذیری نمایانگر این موضوع است که مهمترین عامل آسیب‌پذیری هسته مرکزی شهر سنندج در برابر زلزله، عامل کالبدی است. همچنین مهمترین متغیرهای آسیب‌پذیری شامل کیفیت ابنیه و اسکلت سازه‌ای است که این امر لزوم توجه بیشتر به بهبود شاخص‌های کالبدی در بافت مرکزی شهر سنندج را آشکار می‌کند.

پی نوشت

1. Vulnerability
2. Analytic Hierarchy Process
3. Earthquake Disaster Risk Index
4. Pearson Correlation

References

- Arma¸ s. I. (2006). Earthquake Risk Perception in Bucharest, Romania, *Risk Analysis*, Vol. 26, No. 5
- Birkmann, J. (2007). Risk And Vulnerability Indicators At Different Scales: Applicability, Usefulness And Policy Implications, *Environmental Hazards 7*
- Blaikie. P., Cannon, T., Davis, I., & Wisner, B. (1994). at risk: Natural hazards, people's vulnerability, and disasters, London: Routledge.
- Botero V. (2009). *Geo-Information for Measuring Vulnerability to Earthquake: A Fitness for Use Approach PHD Thesis*, ITC, Netherland.
- Brendle, A. M. (2002). *A Vulnerability Assessment of the Spring Creek Watershed of Centre County, Pennsylvania*, Thesis Supervisor: Dr. Brent Yarnal, Pennsylvania State University, College of Earth and Mineral Sciences, Department of Geography.
- Cutter, S. L., Boruff, B. J. & Shirley, W. L. (2003). Social Vulnerability to Environmental Hazards. *Social Science Quarterly,* 82 (2), 242-260.
- Davidson, R. (1997*). An Urban Earthquake Disaster Risk Index*, PhD. Thesis, the John A. Blube Earthquake Engineering Center, Department of Civil Engineering, Stanford University.
- Dwyer, A., Zoppou, C., Nielsen, O., Day, S. & Roberts, S. (2004). *Quantifying Social Vulnerability: A Methodology for Identifying Those at Risk to Natural Hazards*, Geo Cat No. 61168, Geo Science Australia.
- Ford, J. (2002). *Vulnerability: Concepts And Issues; A Literature Review Of The Concept Of Vulnerability, Its Definition, And Application In Studies Dealing With Human-Environment Interactions Submitted By James Ford As Part Of Phd Scholarly Field Paper For Course Geog*6100*, University of Guelph.
- Granger, K., Jones, T., Leiba, M. & Scott, G. (1999). *Community Risk in Cairns: a Provisional Multi- Hazard Risk Assessment*. AGSO Cities Project Report Number 1, Australian Geological Survey Organization, Canberra.
- King, D. MacGregor, C. (2000). Using social indicators to measure community vulnerability to natural hazards, *Australian Journal of Emergency Management*. Spring, 52–57.
- Martinelli A., Cifani G., 2008, *Bulding Vulnerability Assessment and Damage Scenarios in Celano(Italy) Using a Quick Survey Data-based Methodology*, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 28, 875-889.
- Mitchell, J., Devine, N. & Jagger, K. (1989). A Contextual Model of Natural Hazards, *Geographical Review* 79, 391-409.
- Morrow, B. H. (1999). Identifying and Mapping Community Vulnerability, *Disasters*, 23 (1), 1-18.
- Rashed, K., Weeks, J. (2003). Assessing Vulnerability To Earthquake Hazards Through Spatial International *Journal Of Geographic Information Science Multicriteria Analysis Of Urban Areas*, 17(6), 547-576.
- Smith, K. (2000). Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing Disaster, 3rd Ed, NewYork: Routledge, Techniques, 845-858.
- Trondheim R. J. (2002). *Reducing Disaster Vulnerability Through Local Knowledge and Capacity: The Case of Earthquake prone Rural Communities in India and Nepal*, Dr.ing Thesis, Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Architecture and Fine Art Department of Town and Regional Planning.