

## مدل سازی آسیب پذیری ساختمانی شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی نمونه موردی: بافت تاریخی شهر کاشان

دکتر سید علی المدرسی<sup>۱</sup>، دکتر محمدرضا جواهری<sup>۲</sup>، محمدعلی فتاحی<sup>۳</sup>

### چکیده

با توجه به رشد جمعیت و افزایش شهرنشینی، وقوع حوادث طبیعی مثل زلزله می تواند خسارات و تلفات سنگینی را ایجاد نموده و توسعه شهرها و کشورها را دچار وقفه نماید. ضرورت کاهش آسیب پذیری شهرها در برابر این پدیده، به عنوان یکی از اهداف اصلی برنامه ریزی کالبدی، برنامه ریزی شهری و طراحی شهری محسوب می گردد. در این راستا اولین گام شناسایی میزان آسیب پذیری اجزا و عناصر شهری و تحلیل ارزیابی آن با استفاده از مدل های موجود در این زمینه می باشد که بتوان مناطق و بافت های آسیب پذیر شهری را با استفاده از مدل ها مورد شناسایی قرار داده و با ریز پهنه بندی این مناطق به ارائه راهکارهای علمی و عملی در ارتباط با کاهش اثرات زلزله پرداخت.

با توجه به اهمیت موضوع پهنه بندی خطر لرزه خیزی و ارزیابی آسیب پذیری شهرها در برابر زلزله در مباحث مربوط به جغرافیا و برنامه ریزی شهری، در این تحقیق سعی شده تا با بکارگیری روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) برآورد مناسبی از آسیب پذیری شهرها در برابر زلزله با استفاده از داده های مکانی و توصیفی اجزاء و عناصر اصلی و رفتاری ساختمانی و تعیین تأثیر هرکدام از معیارهای به کار رفته در میزان آسیب پذیری ارائه شود. هم چنین با استفاده از امکانات تحلیلی و نمایشی سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) به مدل سازی و ریز پهنه بندی آسیب وارده به ساختمان ها در هنگام وقوع زلزله در شهر کاشان پرداخته شده است. نتایج حاصله از این مقاله نشان می دهد که بافت تاریخی شهر کاشان به دلیل فرسودگی و استفاده از مصالح کم دوام در ساخت و ساز و نیز عمر بالای ساختمان ها از آسیب پذیری بسیار بالایی برخوردار می باشد.

کلیدواژه ها: آسیب پذیری، زلزله، کاشان، سیستم اطلاعات جغرافیایی، مدل سازی، فرآیند تحلیل سلسله مراتبی.

۱- دکتری ژئومورفولوژی، استادیار گروه عمران دانشگاه آزاد اسلامی یزد

۲- دکتری سازه عضو هیات علمی گروه عمران، دانشگاه آزاد اسلامی تفت

۳- فارغ التحصیل کارشناسی ارشد سازه دانشگاه آزاد اسلامی واحد یزد

## مقدمه

در طی قرن بیستم بیش از ۱۱۰۰ زلزلهٔ مخرب در نقاط مختلف کرهٔ زمین روی داده که در اثر آن بیش از ۱,۵۰۰,۰۰۰ نفر جان خود را از دست داده‌اند که ۹۰ درصد آن‌ها عمدتاً ناشی از ریزش ساختمان‌هایی بوده که از اصول مهندسی و ایمنی کافی برخوردار نبودند (لانتادا، ۲۰۰۸: ۲)<sup>۱</sup>. می‌توان گفت آنچه موجب افزایش تلفات در زلزله می‌شود، زلزله نیست بلکه ساختمان‌های غیر مقاوم یا کم مقاومتی است که در اثر غفلت‌ها، ندانم کاری‌ها، عدم احساس مسؤلیت در انجام وظایف توسط دست اندرکاران ساخت و ساز اعم از قانون‌گذاران، تدوین‌کنندگان آیین‌نامه‌های لرزه‌ای و ضوابط شهری و شهرسازی، طراحان و مالکان است که متناسب با مشارکت خود در ساخت و ساز غیر اصولی، باعث بروز چنین فجایعی می‌شوند. تجربه نشان داده که در کشورهایی که با این پدیده درگیر هستند تا حدود زیادی عامل تخریب زلزله‌ها را کم کرده و شهرهای خود را بر اساس اصول صحیح مهندسی بنا نهاده و هیچ واژه‌ای از وقوع زمین لرزه ندارند (مهدیان، ۱۳۸۱: ۹). نمونهٔ بارز این کشورها ژاپن است که سالانه چندین مورد زلزله با بیش از هفت ریشتر در نقاط مختلف آن به وقوع می‌پیوندد که در اثر این زلزله‌ها تعداد سازه‌ها و افرادی که دچار آسیب‌پذیری می‌شوند، بسیار جزئی و اندک بوده با توجه به زیر ساخت‌های مناسب شهری، سبب ایجاد بحران و اختلال در سیستم‌های شهری نمی‌شوند (یامازاکی، ۲۰۰۵: ۵)<sup>۲</sup>. ویژگی‌های زمین ساخت کشور باعث شده که زلزله به عنوان یکی از مخرب‌ترین و تهدیدکننده‌ترین بلایای طبیعی در طول تاریخ پرفراز و نشیب ایران زمین مطرح باشد. بررسی تاریخی نشان می‌دهد که نقاط یا مناطق وسیعی از کشورمان توسط این حادثهٔ طبیعی متحمل آسیب‌های جانی و مالی گردیده است و منطقهٔ کاشان نیز در گذشته شاهد زلزله‌های مخربی در کشور بوده است.

نیکولاس آمبرسیز و چارلز ملویل<sup>۳</sup> در کتاب پر ارزش "تاریخ زمین‌لرزه‌های ایران" از هشت زمین لرزه در منطقهٔ کاشان نام برده یا آن‌ها را شرح داده است. این زمین لرزه‌ها در بازه زمانی سده نهم (۸۵۵ م) تا سده نوزدهم (۱۸۹۵ م) را در بر می‌گیرد که برابر سال‌های ۲۴۱ تا ۱۲۶۰ قمری می‌باشد. در میان این زمین لرزه‌ها چند زمین لرزه نیرومند رخ داده است که در سرنوشت این شهر باستانی و مردمانش اثری بسیار داشته است که در ذیل به آن‌ها اشاره می‌شود. دو نکتهٔ بنیادی در بررسی شدت و بزرگی زمین‌لرزه‌های تاریخی قابل بررسی است، یکی توجه کردن به چگونگی گسترش جمعیت و دیگری زیاده‌انگاری و بزرگ نمودن این رویداد طبیعی در گذشته است. زمین لرزه سال ۱۳۳۷ شمسی مصادف با ۱۹۵۸ میلادی، زمین‌لرزه سال ۱۱۳۴ شمسی برابر با ۱۷۵۵ میلادی (۷ ژوئن) که ۶۰۰ خانه را ویران کرد و بیش از ۱۲۰۰ تن کشته شدند. زمین‌لرزه سال ۱۱۵۷ شمسی برابر با ۱۷۷۸ میلادی (۱۵ دسامبر) که بیش از ۸۰۰۰ تن کشته شدند. زمین‌لرزه سال ۱۲۲۳ شمسی برابر با ۱۸۴۴ میلادی (۱۲ می)، قهرود-کاشان که منطقهٔ چقاده به کلی ویران شد و از ۱۰۳ تن ساکنان آن تنها ۳ تن با ماندند در این زمین‌لرزه شمار کشته-شدگان ۱۵۰ تن برآورد شد (صفایی، ۱۳۸۷).

با توجه به گزارش طرح پژوهشی مطالعه و تهیهٔ طرح جامع پهنه‌بندی و آسیب‌پذیری ناشی از زلزله شهرستان کاشان، حدود ۱۰۶ لرزه ثبت شده در منطقهٔ کاشان برای تحلیل لرزه‌خیزی کنونی منطقه کاشان انتخاب شده است. این لرزه‌های ثبت شده مربوط به سالهای ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۷ میلادی بوده که توسط مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و

1-Lantada,2008:2

2-Yamazaki,2005:5

3-Nicholas Ambraseys&amp; Charles Melville

پژوهشگاه بین‌المللی زلزله ثبت شده‌اند. این داده‌ها شامل اطلاعات موقعیت جغرافیایی شامل طول و عرض جغرافیایی منطقه کانون زلزله و به تفکیک شهرستان و بخش، همچنین بزرگی امواج زلزله و عمق کانونی و زمان رخداد آن می‌باشد. نتایج حاصله به شرح ذیل می‌باشد :

- بزرگی لرزه‌های ثبت شده در منطقه کاشان بین ۱ تا ۵ ریشتر متغیر می‌باشد.
- بزرگی لرزه‌های ثبت شده حدود ۴/۹ ریشتر مربوط به شمال شرق کاشان ( شهرستان آران و بیدگل ) و کوچکترین آن حدود ۰/۸ ریشتر مربوط به برخوار و میمه است.
- فراوانی لرزه‌های ثبت شده در قسمت شمال شرقی با حدود ۳۳٪ کل لرزه‌ها بیشتر از سایر مناطق است و همچنین کمترین تعداد لرزه‌های ثبتی مربوط به اردستان با حدود ۱۳٪ می‌باشد.
- بیشترین عمق کانون زلزله‌ها حدود ۴۶ کیلومتر مربوط به آران و بیدگل و کمترین آن‌ها حدود ۱ کیلومتر مربوط به اردستان بوده است.

لیکن از نگاه دیگر کاشان از سال ۱۸۴۴ میلادی ( ۱۲۵۸ هجری قمری - ۱۲۲۳ هجری شمسی ) تاکنون زلزله شدیدی را تجربه نکرده است. با توجه به اینکه حدود ۱۶۷ سال از آخرین زلزله شدید رخ داده در منطقه کاشان می‌گذرد و همچنین با توجه به اینکه دوره بازگشت زلزله مخرب در منطقه کاشان کمتر از ۱۰۰ سال ( بنا به شواهد تاریخی ) بوده است، احتمال وقوع چنین زلزله‌ای دور از ذهن نیست. همچنین روند توسعه شهری در کاشان مستلزم در نظر گرفتن اقدامات مناسب در جهت پیشگیری و کاهش اثرات بحران ناشی از زلزله یا زلزله‌های احتمالی است ( صفایی، ۱۳۸۷ ). در ارتباط با موضوع ارزیابی و مدل‌سازی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله در ایران با استفاده از روش تحلیل سلسله‌مراتبی مطالعات اندکی در کشور صورت گرفته و مطالعات انجام شده عمدتاً بصورت نمونه‌برداری از ساختمان‌ها و سپس تعمیم به کل شهر بوده که دلایل عمده کمبود مطالعات در کشور را می‌توان ناشی از موارد زیر دانست :

ضعف بسیار اساسی در زیر ساختار داده‌های مکانی و غیر مکانی در کشور، عدم بانک اطلاعاتی مدون با تکیه بر سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در ارتباط با داده‌های شهری و ریز پهنه‌بندی آسیب‌پذیری آن‌ها است که تصمیم‌گیری و ارزیابی را چه قبل از وقوع حوادث طبیعی و انسانی و چه بعد از آن را با مشکلات اساسی مواجه می‌کند.

مهم‌ترین تحقیقات صورت گرفته در داخل کشور به شرح زیر می‌باشد :

آقا طاهر و همکاران (۱۳۸۵)، وزن‌دهی فاکتورهای مؤثر در آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر تهران؛ احدنژاد و همکاران (۱۳۸۶) ارزیابی آسیب‌پذیری سکونتگاههای حاشیه‌ای و غیر رسمی در برابر زلزله با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی؛ عزیزی، محمدمهدی و اکبری، رضا (۱۳۸۷) ملاحظات شهرسازی در سنجش آسیب‌پذیری شهرها از زلزله با به کارگیری روش تحلیل سلسله‌مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی؛ سیلاوی، طلوع و همکاران (۱۳۸۴) تهیه نقشه آسیب‌پذیری لرزه‌ای با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر ریاضیات بازه‌ها و سیستم اطلاعات مکانی.

در ارتباط با مدل‌سازی و ارزیابی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و چند معیاری تحقیقات وسیع و گسترده در کشورهای خارجی صورت گرفته که مهم‌ترین آن‌ها به شرح زیر است: طارق راشد و همکاران (۲۰۰۳)<sup>۱</sup>، تلفیق سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در مدل‌سازی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله و بررسی نقش سیستم اطلاعات جغرافیایی در مدل‌سازی و پیش‌بینی آسیب‌پذیری شهر؛ سی‌جیان، زاهو و همکاران (۲۰۰۴)<sup>۲</sup>، ارزیابی چندمعیاری خطر آتش‌سوزی‌های بالقوه بعد از وقوع زلزله با استفاده از GIS؛ سروی، مهمت (۲۰۰۴)<sup>۳</sup>، ارزیابی آسیب‌پذیری در برابر مخاطرات زلزله با استفاده از تحلیل‌های مکانی چند معیاری. چن، کپنگ (۲۰۰۱)<sup>۴</sup>، تلفیق ارزیابی چندمعیاری و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تصمیم‌گیری در برابر مخاطرات طبیعی.

پژوهش حاضر به مدل‌سازی آسیب‌پذیری لرزه‌ای و ارزیابی آسیب‌پذیری کلی بافت تاریخی شهرکاشان با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی بر مبنای عناصر اصلی و فرعی ساختمانی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی و بهره‌گیری از امکانات تحلیلی این سیستم پرداخته است.

## مواد و روش‌ها

نوع تحقیق در این مطالعه، کاربردی و روش پژوهش معیاری-تحلیلی می‌باشد. روش بکار رفته سعی در کشف روابط علی و معلولی موضوع مورد مطالعه بوده و با بکارگیری روش‌های کمی و کیفی و تحلیل روابط حاکم بر آن‌ها سعی در اثبات فرضیات مورد نظر دارد. گردآوری داده‌ها برای این تحقیق عمدتاً بر پایه مشاهدات میدانی شامل برداشت-خصایص مورد نظر در مورد ویژگی‌های ساختمانی و کالبدی شهر، و به صورت کتابخانه‌ای شامل استفاده از نقشه‌های ۱:۲۰۰۰ شهری و همچنین استفاده از آمار و اطلاعات موجود در ارتباط با موضوع تحقیق صورت گرفته است. داده‌های مورد استفاده از نظر ساختاری به دو صورت داده‌های مکانی و داده‌های غیر مکانی یا توصیفی به شرح زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

داده‌های مکانی (فضایی): واحدهای تفکیکی در مقیاس قطعات ملکی استخراج شده از روی نقشه‌های ۱:۲۰۰۰ شهر کاشان، بلوک‌های آماری سرشماری نفوس و مسکن ۱۳۸۵ اخذ شده از مرکز آمار ایران. داده‌های غیرمکانی یا توصیفی: شامل نوع مصالح، قدمت ساختمان‌ها، کیفیت بنا، تعداد طبقات، سطح اشغال بنا، نوع کاربری، مساحت قطعات. برای ارزیابی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله تاکنون روش‌های مختلفی به کار گرفته شده که یکی از این روش‌ها تحلیل چند معیاری می‌باشد. این روش در طی فرایندی به ترکیب داده‌های فضایی و خصائص مربوط به آن‌ها (ورودی‌ها) پرداخته و در نهایت به محاسبه امتیاز آسیب‌پذیری هر یک از عناصر بکار رفته در تحلیل‌ها منجر می‌شود (خروجی‌ها)، همچنین با ترکیب این روش با نظریه فازی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌توان با دقت بیشتری به ارزیابی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله پرداخت (راشد، ۲۰۰۳: ۶).<sup>۴</sup> در این مقاله استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل چند معیاری آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در برابر زلزله مورد

1-Rashed T, weeks John(2003)

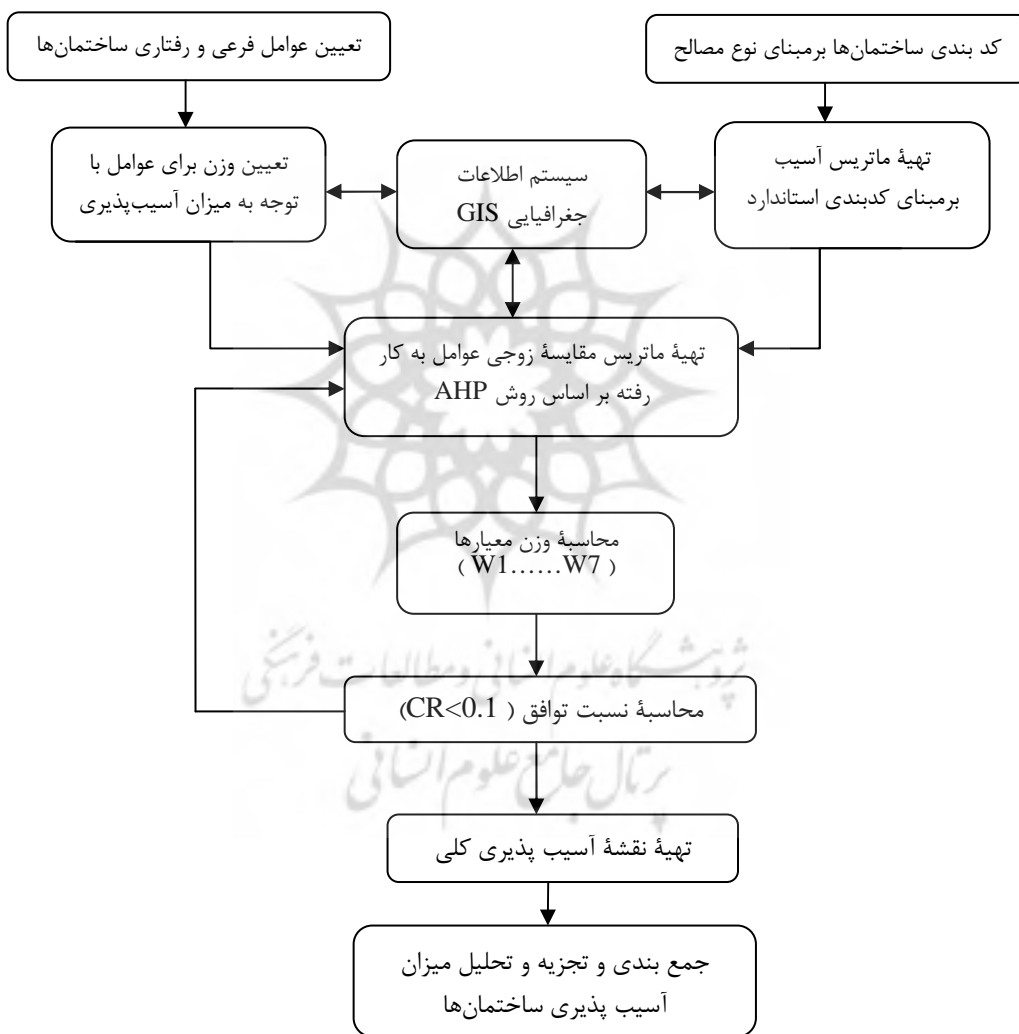
2-Wu Qiang, Ye Siyuan, Wu Xiong, Chen Peipei (2004 )

3- Servi Mehmet (2004)

4-Chen Keping, (200)

2-Rashed,2003:6

تأکید قرار گرفته است. برای تحلیل آسیب پذیری ساختمانی شهر کاشان در برابر زلزله هفت پارامتر ساختمانی شامل عناصر اصلی و فرعی ساختمانی طبق جدول شماره یک انتخاب گردیده و با در نظر گرفتن میزان تأثیر هر یک از عناصر مورد استفاده و زیر معیارهای مربوطه و تعیین اهمیت معیاری هر یک از عوامل بکار رفته به مدل سازی و تحلیل آسیب پذیری کلی بافت تاریخی شهر کاشان پرداخته شده است (شکل شماره ۱).



شکل ۱: نمودار فرآیند انجام تحقیق با استفاده از مدل AHP و مدل سازی آسیب پذیری در برابر زلزله

جدول ۱: ماتریس معیارها و زیر معیارها و کدبندی آنها بر اساس میزان آسیب پذیری

عوامل و معیارهای اصلی	زیر معیارها	آسیب پذیری خیلی کم	آسیب پذیری کم	آسیب پذیری متوسط	آسیب پذیری زیاد	آسیب پذیری خیلی زیاد
نوع مصالح	اسکلت فلزی	•				
	اسکلت بتنی		•			
	آجر و آهن یا چوب			•		
	خشت و گل					•
قدمت بنا	قبل از سال ۱۳۳۰					•
	۱۳۳۰ - ۱۳۶۰				•	
	۱۳۶۰ - ۱۳۷۰			•		
	۱۳۷۰ - ۱۳۸۰		•			
	۱۳۸۰ - ۱۳۸۵	•				
	۱۳۸۵ به بعد	•				
	در حال ساخت	•				
	نوساز	•				
کیفیت بنا	قابل قبول با کیفیت بالا		•			
	قابل قبول با کیفیت پایین			•		
	مرمتی				•	
	مخروبه	•				
	یک طبقه					•
تعداد طبقات	دو طبقه		•			
	سه طبقه			•		
	چهار طبقه و بیشتر				•	
						•

ادامه جدول ۱: ماتریس معیارها و زیر معیارها و کدبندی آنها بر اساس میزان آسیب پذیری

عوامل و معیارهای اصلی	زیر معیارها	آسیب پذیری خیلی کم	آسیب پذیری کم	آسیب پذیری متوسط	آسیب پذیری زیاد	آسیب پذیری خیلی زیاد
سطح اشغال بنا	۰ - ۲۵ درصد		•			
	۲۵ - ۵۰ درصد			•		
	۵۰ - ۷۵ درصد				•	
	۷۵ - ۱۰۰ درصد					•
کاربری اراضی	مسکونی				•	
	تجاری			•		
	مراکز آموزشی و درمانی		•			
	تأسیسات و تجهیزات					•
	اداری و نظامی					•
مساحت قطعات تفکیکی <sup>۱</sup>	کمتر از ۱۰۰ مترمربع					•
	۱۰۰ - ۲۵۰ مترمربع				•	
	۲۵۰ - ۵۰۰ مترمربع			•		
	بیشتر از ۵۰۰ مترمربع		•			

۱- دلیل انتخاب مساحت قطعات تفکیکی به عنوان یکی از معیارها این است که بسته به اینکه ساختمان احداث شده در قطعه تفکیکی چه سطحی از زمین را اشغال کند می تواند از آثار و عوارض ساختمانهای جانبی صدمات کمتری را در هنگام وقوع زلزله متحمل شود

## مدلسازی با روش AHP

فرآیند 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، مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روش ارزیابی چند معیاری، ابتداء سال ۱۹۸۰ بوسیلهٔ توماس آل ساعتی پیشنهاد گردید و تاکنون کاربردهای متعددی در علوم مختلف داشته است. این روش از پیچیدگی مفهومی تصمیم‌گیری بطور قابل توجهی می‌کاهد، زیرا تنها دو مؤلفه (مقایسهٔ دودویی) در یک زمان بررسی می‌گردند. این روش شامل سه گام اصلی: الف) تولید ماتریس مقایسهٔ دوتایی، ب) محاسبه وزن‌های معیار و ج) تخمین نسبت توافق برای تعیین وزن معیارها و عناصر ساختمانی (اصلی و فرعی) و مدل‌سازی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله است و نتیجهٔ آن در محیط GIS برای تعیین میزان آسیب‌پذیری شهر در برابر زلزله با در نظر گرفتن عناصر مورد نظر، مورد استفاده قرار گرفته است. (جدول شماره ۲).

جدول ۲: ماتریس مقایسهٔ دوتایی معیارهای ارزیابی

وزن نهایی معیارها	حاصل ضرب وزن‌ها	اندازهٔ قطعه	کاربری ارضی	سطح اشغال	تعداد طبقات	کیفیت بنا	قدمت بنا	مصالح اسکلت	معیارها
۰/۵۸۶	۵۳۱۴۴۱	۹	۹	۹	۹	۹	۹	۱	مصالح اسکلت
۰/۱۲۶	۱۵/۸۴	۴	۳	۳	۲	۲	۱	۰/۱۱	قدمت بنا
۰/۰۹۳	۱/۹۸	۳	۳	۲	۲	۱	۰/۵۰	۰/۱۱	کیفیت بنا
۰/۰۶۸	۰/۲۲	۲	۲	۲	۱	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۱۱	تعداد طبقات
۰/۰۵۳	۰/۰۳۶۳	۲	۲	۱	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۳۳	۰/۱۱	سطح اشغال
۰/۰۴۲	۰/۰۰۵۹۸۹۵	۲	۱	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۳۳	۰/۳۳	۰/۱۱	کاربری ارضی
۰/۰۳۳	۰/۰۰۱۱۳۴۳۷۵	۱	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۵۰	۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۱۱	اندازهٔ قطعه
۱	۵۳۱۴۵۹/۰۸	مجموع							

## بحث

با توجه به جدول شماره ۲، نوع مصالح ساختمانی بکار رفته در اسکلت ساختمان‌ها بیشترین وزن را به خود اختصاص داده و بقیهٔ عوامل ساختمانی تابعی از وضعیت مصالح بکاررفته در سازه بوده است. هرچقدر در ساخت و سازهای شهری از مصالح بادوام و بارعایت اصول مهندسی استفاده شود، به همان اندازه بناهای ایجاد شده از آسیب‌پذیری کمتری در برابر زلزله برخوردار خواهند شد. سایر معیارهای بکار رفته به ترتیب اهمیت دارای وزن‌های متوسط تا ضعیف بوده و با توجه به اهمیت آن‌ها در آسیب‌پذیری مرتب شده‌اند.

یکی از مزیت‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، امکان بررسی سازگاری در قضاوت‌های انجام شده برای تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیر معیارها است. به عبارتی دیگر در تشکیل ماتریس مقایسه دودویی و معیارها (جدول ۲)، چقدر سازگاری در قضاوت‌ها رعایت شده است؟ وقتی که اهمیت معیارها نسبت به یکدیگر برآورد می‌شود، احتمال

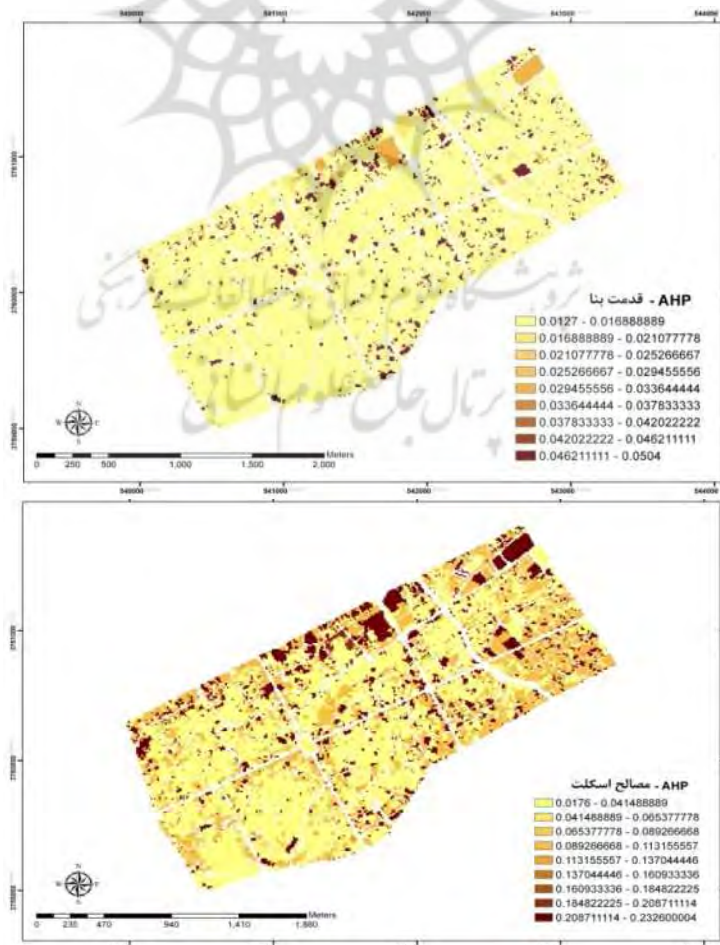


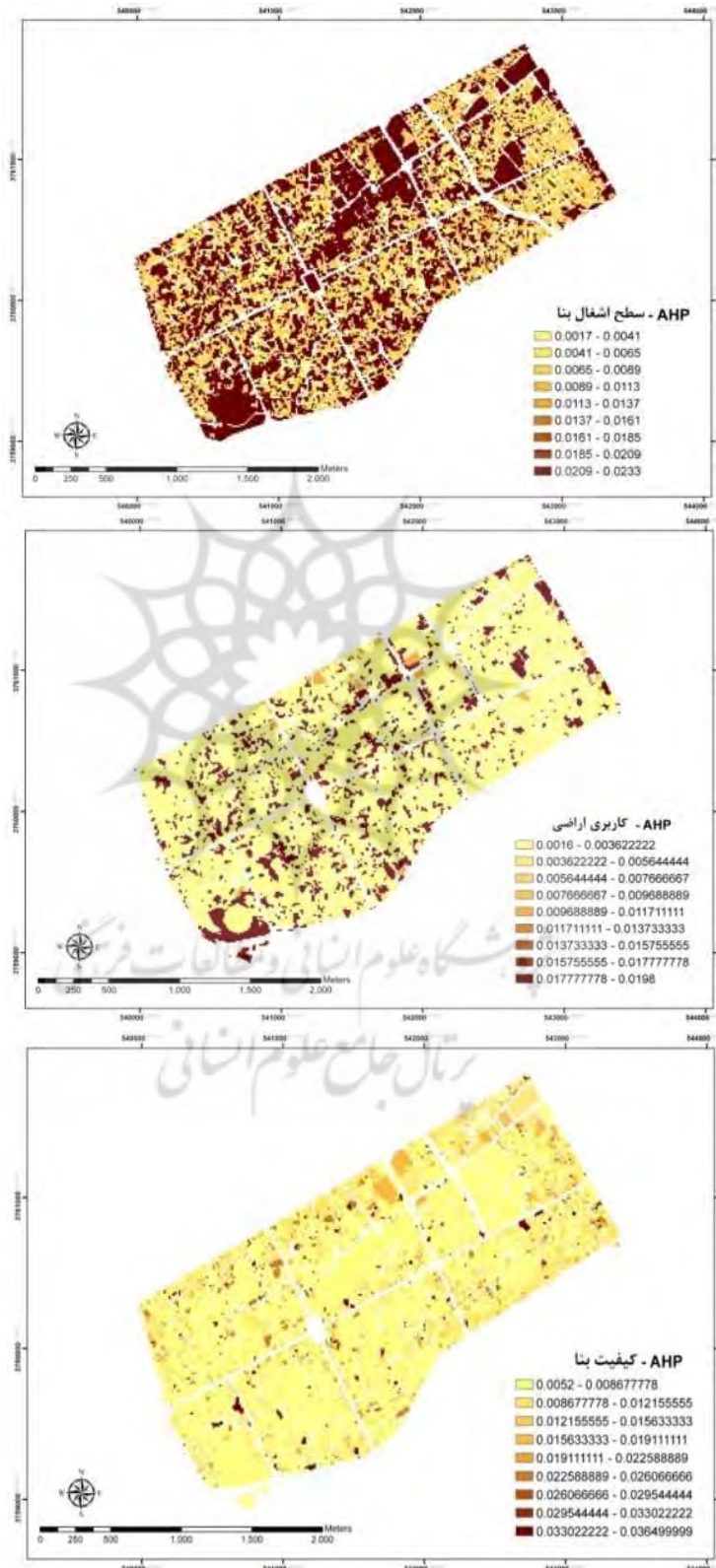
ناهماهنگی در قضاوت‌ها وجود دارد یعنی اگر  $A_i$  از  $A_j$  مهم‌تر باشد و  $A_k$  از  $A_i$  مهم‌تر، قاعدتا باید  $A_k$  از  $A_j$  مهم‌تر باشد. اما علی‌رغم همهٔ کوشش‌ها، رجحان و احساس‌های مردم غالباً ناهماهنگ و نامتعدد هستند. پس سنجش‌های را باید یافت که میزان ناهماهنگی داوری‌ها را نمایان سازد. با توجه به توضیحات ارائه شده، چنانکه مقدار  $CR \leq 0.1$  (نسبت توافق) باشد، نشان‌دهندهٔ این است که سازگاری لازم در قضاوت‌ها رعایت شده و در صورتیکه این مقدار از ۰/۱ بیشتر باشد در آن صورت می‌بایستی تجدید نظر در قضاوت‌ها صورت بگیرد. در اینجا مقدار نسبت توافق برابر ۰/۰۴۲ برآورد گردیده است که حاکی از آن است که سازگاری لازم در قضاوت‌ها صورت گرفته است.

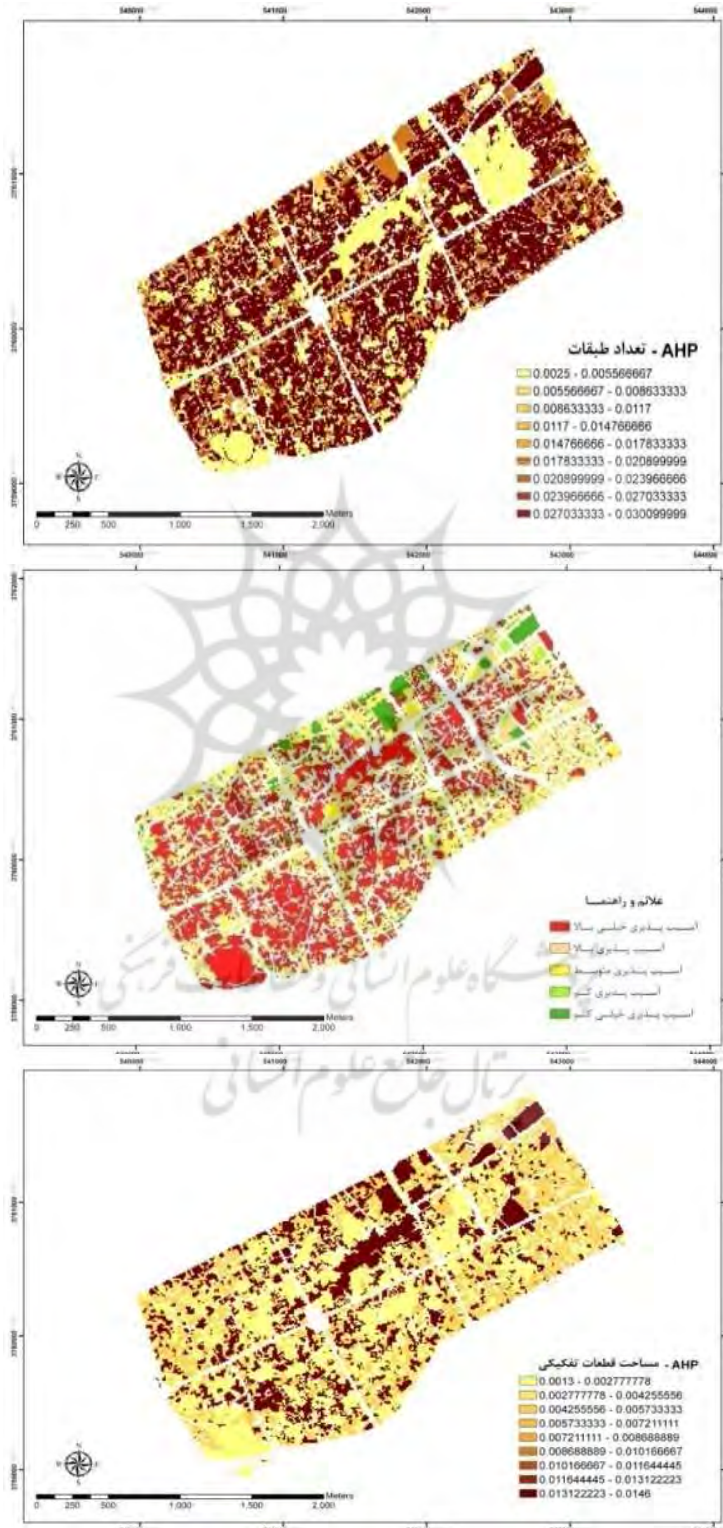
### ارزیابی آسیب‌پذیری کلی

برای ارزیابی آسیب‌پذیری کلی پس از آنکه وزن معیارها با استفاده از روش AHP مورد محاسبه قرار گرفت، هرکدام از وزن‌ها با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در لایه‌های مربوطه اعمال شده و بدین ترتیب نقشهٔ آسیب‌پذیری شهر کاشان در برابر زلزله تهیه شده است.

لایه های وزن دهی شده بافت تاریخی با روش AHP







در نهایت جمع ۷ لایه رستری و نمایش لایه نهایی تولید شده به روش AHP

شکل ۲: نقشه توزیع فضایی میزان آسیب پذیری کلی براساس معیارهای بکاررفته براساس روش تحلیل سلسله مراتبی

### یافته های تحقیق

در تقسیمات شهری ملاک عمل شهرداری، شهر کاشان به دو منطقه و ۱۰ ناحیه تقسیم شده است که با توجه به تقسیمات صورت گرفته بافت تاریخی شهر کاشان در منطقه یک واقع می‌باشد. بر اساس آمار اخذ شده سال ۱۳۸۴ تعداد ساختمان‌های موجود در دو منطقه یک و دو به ترتیب ۲۷۷۲۱ و ۲۹۹۴۷ عدد می‌باشد که در بافت تاریخی شهر کاشان این تعداد به ۱۵۸۴۰ عدد می‌رسد. با توجه به شکل شماره ۲ و جدول شماره ۳ می‌توان گفت که بیشتر ساختمان‌های واقع شده در بافت تاریخی شهر بدلیل استفاده از مصالح کم‌دوام در ساخت‌وساز و همچنین بالا بودن عمر ساختمان‌ها، از آسیب‌پذیری خیلی بالایی برخوردارند. برای تحلیل بهتر و دقیق‌تر نقشه فوق و همچنین مطالعه دقیق میزان آسیب‌پذیری بافت تاریخی شهر کاشان، نتایج به صورت کمی مورد استخراج قرار گرفت که در جدول شماره ۳ آورده شده است.

جدول ۳: توزیع آماری آسیب‌پذیری ساختمان‌ها و مسکن بافت تاریخی شهر کاشان بر مبنای روش AHP

میزان آسیب‌پذیری	تعداد ساختمان‌ها	درصد در محدوده بافت تاریخی	درصد در منطقه	درصد در شهر
آسیب‌پذیری خیلی کم	۱۲۹۹	۸/۲۰	۴/۶۹	۲/۲۵
آسیب‌پذیری کم	۸۸۱	۵/۵۶	۳/۱۸	۱/۵۳
آسیب‌پذیری متوسط	۲۷۲۵	۱۷/۲۰	۹/۸۳	۴/۷۳
آسیب‌پذیری بالا	۲۵۱۵	۱۵/۸۸	۹/۰۷	۴/۳۶
آسیب‌پذیری خیلی بالا	۸۴۲۰	۵۳/۱۶	۳۰/۳۷	۱۴/۶۰
مجموع	۱۵۸۴۰	۱۰۰	۵۷/۱۴	۲۷/۴۷

### جمع بندی و نتیجه‌گیری

آسیب‌پذیری شهری به میزان خسارتی اطلاق می‌شود که در صورت بروز سانحه بر اجزا و عناصر شهری وارد شده و مقدار آن بر حسب ماهیت و کیفیت آن‌ها متفاوت می‌باشد. همچنین به عنوان یک پدیده گسترده و همه جانبه بوده که تمامی عوامل موجود در یک شهر را در بر گرفته و به دلیل وابستگی عناصر به یکدیگر میزان آن به سرعت افزایش می‌یابد.

با توجه به ضعف در زیرساختار داده‌های مکانی و خصیصه‌ای در کشور تاکنون ارزیابی دقیق و ریز پهنه‌بندی آسیب‌پذیری عناصر شهری در برابر زلزله صورت نگرفته و ارزیابی‌های صورت گرفته عمدتاً بر پایه داده‌های نفوس و مسکن با بازه زمانی طولانی و به صورت نمونه برداری و سپس تعمیمی صورت گرفته و نتوانسته به تحلیل دقیقی از توزیع فضایی آسیب‌پذیری عناصر شهری در برابر زلزله منجر شود. از آنجایی که بررسی همه جانبه تمامی عوامل آسیب‌پذیری شهری به طور یکجا امکان‌پذیر نیست، لذا در این مقاله سعی گردید که این موضوع با استفاده از روش تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی برای وزن‌دهی به عوامل اصلی و رفتاری ساختمان‌ها که دارای ساختار سلسله مراتبی

بوده و برخوردار از عدم قطعیت می باشد انجام شود. هم چنین با در نظر گرفتن نتایج حاصله از این روش و تلفیق آن با سیستم اطلاعات جغرافیایی در نهایت مدل سازی آسیب پذیری بافت تاریخی شهر کاشان انجام شد. جمع بندی آسیب پذیری ساختمانی بافت تاریخی شهر کاشان نشان می دهد که بافت تاریخی شهر کاشان از آسیب پذیری بسیار بالایی برخوردار می باشد.



## منابع

۱. آقا طاهر، رضا (۱۳۸۵). وزن دهی فاکتورهای مؤثر در آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر تهران. نشریه دانشکده فنی. جلد ۴۰. شماره ۸. دانشگاه تهران.
۲. آمبرز، ملویل، ترجمه رده، (۱۳۷۰). تاریخ زمین لرزه ایران. انتشارات آگاه.
۳. احدنژاد، محسن (۱۳۸۸). مدل سازی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله - مطالعه موردی شهر زنجان. پایان نامه دکتری جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری. دانشگاه تهران.
۴. سایت مرکز آمار ایران (۱۳۸۵). نتایج سرشماری نفوس و مسکن شهر کاشان.
۵. سیلاوی، طلوع و همکاران (۱۳۸۴). تهیه نقشه آسیب‌پذیری لرزه‌ای با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مبتنی بر ریاضیات بازه‌ها و سیستم اطلاعات مکانی. مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین‌المللی مدیریت جامع بحران در حوادث غیر مترقبه. تهران.
۶. صفایی، (۱۳۸۷). مطالعه و تهیه طرح جامع پهنه‌بندی و آسیب‌پذیری ناشی از زلزله شهرستان کاشان. انتشارات سازمان مسکن و شهرسازی استان اصفهان.
۷. عزیزی، محمد مهدی و اکبری، رضا (۱۳۸۷). ملاحظات شهرسازی در سنجش آسیب‌پذیری شهرها از زلزله با به‌کارگیری روش تحلیل سلسله مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی. نشریه هنرهای زیبا. شماره ۳۴. دانشگاه تهران.
۸. مهدیان، فرید (۱۳۸۱). آسیب‌پذیری ساختمان‌های تهران در برابر زلزله و چگونگی کاهش آسیب‌پذیری. مجموعه مقالات اولین سمینار ساخت و ساز در پایتخت. دانشگاه تهران.
9. Chen Keping, BlongRusswill, Jacobson Carol (2001), MCE-Risk: Integrating Multicriteria Evolution and GIS for Risk Decision-Making in Natural Hazards, *Environmental Modeling & Software*, 16:387-397.
10. Lantada Nieves, Pujades Luis, Barbat, Alex (2008), Vulnerability Index and Capacity Spectrum Based Method for Urban Seismic Risk Evaluation, *Journal of Natural Hazards*, DOI 10.007/s11069-007-9212-4.
11. Milutinovic Zoran V, Trendafiloski Goran S (2003), an Advanced Approach to Earthquake Risk Scenarios with Applications to Different European Towns, RISK-UE – EVK4-CT-2000-00014.
12. Rashed T, weeks John (2003), Assessing Vulnerability to Earthquake Hazards through Spatial Multi Criteria Analysis of Urban Areas, *Geographical Information Science*, Vol 17, no. 6: 547-576.
13. Servi Mehmet (2004), Assessment of Vulnerability to Earthquake Hazards Using Spatial Multicriteria Analysis, Msc Thesis in Middle East Technical University, Turkey.
14. Wu Qiang, Ye Siyuan, Wu Xiong, Chen Peipei (2004), Risk assessment of earth fractures by constructing an intrinsic vulnerability map, a specific vulnerability map, and a hazard map, *Environmental Geology* 46:104-112.
15. Yamazaki Fumio (2005), Building Damage Mapping of the 2003 Bam, Iran, Earthquake Using Envisat/ASAR Intensity Imagery, *Earthquake Spectra*, Vol. 21, No. S1.