Archive OF SID

جغرافیا و توسعه- شماره ۱۹- پاییز ۱۳۸۹
وصول مقاله : ۱۳۸۷/۱۰/۱۶
تأیید نهایی : ۱۳۸۹/۴/۱۴
صفحات : ۱۹۸- ۱۷۱

مدل‌سازی آسیب‌پذیری ساختمانی شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش فرایند تحلیل‌سلسله‌مراتبی در محیط سیستم‌اطلاعات‌جغرافیایی
نمونه موردی: شهر زنجان

دکتر محسن احدنژاد روشتی — استادیار جغرافیا دانشگاه زنجان
دکتر مهدی قرخلو — دانشیار جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری دانشگاه تهران
دکتر کرامت‌اله زیاری — استاد جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری دانشگاه تهران

چکیده

با توجه به رشد جمعیت و افزایش شهرنشینی، وقوع حوادث طبیعی مثل زلزله می‌تواند خسارات و تلفات سنگینی را ایجاد نموده و توسعه‌ی شهرها و کشور را دچار وقفه نماید. ضرورت کاهش آسیب‌پذیری شهرها در برابر این پدیده، به‌عنوان یکی از اهداف اصلی برنامه‌ریزی کالبدی، برنامه‌ریزی شهری و طراحی‌شهری محسوب می‌گردد. در این راستا اولین گام شناسایی میزان آسیب‌پذیری اجزا وعناصر شهری و تحلیل و ارزیابی آن با استفاده از مدل‌های موجود در این زمینه می‌باشد که بتوان مناطق و بافت‌های آسیب‌پذیر شهری را با استفاده از مدل‌ها مورد شناسایی قرار داده و با ریزپهنه‌بندی این مناطق به ارائه‌ی راهکارهای علمی و عملی در ارتباط با کاهش اثرات زلزله پرداخت.

با توجه به اهمیت موضوع ارزیابی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله در مباحث مربوط به جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، در این مقاله سعی شده تا با به‌کارگیری روش فرآیند تحلیل‌سلسله مراتبی (AHP) برآورد مناسبی از آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله با استفاده از داده‌های مکانی و توصیفی اجزا و عناصر اصلی و رفتاری ساختمانی و تعیین تأثیر هر کدام از معیارهای به‌کاررفته در میزان آسیب‌پذیری ارائه شود. هم‌چنین با استفاده از امکانات تحلیلی و نمایشی سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و ارائه‌ی سناریوهای زلزله در شدت‌های مختلف به مدل‌سازی و ریزپهنه‌بندی آسیب وارده به ساختمان‌ها، تلفات انسانی و خسارات اقتصادی شهر زنجان در برابر زلزله پرداخته شده است.

نتایج حاصله از این مقاله نشان می‌دهد که منطقه‌ی سه شهر زنجان و بناهای واقع شده در آن به‌دلیل فرسودگی بافت و استفاده از مصالح کم‌دوام در ساخت‌وساز و نیز عمر بالای ساختمان‌ها از آسیب‌پذیری بسیار بالایی برخوردار بوده و منطقه‌ی دو شهر زنجان، به‌دلیل رعایت استانداردها از جمله آیین‌نامه ۲۸۰۰ و استفاده از مصالح مقاوم در ساخت و سازها از آسیب‌پذیری نسبتاً کمتری در مقایسه با دو منطقه‌ی دیگر شهر زنجان برخوردار است.

کلیدواژه‌ها: آسیب‌پذیری،زلزله، زنجان، سیستم‌اطلاعات‌جغرافیایی، مدل‌سازی،فرآیند تحلیل‌سلسله‌مراتبی.

www.SID.ir

Archive OF SID

مقدمه

در طی قرن بیستم بیش از ۱۱۰۰ زلزله‌ی مخرب در نقاط مختلف کره 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 *(Lantada,2008:2)*. می‌توان گفت آنچه موجب افزایش تلفات در زلزله می‌شود، زلزله نیست بلکه ساختمان‌های غیرمقاوم یا کم‌مقاومتی است که دراثر غفلت‌ها، ندانم کاری‌ها، عدم‌احساس مسؤولیت در انجام وظایف توسط دست‌اندرکاران 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 غیراصولی، 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 واهمه‌ای از وقوع زمین‌لرزه ندارند *(مهدیان،۱۳۸۱: ۹)*. نمونه‌ی بارز این کشورها ژاپن است که سالانه چندین مورد زلزله با بیش از هفت ریشتر در نقاط مختلف آن به‌وقوع می‌پیوندد که در اثر این زلزله‌ها تعداد سازه‌ها و افرادی که دچار آسیب‌پذیری می‌شوند، بسیار جزئی و اندک بوده و با توجه به زیرساخت‌های مناسب شهری، سبب ایجاد بحران و اختلال در سیستم‌های شهری نمی‌شوند *(Yamazaki,2005:5)*.

ویژگی‌های زمین‌ساخت کشور، زلزله را به‌عنوان یکی از مخرب‌ترین و تهدیدکننده‌ترین عوامل انهدام حیات انسانی مطرح نموده است. بررسی تاریخی نشان می‌دهد که نقاط یا مناطق وسیعی از کشورمان توسط این حادثه‌ی طبیعی متحمل آسیب‌های جانی و مالی گردیده است. در این راستا، منطقه‌ی زنجان هم به‌عنوان یکی از مناطق واقع‌شده در روی کمربند زلزله آلپ- هیمالیا در گذشته نه چندان دور خود شاهد یکی از مخرب‌ترین زلزله‌ها در کشور بوده که در سال ۱۳۶۹در شمال استان و در منطقه‌ی رودبار، منجیل و طارم با ۷,۲ ریشتر اتفاق افتاد که در اثر این زلزله بیش از ۴۰۰۰۰ نفر کشته و ۳۰۰ روستا تخریب کامل شده و به شهرهای رودبار، منجیل و لوشان آسیب‌های بسیار جدی وارد شده است. هم‌چنین می‌توان به زلزله‌ی سال ۱۳۷۹ در منطقه‌ی خدابنده که ۵۰۰ نفر کشته داشته، اشاره نمود *(عبدی،۱۳۸۶:۲)*.

شهر زنجان تاکنون مثل دیگر شهرهای کشور نظیر بم، بوئین زهرا،طبس و... و زلزله‌ی مخربی را تجربه نکرده ولی این را نمی‌توان به عنوان دلیلی بر عدم ساخت و ساز اصولی و استاندارد بناهای شهری و انجام مطالعات مربوطه در این زمینه دانست، زیرا در زلزله‌ای که در

www.SID.ir

Archive OF SID

خردادماه سال ۱۳۸۷ با قدرت ۵,۴ ریشتر در فاصله‌ی ۱۷ کیلومتری جنوب‌غرب شهر زنجان روی داد اگر مدت زمان و مقیاس آن کمی بیشتر بود، ممکن بود به تخریب بخش‌های زیادی از شهر منجر شده و بار دیگر شاهد یکی دیگر از حوادث غمبار در کشور در اثر برنامه‌ریزی غیراصولی و شهرسازی بدون ضابطه باشیم.

در ارتباط با موضوع ارزیابی و مدل‌سازی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله در ایران با استفاده از روش تحلیل‌سلسله مراتبی مطالعات اندکی در کشور صورت گرفته و مطالعات انجام شده عمدتاً به‌صورت نمونه‌برداری از ساختمان‌ها و سپس تعمیم به کل شهر بوده که دلایل عمده‌ی کمبود مطالعات در کشور را می‌توان ناشی از موارد زیر دانست:

ضعف بسیار اساسی در زیر ساختار داده‌های مکانی و غیرمکانی در کشور، عدم بانک اطلاعاتی مدون با تکیه بر سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی در ارتباط با داده‌های شهری و ریزپهنه‌بندی 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.

تحقیقات انجام شده در کشور، عمدتاً بر پایه‌ی داده‌های سرشماری نفوس و مسکن بوده و این داده‌ها در مورد ویژگی مساکن شهری به‌صورت بلوکی و نمونه‌برداری بوده و ارزیابی آسیب‌پذیری با استفاده از این داده‌ها، نیاز به دقت بیشتری دارد و معمولاً نتایج کار به‌صورت تعمیمی بوده و ارزیابی آسیب‌پذیری برای واحدهای ساختمانی به‌صورت تک به تک امکان‌پذیر نیست. مهمترین تحقیقات صورت گرفته در داخل کشور به شرح زیر می‌باشد:

آقا طاهر، رضا و همکاران (۱۳۸۵)، وزن‌دهی فاکتورهای مؤثر در آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر تهران؛ احدنژاد و همکاران (۱۳۸۶)، ارزیابی آسیب‌پذیری سکونتگاههای حاشیه‌ای و غیررسمی در برابر زلزله با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی؛ عزیزی، محمدمهدی و اکبری، رضا (۱۳۸۷) ملاحظات شهرسازی در سنجش آسیب‌پذیری شهرها از زلزله با به‌کارگیری روش تحلیل سلسله مراتبی و سیستم اطلاعات جغرافیایی؛سیلاوی، طلوع و همکاران(۱۳۸۴) تهیه‌ی نقشه‌ی آسیب‌پذیری لرزه‌ای با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی بر ریاضیات بازه‌ها و سیستم‌های اطلاعات مکانی.

در ارتباط با مدل‌سازی و ارزیابی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله با استفاده از روش تحلیل‌سلسله مراتبی و چند معیاری تحقیقات وسیع و گسترده در کشورهای خارجی صورت گرفته که مهمترین آن‌ها به شرح زیر است :

www.SID.ir

Archive OF SID

راشد و همکاران (۲۰۰۳)، 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)، ارزیابی چندمعیاری خطر آتش‌سوزی‌های بالقوه بعد از وقوع زلزله با استفاده از GIS؛ سروی، مهمت (۲۰۰۴)، ارزیابی آسیب‌پذیری در برابر مخاطرات زلزله با استفاده از تحلیل‌های مکانی چندمعیاری. چن، کپنگ (۲۰۰۱)، تلفیق ارزیابی چند معیاری و سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تصمیم‌گیری در برابر مخاطرات طبیعی.

در پژوهش حاضر، سعی شده است کمبودهای مطالعات قبلی برطرف شده و مدل‌سازی آسیب‌پذیری بر مبنای پلاک و به‌صورت تمام‌شماری و با استفاده از برداشت‌های مستقیم زمینی و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای صورت گیرد. هم‌چنین برای مدل‌سازی آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر زنجان،از روش تحلیل سلسله مراتبی[1] برمبنای عناصر اصلی و فرعی ساختمانی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی و بهره‌گیری از امکانات تحلیلی این سیستم، پس از ارزیابی آسیب‌پذیری کلی شهر زنجان در برابر زلزله با ارائه‌ی سناریوهای زلزله‌های احتمالی در شدت‌های مختلف به مدل‌سازی و تخمین تلفات انسانی و خسارات اقتصادی پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

نوع تحقیق در این مطالعه، کاربردی و روش پژوهش معیاری- تحلیلی می‌باشد. روش به‌کار رفته سعی در کشف روابط علی و معلولی موضوع مورد مطالعه بوده و با به کارگیری روش‌های کمّی وکیفی و تحلیل روابط حاکم بر آن‌ها سعی در اثبات فرضیات مورد نظر دارد. گردآوری داده‌ها برای این تحقیق عمدتاً بر پایه‌ی مشاهدات میدانی شامل برداشت خصایص مورد نظر در مورد ویژگی‌های ساختمانی و کالبدی شهر، و به‌صورت کتابخانه‌ای شامل استفاده از نقشه‌های ۱:۲۰۰۰ شهری و تصاویر ماهواره‌ای برای به‌هنگام‌سازی نقشه‌ها و هم‌چنین استفاده از آمار و اطلاعات موجود در ارتباط با موضوع تحقیق صورت گرفته است.

داده‌های مورد استفاده در این پژوهش از نظر ساختاری به دو صورت داده‌های مکانی و داده‌های غیرمکانی یا توصیفی به شرح زیر تقسیم‌بندی می‌شوند:

1 -Analytical Hierarchy Process (AHP)

www.SID.ir

Archive OF SID

داده‌های مکانی (فضایی): واحد های تفکیکی در مقیاس قطعات ملکی استخراج شده از روی نقشه‌های ۱:۲۰۰۰ شهر زنجان، بلوک‌های آماری سرشماری نفوس و مسکن ۱۳۸۵ اخذ شده از مرکز آمار ایران و تصاویرماهواره‌ای ایکونوس جهت به‌هنگام‌سازی نقشه‌های موجود.

داده‌های غیرمکانی یا توصیفی: شامل نوع مصالح، قدمت ساختمان‌ها، تعداد طبقات، نوع کاربری، سطح اشغال بنا، مساحت قطعات، وضعیت قرارگیری ساختمان در بلوک، تعداد همسایگی قطعات با همدیگر، مصالح نما، قیمت خرید و فروش ساختمان‌ها، تعداد جمعیت بلوک‌ها.

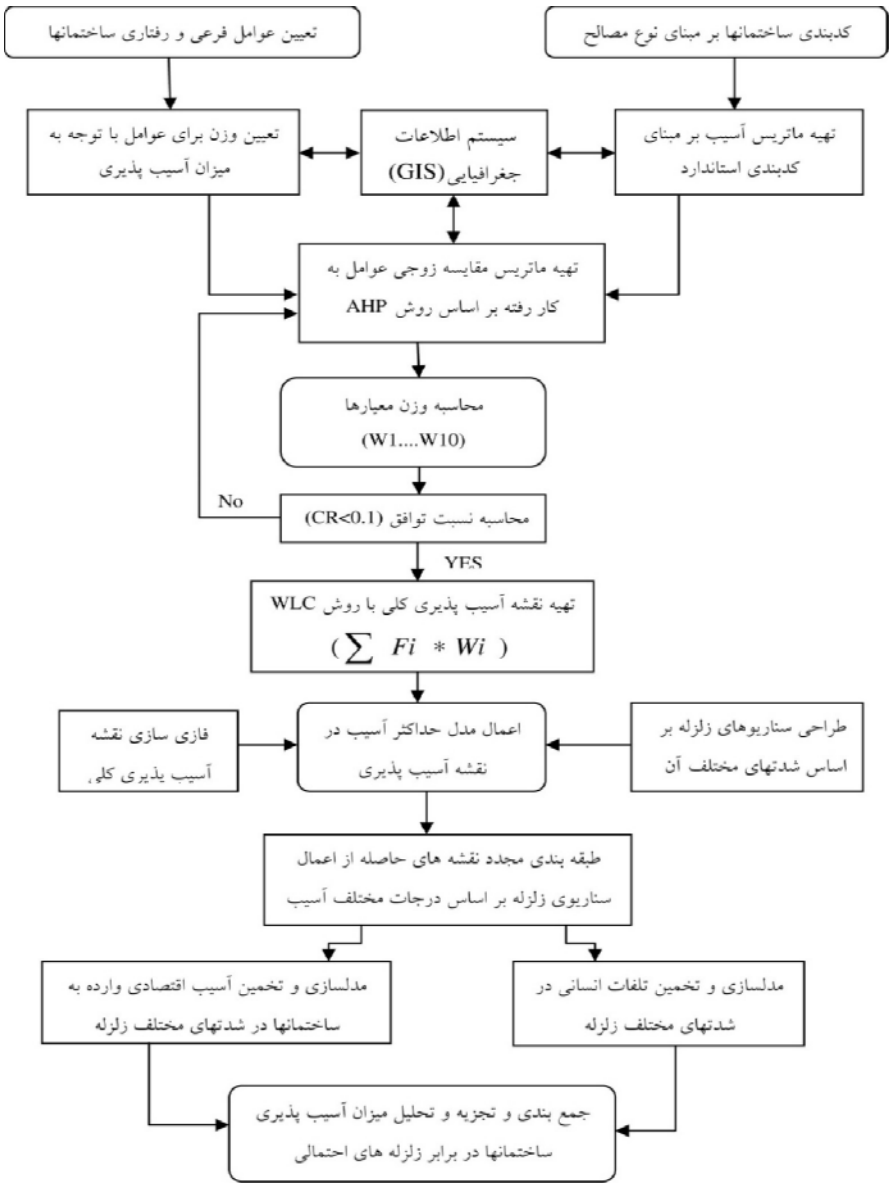
برای ارزیابی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله تاکنون روش‌های مختلفی به‌کار گرفته شده که یکی از این روش‌ها تحلیل چندمعیاری می‌باشد. این روش در طی فرآیندی به ترکیب داده‌های فضایی و خصائص مربوط به آن‌ها (ورودی‌ها) پرداخته و در نهایت به محاسبه‌ی امتیاز آسیب‌پذیری هر یک از عناصر به کار رفته در تحلیل‌ها منجر می‌شود (خروجی‌ها)، هم‌چنین با ترکیب این روش با نظریه‌ی فازی در محیط سیستم‌اطلاعات‌جغرافیایی می‌توان با دقت بیشتری به ارزیابی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله پرداخت *(Rashed,2003:6)*.

در این مقاله با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و تحلیل چندمعیاری آسیب‌پذیری ساختمان‌ها در برابر زلزله مورد تأکید قرار گرفته است.برای تحلیل آسیب‌پذیری ساختمانی شهر زنجان در برابر زلزله ده 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 زیرمعیارهای مربوطه و تعیین اهمیت معیاری هر یک از عوامل به‌کار رفته و با استفاده از روش‌های موجود در این زمینه از جمله روش متوسط درجه آسیب[1] به طراحی سناریوهای مختلف زلزله در شدت‌های مختلف، در نهایت به مدل‌سازی و تحلیل آسیب‌پذیری شهر زنجان از ابعاد ساختمانی، انسانی و اقتصادی پرداخته شده است (شکل شماره ۱).

1- Mean Damage Grade

www.SID.ir

Archive OF SID



شکل ۱: نمودار فرآیند انجام تحقیق با استفاده از مدل AHP و مدل‌سازی آسیب‌پذیری در برابر زلزله

مأخذ: نگارندگان

www.SID.ir

Archive OF SID

جدول ۱: ماتریس معیارها و زیرمعیارها و کدبندی آن‌ها براساس میزان آسیب‌پذیری

عوامل و معیارهای اصلی	زیرمعیارها	آسیب‌پذیری خیلی کم	آسیب‌پذیری کم	آسیب‌پذیری متوسط	آسیب‌پذیری زیاد	آسیب‌پذیری خیلی زیاد
		۲	۳	۵	۷	۹
نوع مصالح	اسکلت آهنی	●				
	بتنی		●			
	آجر و آهن			●		
	آجر و چوب				●	
	آجروخشت و چوب				●	
	خشت‌و چوب					●
قدمت بنا	قبل از سال ۱۳۳۰					●
	۱۳۳۰-۱۳۵۰				●	
	۱۳۵۰-۱۳۶۰			●		
	۱۳۶۰-۱۳۷۰		●			
	۱۳۸۰-۱۳۷۰	●				
	۱۳۸۰ به بعد	●				
کیفیت بنا	نوساز	●				
	مرمتی			●		
	تخریبی					●
	مخروبه					●
تعداد طبقات	یک طبقه	●				
	دو طبقه		●			
	سه طبقه			●		
	چهارطبقه				●	
	پنج طبقه و بیشتر					●
سطح اشغال بنا	۰-۲۵ درصد		●			
	۲۵-۵۰ درصد			●		
	۵۰-۷۵ درصد				●	
	۷۵-۱۰۰ درصد					●

www.SID.ir

Archive OF SID

ادامه جدول ۱

کاربری اراضی	مسکونی				•	
	تجاری			•		
	مراکز آموزشی و درمانی		•			
	تاسیسات‌و تجهیزات	•				
	ادارای و نظامی	•				
مساحت قطعات تفکیکی	کمتر از ۱۰۰ متر مربع					•
	۱۰۰-۲۵۰متر مربع				•	
	۲۵۰-۵۰۰ مترمربع			•		
	+۵۰۰ مترمربع		•			
وضعیت قرارگیری قطعه دربلوک	وسط		•			
	کنار			•		
	منفرد				•	
تعداد همسایگی ها	بدون همسایگی					•
	۱ همسایه				•	
	۲ همسایه			•		
	۳ همسایه و بیشتر		•			
مصالح نما	شیشه				•	
	کاه گل			•		
	آجر		•			
	سیمان و سنگ	•				

مأخذ : نگارندگان

چارچوب مفهومی مدل AHP

فرآیند تحلیل‌سلسله‌مراتبی (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 چندمعیاری، ابتدا در سال ۱۹۸۰به وسیله توماس‌ال‌ساعتی، پیشنهاد گردید و تاکنون کاربردهای متعددی در علوم مختلف داشته است *(زبردست، ۱۳۸۰: ۱)*. این روش از پیچیدگی مفهومی تصمیم‌گیری به‌طور قابل توجهی می‌کاهد، زیرا تنها دو مؤلفه (مقایسه دودویی) در یک زمان بررسی می‌گردند. این روش شامل

www.SID.ir

Archive OF SID

سه گام اصلی: الف) تولید ماتریس مقایسه دوتایی، ب) محاسبه وزن‌های معیار و ج) تخمین نسبت توافق است. برای تعیین وزن معیارها و عناصر ساختمانی (اصلی و فرعی) و طراحی سناریوهای مختلف جهت مدل‌سازی آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله دنبال شده و نتیجه‌ی آن در محیط GIS برای تعیین میزان آسیب‌پذیری شهر در برابر زلزله با در نظر گرفتن عناصر مورد نظر انجام و در نهایت به ارایه سناریوهای لازم و ارزیابی آسیب‌پذیری انسانی و اقتصادی مورد استفاده قرار گرفته است (جدول شماره ۲).

جدول۲ : ماتریس مقایسه دوتایی معیارهای ارزیابی

معیارها	[illegible]	قدمت بنا	کیفیت بنا	تعداد طبقات	سطح اشغال	کاربری اراضی	اندازه قطعه	وضعیت قرارگیری قطعه	تعداد همسایه	مصالح نما	حاصلضرب وزن‌ها	وزن‌های نرمال نشده	وزن نهایی معیارها
مصالح اسکلت	۱	۹	۹	۹	۹	۹	۹	۹	۹	۹	۳۸۷۴۲۰۸۴۹	۷,۲۲۵	۰,۴۵۸
قدمت بنا	۰,۱۱	۱	۲	۲	۳	۳	۴	۴	۵	۷	۲۲۳۷,۷۶	۲,۱۶۳	۰,۱۳۶
کیفیت بنا	۰,۱۱	۰,۵۰	۱	۲	۲	۳	۳	۳	۳	۵	۸۹,۹۱	۱,۵۶۸	۰,۰۹۹
تعداد طبقات	۰,۱۱	۰,۵۰	۰,۵۰	۱	۲	۲	۲	۳	۳	۴	۷,۹۹۲	۱,۲۳۱	۰,۰۷۵
سطح اشغال	۰,۱۱	۰,۳۳	۰,۵۰	۰,۵۰	۱	۲	۲	۳	۳	۳	۰,۹۹۸	۱	۰,۰۶۲
کاربری اراضی	۰,۱۱	۰,۳۳	۰,۳۳	۰,۵۰	۰,۵۰	۱	۲	۲	۳	۳	۰,۱۱۱	۰,۸۰۳	۰,۰۵۳
اندازه قطعه	۰,۱۱	۰,۲۵	۰,۳۳	۰,۵۰	۰,۵۰	۰,۵۰	۱	۲	۲	۳	۰,۰۱۴	۰,۶۵۲	۰,۰۴۰
وضعیت قرارگیری قطعه در بلوک	۰,۱۱	۰,۲۵	۰,۳۳	۰,۳۳	۰,۳۳	۰,۵۰	۰,۵۰	۱	۲	۲	۰,۰۰۱	۰,۵۰۲	۰,۰۳۰
تعداد همسایگی	۰,۱۱	۰,۲۰	۰,۳۳	۰,۳۳	۰,۳۳	۰,۳۳	۰,۵۰	۰,۵۰	۱	۲	۰,۰۰۰۰۱	۰,۴۱۱	۰,۰۲۶
مصالح نما	۰,۱۱	۰,۱۴	۰,۲۰	۰,۲۵	۰,۳۳	۰,۳۳	۰,۳۳	۰,۵۰	۰,۵۰	۱	۰,۰۰۰۰۰۷	۰,۳۰۷	۰,۰۱۹
									مجموع		۳۸۷۴۲۲۸۲۶	۱۵,۸۶۰	۱

مأخذ : نگارندگان

www.SID.ir

Archive OF SID

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

یکی از مزیّت‌های فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، امکان بررسی سازگاری در قضاوت‌های انجام شده برای تعیین ضریب اهمیت معیارها و زیرمعیارها است. به عبارتی دیگر در تشکیل ماتریس مقایسه دودویی 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 Ai از Aj مهمتر باشد و Aj از Ak مهمتر، قاعدتاً باید Ai از Ak مهم‌تر باشد. اما علی‌رغم همه‌ی کوشش‌ها، رجحان و احساس‌های مردم غالباً ناهماهنگ و نامتعدی هستند. پس سنجه‌ای را باید یافت که میزان ناهماهنگی داوری‌ها را نمایان سازد *(زبردست به نقل از توفیق، ۱۳۷۲: ۴۲)*. با توجه به توضیحات ارائه شده، چنانکه مقدار $CR \leq 0.1$ (نسبت توافق) باشد، نشان‌دهنده‌ی این‌است که سازگاری لازم درقضاوت‌ها رعایت شده و در صورتی‌که این مقدار از ۰,۱ بیشتر باشد در آن صورت می‌بایستی تجدید نظر در قضاوت‌ها صورت بگیرد. در مطالعه‌ی حاضر مقدار نسبت توافق برابر ۰,۰۴۹۳ برآورد گردیده است که حاکی از آن است که سازگاری لازم در قضاوت‌ها صورت گرفته است.

ارزیابی آسیب‌پذیری کلی

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

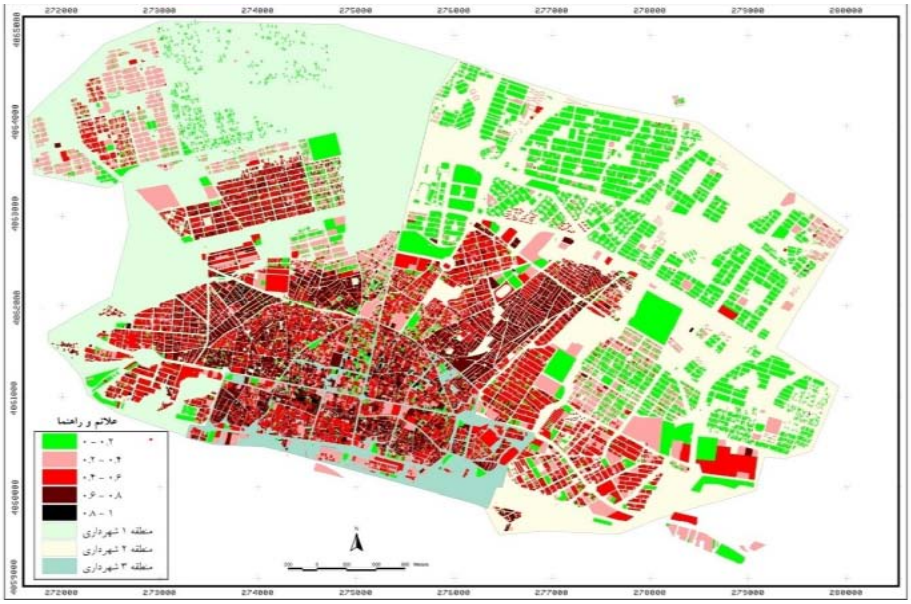
فازی‌سازی نقشه آسیب‌پذیری کلی

از آنجایی‌که معیارهای ارزیابی با مقیاس‌های مختلف اندازه‌گیری ارائه می‌شوند، برای این‌که بتوان آنها را به یک مقیاس مشترک تبدیل نمود، نیاز به استانداردسازی دارند. علاوه بر نظریه فازی چندین روش ازجمله تابع انتقال مقیاس‌خطی، تابع مقدار (ارزش) و احتمالات تجدیدنظر

www.SID.ir

Archive OF SID

شونده می‌تواند برای استانداردسازی نتایج حاصله از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به این‌که منطق فازی دامنه‌ی وسیعی از تابع عضویت را در مقایسه با سایر متدهای استانداردسازی ارائه می‌دهد، این مدل می‌تواند با به‌کارگیری توصیفات غیرعددی یک روشی بسیار قوی در مورد برهان شباهت‌های انسانی در استفاده از داده‌ها و اطلاعات تقریبی و غیرقطعی برای تصمیم‌گیری ارائه نماید *(Rashed,2003:7)*. مجموعه‌های فازی با توجه به ماهیت و نوع کاربردها از انواع توابع مانند تابع آستانه‌ی خطی، سیگمونیدال، S شکل و J شکل استفاده می‌شود. در این تحقیق با توجه به ماهیت لایه‌ها و معیارها از تابع آستانه‌ی خطی استفاده شده است (شکل۲) .



شکل ۲ : نقشه توزیع فضایی میزان آسیب‌پذیری کلی بر اساس معیارهای به کار رفته بر اساس روش تحلیل سلسله‌مراتبی *مأخذ: نگارندگان*

طراحی سناریو برای ارزیابی آسیب‌پذیری شهر در برابر شدت‌های مختلف زلزله

نقشه‌ی فازی‌سازی شده از روش تحلیل فرآیند سلسله مراتبی و ارزیابی چند معیاره صرفاً نشان‌دهنده‌ی میزان آسیب‌پذیری کلی با در نظر گرفتن معیارهای مورد استفاده می‌باشد. برای ارزیابی دقیق آسیب‌پذیری لازم است که با استفاده از روابط موجود در این زمینه از جمله روش میزان متوسط آسیب به طراحی سناریوهای زلزله برای شدت‌های مختلف پرداخت و در

www.SID.ir

Archive OF SID

نهایت با توجه به تحلیل‌های حاصله ارزیابی دقیقی از میزان تلفات انسانی و خسارات وارده به ساختمان‌ها میسر شود.

برای این منظور ابتدا از طریق رابطه‌ی شماره‌ی ۱ به محاسبه متوسط درجات آسیب ساختمان‌ها در برابر شدت‌های مختلف زلزله پرداخته می‌شود *(Milutinovic,2003:36)*.

رابطه‌ی شماره ۱

$$\mu_D = 2.5\left[1 + \tanh\left(\frac{I + 6.25\ \overline{Vi} - 13.1}{2.3}\right)\right]$$

که در آن:

μ_D نشانگر متوسط درجه آسیب.

I نشانگر شدت زلزله بر اساس واحد مرکالی اصلاح شده.

$\overline{Vi}$ مقدار آسیب‌پذیری حاصله از اعمال روش تحلیل‌سلسله‌مراتبی و چندمعیاری.

با توجه به این رابطه مقدار آسیب وارده به هر واحد ساختمانی را می‌توان در ۶ گروه عمده مورد طبقه‌بندی قرار داد : (جدول شماره۳).

جدول ۳ : درجه‌بندی آسیب وارده به ساختمان‌ها

درجه آسیب	محدوده (دامنه)	شرح	میزان آسیب وارده به ساختمان ٪
D0	۰	بدون آسیب	۰
D1	۰,۰-۰,۲	آسیب جزئی‌وقابل اغماض	۰
D2	۰,۲-۰,۴	آسیب متوسط	۲
D3	۰,۴-۰۶	آسیب قابل‌توجه تاسنگین	۱۰
D4	۰,۶-۰,۸	آسیب بسیار سنگین	۵۰
D5	۰,۸-۱	نابودی کامل	۱۰۰

Source:Coburn Andrew, Spence, Robin,2002,322.

معمولاً با توجه به محاسبات انجام شده، احتمال این‌که ساختمان‌هایی دارای درجه آسیب صفر باشد ضعیف است، لذا در اکثر موارد درجه آسیب ساختمان‌ها در ۵ گروه در نظر گرفته می‌شود. در پژوهش حاضر با در نظر گرفتن نتایج حاصله از روش بالا تحلیل آسیب‌پذیری مناطق مختلف شهری زنجان در سه سناریوی مختلف زلزله با شدت‌های ۷،۶و ۸ مرکالی انجام گرفته است (اشکال شماره ۳ و۴).

www.SID.ir

Archive OF SID

یافته‌های تحقیق

با توجه به شکل شماره‌ی ۲ و جدول شماره‌ی ۴ می‌توان گفت که شهرک‌های پیرامونی شهر زنجان به دلیل برخورداری از مصالح مقاوم در ساخت و ساز و هم‌چنین رعایت استانداردهای رایج در کشور از جمله آیین‌نامه ۲۸۰۰ آسیب‌پذیری بسیار کمتری دارند. درحالی‌که مناطق واقع شده در بافت مرکزی شهر و هم‌چنین بافت‌های مجاور به این مناطق به دلیل استفاده از مصالح کم‌دوام در ساخت و ساز و هم‌چنین بالا بودن عمر ساختمان‌های موجود در آن آسیب‌پذیری نسبتاً بالایی دارند. برای تحلیل بهتر و دقیق‌تر نقشه‌ی فوق و هم‌چنین مطالعه دقیق میزان آسیب‌پذیری مناطق مختلف شهر زنجان، نتایج به‌صورت کمّی مورد استخراج قرار گرفت که در جدول شماره‌ی ۴ آورده شده است.

جدول ۴ : توزیع آماری آسیب‌پذیری ساختمان‌ها ومساکن شهری زنجان بر مبنای روش AHP

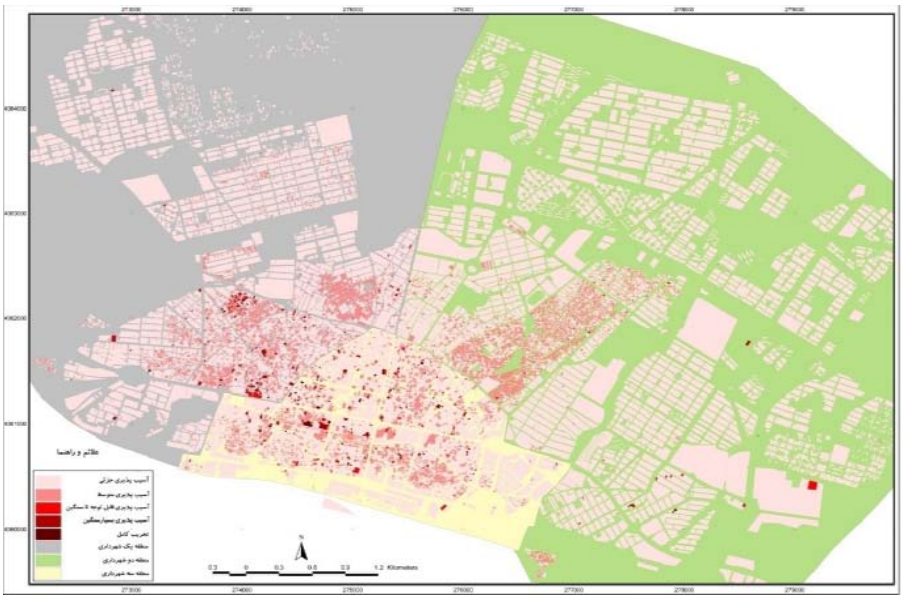
میزان آسیب‌پذیری	دامنه آسیب‌پذیری	منطقه ۱			منطقه ۲			منطقه ۳		
		تعداد ساختمان	درصد درمنطقه	درصد درشهر	تعداد ساختمان	درصد درمنطقه	درصد درشهر	تعداد ساختمان	درصد درمنطقه	درصد درشهر
آسیب‌پذیری خیلی کم	۰ - ۰,۲	۲۲۵۸	۹	۳,۴۹	۱۱۴۶۶	۴۱,۵۳	۱۷,۷۲	۶۳۷	۵,۲۹	۰,۹۸
آسیب‌پذیری کم	۰,۲ – ۰,۴	۵۷۹۷	۲۳,۱۲	۸,۹۶	۳۸۶۷	۱۴,۰۱	۵,۹۸	۱۶۰۸	۱۳,۳۶	۲,۴۸
آسیب‌پذیری متوسط	۰,۴ – ۰,۶	۸۷۴۷	۳۴,۸۸	۱۳,۵۲	۶۲۰۱	۲۲,۴۶	۹,۵۸	۴۹۰۶	۴۰,۷۶	۷,۵۸
آسیب‌پذیری بالا	۰,۶ – ۰,۸	۷۹۶۰	۳۱,۷۴	۱۲,۳۰	۵۹۶۴	۲۱,۶۰	۹,۲۲	۴۴۶۸	۳۷,۱۲	۶,۹۰
آسیب‌پذیری خیلی بالا	۰,۸ – ۱	۳۱۶	۱,۲۶	۰,۴۹	۱۱۳	۰,۴۱	۰,۱۷	۴۱۸	۳,۴۷	۰,۶۵
مجموع		۲۵۰۷۸	۱۰۰	۳۸,۷	۲۷۶۱۱	۱۰۰	۴۲,۶۳	۱۲۰۳۳	۱۰۰	۱۸,۶۶

مأخذ: نگارندگان

بررسی جدول بالا نشان می‌دهد که تنها حدود ۲۷,۷ درصد از ساختمان‌ها و مساکن شهری با در نظر گرفتن عوامل رفتاری و عناصر فرعی ساختمان‌ها با استفاده از روش AHP آسیب‌پذیری خیلی کمتری دارند که در این بین منطقه‌ی دو شهر زنجان با ۱۷,۷۲ درصد بیشترین درصد را نسبت به سایر مناطق شهر دارا بوده و از وضعیت نسبتاً مطلوبی برخوردار است. همچنین نتایج حاصله نشان می‌دهد که در حدود ۳۰,۶۸ درصد از ساختمان‌ها آسیب‌پذیری متوسط دارند که در این بین منطقه‌ی یک بیشترین مقدار آسیب‌پذیری متوسط و منطقه سه کمترین مقدار آسیب‌پذیری متوسط دارند. طبق نتایج حاصله هم‌چنین در حدود ۱,۳۱ درصد از ساختمان‌ها آسیب‌پذیری خیلی بالا دارند که منطقه‌ی سه بیشترین مقدار یعنی ۰,۶۵ و منطقه دو کمترین مقدار یعنی ۰,۴۱ درصد می‌باشد.

www.SID.ir

Archive OF SID

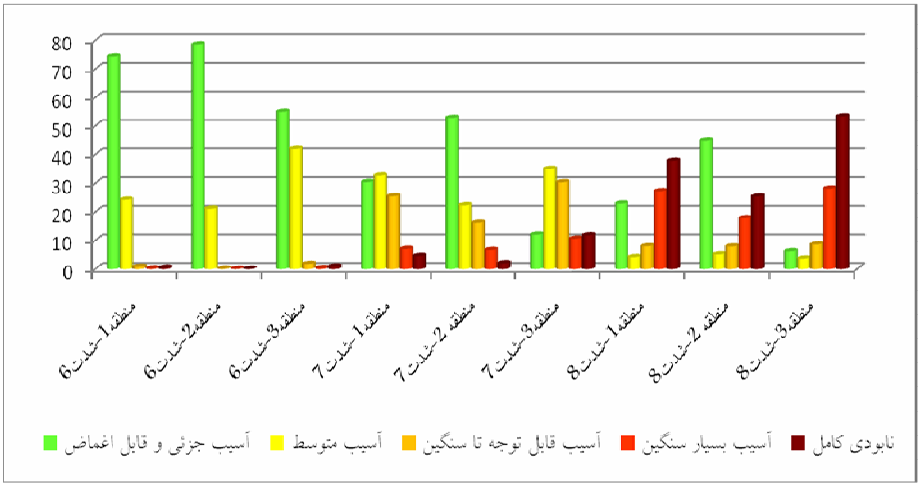


شکل ۳ : نقشه‌ی توزیع فضایی و طبقه‌بندی آسیب وارده به ساختمان‌ها
در زلزله‌ی با شدت ۶ مرکالی (سناریوی اول) *مأخذ : نگارندگان*

شکل ۴ : نقشه‌ی توزیع فضایی و طبقه‌بندی آسیب وارده به ساختمان‌ها
در زلزله‌ی با شدت ۸ مرکالی (سناریوی سوم) *مأخذ : نگارندگان*

www.SID.ir

Archive OF SID



شکل ۵ : نمودار میزان آسیب‌پذیری ساختمانی مناطق مختلف شهری زنجان در برابر شدت‌های مختلف زلزله

مأخذ: نگارندگان

جدول ۵ : توزیع آماری آسیب به ساختمان‌های شهر زنجان به تفکیک مناطق سه‌گانه در زلزله‌های با شدت مختلف

منطقه	تعداد ساختمان‌ها	درصد ساختمان‌ها	درجات آسیب	شدت ۶ مرکالی(سناریوی اول)			شدت ۷ مرکالی(سناریوی دوم)			شدت ۸ مرکالی(سناریوی سوم)		
				تعداد ساختمان‌ها	درصد منطقه	درصد از کل شهر	تعداد ساختمان‌ها	درصد منطقه	درصد از کل شهر	تعداد ساختمان‌ها	درصد منطقه	درصد از کل شهر
منطقه ۱	۲۵۰۵۵	۳۸,۷	۱	۱۸۶۰۳	۷۴,۲۵	۲۸,۷۷	۷۶۱۴	۳۰,۴۳	۱۱,۷۷	۵۷۲۸	۲۲,۸۹	۸,۸۶
			۲	۶۰۷۲	۲۴,۲۳	۹,۳۲	۸۱۷۴	۳۲,۶۶	۱۲,۶۴	۱۰۴۵	۴,۱۸	۱,۶۲
			۳	۲۰۴	۰,۸۱	۰,۳۲	۶۳۷۱	۲۵,۴۶	۹,۸۵	۱۹۹۰	۷,۹۵	۳,۰۸
			۴	۴۰	۰,۲۲	۰,۰۶	۱۷۵۲	۷	۲,۷۱	۶۸۱۶	۲۷,۲۴	۱۰,۵۴
			۵	۱۰۸	۰,۴۹	۰,۱۷	۱۱۴۴	۴,۵۷	۱,۷۷	۹۴۷۶	۳۷,۸۷	۱۴,۶۵
منطقه ۲	۲۷۵۷۴	۴۲,۶	۱	۲۱۶۶۹	۷۸,۵۸	۳۳,۵۱	۱۴۵۸۷	۵۲,۹۰	۲۲,۵۶	۱۲۲۶۴	۴۵	۱۸,۹۶
			۲	۵۸۲۴	۲۱,۱۲	۹,۰۱	۶۱۵۱	۲۲,۳۱	۹,۵۱	۱۴۰۵	۵,۱۶	۲,۱۷
			۳	۴۱	۰,۱۵	۰,۰۶	۴۴۴۷	۱۶,۱۳	۶,۸۸	۲۱۴۲	۷,۸۶	۳,۳۱
			۴	۲۰	۰,۰۷	۰,۰۳	۱۸۲۶	۶,۶۲	۲,۸۲	۴۸۴۸	۱۷,۷۹	۷,۵۰
			۵	۲۰	۰,۰۷	۰,۰۳	۵۶۳	۲,۰۴	۰,۸۷	۶۹۱۵	۲۵,۳۷	۱۰,۶۹
منطقه ۳	۱۲۰۳۹	۱۸,۶	۱	۷۴۶۲	۵۵,۱	۱۱,۵۴	۱۴۵۶	۱۲,۰۹	۲,۲۵	۷۴۶	۶,۲	۱,۱۵
			۲	۳۲۶۵	۴۱,۹۳	۵,۰۵	۴۲۲۱	۳۵,۰۶	۶,۵۳	۴۴۲	۳,۶۷	۰,۶۸
			۳	۶۰۷	۱,۸۳	۰,۹۴	۳۶۵۶	۳۰,۳۷	۵,۶۵	۱۰۳۴	۸,۵۹	۱,۶۰
			۴	۴۰۷	۰,۳۳	۰,۶۳	۱۲۸۰	۱۰,۶۳	۱,۹۸	۳۳۸۷	۲۸,۱۳	۵,۲۴
			۵	۲۹۸	۰,۹	۰,۴۶	۱۴۲۶	۱۱,۸۴	۲,۲۱	۶۴۳۰	۵۳,۵۱	۹,۹۴
مجموع	۶۴۶۶۸	۱۰۰		۶۴۶۶۸	-	۱۰۰	۶۴۶۶۸	-	۱۰۰	۶۴۶۶۸	-	۱۰۰

مأخذ: محاسبات آماری توسط نگارندگان

www.SID.ir

Archive OF SID

تحلیل میزان آسیب‌پذیری ساختمانی مناطق شهری زنجان

نتایج به‌دست آمده از تحلیل درجات آسیب با در نظر گرفتن سه سناریوی مختلف زلزله در شدت‌های ۶،۷ و ۸ مرکالی نشان می‌دهد که میران آسیب وارده به ساختمان‌ها در منطقه‌ی ۳ در هر سه سناریو بیشتر از سایر مناطق است به‌طوری‌که دریک زلزله‌ی احتمالی با شدت ۸ مرکالی حدود ۵۳،۵۱ درصد از ساختمان‌ها دچار تخریب و به ۲۸،۱۳ درصد از ساختمان‌ها آسیب‌های جدی وارد خواهد شد، در این منطقه تنها ۶،۲ درصد از ساختمان‌ها دارای آسیب‌های جزئی خواهند شد که عمدتاً مربوط به ساختمان‌های تجاری و مسکونی جدیدالاحداث است که به‌صورت پراکنده در داخل بافت و یا در لبه‌های خیابان‌های اصلی احداث شده‌اند (جدول ۵). دلایل آسیب‌پذیری در این منطقه را می‌توان استفاده ازمصالح کم‌دوام نظیر خشت و گل و آجر و چوب و عمر نسبتاً بالای ساختمان‌ها در این منطقه دانست، زیرا این منطقه اولین خاستگاه شهری بوده و بناهای ایجاد شده بدون کمترین توجه به آیین‌نامه‌های ساختمانی احداث شده‌اند (شکل ۵).

هم‌چنین نتایج تحلیل نشان می‌دهد که منطقه‌ی ۱ در رتبه‌ی دوم آسیب‌پذیری قرار می‌گیرد. در این منطقه در یک زلزله‌ی احتمالی با شدت ۸ مرکالی حدود ۳۷،۸۷ درصد از ساختمان‌ها دچار تخریب کامل می‌شوند و به ۲۷،۲۴ درصد از ساختمان‌های موجود آسیب‌های سنگین وارد خواهد شد و ۲۲،۸۹ درصد از ساختمان‌ها دارای آسیب‌پذیری جزئی خواهند بود که عمدتاً شامل شهرک‌های جدیدالاحداث واقع شده در منطقه‌ی نظیر الهیه و کوی فرهنگ است. علت اصلی آسیب‌پذیری بالای این منطقه را می‌توان تراکم بسیار بالای ساختمانی در بافت‌های مسأله‌دار واقع شده در این منطقه دانست، زیرا همان‌طوری‌که قبلا اشاره شد مناطقی مثل اسلام‌آباد و فرودگاه با آن‌که در ساخت و سازها از مصالح مقاوم از جمله آهن و سیمان و آجر استفاده کرده‌اند ولی شهرنشینی بی‌سابقه بعد از انقلاب اسلامی و توسعه‌ی سریع این قبیل بافت‌ها در اکثر شهرهای کشور و به‌دنبال آن شهرسازی بدون ضابطه و بدون برنامه‌ریزی در این‌گونه مناطق، باعث شده که این مناطق درصورت وقوع زمین‌لزره‌های احتمالی با خسارات و تلفات سنگینی مواجه خواهد شوند.

آمارهای به‌دست آمده از تحلیل درجات مختلف آسیب نشان می‌دهند که منطقه‌ی ۲ شهر زنجان دچار کمترین مقدار آسیب نسبت به سایر مناطق خواهد شد. در این منطقه در صورت بروز زلزله ای با شدت ۸ مرکالی ۲۵،۳۷ درصد ساختمان‌ها دچار تخریب کامل می‌شوند و به ۱۷،۷۹ درصد از ساختمان‌ها آسیب های سنگین وارد خواهد شد. در این منطقه ۴۵ درصد از

www.SID.ir

Archive OF SID

ساختمان‌ها با آسیب‌پذیری کم مواجه خواهند شد، زیرا اکثر ساختمان‌های واقع شده در این منطقه نوساز بوده و علاوه بر استفاده از مصالح با دوام در ساخت و ساز، رعایت آیین‌نامه‌های طراحی ساختمان‌ها در برابر زلزله اثر بخشی مثبتی از خود بر جای گذاشته است. در این منطقه واقع شدن بافت مسأله داری به نام بی سیم سبب شده که آمار آسیب‌پذیری کمی بیشتر شود، زیرا این بافت هم دارای شرایط اکثر بافت‌های مسأله دار است و عدم رعایت آیین‌نامه‌ها در ساخت و ساز و شهرنشینی سریع باعث آسیب‌پذیری بیشتر آن شده است.

تخمین و ارزیابی تعداد آسیب‌دیدگان

مهمترین هدف برنامه‌های کاهش آسیب‌پذیری شهرها در برابر زلزله، حفظ حیات و زندگی ساکنین می‌باشد. برای مطالعات تخمین آسیب، ارزیابی میزان احتمالی تلفات‌انسانی(مجروحان و مردگان) ناشی از زلزله ضروری است. معمولاً عمده‌ترین تلفات‌انسانی زلزله ناشی از آسیب وارده به ساختمان‌ها وسازها بوده و طبق برآوردهای انجام شده در زلزله‌های به وقوع پیوسته در جهان بالای ۷۵ درصد از مرگ و میرها در زلزله ناشی از ریزش مستقیم ساختمان‌ها بوده و اگر حوادث ثانویه زلزله را هم به آن اضافه کنیم بیش از ۹۰ درصد مرگ و میرها به ریزش ساختمان‌ها بر می‌گردد.

برای تخمین تلفات انسانی زلزله از نظریه‌ای تحت عنوان نسبت مرگ‌آوری برای هر کدام از ساختمان‌ها که در درجات آسیب‌پذیری قرار می‌گیرند، استفاده می‌شود. نسبت مرگ‌آوری[1] به‌عنوان نسبتی از تعداد افراد کشته شده با تعداد ساکنین موجود در حین ریزش ساختمان تعریف می‌شود. بنابراین تخمین تلفات تابعی از تخمین تعداد ساختمان‌های تخریب‌شده در هر گروه از درجات آسیب می‌باشد، با استفاده از این روش می‌توان نسبت مرگ‌آوری هر یک از ساختمان‌های موجود در شهر را مورد ارزیابی و تخمین قرار داد *(Coburn,2002:238)*.

نسبت مرگ‌آوری می‌تواند با عملکرد سازه در برابر زلزله، سطح اشغال، نوع مکانیسم‌ریزش، مشخصات زلزله از جمله شدت و فاصله‌ی کانونی زلزله تا شهر مورد نظر، رفتار ساکنین و آموزش‌های داده شده به آنان، تراکم جمعیّت، تعداد طبقات ساختمان، و زمان وقوع زلزله و... ارتباط مستقیم داشته باشد.

1-Lethality Ratio(LR)

www.SID.ir

Archive OF SID

برای محاسبه‌ی میزان تلفات ناشی از زلزله به اطلاعاتی نظیر توزیع فضایی شدت زلزله و میزان خسارات وارده به ساختمان‌ها، سیستم طبقه‌بندی مناسب ساختمان‌ها، آمار توزیع هر کدام از ساختمان‌های واقع شده در درجات مختلف آسیب و ماتریس تیپولوژی ساختمانی۱ و جمعیت هر کدام از واحدهای مسکونی و یا متوسط آن مورد نیاز می‌باشد. از این‌رو ارزیابی و تخمین زمانی می‌تواند به واقعیت نزدیک باشد که نقشه‌ی توزیع ساختمان‌ها به‌صورت پلاکی و تک‌به‌تک تهیه‌شود و در صورت استفاده از داده‌های بلوکی آمار نتایج و تخمین‌های صورت گرفته آمده تا حدود زیادی از واقعیت دور خواهد بود. برای ارزیابی میزان تلفات انسانی در این مقاله از معادله‌ی زیر استفاده شده است *(Lantada,2008:16)*:

رابطه‌ی شماره ۲ : $$K_S = C.\left[M1.M2.M3.\left(M4 + M5\left(1 - M4\right)\right)\right]$$

که در آن :

K_S : تعداد آسیب‌دیدگان در زلزله، شامل مردگان و مجروحان؛

C: تعداد ساختمان‌های تخریب‌شده بر اساس شدت‌های مختلف زلزله؛

M1 : تعداد افراد ساکن در هر واحد ساختمانی؛

M2 : درصد ساکنین مستقر در واحدهای ساختمانی در حین وقوع زلزله که بسته به زمان وقوع زلزله و نوع کاربری ساختمان متغیّر است. به عنوان مثال اگر ارزیابی تلفات برای شب باشد، به طور متوسط این رقم معادل ۸۰ درصد در نظر گرفته می‌شود.

M3 : درصد تعداد ساکنین گرفتارشده در زیر آوار حاصل از ریزش ساختمان که این مورد می‌تواند بسته به نوع سازه متغیّر باشد که مقادیر استاندارد آن در جدول شماره ۶ آورده شده است.

M4 : درصد مرگ و میر افراد گرفتارشده در زیر آوار که این مورد به نوع سازه ساختمان ارتباط دارد و مقادیر آن برای ساختمان‌های مختلف در جدول شماره‌ی ۶ آورده شده است.

M5 : درصد مرگ‌ومیر بعد از ریزش می‌باشد که به‌طور مستقیم به مدیریت بحران بعد از زلزله ارتباط پیدا می‌کند به‌عنوان مثال اگر امدادرسانی و آواربرداری بلافاصله بعد از وقوع زلزله صورت بگیرد، مقدار آن خیلی کم و اگر امدادرسانی و آواربرداری به کندی صورت گیرد، مقدار زیاد خواهد شد.

1 -Building Typology Matrix(BTM)

www.SID.ir

Archive OF SID

جدول ۶ : مقادیر استاندارد و متوسط هریک از اجزای به کار رفته در معادله‌ی شماره‌ی ۱

نوع ساختمان	M2%	M3%	M4%				M5%
			درصد مجروحان جزئی	مجروحان نیاز به بستری شدن در بیمارستان	مجروحان با وضعیت وخیم	مردگان	
ساختمان‌های با مصالح بنایی	۸۰	۶۰	۳۰	۳۰	۲۵	۱۵	۶۰
ساختمان‌های اسکلت فلزی و بتنی	۸۰	۵۰	۱۰	۴۰	۱۰	۴۰	۹۰

Source :(Lantada,2008,13)

در مقاله‌ی حاضر برای تخمین مقدار خسارات انسانی در شهر زنجان ابتدا با توجه به روابط قبلی نقشه‌ی درجات آسیب‌پذیری ساختمان‌ها تهیه شده و سپس آسیب درجه ۵ به‌عنوان مبنای ارزیابی درنظر گرفته شد، زیرا با توجه به مطالب گذشته، در درجه آسیب ۵ ساختمان‌ها دچار تخریب کامل شده و از این رو مقدار C در معادله‌ی بالا از این روش به‌دست آمده است. بعد از به‌دست آوردن تعداد ساختمان‌های تخریب شده در شدت‌های مختلف با انتقال تعداد آن‌ها به بلوک‌های آماری ۱۳۸۵ با استفاده از امکانات تحلیلی سیستم اطلاعات جغرافیایی و انجام محاسبات لازم بر روی بلوک‌های آماری به تخمین تلفات انسانی شامل فوت‌شدگان و مجروحان احتمالی در منطقه‌ی مورد مطالعه پرداخته شد.

جدول ۷ : تعداد تلفات و خسارت انسانی زلزله در شدت‌های مختلف در مناطق شهری زنجان

نام منطقه	جمعیت در سال ۱۳۸۵	درصد حمعیت	مجروحان سبک	نیاز به بستری	محروجان وخیم	کل مجروحان	مردگان	شدت زلزله
یک	۱۴۷۵۶۵	۴۳,۴	۱۳۶	۱۱۶	۱۲۷	۳۷۹	۱۲۷	۶ مرکالی (سناریوی اول)
دو	۱۵۴۷۳۵	۴۵,۵	۱۹	۲۵	۱۴	۵۸	۱۵	
سه	۳۷۹۲۵	۱۱,۱	۱۷۰	۱۹۰	۱۲۹	۴۸۹	۱۵۰	
مجموع	**۳۴۰۲۲۵**	**۱۰۰**	**۳۲۵**	**۳۳۱**	**۲۷۰**	**۹۲۶**	**۲۹۲**	
یک	۱۴۷۵۶۵	۴۳,۴	۱۵۴۴	۱۱۴۴	۱۳۵۵	۴۰۴۳	۱۱۹۴	۷ مرکالی (سناریوی دوم)
دو	۱۵۴۷۳۵	۴۵,۵	۸۲۶	۵۲۲	۷۷۹	۲۱۲۷	۹۳۷	
سه	۳۷۹۲۵	۱۱,۱	۱۴۱۲	۱۱۱۳	۱۲۲۷	۳۷۵۲	۱۵۸۵	
مجموع	**۳۴۰۲۲۵**	**۱۰۰**	**۳۷۸۲**	**۲۷۷۹**	**۳۳۶۱**	**۹۹۲۲**	**۳۷۱۶**	
یک	۱۴۷۵۶۵	۴۳,۴	۹۹۳۸	۱۱۹۳۸	۱۲۰۴۵	۳۳۲۹۱	۱۰۹۸۵	۸ مرکالی (سناریوی سوم)
دو	۱۵۴۷۳۵	۴۵,۵	۷۲۴۵	۷۵۴۵	۷۹۸۷	۲۲۷۷۷	۷۹۱۴	
سه	۳۷۹۲۵	۱۱,۱	۵۲۲۸	۴۹۲۸	۵۶۱۳	۱۵۷۶۹	۵۳۳۸	
مجموع	**۳۴۰۲۲۵**	**۱۰۰**	**۲۲۴۱۱**	**۲۴۴۱۱**	**۲۵۶۴۵**	**۷۲۴۶۷**	**۲۴۲۳۷**	

مأخذ: نتایج سرشماری نفوس و مسکن ۱۳۸۵،محاسبات آماری توسط نگارندگان

www.SID.ir

Archive OF SID

تحلیل تلفات انسانی در مناطق شهری زنجان

بر اساس نتایج حاصله و به تبعیت از تحلیل آسیب‌پذیری ساختمان‌ها تحلیل تلفات انسانی در زلزله‌های احتمالی با شدت‌های مختلف به‌صورت جداگانه برای مناطق سه‌گانه‌ی شهر زنجان صورت گرفت. بر این اساس منطقه‌ی ۱ شهر زنجان در یک زلزله با شدت ۸ مرکالی در حدود ۱۰۹۸۵ نفر از جمعیت خود را از دست خواهد داد (جدول ۷). بالا بودن تلفات در این منطقه ناشی از تراکم بسیار بالای جمعیت در آن به‌ویژه در بافت‌های مسأله‌دار و اسکان غیررسمی است. تحلیل‌های انجام شده بر روی جمعیّت سال ۱۳۸۵ نشان می‌دهد که در بعضی از بلوک‌های آماری این بخش تراکم جمعیّت به بیش از ۲۵۰۰ نفر در هکتار می‌رسد که ناشی از کوچک بودن قطعات و واحدهای مسکونی است.

منطقه‌ی ۲ شهری زنجان از لحاظ آسیب‌پذیری وتلفات انسانی با۷۹۱۴ نفر در رتبه‌ی دوم قرار دارد که دلیل بالا بودن تلفات را در این منطقه می‌توان قرار گرفتن بافت مسأله‌دار و اسکان غیررسمی بی‌سیم در آن دانست، زیرا همچنان که قبلاً اشاره شد منطقه‌ی ۲ شهر زنجان عمدتاً مناطق جدیدالاحداث شهر و شهرک‌های پیرامونی شهر زنجان را شامل می‌شود که عموماً از مصالح بادوام و اصول مهندسی لازم در ساخت و ساز بهره‌مند هستند ولی قرار داشتن بافت مسأله‌دار بی‌سیم در این منطقه باعث بالا رفتن تعداد تلفات انسانی آن شده است. منطقه‌ی ۳ شهرزنجان برخلاف آسیب‌پذیری ساختمانی بالایی که دارد، با ۵۳۳۸ نفر در رتبه‌ی سوم قرار می‌گیرد. علت پایین بودن تعداد تلفات انسانی در این منطقه را می‌توان در تراکم پایین جمعیّتی آن جستجو نمود، زیرا این منطقه عمدتاً کاربری تجاری شهر را شامل می‌شود و واقع شدن بافت‌هایی همچون بازار و مراکز مذهبی مشخصه‌ی اصلی این منطقه می‌باشد که غالباً تراکم جمعیّت ساکن آن را تا حدود زیادی کاهش می‌دهد *(اشکال شماره ۶ و ۷)*.

www.SID.ir

Archive OF SID

شکل ۶ : نقشه‌ی توزیع فضایی تلفات‌انسانی به تفکیک مناطق شهری در زلزله با شدت ۶

در مقیاس مرکالی (سناریوی اول) *مأخذ : نگارندگان*

شکل ۷ : نقشه‌ی توزیع فضایی تلفات انسانی به تفکیک مناطق شهری در زلزله با شدت ۸

در مقیاس مرکالی (سناریوی سوم) *مأخذ: نگارندگان*

www.SID.ir

Archive OF SID

تخمین و ارزیابی خسارت اقتصادی به ساختمان‌ها

یکی دیگر از تخمین‌های صورت گرفته در این مقاله ارزیابی آسیب اقتصادی به ساختمان‌ها است با توجه به اینکه میزان آسیب وارده به ساختمان‌ها به نوع مصالح به‌کار رفته در آن‌ها بستگی دارد، لذا ساختمان‌هایی که از مصالح کم‌دوام و بدون رعایت اصول ساخت و ساز ایجاد شده‌اند، آسیب اقتصادی بالایی در زمان زلزله متحمل خواهند شد.

برای ارزیابی آسیب اقتصادی به ساختمان‌ها در شهر زنجان اولین‌گام ارزیابی آسیب‌پذیری و برآورد مقدار آسیب وارده به ساختمان‌ها بوده که در مطالب قبلی به آن پرداخته شده است. گام بعدی تعیین میزان خسارات وارده به ساختمان‌ها در گروه‌های مختلف آسیب است که برای این منظور از استانداردهای موجود در این زمینه از جمله ATC وRISK-UE وHAZUS استفاده شده و مقادیر خسارت به ساختمان‌ها در گروه‌های مختلف آسیب به‌دست آمده که در جدول شماره‌ی۷ آورده شده است. گام بعدی دراین ارتباط استخراج سطوح اعیانی ساختمان‌ها می‌باشد که با استفاده از نقشه‌های ۱:۲۰۰۰ شهری زنجان سطوح اعیانی هر ساختمان استخراج گردیده است. باتوجه به اینکه سطوح اعیانی ممکن است دارای طبقات متعدد باشد، لذا باتوجه با سه‌بعدی بودن نقشه‌های ۱:۲۰۰۰ شهر زنجان تعداد طبقات ساختمانی در شهر از طریق این نقشه‌ها استخراج گردیده و مراجعات میدانی در جهت کنترل نتایج به‌عمل آمده است.

یکی از پیچیده‌ترین اطلاعاتی که برای ارزیابی آسیب اقتصادی ساختمان‌ها مورد نیاز است قیمت خرید و فروش هر مترمربع از ساختمان‌ها است که برای این مورد با مراجعه مستقیم به مشاورین معتبر املاک در سطح شهر قیمت ساختمان‌ها برای تمام شهر به‌دست آمده، البته ذکر این نکته ضروری است که قیمت‌های به‌دست آمده برای شهریورماه ۱۳۸۷ بوده و با توجه به عدم ثبات قیمت مسکن در کشور ممکن است دارای تغییرات عدیده‌ای شود ولی هدف اصلی در این مقاله انجام این تحلیل است که در مطالعات مربوط به ارزیابی خسارت کمتر به آن توجه شده است. برای ارزیابی خسارات وارده به ساختمان‌ها از رابطه‌ی زیر استفاده شده است *(Lantada,2008:19)* .

رابطه‌ی شماره ۳ :
$$T_{\cos t} = \sum_{j=2}^{5} CS(j) = V_C \sum_{j=2}^{5} \sum_{k=1}^{Ntyp} \left[Area(k) P_S(j,k) RC(j,k) \right]$$

www.SID.ir

Archive OF SID

که در آن :

T_{cost} : مقدار خسارت وارد شده به هر ساختمان در درجات مختلف آسیب است.

V_C: قیمت هر مترمربع ساختمان در منطقه‌ی مورد مطالعه

Area (k) : مقدارکل‌مساحت اعیانی هرکدام از ساختمان‌ها واقع‌شده در درجه آسیب معین(در ساختمان‌های با بیش از یک طبقه این مقدار می‌بایستی درتعداد طبقات ساختمان ضرب شود.

P_s (j,k) : درصد خسارات وارده به ساختمان در درجات مختلف آسیب که در جدول شماره‌ی ۷ آورده شده است.

RC (j,k) : مقدار مطلق قیمت ساختمان در هر طبقه از آسیب.

تحلیل آسیب‌پذیری اقتصادی ساختمان‌ها

معمولاً در ارزیابی خسارات اقتصادی ساختمان‌ها چند عامل تعیین‌کننده وجود دارد که از میان آنها می‌توان به قیمت خرید و فروش، موقعیت مکانی هر ساختمان در شهر، نوع کاربری، ابعاد و تعداد طبقات هرکدام از ساختمان‌ها اشاره نمود. نتایج حاصله از تحلیل اقتصادی خسارات وارده به ساختمان‌ها نشانگر بالا بودن میزان خسارات وارده به منطقه‌ی ۳ است. بالا بودن میزان خسارت وارده به این منطقه به دلایلی همچون واقع شدن قسمت مرکزی و مرکز تجاری شهر و به‌علاوه قیمت خرید و فروش نسبتا بالای ساختمان‌های تجاری و فرسوده بودن قسمت‌های زیادی از این بافت مربوط می‌شود. میزان خسارت در این منطقه در یک زلزله احتمالی با شدت ۸ مرکالی حدود ۱۴،۰۴۷،۱۳۴ میلیون ریال برآورد شده که این رقم صرفاً ارزش اقتصادی ساختمان را شامل است و اگر آسیب وارده به لوازم و اجناس داخل ساختمان‌ها هم به آن اضافه شود رقم فوق‌العاده بالایی خواهد بود (جدول ۸) .

منطقه ۱ شهر زنجان از این لحاظ در رتبه دوم قرار می‌گیرد. میزان خسارات اقتصادی وارده به این منطقه در حدود ۹،۰۹۹،۱۱۳ میلیون ریال می‌باشد. از آنجایی‌که این منطقه از لحاظ قیمت ساختمان در مقایسه با بافت مرکزی شهر قیمت نسبتاً پایین دارد و با توجه به وسعت زیاد این رقم در مقایسه با منطقه ۳ رقم بالایی محسوب نمی‌شود.

بالاخره منطقه ۲ شهر زنجان از این لحاظ با ۸،۸۰۰،۸۸۳ میلیون ریال خسارت وارده به ساختمان‌ها در رتبه‌ی سوم قرار می‌گیرد که همان‌طوری‌که قبلاً هم اشاره شد، این خسارت‌ها عمدتاً متوجه بافت مسأله‌دار بی‌سیم می‌باشد و در سایر قسمت‌های این منطقه به دلیل نوساز بودن ساختمان‌ها خسارات زیادی به بار نخواهد آمد (اشکال شماره ۸ و ۹) .

www.SID.ir

Archive OF SID

جدول ۸ : میزان خسارات وارده شده به ساختمان‌ها در شدت‌های مختلف و به تفکیک مناطق شهری

منطقه	درجات آسیب	شدت ۶ مرکالی (سناریوی اول)			شدت ۷ مرکالی (سناریوی دوم)			شدت ۸ مرکالی (سناریوی سوم)		
		تعداد ساختمان‌ها	درصد منطقه	خسارت‌وارده (به‌میلیون‌ریال)	تعداد ساختمان‌ها	درصد منطقه	خسارت‌وارده (به‌میلیون‌ریال)	تعداد ساختمان‌ها	درصد منطقه	خسارت‌وارده (به‌میلیون‌ریال)
منطقه ۱	۱	۱۸۶۰۳	۷۴,۲۵	۰	۷۶۱۴	۳۰,۴۳	۰	۵۷۲۸	۲۲,۸۹	۰
	۲	۶۰۷۲	۲۴,۲۳	۸۶.۷۹۹	۸۱۷۴	۳۲,۶۶	۱۱۹.۶۸۸	۱۰۴۵	۴,۱۸	۲۳.۵۵۷
	۳	۲۰۴	۰,۸۱	۱۸.۸۷۴	۶۳۷۱	۲۵,۴۶	۴۵۰.۲۲۹	۱۹۹۰	۷,۹۵	۲۱۶.۲۷۴
	۴	۴۰	۰,۲۲	۳۲.۴۸۳	۱۷۵۲	۷	۵۹۵.۳۷۰	۶۸۱۶	۲۷,۲۴	۲.۲۲۳.۴۴۸
	۵	۱۰۸	۰,۴۹	۹۸.۵۱۵	۱۱۴۴	۴,۵۷	۸۰۹.۵۸۲	۹۴۷۶	۳۷,۸۷	۶.۶۳۵.۸۳۲
مجموع		۲۵۰۵۵	۱۰۰	۲۳۶.۶۷۳	۲۵۰۵۵	۱۰۰	۱.۹۷۴.۸۷۰	۲۵۰۵۵	۱۰۰	۹.۰۹۹.۱۱۳
منطقه ۲	۱	۲۱۶۶۹	۷۸,۵۸	۰	۱۴۵۸۷	۵۲,۹۰	۰	۱۲۲۶۴	۴۵	۰
	۲	۵۸۲۴	۲۱,۱۲	۵۷.۰۱۲	۶۱۵۱	۲۲,۳۱	۲۲۵.۴۷۰	۱۴۰۵	۵,۱۶	۱۰۱.۷۵۶
	۳	۴۱	۰,۱۵	۳.۰۵۶	۴۴۴۷	۱۶,۱۳	۳۳۳.۶۹۴	۲۱۴۲	۷,۸۶	۵۵۶.۸۰۷
	۴	۲۰	۰,۰۷	۸.۵۴۴	۱۸۲۶	۶,۶۲	۳۵۱.۱۳۱	۴۸۴۸	۱۷,۷۹	۳.۶۶۱.۹۶۱
	۵	۲۰	۰,۰۷	۲۱.۹۲۹	۵۶۳	۲,۰۴	۳۳۰.۲۵۴	۶۹۱۵	۲۵,۳۷	۴.۴۸۰.۳۵۹
مجموع		۲۷۵۷۴	۱۰۰	۹۰.۵۴۲	۲۷۵۷۴	۱۰۰	۱.۲۴۰.۵۴۹	۲۷۵۷۴	۱۰۰	۸.۸۰۰.۸۸۳
منطقه ۳	۱	۷۴۶۲	۵۵,۱	۰	۱۴۵۶	۱۲,۰۹	۰	۷۴۶	۶,۲	۰
	۲	۳۲۶۵	۴۱,۹۳	۱۴۹.۳۹۸	۴۲۲۱	۳۵,۰۶	۱۸۱.۶۲۲	۴۴۲	۳,۶۷	۳۴.۷۷۴
	۳	۶۰۷	۱,۸۳	۴۴.۳۴۲	۳۶۵۶	۳۰,۳۷	۶۰۲.۰۷۷	۱۰۳۴	۸,۵۹	۲۷۵.۵۰۹
	۴	۴۰۷	۰,۳۳	۴۲.۶۱۲	۱۲۸۰	۱۰,۶۳	۸۲۸.۲۶۷	۳۳۸۷	۲۸,۱۳	۳.۳۹۵.۱۷۲
	۵	۲۹۸	۰,۹	۱۸۹.۱۸۴	۱۴۲۶	۱۱,۸۴	۲.۴۹۰.۹۲۴	۶۴۳۰	۵۳,۵۱	۱۰.۳۴۱.۶۷۸
مجموع		۱۲۰۳۹	۱۰۰	۴۲۵.۵۳۷	۱۲۰۳۹	۱۰۰	۴.۱۰۲.۸۹۱	۱۲۰۳۹	۱۰۰	۱۴.۰۴۷.۱۳۴

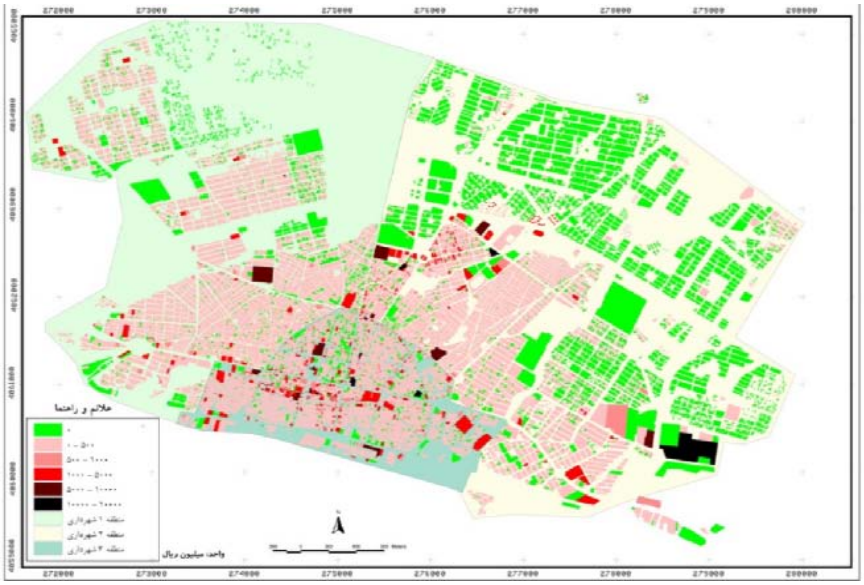
مأخذ: محاسبات آماری توسط نگارندگان

شکل ۸ : نقشه‌ی توزیع‌فضایی خسارات اقتصادی وارده به ساختمان‌ها در شدت ۶ مرکالی (سناریوی اول)

مأخذ: نگارندگان

www.SID.ir

Archive OF SID



شکل ۹ : نقشه‌ی توزیع‌فضایی خسارات اقتصادی وارده به ساختمان‌ها در شدت ۸ مرکالی (سناریوی سوم)

مأخذ: نگارندگان

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

آسیب‌پذیری شهری به میزان خسارتی اطلاق می‌شود که در صورت بروز سانحه بر اجزا و عناصر شهری وارد شده و مقدار آن برحسب ماهیت و کیفیت آن‌ها متفاوت می‌باشد. هم‌چنین به‌عنوان یک‌پدیده گسترده و همه‌جانبه بوده که تمامی عوامل موجود دریک شهر را دربرگرفته و به دلیل وابستگی عناصر به یکدیگر میزان آن به سرعت افزایش‌می‌یابد.

باتوجه به ضعف در زیرساختار داده‌های مکانی و خصیصه‌ای در کشور تاکنون ارزیابی دقیق و ریزپهنه‌بندی آسیب‌پذیری عناصر شهری در برابر زلزله صورت نگرفته و ارزیابی‌های صورت گرفته عمدتاً برپایه‌ی داده‌های نفوس و مسکن با بازه‌ی زمانی طولانی و به‌صورت نمونه‌برداری و سپس تعمیمی صورت‌گرفته و نتوانسته به تحلیل دقیقی از توزیع فضایی آسیب‌پذیری عناصر شهری در برابر زلزله منجر شود.

از آنجایی‌که بررسی همه‌جانبه‌ی تمامی عوامل آسیب‌پذیری شهری به‌طور 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 می‌باشد انجام شود. هم‌چنین با در نظر گرفتن نتایج حاصله از

www.SID.ir

Archive OF SID

این روش و تلفیق آن با سیستم اطلاعات جغرافیایی به طراحی سناریوهای مختلف زلزله در شدت‌های مختلف پرداخته شده و در نهایت مدل‌سازی آسیب‌پذیری شهر زنجان از بُعد ساختمانی انسانی و اقتصادی در برابر زلزله‌های با شدت مختلف انجام شد.

جمع‌بندی آسیب‌پذیری‌ساختمانی، انسانی و اقتصادی مناطق مختلف شهر زنجان نشان می‌دهد که منطقه‌ی ۳ شهر زنجان هم به لحاظ ساختمانی و هم به لحاظ اقتصادی، دارای بیشترین میزان آسیب‌پذیری و از لحاظ انسانی دارای کمترین مقدار نسبت به دو منطقه‌ی دیگر است، از این‌رو می‌توان گفت به لحاظ رتبه‌ای این منطقه بیشترین آسیب‌پذیری را در یک زلزله‌ی احتمالی با شدت ۸ مرکالی را خواهد داشت. منطقه‌ی۱ از لحاظ ساختمانی در رتبه‌ی دوم و از لحاظ انسانی در رتبه‌ی اول و از لحاظ اقتصادی در رتبه‌ی دوم قرار می‌گیرد، بدین‌ترتیب این منطقه از لحاظ مجموع آسیب‌پذیری بعد از منطقه‌ی۱ قرار می‌گیرد. در نهایت منطقه‌ی ۲ هم به لحاظ ساختمانی و هم به لحاظ اقتصادی در رتبه‌ی سوم و از لحاظ انسانی در رتبه‌ی دوم قرار می‌گیرد بدین ترتیب می‌توان به این نتیجه رسید که این منطقه نسبت به دومنطقه‌ی شهری زنجان از آسیب‌پذیری کمتری دربرابر زلزله‌های احتمالی برخوردار می‌باشد.

www.SID.ir

Archive OF SID

منابع

۱- آقاطاهر رضا و همکاران (۱۳۸۵). وزن‌دهی فاکتورهای مؤثر در آسیب‌پذیری لرزه‌ای شهر تهران، نشریه دانشکده فنی. جلد ۴۰. شماره ۸. دانشگاه تهران.

۲- احدنژاد، محسن و همکاران (۱۳۸۶). ارزیابی آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های حاشیه‌ای و غیررسمی در برابر زلزله با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، مجموعه مقالات اولین همایش GIS شهری. دانشگاه شمال.

۳- پویان، ژیلا و ناطقی‌الهی، فریبرز (۱۳۷۸). آسیب‌پذیری ابرشهرها در برابر زمین‌لرزه؛ مطالعه‌ی موردی شهر تهران، سومین کنفرانس‌بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله. تهران. جلد چهارم.

۴- زبردست،اسفندیار (۱۳۸۰). کاربردفرآیند تحلیل سلسله مراتبی دربرنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، نشریه هنرهای زیبا. شماره ۱۰. دانشگاه تهران.

۵- سازمان‌مسکن و شهرسازی استان زنجان (۱۳۸۶). نقشه‌های طرح تفضیلی تجدیدنظر شهرزنجان.

۶- سازمان نقشه‌برداری کشور (۱۳۷۹). نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۰۰۰ شهر زنجان.

۷- سیلاوی، طلوع و همکاران (۱۳۸۴). تهیه نقشه‌ی آسیب‌پذیری لرزه‌ای با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره مبتنی برریاضیات بازه‌ها و سیستم‌های اطلاعات مکانی، مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین‌المللی مدیریت جامع بحران در حوادث غیرمترقبه. تهران.

۸- عبدی،پرویز (۱۳۸۶). بررسی فعالیت‌های لرزه‌ای استان زنجان،مجموعه مقالات پنجمین کنفرانس بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله. انتشارات مؤسسه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.

۹- عزیزی، محمدمهدی 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.

۱۰- مرکز آمار ایران (۱۳۸۵). نتایج سرشماری نفوس و مسکن شهر زنجان.

۱۱- مهدیان، فرید (۱۳۸۱). آسیب‌پذیری ساختمان‌های تهران در برابر زلزله و چگونگی کاهش آسیب‌پذیری، مجموعه مقالات اولین سمینار ساخت و ساز در پایتخت. دانشگاه تهران.

12- Boroushaki Soheil, Malczewski Jacek (2008), Implementing an Extension of the Analytical Hierarchy Process Using Ordered Weighted Averaging Operators with Fuzzy Quantifiers in ArcGIS, Computers & Geosciences 34: 399 - 410.

13- Cardona Omar, Ordaz Mario (2008)., Earthquake Loss Assessment for Integrated Disaster Risk Management, Journal of Earthquake Engineering, 12:1, 48-59.

14- Chen Keping, Blong Russwll, Jacobson Carol (2001). MCE-Risk: Integrating Multicriteria Evolution and GIS for Risk Decision-Making in Natural Hazards, Environmental Modeling & Software,16:387-397.

www.SID.ir

Archive OF SID

15- Coburn Andrew, Spence, Robin (2002), Earthquake Protection, second edition John Wiley &son, Ltd .
16- HAZUS-MH MR3 Technical Manual (2007), Federal Emergency Management Agency (FEMA).
17- Lantada Nieves, Pujades Luis, Barbat, Alex (2008), Vulnerability Index and Capacity Spectrum Based Method for Urban Seismic Risk Evaluation, Journal of Nathazards, DOI 10.007/s11069-007-9212-4.
18- 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.
19- Rashed T, weeks John (2003), Assessing Vulnerability to Earthquake Hazards through Spatial Multi Criteria Analysis of Urban Areas, Geographical information Science,Vol17,no.6:547-576.
20- Roca A, Goula X, Susanga T (2006), A Simplified Method For Vulnerability Assessment of Dwellings Building and Estimation of Damage Scenarios in Catalonia-Spain, Bulletin of Earthquake Engineering 4:141-158.
21- Servi Mehmet(2004), Assessment of Vulnerability to Earthquake Hazards Using Spatial Multicriteria Analysis, Msc Thesis in Middle East Technical University, Turkey.
22- Shibata Akenori (2006), Estimation of earthquake damage to urban systems, Structural and Control Health Monitoring, 13:454–471.
23- Thapalia Ramesh(2006), Assessing Building Vulnerability for Earthquake Using Field Survey Data and Development Control Data, Msc Thesis in ITC, Netherlands.
24- Wu Qiang, Ye Siyuan, Wu Xiong, Chen Peipei, Risk assessment of earth fractures by constructing an intrinsic vulnerability map, a specific vulnerability map, and a hazard map, Environmental Geology 46:104–112.
25- Wu Kuei-Yang,Wey Wann (2007). Disaster Prevention for a Sustainable Community Using Fuzzy Analytic Hierarchy Process in Miaoli, Taiwan, Proceedings of the 3rd WSEAS International Conference on Mathematical Biology and Ecology, Gold Coast, Queensland, Australia.
26- Yamazaki Fumio(2005). Building Damage Mapping of the 2003 Bam, Iran, Earthquake Using Envisat/ASAR Intensity Imagery, Earthquake Spectra, Vol.21, No. S1.

www.SID.ir