

رتبه‌بندی مناطق مسکونی شهری در برابر مخاطرات زمین‌لرزه با استفاده از روش‌های آنالیز شانون و تاپسیس (مطالعه موردی: شهر آمل)

پرهام پهلوانی*

استادیار دانشکده مهندسی نقشه‌برداری و اطلاعات مکانی، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

میعاد بادپا

دانشجوی دکتری اکتشاف معدن، دانشکده مهندسی معدن، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران

(تاریخ ارسال ۱۳۹۹/۴/۲۸ - تاریخ پذیرش ۱۳۹۹/۸/۱۵)

چکیده

در این پژوهش، از روش‌های آنالیز شانون و تاپسیس برای رتبه‌بندی مناطق مسکونی شهری در برابر خطر زمین‌لرزه استفاده شد. بدین منظور، به صورت موردی در ۲۷ ناحیه از شهرستان آمل در استان مازندران، هشت متغیر شامل انرژی آزادشده زمین‌لرزه‌های ۲۰ سال اخیر برحسب تن TNT به‌ازای هر ناحیه، کیفیت ابنیه و ساختمان‌ها، تراکم مسکونی، تراکم ساختمانی، تراکم جمعیت، نفوذپذیری شبکه معابر، فضای باز شهری و عمق آب زیرزمینی بررسی شد. این متغیرها با استفاده از روش‌های آنالیز شانون و مدل تصمیم‌گیری چندشاخصه تاپسیس، براساس نزدیکی به ایدئال آسیب‌پذیری رتبه‌بندی شدند. در محاسبه انرژی آزادشده زمین‌لرزه‌های ۲۰ سال اخیر از داده‌های دقیق مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران استفاده شد، اما این مقادیر به دلیل کوتاه بودن دوره زمانی الزاماً گویای لرزه‌خیزی منطقه نبود و به همین علت وزن کمتری به این فاکتور اختصاص داده شد. در ادامه رتبه‌های به‌دست‌آمده از این تحلیل به نقشه شهر اضافه شده و ناحیه‌های شهری به بخش‌های دارای آسیب‌پذیری خیلی زیاد تا خیلی کم تقسیم شدند و نقشه پهنه‌بندی آسیب‌پذیری شهر تهیه شد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که ناحیه‌های مرکزی ۲۴، ۱۳، ۱۸، ۱۰ و ۱۲ آسیب‌پذیری خیلی زیاد و ناحیه‌های ۱۹، ۱۷، ۱۴ و ۱۶ آسیب‌پذیری زیادی در برابر زمین‌لرزه دارند. بر همین اساس، ناحیه‌های ۱۵، ۲۱، ۲، ۶، ۲۲، ۲۵، ۱۱، ۲۰، ۲۷ و ۴ آسیب‌پذیری متوسط، ناحیه‌های ۲۶، ۹، ۲۳، ۳، ۱ و ۵ آسیب‌پذیری کم و ناحیه‌های ۸ و ۷ آسیب‌پذیری خیلی کمی در برابر زلزله دارند.

واژه‌های کلیدی: آسیب‌پذیری شهری، آنالیز شانون، تاپسیس، زمین‌لرزه، مناطق مسکونی.

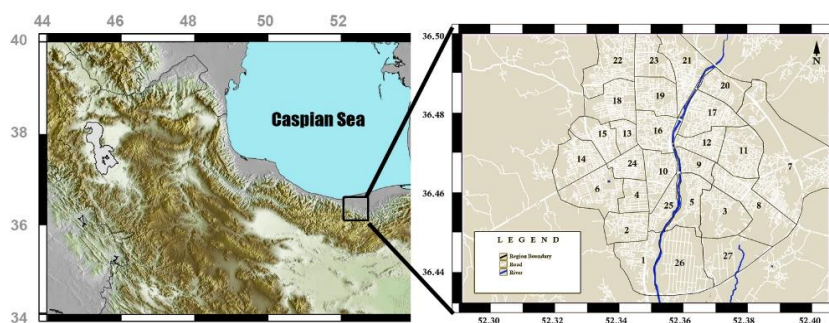
مقدمه

آسیب‌پذیری، تحمل اجتماعی و اقتصادی جامعه و به‌عبارتی، حد واکنش و مقابله جامعه یا قسمتی از آن در برابر مخاطرات محیطی است [۲، ۲۱].

ضرورت کاهش آسیب‌پذیری شهر در برابر زمین‌لرزه، از اهداف اصلی برنامه‌ریزی کالبدی، برنامه‌ریزی شهری و طراحی شهر است. ارزیابی پهنه‌های آسیب‌پذیر شهری، برای سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی در زمینه کاهش آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری در مقابل زمین‌لرزه و عواقب آن ضروری است [۶، ۷، ۱۳، ۱۷]. بر این اساس، امروزه وضعیت و شرایط مختلف قبل از رخداد زمین‌لرزه‌های احتمالی در شدت‌های مختلف شبیه‌سازی می‌شود و بر مبنای آن نقشه‌های پهنه‌بندی آسیب‌پذیری ساختمان‌های شهری تهیه و ارزیابی می‌شود [۲]. آنتروپی یکی از رویکردهای مدیریتی است که به‌منظور برخورد با بی‌نظمی، بی‌ثباتی، اغتشاش و تردیدهای موجود در یک سیستم استفاده می‌شود [۴]. آنتروپی شانون معیاری برای اندازه‌گیری حد عدم قطعیت در محتوای اطلاعات یک پارامتر است که تأثیر هر یک از پارامترها بر نتایج سیستم را محاسبه می‌کند [۲۴-۲۲، ۱۰، ۱۲]. روش تاپسیس برای رتبه‌بندی و انتخاب بهترین گزینه و تعیین فواصل بین گزینه‌ها و گروه‌بندی آنها استفاده می‌شود [۱۵، ۱۸، ۱۹، ۱۱، ۹، ۸، ۳]. از جمله مزیت‌های این روش آن است که معیارها یا شاخص‌های به‌کاررفته برای مقایسه ممکن است واحدهای سنجش متفاوتی داشته باشند [۲۰، ۲۵، ۱۶، ۱۴، ۵].

محدوده تحقیق

در این پژوهش، آسیب‌پذیری مناطق مسکونی شهر آمل در استان مازندران بررسی شد. محدوده تحقیق بین عرض‌های ۳۶ درجه و ۴۳ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۵۰ دقیقه شمالی و طول‌های جغرافیایی ۵۲ درجه و ۲۹ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۴۱ دقیقه شرقی واقع شده است (شکل ۱). محدوده شهری این نقشه شامل ۲۷ محدوده یا محله است.



شکل ۱. محدوده پژوهش در شهر آمل در استان مازندران شامل ۲۷ ناحیه شهری

روش تحقیق

تئوری آنتروپی شانون

آنتروپی شانون تابعی از توزیع احتمال و معیاری برای اندازه‌گیری میزان عدم قطعیت در محتوای اطلاعات یک پارامتر است و با در نظر گرفتن فرکانس وقوع زیرگروه‌های آن پارامتر، بیانگر سطح ناهمگونی است و بدین ترتیب، تأثیر هر یک از پارامترها را بر نتایج سیستم محاسبه می‌کند. فرض کنید $X=[x_1, x_2, \dots, x_n]$ با تابع توزیع $p(x)$ است. آنتروپی شانون به صورت رابطه ۱ تعریف می‌شود [۱، ۱۲]:

$$H(x) = \sum_{i=1}^n p_{(x_i)} \cdot \log_2 p_{(x_i)} \quad (1)$$

$H(x)$ بیانگر آنتروپی مجموعه X است. برای هر پارامتر با توجه به سطح ناهمگونی، یک ارزش کمی به‌عنوان وزن اختصاص داده شده و در نهایت اندکس آنتروپی با استفاده از وزن‌های محاسبه‌شده برای هر پارامتر، ارائه می‌شود. در این پژوهش از روابط ۲ تا ۴ برای محاسبه آنتروپی هر یک از پارامترها استفاده شد [۱، ۱۲]:

$$p_{ij} = \frac{n}{a} \quad (2)$$

$$E_{ij} = -(p \log_2 p) \quad (3)$$

$$E_j = \sum p \log_2 p \quad (4)$$

پارامترهای n و a به ترتیب بیانگر تعداد پلیگون‌های (پیکسل) زیرکلاس i ام از پارامتر j ام و تعداد کل پلیگون‌ها در منطقه تحقیق است.

روش تاپسیس^۱

روش تاپسیس یا اولویت‌بندی براساس شباهت به راه حل ایدئال از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM)^۲ است. از این روش می‌توان برای رتبه‌بندی و مقایسه گزینه‌های مختلف و انتخاب بهترین گزینه و تعیین فواصل بین گزینه‌ها و گروه‌بندی آنها استفاده کرد. از مزیت‌های این روش آن است که معیارها یا شاخص‌های به‌کاررفته برای مقایسه ممکن است

1. Topsis Technique
2. Multi-Criteria Decision-Making Methods

دارای واحدهای سنجش متفاوتی بوده و طبیعت منفی و مثبت داشته باشند. به عبارت دیگر می‌توان از شاخص‌های منفی و مثبت به شکل ترکیبی در این روش استفاده کرد [۳، ۸، ۹، ۱۱، ۱۵، ۱۸، ۱۹]. براساس این روش، بهترین گزینه یا راه حل، نزدیک‌ترین راه حل به گزینه ایدئال و دورترین از راه حل غیر ایدئال است. راه حل ایدئال، راه حلی است که بیشترین سود و کمترین هزینه را داشته باشد و راه حل غیر ایدئال، راه حلی است که بیشترین هزینه و کمترین سود را داشته باشد. به طور خلاصه، راه حل ایدئال از مجموع بیشترین مقادیر هر یک از معیارها به دست می‌آید، در حالی که راه حل غیر ایدئال از مجموع کمترین مقادیر هر یک از معیارها حاصل می‌شود [۵، ۱۴، ۱۶، ۲۰، ۲۵].

روش تاپسیس شامل شش گام تشکیل ماتریس تصمیم، نرمال کردن ماتریس تصمیم‌گیری، تعیین راه حل ایدئال مثبت و راه حل ایدئال منفی، به دست آوردن فاصله هر گزینه تا ایدئال‌های مثبت و منفی، تعیین ضریب نزدیکی برای هر گزینه و رتبه‌بندی گزینه‌ها براساس ضریب نزدیکی است. پس از تشکیل ماتریس تصمیم، ماتریس تصمیم‌گیری نرمال از رابطه ۵ به دست می‌آید. در این رابطه r_{ij} نشان‌دهنده امتیاز کسب‌شده توسط گزینه i در معیار j است [۵، ۸، ۱۸].

$$n_{ij} = \frac{r_{ij}}{\sqrt{\sum_i r_{ij}^2}} \quad (5)$$

همچنین فاصله بین هر گزینه n بعدی را از روش اقلیدسی رابطه‌های ۶ و ۷ می‌سنجیم، یعنی فاصله گزینه را از گزینه‌های ایدئال مثبت و منفی می‌یابیم [۵، ۸، ۱۸].

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^+)^2} \quad (6)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^n (v_{ij} - v_j^-)^2} \quad (7)$$

نسبت نزدیکی به گزینه ایدئال که با نماد (CL_i) نمایش داده می‌شود، از رابطه ۸ به دست می‌آید [۵، ۸، ۱۸]. در نهایت باید گزینه‌ها را با توجه به مقدار CL_i رتبه‌بندی کنیم. هر چه مقدار CL_i بیشتر باشد، گزینه مدنظر مطلوب‌تر است.

$$CL_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + d_i^+} \quad (8)$$

پیاده‌سازی

اولویت‌بندی نواحی با مدل تاپسیس

برای رتبه‌بندی مناطق مسکونی شهری در برابر مخاطرات زمین‌لرزه با استفاده از روش تاپسیس، ابتدا لایه‌های اطلاعاتی محدوده تحقیق، شامل انرژی آزادشده زمین‌لرزه‌های ۲۰ سال اخیر برحسب تن TNT به‌ازای هر ناحیه، کیفیت ابنیه و ساختمان‌ها، تراکم مسکونی، تراکم ساختمانی، تراکم جمعیت، نفوذپذیری شبکه معابر، فضای باز شهری و عمق آب زیرزمینی از منابع مختلف مانند مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، مرکز آمار ایران، سازمان زمین‌شناسی، مسکن و شهرسازی استان، شهرداری آمل و سازمان آب ناحیه‌ای تهیه و در محیط نرم‌افزار GMT پیاده شدند. شرح کامل مراحل رتبه‌بندی نواحی مسکونی شهری ذکر شده است.

• ایجاد ماتریس تصمیم‌گیری

در این مرحله ماتریس تصمیم‌گیری (Mat_A) به‌صورت رابطه ۹ آماده شد. ماتریس تصمیم‌گیری شامل i گزینه یا سطر (۲۷ ناحیه شهر) و z شاخص یا ستون (متغیر) است. در این ماتریس شاخص دارای مطلوبیت منفی است، شاخص بدون آسیب‌پذیری است؛ یعنی هرچه عدد بزرگ‌تر باشد، شاخص آسیب‌پذیری کمتر است. شاخصی هم که دارای مطلوبیت مثبت است، شاخص آسیب‌پذیر است؛ یعنی هرچه عدد بزرگ‌تر باشد، آسیب‌پذیری آن شاخص بیشتر است. در ماتریس Mat_A شاخص تراکم جمعیت (PopD)^۱، تراکم مسکونی (ResD)^۲، تراکم ساختمانی (BilD)^۳، کیفیت ابنیه (BilQ)^۴، عمق آب زیرزمینی (GroD)^۵ و انرژی زمین‌لرزه (TTNT)^۶ مثبت هستند که بدین معناست که هرچه عدد این شاخص‌ها در نواحی بزرگ‌تر باشد، آسیب‌پذیری ناشی از زمین‌لرزه در آن نواحی بیشتر است. ضریب نفوذپذیری (PerQ) و ضریب فضای باز (OutQ) دارای مطلوبیت منفی هستند، یعنی نقش کاهنده آسیب‌پذیری ناشی از زمین‌لرزه را در نواحی دارند.

1. population density
2. Residential density
3. Building Density
4. Building quality
5. Groundwater depth
6. Earthquake Energy in Ton TNT

$$Mat_A = \begin{bmatrix} Re & PopD & GroD & BilQ & BilD & ResD & OutQ & PerQ & TTNT \\ -1 & 51,56 & 32,28 & 1,10 & 26,68 & 2,09 & 152,5 & 1,795 & 1,498 \\ -2 & 85,10 & 26,53 & 21,67 & 53,85 & 217,1 & 46,21 & 2,751 & -,481 \\ -3 & 66,15 & 26,75 & 6,666 & 21,74 & 225,3 & 118,6 & 2,142 & -,244 \\ -4 & 76,20 & 26,25 & 12,55 & 27,87 & 149,4 & 37,60 & 2,845 & -,452 \\ -5 & 6,44 & 26,75 & 13,13 & 19,92 & 18,8 & 39,12 & 2,457 & 2,965 \\ -6 & 9,21 & 19,01 & 4,96 & 36,55 & 298,5 & 133,4 & 2,425 & -,003 \\ -7 & 26,94 & 35,82 & 16,87 & 12,53 & 221,9 & 73,53 & 1,544 & 9,853 \\ -8 & 115,3 & 26,75 & 25,61 & 41,63 & 251,3 & 15,25 & 2,142 & 9,691 \\ -9 & 58,85 & 26,75 & 14,84 & 28,77 & 126,5 & 25,95 & 2,599 & -,026 \\ 10 & 113,0 & 23,27 & 16,05 & 55,28 & 238,6 & 16,00 & 2,202 & -,153 \\ 11 & 97,77 & 26,75 & 3,33 & 28,02 & 196,3 & 4,30 & 2,412 & 1,253 \\ 12 & 116,0 & 26,75 & 31,59 & 51,07 & 21,9 & 11,08 & 2,937 & -,011 \\ 13 & 15,09 & 26,25 & 25,04 & 56,68 & 289,3 & 12,90 & 6,189 & -,008 \\ 14 & 1,024 & 15,75 & 3,98 & 26,77 & 238,2 & 6,91 & 2,244 & -,152 \\ 15 & 1,50 & 17,06 & 2,55 & 28,83 & 247,0 & 72,01 & 2,281 & -,001 \\ 16 & 91,24 & 3,04 & 17,58 & 39,65 & 186,0 & 22,27 & 2,286 & -,008 \\ 17 & 1,63 & 26,26 & 25,00 & 26,00 & 216,8 & 32,50 & 6,021 & -,022 \\ 18 & 1,38 & 2,90 & 5,43 & 4,99 & 252,6 & 32,98 & 2,719 & -,097 \\ 19 & 9,09 & 26,25 & 27,32 & 28,49 & 213,5 & 49,67 & 2,076 & -,125 \\ 20 & 5,04 & 26,84 & 8,788 & 15,97 & 253,6 & 217,6 & 2,289 & -,002 \\ 21 & 8,83 & 26,25 & 13,97 & 21,59 & 243,6 & 10,57 & 2,542 & -,042 \\ 22 & 65,83 & 15,89 & 8,148 & 21,28 & 23,5 & 87,65 & 2,215 & -,007 \\ 23 & 62,76 & 15,25 & 1,08 & 23,86 & 24,2 & 89,17 & 2,394 & -,002 \\ 24 & 157,3 & 26,73 & 52,00 & 73,74 & 253,4 & 56,59 & 6,642 & -,007 \\ 25 & 98,43 & 23,29 & 15,84 & 39,37 & 193,4 & 17,34 & 2,422 & 3,653 \\ 26 & 79,16 & 26,75 & 12,89 & 21,31 & 157,2 & 233,3 & 2,125 & 2,586 \\ 27 & 8,64 & 26,75 & 27,25 & 18,33 & 168,2 & 218,5 & 2,755 & 1,844 \end{bmatrix} \quad (9)$$

• نرمال سازی یا بی مقیاس کردن ماتریس

ماتریس تصمیم گیری (Mat_A) را با استفاده از رابطه ۵ به ماتریس تصمیم گیری نرمال (Mat_{Norm}) تبدیل می کنیم (رابطه ۱۰). به عبارت دیگر ابتدا برای هر ستون مجموع توان دوم مقادیر محاسبه شده و هر یک از درایه های ماتریس بر جذر مجموع توان دوم تقسیم می شود.

$$Mat_{Norm} = \begin{bmatrix} Re & PopD & \dots & TTNT \\ 0.1 & 0.073 & \dots & 0.065 \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 27 & 0.076 & \dots & 1.762 \end{bmatrix} \quad (10)$$

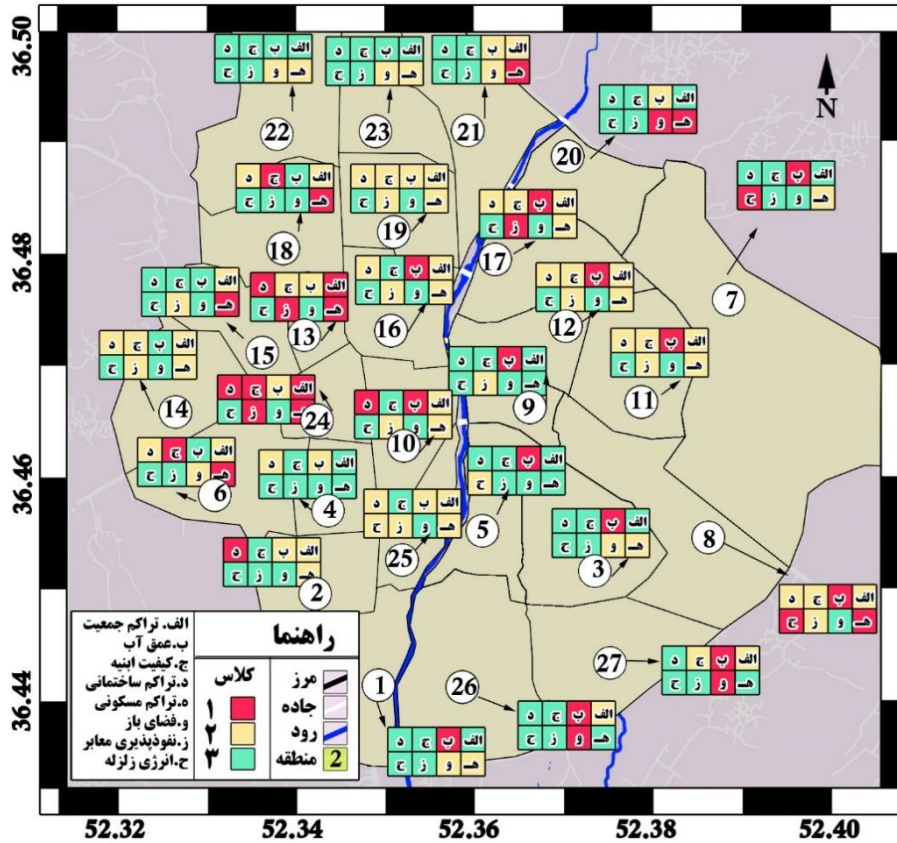
• وزن‌دهی به ماتریس نرمال شده

ماتریس تصمیم‌گیری نرمال (MatNorm) پارامتری است و باید کمی شود. به این منظور برای هر شاخص، وزنی را معین می‌کنیم. که در این تحقیق برای وزن‌دهی از روش آنتروپی شانون استفاده شد. با استفاده از روابط ۱ تا ۴ ارائه شده در تئوری آنتروپی شانون، مقادیر آنتروپی برای پارامترهای مؤثر در منطقه تحقیق محاسبه شد (جدول ۱).

کلاس‌های تعیین شده در جدول ۱، پس از پیاده‌سازی در نقشه، برای ۲۷ ناحیه شهری به‌ازای ۸ متغیر در شکل‌های ۲ و ۳ نشان داده شده است.

جدول ۱. مقادیر آنتروپی شانون برای پارامترهای مؤثر در منطقه تحقیق

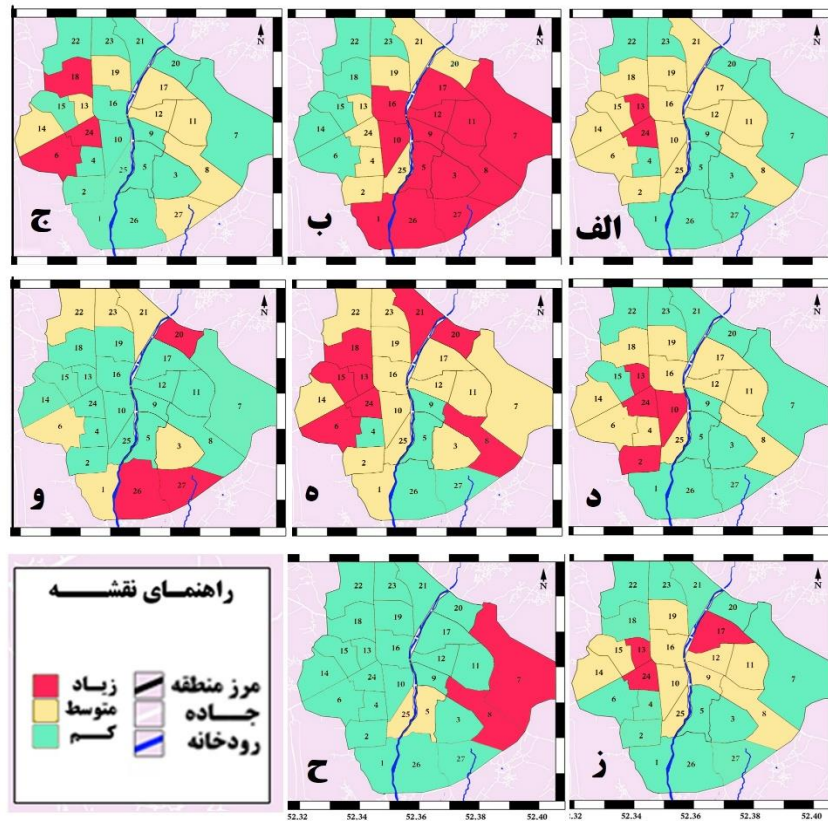
نام پارامتر	محدوده هر کلاس	کلاس	n	p	E_{ij}	E_j
تراکم جمعیت	۳۷-۷۷	۱	۹	۰/۳۳۳	۰/۵۲۸	۱/۲۵۴
	۷۷-۱۱۷	۲	۱۶	۰/۵۹۳	۰/۴۴۷	
	۱۱۷-۱۵۷	۳	۲	۰/۰۷۴	۰/۲۷۸	
تراکم مسکونی	۱۲۵-۱۸۳	۱	۵	۰/۱۸۵	۰/۴۵۱	۱/۴۶۲
	۱۸۳-۲۴۱	۲	۱۴	۰/۵۱۹	۰/۴۹۱	
	۲۴۱-۲۹۹	۳	۸	۰/۲۹۶	۰/۵۲۰	
تراکم ساختمانی	۱۳-۳۳	۱	۱۲	۰/۴۴۴	۰/۵۲۰	۱/۴۵۶
	۳۳-۵۳	۲	۱۱	۰/۴۰۷	۰/۵۲۸	
	۵۳-۷۴	۳	۴	۰/۱۴۸	۰/۴۰۸	
کیفیت ابنیه	۷-۲۲	۱	۱۶	۰/۵۹۳	۰/۴۴۷	۱/۳۲۰
	۲۲-۳۷	۲	۸	۰/۲۹۶	۰/۵۲۰	
	۳۷-۵۲	۳	۳	۰/۱۱۱	۰/۳۵۲	
عمق آب زیرزمینی	۱۵-۲۲	۱	۶	۰/۲۲۲	۰/۴۸۲	۱/۵۱۰
	۲۲-۳۰	۲	۸	۰/۲۹۶	۰/۵۲۰	
	۳۰-۳۷	۳	۱۳	۰/۴۸۱	۰/۵۰۸	
انرژی زمین‌لرزه	۰-۳	۱	۲۳	۰/۸۵۲	۰/۱۹۷	۰/۷۵۳
	۳-۷	۲	۲	۰/۰۷۴	۰/۲۷۸	
	۷-۱۰	۳	۲	۰/۰۷۴	۰/۲۷۸	
ضریب نفوذپذیری	۲-۳	۱	۱۴	۰/۵۱۹	۰/۴۹۱	۱/۳۷۴
	۳-۴	۲	۱۰	۰/۳۷۰	۰/۵۳۱	
	۴-۵	۳	۳	۰/۱۱۱	۰/۳۵۲	
ضریب فضای باز	۶-۸۲	۱	۱۸	۰/۶۶۷	۰/۳۹۰	۱/۲۲۴
	۸۲-۱۵۷	۲	۶	۰/۲۲۲	۰/۴۸۲	
	۱۵۷-۲۳۳	۳	۳	۰/۱۱۱	۰/۳۵۲	



شکل ۲. تعیین کلاس‌های ۱، ۲ و ۳ (به ترتیب قرمز، نارنجی، سبز) برای ۲۷ ناحیه شهری به‌ازای هشت متغیر (الف. تراکم جمعیت؛ ب. عمق آب زیرزمینی؛ ج. کیفیت آب؛ د. تراکم ساختمانی؛ ه. تراکم مسکونی؛ و. فضای باز شهری؛ ز. نفوذپذیری معابر؛ ح. انرژی آزاد شده زمین‌لرزه در ۲۰ سال اخیر)

با تعیین وزن‌ها و اعمال آن بر مقادیر نرمال‌شده، ماتریس نرمال موزون (Mat_{NormR}) به‌صورت زیر محاسبه می‌شود.

$$Mat_{NormR} = \begin{bmatrix} Re & PopD & TTNT \\ ۰.۱ & ۰.۰۰۵ & \dots & ۰.۰۰۳ \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ ۲۷ & ۰.۰۰۵ & \dots & ۰.۰۵۲ \end{bmatrix} \quad (۱۱)$$



شکل ۳. تعیین کلاس‌های ۱، ۲ و ۳ (به ترتیب قرمز، نارنجی، سبز) برای ۲۷ ناحیه شهری به‌ازای ۸ متغیر (الف. تراکم جمعیت؛ ب. عمق آب زیرزمینی؛ ج. کیفیت ابنیه؛ د. تراکم ساختمانی؛ ه. تراکم مسکونی؛ و. فضای باز شهری؛ ز. نفوذپذیری معابر؛ ح. انرژی آزادشده زمین‌لرزه در ۲۰ سال اخیر)

• تعیین راه حل ایدئال مثبت و ایدئال منفی

برای تشکیل گزینه ایدئال مثبت (+A) باید در هر یک از ستون‌های ماتریس Mat_{NormR} بهترین مقدار انتخاب شود، یعنی اگر شاخص متناظر با آن ستون جنبه منفی داشت (شاخص ضریب نفوذپذیری (PerQ) و ضریب فضای باز (OutQ))، کمترین مقدار انتخاب شود و چنانچه جنبه مثبت داشت (شاخص تراکم جمعیت (PopD)، تراکم مسکونی (ResD)، تراکم ساختمانی (BilD)، کیفیت ابنیه (BilQ)، عمق آب زیرزمینی (GroD) و انرژی زمین‌لرزه (TTNT)) بیشترین مقدار انتخاب شود. راه‌حل‌های ایدئال به‌صورت جدول ۲ تعیین شد.

جدول ۲. راه حل‌های ایدئال مثبت و منفی

راه حل ایدئال								
PopD	GerD	BilQ	BilD	ResD	OutQ	PerQ	TTNT	
۰/۰۰۵	۰/۰۲۰	۰/۰۷۹	۰/۰۶۲	۰/۰۰۴	۰/۰۰۲	۰/۰۰۰	۰/۰۵۳	ایدئال مثبت
۰/۰۰۲	۰/۰۰۳	۰/۰۱۳	۰/۰۲۶	۰/۰۰۰	۰/۰۰۵	۰/۰۷۴	۰/۰۰۲	ایدئال مثبت

• فاصله از ایدئال مثبت و منفی

فاصله از گزینه‌های ایدئال مثبت و منفی را از رابطه‌های ۶ و ۷ برای هر یک از سطرهای ماتریس $Mat_{i(NormR)}$ محاسبه می‌کنیم. نتایج به‌دست‌آمده به شرح جدول ۳ است.

جدول ۳. فاصله از راه حل‌های ایدئال مثبت و منفی

d_i^-	d_i^+	منطقه	d_i^-	d_i^+	منطقه	d_i^-	d_i^+	منطقه
۰/۰۸۸	۰/۰۴۶	۱۹	۰/۰۹۱	۰/۰۴۳	۱۰	۰/۰۶۷	۰/۰۷۹	۱
۰/۰۸۸	۰/۰۶۶	۲۰	۰/۰۷۵	۰/۰۵۶	۱۱	۰/۰۸۶	۰/۰۵۷	۲
۰/۰۸۹	۰/۰۵۹	۲۱	۰/۰۹۰	۰/۰۴۳	۱۲	۰/۰۷۶	۰/۰۷۷	۳
۰/۰۸۸	۰/۰۶۱	۲۲	۰/۰۹۷	۰/۰۳۶	۱۳	۰/۰۷۷	۰/۰۶۹	۴
۰/۰۹۰	۰/۰۹۰	۲۳	۰/۰۸۶	۰/۰۵۰	۱۴	۰/۰۴۸	۰/۰۸۳	۵
۰/۱۱۳	۰/۰۱۲	۲۴	۰/۰۸۵	۰/۰۵۶	۱۵	۰/۰۸۸	۰/۰۵۹	۶
۰/۰۷۴	۰/۰۵۳	۲۵	۰/۰۸۶	۰/۰۵۰	۱۶	۰/۰۲۴	۰/۱۰۹	۷
۰/۰۷۵	۰/۰۶۸	۲۶	۰/۰۸۷	۰/۰۴۹	۱۷	۰/۰۴۵	۰/۰۹۰	۸
۰/۰۸۰	۰/۰۶۷	۲۷	۰/۰۹۲	۰/۰۴۱	۱۸	۰/۰۷۸	۰/۰۷۱	۹

• محاسبه نمره‌ها و رتبه‌بندی نواحی

با استفاده از رابطه ۸، نسبت نزدیکی به گزینه ایدئال (CL_i) برای مناطق بیست‌وهفت‌گانه شهر آمل به‌دست آمد که شرح آن در جدول ۴ آمده است.

با توجه به رتبه‌بندی یادشده، ناحیه ۲۴ با ضریب نزدیکی ۰/۹۰۳، ناحیه ۱۳ با ضریب نزدیکی ۰/۷۲۷ و سپس ناحیه ۱۸ با ضریب نزدیکی ۰/۶۹۴ آسیب‌پذیرترین نواحی شهر آمل در برابر زمین‌لرزه هستند. پس از پیاده‌سازی رتبه‌بندی نواحی روی نقشه شهر در نرم‌افزار GMT، نواحی براساس نزدیکی به ایدئال برچسب‌گذاری شدند (شکل ۴).

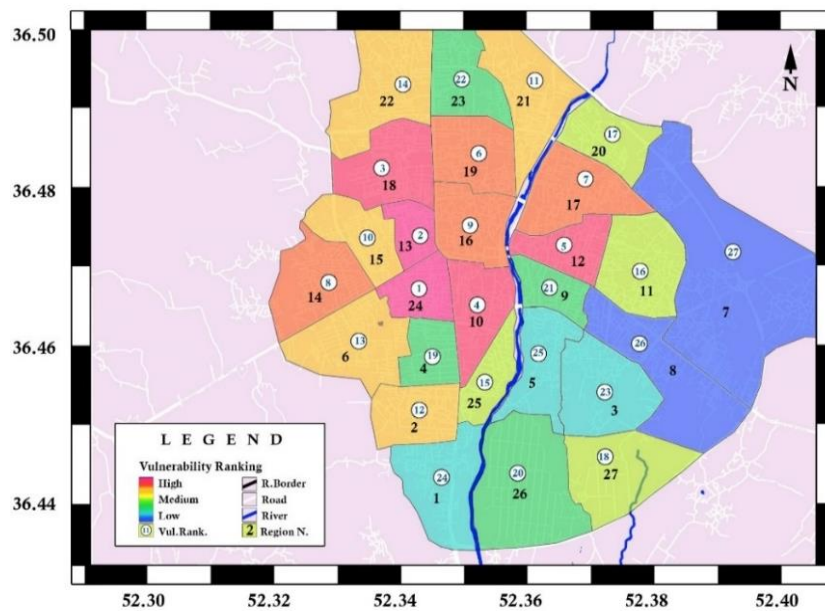
رتبه‌بندی مناطق مسکونی شهری در برابر مخاطرات زمین‌لرزه با استفاده از روش‌های آنتروپی ... ۲۳۵

جدول ۴. رتبه‌بندی نواحی

CL_i	رتبه	منطقه
۰/۵۲۷	۱۹	۴
۰/۵۲۴	۲۰	۲۶
۰/۵۲۳	۲۱	۹
۰/۵۰۰	۲۲	۲۳
۰/۴۹۷	۲۳	۳
۰/۴۵۸	۲۴	۱
۰/۳۶۴	۲۵	۵
۰/۳۳۱	۲۶	۸
۰/۱۸۱	۲۷	۷

CL_i	رتبه	منطقه
۰/۶۰۳	۱۰	۱۵
۰/۶۰۰	۱۱	۲۱
۰/۵۹۹	۱۲	۲
۰/۵۹۸	۱۳	۶
۰/۵۹۰	۱۴	۲۲
۰/۵۸۲	۱۵	۲۵
۰/۵۷۵	۱۶	۱۱
۰/۵۷۰	۱۷	۲۰
۰/۵۴۴	۱۸	۲۷

CL_i	رتبه	منطقه
۰/۹۰۳	۱	۲۴
۰/۷۲۷	۲	۱۳
۰/۶۹۴	۳	۱۸
۰/۶۷۹	۴	۱۰
۰/۶۷۶	۵	۱۲
۰/۶۶۰	۶	۱۹
۰/۶۳۸	۷	۱۷
۰/۶۳۳	۸	۱۴
۰/۶۳۱	۹	۱۶



شکل ۴. رتبه‌بندی آسیب‌پذیری مناطق بیست‌وهفت‌گانه شهر آمل در برابر زمین‌لرزه

نتیجه‌گیری

با توجه به پهنه‌بندی نواحی با استفاده از آنتروپی شانون، رتبه‌بندی نواحی و ضریب نزدیکی به ایدئال که از طریق مدل تاپسیس به دست آمد و ترسیم نقشه پهنه‌بندی در محیط GMT، مناطق آسیب‌پذیر شهر آمل تعیین شد. نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که ناحیه‌های مرکزی ۲۴، ۱۳، ۱۸، ۱۰ و ۱۲ آسیب‌پذیری خیلی زیاد و ناحیه‌های ۱۹، ۱۷، ۱۴ و ۱۶ آسیب‌پذیری زیادی در برابر زمین‌لرزه دارند. بر همین اساس، ناحیه‌های ۱۵، ۲۱، ۲، ۶، ۲۲، ۲۵، ۱۱، ۲۰، ۲۷ و ۴ آسیب‌پذیری متوسط، ناحیه‌های ۲۶، ۹، ۲۳، ۳، ۱ و ۵ آسیب‌پذیری کم و ناحیه‌های ۸ و ۷ آسیب‌پذیری خیلی کمی در برابر زمین‌لرزه دارند. از این‌رو انتظار می‌رود در ساخت‌وسازهای آینده به آسیب‌پذیری مناطق شهری نیز توجه شود.

منابع

- [۱]. حسین‌پور میل‌آغاردان، امین؛ و علی عباسپور، رحیم (۱۳۹۳). «بهبود نتایج پیش‌بینی وقوع زمین‌لغزش با استفاده از تئوری آنتروپی شانون»، مدیریت مخاطرات محیطی، دوره ۱، شماره ۲، ص ۲۶۸-۲۵۳.
- [۲]. سرور، هوشنگ؛ و کاشانی اصل، امیر (۱۳۹۵)، "آسیب‌پذیری کالبدی شهر اهر در برابر بحران زمین‌لرزه"، فصلنامه آمایش محیط، دوره ۹، شماره ۳۴، ص ۱۰۸-۸۷.
- [3]. Akay Ünvan, Yüksel (2020). "Financial Performance Analysis of Banks with Topsis and Fuzzy Topsis Approaches", *Gazi University Journal of Science*, DOI: 10.35378/gujs.730294, ISBN: 2147-1762.
- [4]. Amadi, P.O.; Ikot, Akpan, N.; Thompson Ngiangia, Alalibo; Okorie, U.S.; & Rampho, Gaotsiwe, J. (2020). "Shannon entropy and Fisher information for screened Kratzer potential", *International Journal of Quantum Chemistry*, DOI: 10.1002/qua.26246, ISBN: 0020-7608.
- [5]. Ari, Nükhet; Hankir, Mahmoud; Samak, Omar; & Topçu, Tümay (2020). "Facility Location Selection Using AHP and TOPSIS", In Book, DOI: 10.13140/RG.2.2.22879.07849.
- [6]. Badawy, Ahmed; Korrat, Ibrahim; Mahmoodi, Hadid; & Gaber, H. (2015). "Probabilistic earthquake hazard analysis for Cairo, Egypt", *Journal of Seismology*, 20(2), DOI: 10.1007/s10950-015-9537-5.
- [7]. Bayrak, Erdem; Yılmaz, Şeyda ; & Bayrak, Yusuf (2016). "Earthquake hazard analysis for the different regions in and around Ağrı", *International Conference on Advances in Natural & Applied Sciences conference*, DOI: 10.1063/1.4945830.
- [8]. Boltürk, Eda (2020). "AS/RS Technology Selection Using Spherical Fuzzy TOPSIS and Neutrosophic TOPSIS", In book: *Intelligent and Fuzzy Techniques in Big Data Analytics and Decision Making*, pp: 969-976, DOI: 10.1007/978-3-030-23756-1_115, ISBN: 978-3-030-23755-4.
- [9]. Firgiawan, W; Zulkarnaim, N; & Cokrowibowo, S (2020). "A Comparative Study using SAW, TOPSIS, SAW-AHP, and TOPSIS-AHP for Tuition Fee (UKT)", *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, DOI: 10.1088/1757-899X/875/1/012088, ISBN: 1757-899X.
- [10]. Fortune, Timothy; & Sang, Hailin (2020), "Shannon entropy estimation for linear processes", *Journal of Risk and Financial Management*, v2, pp: 82-89.
- [11]. Halicka, Katarzyna (2020). "Technology Selection Using the TOPSIS Method", *Foresight and STI Governance (Foresight-Russia till No. 3/2015)*, National Research University Higher School of Economics, vol. 14(1), pp: 85-96.
- [12]. Hanlon, Robert, T. (2020), "Shannon: entropy and information theory", In book: *Block by Block: The Historical and Theoretical Foundations of*

- Thermodynamics*, pp: 596-606, DOI: 10.1093/oso/9780198851547.003.0043, ISBN: 9780198851547.
- [13]. Jena, Ratiranjan; & Pradhan, Biswajeet (2020). "Integrated ANN-cross-validation and AHP-TOPSIS model to improve earthquake risk assessment", *International Journal of Disaster Risk Reduction*, DOI: 10.1016/j.ijdr.2020.101723, ISBN: 2212-4209.
- [14]. Kumar Tiwari, Rohit; & Kumar, Rakesh (2020). "G-TOPSIS: a cloud service selection framework using Gaussian TOPSIS for rank reversal problem", *The Journal of Supercomputing*, DOI: 10.1007/s11227-020-03284-0, ISBN: 0920-8542.
- [15]. Liu, Yanwu; Li, Liang; Tu, Yan; & Mei, Yanlan (2020). "Fuzzy TOPSIS-EW Method with Multi-Granularity Linguistic Assessment Information for Emergency Logistics Performance Evaluation", *Symmetry*, 12(8):1331, DOI: 10.3390/sym12081331, ISBN: 2073-8994.
- [16]. Luukka, Pasi (2020). "N—ary norm operators and TOPSIS", *2020 IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, DOI: 10.1109/FUZZ48607.2020.9177580.
- [17]. Mayang Sari, Anggun; & Fakhurrozi, A. (2018). "Earthquake Hazard Analysis Methods: A Review", *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*, 118(1):012044, DOI: 10.1088/1755-1315/118/1/012044.
- [18]. Mieszkowicz-Rolka, Alicja; & Rolka, Leszek (2020). "Preference-Oriented Fuzzy TOPSIS Method", *In book: Intelligent and Fuzzy Techniques: Smart and Innovative Solutions*, pp: 758-766, DOI: 10.1007/978-3-030-51156-2_88, ISBN: 978-3-030-51155-5.
- [19]. Nasution, Nurliana; Widi Bhawika, Gita; Wanto, Anjar; Sri Rahayu Ginantra, Ni Luh Wiwik; Afriliansyah, Teuku (2020). "Smart City Recommendations Using the TOPSIS Method", *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*, DOI: 10.1088/1757-899X/846/1/012028, ISBN: 1757-899X.
- [20]. Ramya, Sakkeri; & Devadas, V. (2019). "Integration of GIS, AHP and TOPSIS in evaluating suitable locations for industrial development: A case of Tehri Garhwal district, Uttarakhand, India", *Journal of Cleaner Production*, 238:117872, DOI: 10.1016/j.jclepro.2019.117872.
- [21]. Ranjbar, Hamid Reza; & Nekooie, Mohammad Ali (2020). "An improved hierarchical fuzzy TOPSIS approach to identify endangered earthquake-induced buildings", *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 76:21-39, DOI: 10.1016/j.engappai.2018.08.007, ISBN: 0952-1976.
- [22]. Rohm, Kristen; & Solouki Bonab, Vahab; & Manas-Zloczower, Ica (2020), "Quantitative evaluation of mixing using a refined Shannon entropy", *Composites Science and Technology*, 197:108276, DOI: 10.1016/j.compscitech.2020.108276, ISBN: 0266-3538.
- [23]. Ruitenbeek, F.J.A. van; Goseling, Jasper; Bakker, Wim, H.; & Hein, Kim (2020). "Shannon Entropy as an Indicator for Sorting Processes in Hydrothermal Systems", *Entropy*, 22(6):656, DOI: 10.3390/e22060656, ISBN: 1099-4300.

- [24]. Saha, Subhasish; & Jose, Jobin (2020). "Shannon entropy as a predictor of avoided crossing in confined atoms", *International Journal of Quantum Chemistry*, DOI: 10.1002/qua.26374, ISBN: 0020-7608.
- [25]. Silva, Marcela do Carmo; Gomes, Carlos Francisco Simões; & Souza, Reinaldo Castro (2020). "TOPSIS-2NE's Proposal", *International Journal of Fuzzy Systems*, volume 22, pp: 1118–1122, DOI: 10.1007/s40815-020-00871-4, ISBN: 1562-2479.