جغرافیا و مخاطرات محیطی، شمارهٔ نهم، بهار ۱۳۹۳

صص ۱۴۱-۱۲۵

# طبقه‌بندی تحمل‌پذیری مناطق شهری کلان‌شهر مشهد به مخاطرات محیطی با استفاده از برنامه‌ریزی خطی تعامل تناوبی سیموس(SIMUS)

**عادل سپهر[1]- استادیار ژئومورفولوژی دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران**

**راحیل کاویان آهنگر- دانشجوی کارشناسی ارشد محیط‌زیست ، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران**

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۸/۱۸ تاریخ تصویب: ۱۳۹۳/۳/۱۸

## چکیده

هدف از پژوهش حاضر ارائه نقشهٔ تحمل‌پذیری مناطق شهری کلان‌شهر مشهد به مخاطرات محیطی بر پایه برنامه‌ریزی خطی و ارائهٔ راهبردهای مدیریتی جهت توسعهٔ پایدار شهری بر حسب درجهٔ حساسیت پذیری است. جهت نیل به این اهداف، در ابتدا ٤ معیار ژئومورفولوژیکی شامل روانگرایی، زمین‌لرزه، گسل و فرونشست و ۵ معیار محیط‌زیستی آلودگی هوا، آلودگی آب، تغییر کاربری، تراکم جمعیت و اسکان غیررسمی بر حسب نظرات کارشناسی و تکنیک دلفی انتخاب شدند. در گام بعدی با کمک الگوریتم خطی تعامل تناوبی سیموس، درجهٔ تحمل‌پذیری و حساسیت پذیری مناطق ۱۳ گانه شهری نسبت به مخاطرات تعیین شد. تابع هدف در نظر گرفته شده در مدل خطی، دارای اثر بیشینه و محدوده آستانه به‌صورت متوسط برای متغیرها در نظر گرفته شد. در گام بعدی با مشخص شدن مناطق حساسیت پذیر، راهبردهای افزایش سرانهٔ فضای سبز، تعیین حریم شهری جهت توسعه، مقاوم‌سازی بناها و ساختمان‌ها در برابر زمین‌لرزه، تدوین برنامهٔ کنترل مهاجرپذیری، جلوگیری از تغییرات کاربری اراضی و برنامهٔ هدفمند طرح ترافیک متناسب با وضعیت موجود پیشنهاد و اولویت‌بندی شدند. نتایج نشان داد که مناطق یک، ثامن و نه به ترتیب رتبه نخست حساسیت پذیری را دارا می‌باشند و مناطق دو، سه، پنج، شش، هفت، ده و یازده کم‌ترین میزان حساسیت پذیری را نسبت به مخاطرات دارند. همچنین تدوین برنامهٔ کنترل مهاجرپذیری، مقاوم‌سازی بناها در برابر زمین‌لرزه، تعیین حریم شهری جهت توسعه و افزایش سرانهٔ فضای سبز راهبردهای اصلی جهت توسعهٔ پایدار کلان‌شهر مشهد است.

**کلیدواژه‌ها**: الگوریتم خطی سیموس، مخاطرات محیطی، حساسیت پذیری، تحمل‌پذیری، مشهد.

۱ نویسندهٔ مسئول: ۰۹۱۵۵۰۸۵۷۳۲

Email: adelsepehr@um.ac.ir

**۱. مقدمه**

در ابتدای قرن بیستم تقریباً ۲ درصد از کل انسان‌ها تنها در ١٤ کلان‌شهر زندگی می‌کردند. امروزه این نسبت نزدیک به ۲۰ درصد است و احتمالاً تا سال ۲۰۲۰ این مقدار به ۳۰ درصد می‌رسد (رحمتی و حیدری‌نژاد، ۱۳۸۸). روند توسعهٔ شهرنشینی و گسترش شهرهای بزرگ درجهٔ آسیب‌پذیری جوامع شهری را نسبت به مخاطرات محیطی حاصل از توسعهٔ کلان‌شهرها بر روی مناطق پرخطر افزایش داده است. استقرار شهرها و مناطق مسکونی بر روی لندفرم‌ها، چشم‌اندازهای جدیدی را ایجاد کرده است. توسعهٔ این مناطق، تعادل ژئوسیستمی بسیاری از لندفرم‌ها را دستخوش تغییر کرده و پاسخ ژئوسیستم‌ها، جلوه‌هایی از مخاطرات ژئومورفولوژیک چون نشست، فعالیت گسل، سیل و موارد مشابهی است که ساکنین نواحی شهری را تهدید می‌کند. تغییرات شدید کاربری اراضی، آلودگی منابع آب و خاک، آلودگی هوا، اسکان غیررسمی در کنار مخاطرات ژئومورفولوژیکی حاصل از استقرار و توسعهٔ شهرها در مناطق پر خطر، زمینهٔ جدی مطالعهٔ پیرامون مخاطرات محیطی گریبان‌گیر ساکنین شهرهای بزرگ را رقم زده است. کشور ایران با قرارگیری در کمربند خشک و نیز زلزله‌خیز آسیا، بالقوه پتانسیل وقوع خطرات طبیعی و ژئومورفولوژیکی را دارد و از آن‌جا که کشوری در حال توسعه محسوب می‌شود، روند توسعهٔ شهری، مهاجرت و افزایش جمعیت شهرها نیز می‌تواند بر وقوع بحران‌های محیطی در کلان‌شهرها دامن بزند. بسیاری از کلان‌شهرهای ایران در سال‌های اخیر با رشد مهاجرت از روستاها به شهرها، شاهد توسعهٔ بی‌رویه و غیر اصولی شهر هستند. کلان‌شهر مشهد، دومین کلان‌شهر ایران نیز از این قاعده مستثنا نبوده است. اشتیاق به هم‌جواری با بارگاه امام هشتم، رفاه و دسترسی به امکانات شهری، وجود مراکز علمی–صنعتی، ذوق به زندگی در این کلان‌شهر را افزایش داده است. مشهد، با جمعیتی بالغ بر ۳ میلیون نفر، از اوایل دهه ۸۰ خورشیدی شاهد رشد غیر اصولی و مهاجرت بی‌رویه بوده است. توسعهٔ سکونتگاه‌های شهری بر روی مخروط افکنه‌های کوه‌های اطراف شهر، ساخت و ساز بر روی نواحی گسل و مناطق با پتانسیل سوبسیدنس (نشست)، تغییرات شدید کاربری اراضی و نابودی فضای سبز در کنار افزایش آلودگی‌های منابع آبی و آلاینده‌های هوا در نتیجه اشتیاق به زندگی در این کلان‌شهر، دامنه‌ای از مخاطرات محیطی را به‌ویژه در نواحی پر خطر شهری برای ساکنین این کلان‌شهر فراهم خواهد کرد.

با توجه به اثرات اجتماعی– اقتصادی حاصل از وقوع مخاطرات، مدیریت مخاطرات در این دومین کلان‌شهر کشور و نیز توسعه شهری بر پایهٔ اصول تحمل‌پذیری[1] امری ضروری به نظر می‌رسد.

روش‌های رتبه‌ای ـ نارتبه‌ای[2] تصمیم‌گیری، الگوریتم برنامه‌ریزی خطی[3]، روش‌های آماری، روش‌های ریاضی، روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره[4] و دیگر روش‌های کمی و کیفی از جمله رویکردهای استفاده در انتخاب شاخص‌های مؤثر در توسعهٔ شهری و مکان گزینی توسعهٔ شهرها است. در ایران، مطالعات صورت گرفته در ارتباط با کارایی روش‌های یاد شده در بحث مدیریت و برنامه‌ریزی شهری عمدتاً بر روی کاربرد روش‌های رتبه‌ای[5] AHP

1 sustainability
2 Ranking and Outranking
3 Linear Programming
4 Multi-Criteria Decision Making (MCDM)
5 Analytical Hierarchy Process (AHP)

و TOPSIS[1] متمرکز شده است. از تحقیقات انجام شده در این مورد می‌توان به موارد ذیل اشاره داشت. کرم و محمدی (۱۳۸۸) در ارزیابی و پهنه‌بندی تناسب زمین برای توسعهٔ فیزیکی شهر کرج و اراضی پیرامونی بر پایهٔ فاکتورهای طبیعی و روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، با استفاده از ۹ شاخص مهم شیب، سنگ‌شناسی، فاصله از گسل، خطر زلزله، فاصله از زهکش‌ها، عمق آب زیرزمینی، تناسب خاک، پوشش زمین و لندفرم‌ها مناطق را بر حسب درجهٔ تناسب به ٦ طبقهٔ با تناسب بسیار زیاد، زیاد، متوسط، کم، بسیار کم یا نامناسب و اراضی کشاورزی تقسیم بندی کردند. شمسی‌پور و همکاران (۱۳۹۱) در تحلیل آسیب‌پذیری محیطی حریم شهر کرج با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی جهت مدل‌سازی پهنه‌های خطر از اطلاعات زمین‌شناسی، گسل، خاک، میزان و جهت شیب، کاربری اراضی، تیپ اراضی، هیدرولوژی و پوشش سطحی استفاده کردند. در مطالعهٔ مذکور، مهم‌ترین عوامل آسیب‌پذیری محیطی منطبق بر سه مخاطره زمین‌لرزه، سیلاب و حرکات دامنه‌ای به دست آمد و نتایج پژوهش این محققان نشان داد وجود گسل‌ها، شیب‌های تند و آبراهه‌های متعدد در نوار کوهستانی حریم کرج باعث آسیب‌پذیری بالای بخش‌های شمالی و شمال شرقی حریم شهر کرج شده است. نسترن و همکاران (۱۳۸۹) در مطالعهٔ اولویت‌بندی توسعهٔ پایدار مناطق شهری اصفهان از ۲۱ شاخص مؤثر در توسعهٔ پایدار شهری استفاده و با کمک روش تاپسیس مناطق شهری اصفهان را بر پایهٔ درجهٔ توسعه‌یافتگی به سه دستهٔ برخوردار، نیمه برخوردار (متوسط) و فرو برخوردار (محروم) تقسیم بندی کردند. کوک و همکاران (۱۹۹۸) به ارزیابی نقش ژئومورفولوژی در مدیریت محیط و تأثیر و مشارکت ژئومورفولوژی در تقویم بلایا، بررسی محیط، ارزیابی منابع، تحولات و تأثیر آن‌ها و نیز سیاست‌های ارزیابی پس از توسعه پرداخته است. دناتیلو[2] (۲۰۰۱) به توصیف و بررسی هفت شاخص عمدهٔ هوا، انرژی، نواحی سبز، صدا، حمل و نقل، آب و زباله برای رسیدن به یک سیستم جامع از شاخص‌های پایدار محیطی در سطح شهر ایتالیا پرداخته‌است. رضایی (۱۳۸۵) نقش واحدها و پدیده‌های ژئومورفیک را در سیمای فضایی شهر شیراز، توسعه و گسترش آن را مورد بررسی قرار داده است. در این پژوهش توان‌ها و تهدیدهای احتمالی واحدها و پدیده‌های ژئومورفیک بررسی شده است. ثروتی (۱۳۸۷) در مطالعه‌ای به شناخت تنگناهای طبیعی شهر سنندج و مکان‌یابی مناسب جهت توسعهٔ آتی شهر پرداخته است. زارعی و رامشت (۱۳۹۱) شاخص‌های محیطی مؤثر در توسعهٔ فیزیکی شهر قروه را با تمرکز روی پارامترهای ژئومورفیک بررسی و طبقه‌بندی اراضی مناسب توسعهٔ شهری را انجام داده‌اند. همچنین در ارتباط با فناوری دورسنجی و داده‌های رادار می‌توان به شریفی‌کیا و همکاران (۱۳۹۲) اشاره کرد که با استفاده از تکنیک تداخل‌سنجی راداری، آسیب‌پذیری سکونتگاه‌های جنوب شهر تهران را در برابر پدیده فرونشست سنجش کردند. در ایران در خصوص کاربرد روش‌های مبتنی بر برنامه‌ریزی خطی در مدیریت مخاطرات محیطی شهرها، کم‌تر مطالعه‌ای در این مورد صورت گرفته است. اگرچه روش‌های برنامه‌ریزی خطی در محیط‌زیست و اقتصاد منابع طبیعی استفاده شده است.

1 Technique for Order Preference by Similarity to the Ideal Solution (TOPSIS)
2 Donatiello

الگوهای خطی ریاضی می‌تواند در مطالعات شهری و تهیهٔ نقشه مخاطرات شهری در انتخاب جواب بهینه و رسیدن به راهکارهای ایده آل کمک کننده باشد. استفاده از روش‌های برنامه‌ریزی خطی ریاضی، این امکان را فراهم می‌کند تا راه‌حل بهینه در هدف مطالعاتی تأمین شود.

به‌طورکلی مطالعات صورت گرفته در جهان نیز در ارتباط با کارایی و کاربرد برنامه‌ریزی خطی در مدیریت مخاطرات شهری اندک است. از جمله برخی مطالعات می‌توان به یانگ[۱] و ما[۲] (۲۰۱۰) اشاره داشت که در مطالعه‌ای نقشهٔ پهنه‌بندی خطر محیط‌زیستی شانگهای چین را بر پایهٔ معیارهای تراکم جمعیت، ترافیک و آلودگی منابع آبی و خاکی تهیه کردند. بر پایهٔ تحقیق نامبردگان مناطق شهری به چهار گروه مناطق کم‌خطر، مناطق با ریسک خطر متوسط، بالا و خیلی بالا طبقه بندی شدند. از جمله سایر مطالعات صورت گرفته در جهان و ایران در این زمینه می‌توان به مطالعهٔ هان[۳] و همکاران (۲۰۱۱) روی پارامترهای آب در شهر دالیان، هانگرویی[۴] و همکاران (۲۰۱۰) در تخصیص کاربری زمین با مدل برنامه‌ریزی خطی در پی کانتی[۵] استان سیچوان[۶] چین، هوانگ[۷] و همکاران (۲۰۰۱) ارائهٔ مدل خطی کاربردی برای مدیریت مواد زائد جامد شهری، فنگ[۸] و چن[۹] (۲۰۰٤) استفاده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی در کاربری زمین شهری، عبدی و همکاران (۲۰۱۳) تخصیص ایستگاه‌های CNG با تکنیک تاپسیس و فرایند تحلیل سلسله مراتبی در رشت، جعفری و همکاران (۲۰۱۲) انتخاب محل دفن زباله با فرایند تحلیل سلسله مراتبی و وزن دهی ساده در کهگیلویه و بویراحمد، شادپرور و همکاران (۲۰۱۳) رتبه‌بندی چشم‌اندازهای پارک‌های محلهٔ رشت با فرایند تحلیل سلسله مراتبی، حسین‌زاده و همکاران (۱۳۹۰) به ارزیابی پایداری زیست‌محیطی در نواحی شهری بندر ترکمن با استفاده از فن تصمیم‌گیری چند معیارهٔ تخصیص خطی، لطفی و همکاران (۱۳۸۹) بررسی مکان‌یابی دفع پسماندها با روش برنامه‌ریزی خطی در نواحی از استان خراسان رضوی در محیط GIS و فتحعلی و میرجلیلی (۱۳۸۸) مکان‌یابی فرودگاه استان سمنان با استفاده از تکنیک تاپسیس و مکان‌یابی مرکز اشاره کرد.

هدف از این پژوهش تهیهٔ نقشهٔ حساسیت پذیری مناطق شهری کلان‌شهر مشهد و بررسی درجهٔ تحمل‌پذیری این مناطق در برابر مخاطرات محیطی بر پایهٔ الگوریتم تعامل تناوبی سیموس (SIMUS)[۱۰] است. هم‌چنین تدوین سناریوهای مدیریت شهری بر اساس نقشهٔ حساسیت پذیری به مخاطرات، در این پژوهش دنبال شده است. این پژوهش سعی دارد تا با مطالعه و شناسایی درجه حساسیت پذیری مناطق شهری به مخاطرات محیطی، الگوهای راهبردی در مدیریت این کلان‌شهر را بررسی کند.

1 Yang
2 Ma
3Han
4 Hongrui
5 Pi County
6 Sichuan
7 Huang
8Feng
9 Chan
10 Sequential Interactive Model for Urban Sustainability (SIMUS)

## ۲. الگوریتم برنامه‌ریزی خطی

الگوریتم خطی ریاضی از زمره روش‌های مناسب در ارائهٔ راهکارهای مدیریتی و اخذ راهبردهای توسعهٔ شهری است. هدف از برنامه‌ریزی خطی، بهینه‌سازی یک معیار خاص، گزینهٔ خاص یا هدف خاص می‌باشد که این بهینه‌سازی می‌تواند رسیدن به نقطهٔ کمینه یا بیشینه بسته به تابع و هدف مورد نظر باشد.

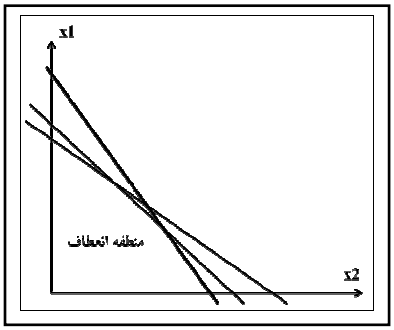
برنامه‌ریزی خطی با بهینه کردن (حداکثر یا حداقل کردن) متغیر وابسته‌ای که به‌صورت خطی با مجموعه‌ای از متغیرهای مستقل مرتبط می‌شود و با در نظر گرفتن تعدادی محدودیت خطی تشکیل یافته از متغیرهای مستقل در ارتباط است. متغیرهای مستقل، متغیرهایی هستند که مقدارشان توسط تصمیم گیرنده (یا توسط مدل بعد از حل) تعیین شده و مقدار متغیرهای وابسته را که به‌عنوان ستاده مدل ارائه می‌گردند تعیین می‌کنند.

متغیرهای وابسته معمولاً در تابع هدف که اغلب بیانگر مفاهیم اقتصادی مانند سود، هزینه، درآمد، تولید، فروش، مسافت و زمان می‌باشد ارائه می‌گردند. در مقالهٔ حاضر، تابع هدف را درجه مخاطرات محیطی شامل شده است.

متغیرهای مستقل در برنامه‌ریزی خطی به‌عنوان متغیرهایی شناخته شده است که مقدارشان نامشخص است و تصمیم‌گیرنده باید مقدار این متغیرها را بعد از حل به دست آورد.

به‌طورکلی در ریاضیات، مسائل برنامه‌ریزی خطی شامل بهینه‌سازی تابع هدفی خطی است که بایستی یکسری محدودیت در فرم‌های تساوی‌های خطی و نامساوی برقرار شوند.

به‌طور خیلی غیررسمی برنامه‌ریزی خطی استفاده از مدل ریاضی خطی برای به دست آوردن بهترین خروجی ( به‌طور مثال حداقل مخاطرات) با توجه به شرط های داده شده (برای مثال حداکثر فاصله از خط گسل) است. به‌طور رسمی‌تر در یک چند سقفی (مانند چندضلعی یا چندوجهی) که تابعی با مقدار حقیقی بر روی آن تعریف شده است، هدف یافتن نقطه‌ای در این چند سقفی است که تابع هدف بیش‌ترین یا کم‌ترین مقدار را دارا باشد. این نقاط ممکن است موجود نباشد، اما اگر وجود داشته باشند جست‌وجو در میان رئوس چندضلعی یافتن حداقل یکی از آن‌ها را تضمین می‌کند (شکل ۱).به‌طورکلی برنامه‌ریزی خطی که تحت مسائل بهینه‌سازی خطی بررسی می‌شود، روش ریاضی جهت یافتن مقادیر کمینه و بیشینه با کمک تابع خطی و نمودار چندضلعی محدب است. چندضلعی محدب نمایش نموداری محدودیت‌های متغیرهای تابع خطی استفاده شده است.




**شکل ۱** منطقه انعطاف‌پذیر در یافتن راه‌حل بهینه در برنامه‌ریزی خطی

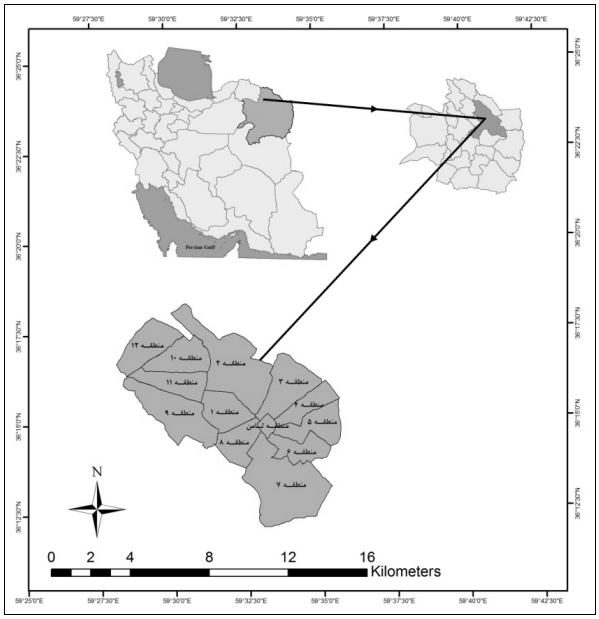
به‌طورکلی برنامه‌ریزی خطی(LP)[1]اولین بار توسط لئونوید کانتروویچ[۲] (۱۹۳۹) معرفی شده است. نظریه LP بعداً توسط جرج دانزینگ[۳] (۱۹٤۷) گسترش داده شد. او کسی است که الگوریتم سیمپلکس[٤] را برای حل مسائل و موضوعات خطی بر حسب محدودیت‌های خطی و با یک تابع هدف منفرد اشاعه داد. روش سیمپلکس برای حل متغیرهای نامنفی طراحی شده است. این روش به دلیل توانایی مدل بندی مسائل مهم و پیچیدهٔ مدیریتی و نیز توانمندی حل مسائل در مدت زمانی معقول، در برنامه‌ریزی خطی کاربردهای وسیعی یافته است. روش تعامل تناوبی سیموس (SIMUS) نیز از جمله روش‌های به کار گرفته شده در بحث پایداری شهری بر پایهٔ الگوریتم برنامه‌ریزی خطی است. به‌طورکلی سیموس از تلفیق نظریهٔ مطلوبیت و برنامه‌ریزی خطی در حل مسائل مربوط به انتخاب معیار اصلی و گزینش معیارها بهره می‌برد. روش تعامل تناوبی سیموس به‌عنوان یک الگوریتم خطی کارآمد در ارائهٔ الگوی راهبردی توسعه بر پایهٔ مخاطرات معرفی شده است. در زمینهٔ الگوریتم خطی سیموس مطالعات کمی صورت گرفته است که می‌توان به کار نیجیم[٥] و همکاران (۲۰۰٤) برای امکان سنجی منابع انرژی تجدید پذیر در کانادا صورت گرفته است اشاره کرد که اولویت گزینه‌های پیشنهادی به ترتیب انرژی خورشیدی، نیروی باد، پی‌وی الکتریک، انرژی زمین‌گرمایی و در نهایت میکرو هیدرو به دست آمد. هم چنین ریکر[٦] و همکاران (۲۰۰۱) در طرح توسعهٔ فرودگاه در منطقهٔ ماستریخت[۷] هلند با استفاده از روش برنامه‌ریزی خطی سیموس مناسب‌ترین مکان‌های احداث فرودگاه را طبقه‌بندی نمودند. از آن جایی که روش سیموس نسبتاً جدید بوده، در این زمینه هیچ پژوهشی در ایران انجام نگرفته است و پژوهش حاضر را می‌توان از اولین مطالعات در این زمینه قلمداد کرد.

### ۳. منطقه مورد مطالعه

کلان‌شهر مشهد، مرکز استان خراسان رضوی، با مساحت ۲۰٤ کیلومتر مربع، در شمال شرق ایران و در طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۵ دقیقه تا ٦۰ درجه و ۳٦ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ٤۳ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۸ دقیقه در حوضهٔ آبریز کشف رود، بین رشته‌کوه‌های بینالود و هزار مسجد قرارگرفته است (شکل ۲). طبق طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن این کلان‌شهر دارای آب و هوای سرد و خشک با مقدار حرارت متوسط سالیانه ۱۳/۷ درجه است. ارتفاع این کلان‌شهر از سطح دریاهای آزاد ۹۹۹/۲ متر می‌باشد. کلان‌شهر مشهد، به‌عنوان بزرگ‌ترین شهر مذهبی در ایران و دومین کلان‌شهر مذهبی جهان سالانه پذیرای بیش از ۳۰ میلیون نفر گردشگر مذهبی از داخل و خارج است که نقش پر رنگی در توسعهٔ اقتصادی و فرهنگی این شهر دارد. مشهد هم‌چنین به‌عنوان دومین کلان‌شهر جمعیتی کشور پس از پایتخت، با روند رو به رشد و مهاجرپذیری در سال‌های اخیر روبرو بوده است، به‌طوری‌که جمعیت این کلان‌شهر در سال ۱۳۹۰ از مرز ۳

1 Linear Programming
2Leonid Kantorovich
3Georg Dantzing
4Simplex algorithm
5Nigim
6Vreeker
7 Maastricht

میلیون نفر گذشت که طبیعتاً بیش‌ترین نرخ رشد مربوط به نقاط حاشیه‌ای خواهد بود. این در حالی است که این کلان‌شهر سالانه پذیرای حجم بالای گردشگر مذهبی می‌باشد و بیش‌ترین سهم گردشگر مذهبی را در کشور داراست. هم‌چنین این کلان‌شهر در طی چند دههٔ اخیر روند تکاملی توسعه را پشت سر گذاشته است و با توجه به توسعهٔ روزافزون این شهر نیاز به اصول و برنامه‌ریزی شهری بیش از پیش احساس می‌شود.




**شکل ۲** موقعیت منطقهٔ مطالعاتی (کلان‌شهر مشهد)

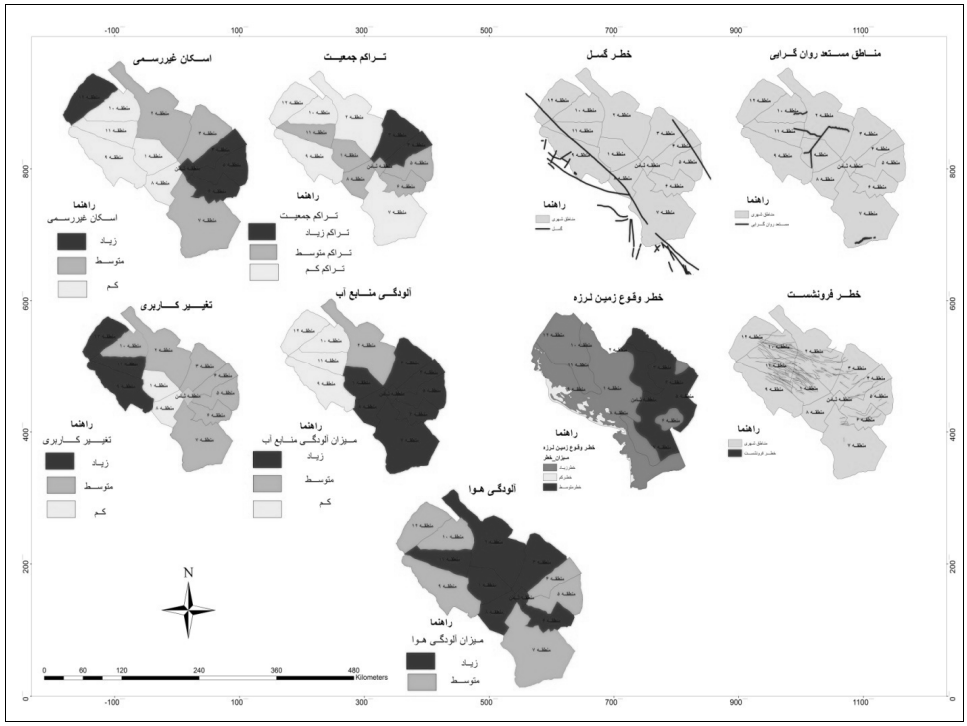
## ٤. مواد و روش‌ها

در این پژوهش به‌منظور رسیدن به نقشهٔ حساسیت پذیری مخاطرات که به‌نوعی بازگوکننده تحمل‌پذیری مناطق شهری به مخاطرات محیطی است، در ابتدا، معیارهای مؤثر در آسیب‌پذیری مناطق به مخاطرات و یا به عبارتی معیارهای مخاطرات محیطی در دو بعد ژئومورفولوژیکی و محیط‌زیستی مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به شرایط توپوگرافی، موقعیت زمین‌شناسی، شرایط اقلیمی و نیز تراکم جمعیت و توسعهٔ شهری کلان‌شهر مشهد در سال‌های اخیر، ۹ معیار مؤثر در مخاطرات محیطی بر پایهٔ نظرات خبرگان مطابق جدول ۱ تعیین و انتخاب گردید. در انتخاب معیارهای مورد بررسی سعی شده است تا جنبه‌های خطرات شاخص‌های جمعیتی، ژئومورفولوژیکی و محیط‌زیستی در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گیرد.

**جدول ۱** معیارهای ژئومورفولوژیکی و محیط‌زیستی مؤثر در حساسیت مناطق شهری کلان‌شهر مشهد به مخاطرات محیطی

| معیارهای ژئومورفولوژی | | | | معیارهای محیط‌زیستی | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| روان گرایی | زمین لرزه | گسل | فرونشست | آلودگی هوا | آلودگی آب | تغییر کاربری | تراکم جمعیت | اسکان غیررسمی |

پس از تعیین و انتخاب معیارهای مذکور، نقشهٔ کیفیت معیارهای مورد مطالعه با استفاده از داده های موجود در محیط GIS تهیه گردید. شکل ۳، نقشهٔ کیفیت معیارهای مورد بررسی در مطالعهٔ حاضر را نشان می‌دهد.




**شکل ۳** نقشه کیفی معیارهای محیط‌زیستی و پهنه‌بندی مخاطرات محیطی کلان‌شهر مشهد

در گام بعد ماتریس تصمیم جهت انجام فرایند برنامه‌ریزی خطی دنبال شده در این پژوهش تدوین گردید. همان‌طور که در جدول ۲ مشخص شده است، ماتریس تصمیم در این پژوهش شامل ۱۳ گزینه و ۹ معیار می‌باشد. جهت ساخت ماتریس وزنی نرمال شده در این پژوهش از نرم‌افزار Expert choice (version 11) بر پایهٔ الگوریتم تحلیل سلسله مراتبی (AHP) بهره گرفته شد. هم‌چنین با توجه به وجود منابع علمی کافی در این خصوص از ذکر روش کار AHP پرهیز شده است. لازم به ذکر است که در این پژوهش از شرایط عدم قطعیت در تعیین درجهٔ اهمیت معیارهای مورد مطالعه چشم‌پوشی و نقش هر کدام از معیارها و یا به عبارتی ضریب وزنی معیارها یکسان و برابر ۱ در نظر گرفته شد. به‌عبارت‌دیگر برآورد مقدار عدم قطعیت صورت نگرفته است.

ارزش وزنی در نظر گرفته در این پژوهش در دامنهٔ قطعی ۹-۱ طبقه بندی شده است. بطوریکه ۱ نشان دهندهٔ شرایط کم‌خطر و ۹ معرف حداکثر مخاطره است.

پس از تهیهٔ ماتریس تصمیم وزنی نرمال شده، محاسبات در دو مرحله صورت گرفت، مرحلهٔ نخست شامل تهیهٔ نقشهٔ تحمل‌پذیری مناطق شهری مشهد به مخاطرات محیطی بر پایهٔ برنامه‌ریزی خطی و مرحلهٔ دوم شامل ارائهٔ الگوی راهبردی جهت توسعهٔ پایدار مناطق شهری بر حسب درجهٔ مخاطرات است.

**مرحلهٔ نخست:**

در این مرحله به منظور تهیهٔ نقشهٔ تحمل‌پذیری مناطق شهری مشهد به مخاطرات محیطی، الگوی برنامه‌ریزی خطی تعامل تناوبی سیموس(SIMUS) جهت تعیین درجهٔ تحمل‌پذیری مناطق بر روی ماتریس وزنی نرمال اعمال

گردید. پس از تعیین مقادیر و روابط نهایی، نهایتاً مناطق شهری در ۳ کلاس که معرف درجهٔ تحمل‌پذیری کم، متوسط و زیاد می‌باشد مطابق جدول شمارهٔ ۳ طبقه بندی شدند.

روش سیموس یک روش برنامه‌ریزی خطی برای برنامه‌ریزی توسعهٔ پایدار شهری می‌باشد و از آن‌جا که به علت محدودیت منابع نمی‌توان کاملاً از روش‌های LP پیروی نمود، این روش با در نظر گرفتن حد آستانه[1] برای محدودیت‌ها نسبت به سایر روش‌های LP برای برنامه‌ریزی شهری برتری یافته است. در این روش برای مسائل چند هدفه مانند سایر روش‌ها، یک ماتریس تصمیم مشخص و موضوعات در نظر گرفته شده به‌عنوان هدف به صورت توابع هدف برای تصمیم‌گیری انتخاب می‌شوند. تابع هدف در نظر گرفته در این پژوهش به‌صورت رابطهٔ ۱ تعریف شده است:

$$f(x) = a_1x_1 + a_2x_2 + \ldots\ldots + a_nx_n$$

در این رابطه:

$a$ ضریب نهایی برای هر منطقه و $x$ وزن نرمال برای هر یک از معیارها می‌باشد.

در ادامه به دنبال تعریف تابع هدف، انتظار بیشینه نمودن متغیرهای تابع دنبال شده است. به عبارتی حد نهایی مخاطرات در نظر گرفته شد. همان‌طور که گفته شد در برنامه‌ریزی خطی تعامل تناوبی سیموس یک حد آستانه برای هر متغیر جهت رسیدن به حد کمینه یا بیشینه (در این جا بیشینه) در نظر گرفته می‌شود. بطوریکه مقادیر کم‌تر از حد آستانه نشان‌دهندهٔ وضعیت تحمل‌پذیری مناطق شهری معیارها به مخاطرات مورد بررسی بوده‌اند. در این پژوهش میانگین مقادیر جهت حد آستانهٔ تابع هدف در نظر گرفته شده است. سپس به دنبال تدوین ماتریس تصمیم نرمال وزنی در مرحلهٔ قبل، عملیات خطی بر روی تابع به کمک نرم‌افزار *Solver* در محیط اکسل(*Excel*) انجام شد. در جدول ٤ مقادیر محاسباتی حد آستانه، تابع هدف و مقادیر کمینه و بیشینه مشخص شده است.

**جدول۲** ماتریس نرمال وزنی معیارهای مؤثر در مخاطرات محیطی

| معیار / منطقه | روان گرایی | زمین لرزه | گسل | فرونشست | آلودگی هوا | آلودگی آب | تغییر کاربری | تراکم جمعیت | اسکان غیررسمی |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| منطقه ۱ | ۰/۲۰۸ | ۰/۱۱۹ | ۰/۰۱۵ | ۰/۱٤۰ | ۰/۱٦٦ | ۰/۱۹۲ | ۰/۰۲۱ | ۰/۰۵۸ | ۰/۰۲۹ |
| منطقه ۲ | ۰/۲۰۸ | ۰/۰۳۰ | ۰/۰۱۵ | ۰/۱٤۰ | ۰/۰۷۹ | ۰/۰۵۰ | ۰/۰۳۳ | ۰/۰۲۷ | ۰/۰۸٦ |
| منطقه ۳ | ۰/۰۱۸ | ۰/۰۱۸ | ۰/۱۱۳ | ۰/۰۸۲ | ۰/۰۷۹ | ۰/۱٦۱ | ۰/۰۳۳ | ۰/۱۸٤ | ۰/۰۸٦ |
| منطقه ٤ | ۰/۰۱۸ | ۰/۰۱۸ | ۰/۱۱۳ | ۰/۰۸۸ | ۰/۰۲۳ | ۰/۰٦۷ | ۰/۰٦۰ | ۰/۲٤۵ | ۰/۱۱۰ |
| منطقه ۵ | ۰/۰۱۸ | ۰/۰۱۸ | ۰/۰۱۵ | ۰/۰۳۱ | ۰/۰۲۳ | ۰/۱۰۵ | ۰/۰۳٦ | ۰/۰٤۵ | ۰/۱۱۰ |
| منطقه ٦ | ۰/۰۱۸ | ۰/۰۳٤ | ۰/۰۱۵ | ۰/۰۸۰ | ۰/۰۷۹ | ۰/۰٦۵ | ۰/۰٦۳ | ۰/۱۳٦ | ۰/۱۲۵ |

1Threshold

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **منطقه ۷** | ۰/۱۰٤ | ۰/۰٦۸ | ۰/۱۵۱ | ۰/۰۲٦ | ۰/۰٤۳ | ۰/۰٦۵ | ۰/۰٦۳ | ۰/۰۲۷ | ۰/۰٦۵ |
| **منطقه ۸** | ۰/۰۱۸ | ۰/۱٤۹ | ۰/۱۱۳ | ۰/۰۱۰ | ۰/۱۵۰ | ۰/۱٦٦ | ۰/۰۲٤ | ۰/۰٤٤ | ۰/۰۱۷ |
| **منطقه ۹** | ۰/۱۰٤ | ۰/۰۷۸ | ۰/۱۷۲ | ۰/۰۵٦ | ۰/۰۵۷ | ۰/۰۱۵ | ۰/۲۱٤ | ۰/۰۳۸ | ۰/۰۱۹ |
| **منطقه ۱۰** | ۰/۱٤۸ | ۰/۱٤۹ | ۰/۰۳۵ | ۰/۱۳۲ | ۰/۰۲۵ | ۰/۰۱۵ | ۰/۰۸۱ | ۰/۰۳۸ | ۰/۰۱۷ |
| **منطقه ۱۱** | ۰/۱۰٤ | ۰/۱٤۹ | ۰/۱۱۳ | ۰/۱۳۲ | ۰/۰۸۳ | ۰/۰۲۱ | ۰/۱۲۹ | ۰/۰۷۲ | ۰/۰۱۷ |
| **منطقه ۱۲** | ۰/۰۱۸ | ۰/۱٤۹ | ۰/۱۱۳ | ۰/۰٦۰ | ۰/۰۲٦ | ۰/۰۱۱ | ۰/۲۰۸ | ۰/۰۱۲ | ۰/۱۲۵ |
| **منطقه ثامن (منطقه ۱۳)** | ۰/۰۱۸ | ۰/۰۲۱ | ۰/۰۱۵ | ۰/۰۲٤ | ۰/۱٦۷ | ۰/۰٦۸ | ۰/۰۳٦ | ۰/۰۷٤ | ۰/۱۹۵ |

**جدول ۳** کلاس بندی درجهٔ تحمل پذیری و حساسیت پذیری به مخاطرات

| درجهٔ تحمل پذیری | درجهٔ حساسیت پذیری | کلاس کمی |
|---|---|---|
| کم | زیاد | >۰/۵۵ |
| متوسط | متوسط | ۰/۱۵– ۰/۵۵ |
| زیاد | کم | <۰/۱۵ |

پس از اتمام مراحل تصمیم‌گیری از دو روش می‌توان بهره برد تا تصمیم‌گیری نهایی یعنی درجه‌بندی حساسیت پذیری و تحمل‌پذیری مناطق شهری صورت پذیرد. در گام نخست می‌توان با بررسی مجموع مقادیر حاصل از بیشینه‌سازی تابع هدف مطابق رابطهٔ ۲، طبقه‌بندی مناطق را انجام داد.

رابطهٔ ۲: $SUM = \sum_{i=1}^{n} x_{ij}$

در این رابطه:

$SUM$: مجموع امتیازات، $n$: تعداد گزینه‌ها و $x_{ij}$:عناصر ماتریس تصمیم می‌باشند.

هم چنین در حالت دوم می‌توان از طریق محاسبهٔ نسبت مشارکت(PR)[1]هر کدام از متغیرهای تابع و نرمال سازی متغیرها(NPR)[2] اولویت هر گزینه مشخص می‌گردد. نسبت مشارکت، میزان مشارکت هر گزینه را در برابر تعداد اهداف نشان می‌دهد. برای مثال برای گزینه اول (منطقه ۱) این مقدار از میزان مشارکت این گزینه در برابر توابع هدف به دست می‌آید. $4/9 = 0.444$

انتخاب نهایی بر پایهٔ حاصل‌ضرب مقادیر نرمال نسبت مشارکت متغیرها در مجموع ضرایب حاصل مطابق رابطهٔ ۳ به دست می‌آید.رابطهٔ ۳: SUM * NPR

1Participation Ratio (PR)
2Normal Participation Ratio (NPR)

در جدول ٤ مقادیر تابع هدف و محاسبات انجام شده بر پایهٔ حد آستانه و بیشینه‌سازی تابع هدف تحت محیط Solver نشان داده شده است.

**مرحله دوم:**

پس از تعیین درجهٔ تحمل‌پذیری و طبقه‌بندی مناطق، شش راهبرد (استراتژی) بر حسب معیارهای اکولوژیکی-اقتصادی مطابق جدول ۵ با توجه به نقشهٔ تحمل پذیری تهیه شده از مرحلهٔ قبل تدوین شد.

معیارهای در نظر گرفته در انتخاب راهبردها را زمان انجام راهبرد، سودآوری حاصل از اجرای پروژه، منابع مالی موجود و امکانات در انجام پروژه و توان اکولوژیکی منطقه تشکیل می‌دهند. انتخاب معیارها و راهبردها با کمک نظرات کارشناسی صورت گرفته است.

سپس مطابق مرحلهٔ قبل، الگوریتم سیموس جهت انتخاب بهترین و مناسب‌ترین راهبردها جهت توسعهٔ شهری کلان‌شهر مشهد با توجه به درجهٔ مخاطرات در مناطق شهری انجام گردید.

**جدول ٤** درجهٔ آسیب پذیری مناطق شهری به مخاطرات محیطی

| آستانه | اثر | رابطه | منطقه ثامن(۱۳) | منطقه ۱۲ | منطقه ۱۱ | منطقه ۱۰ | منطقه ۹ | منطقه ۸ | منطقه ۷ | منطقه ٦ | منطقه ۵ | منطقه ٤ | منطقه ۳ | منطقه ۲ | منطقه ۱ | مناطق / معیار |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| ۰/۰۷۷ | Max | <= | | | | | | | | | | | | | ۰/۳۷۱ | روان گرایی |
| ۰/۰۷۷ | Max | <= | | ۰/۰٥٦ | | | | ۰/٤٦۰ | | | | | | | | زمین لرزه |
| ۰/۰۷۷ | Max | <= | | | | | ۰/۳۱٦ | | ۰/۱٤۸ | | | | | | | گسل |
| ۰/۰۷۷ | Max | <= | | ۰/۱۳۷ | | ۰/۰٤۰ | | | | | | ۰/۲۲۷ | | | ۰/۳۱۱ | فرونشست |
| ۰/۰۷۷ | Max | <= | ۰/۳۸۳ | | | | | ۰/۰۳۹ | | | | | | | ۰/۰۷۸ | آلودگی هوا |
| ۰/۰۷۷ | Max | <= | | | | | | | | | | | | | ۰/۳٦۷ | آلودگی آب |
| ۰/۰۷۷ | Max | <= | | | | | ۰/۳٦۰ | | | | | | | | | تغییر کاربری |
| ۰/۰۷۷ | Max | <= | | | | | | | | | | ۰/۳۱٤ | | | | تراکم جمعیت |
| ۰/۰۷۷ | Max | <= | ۰/۳۹٥ | | | | | | | | | | | | | اسکان غیررسمی |
| | | | ۰/۷۷۸ | ۰/۱۹۳ | | ۰/۰٤۰ | ۰/٦۷٦ | ۰/٤۹۹ | ۰/۱٤۸ | | | ۰/٥٤۱ | | | ۱/۱۲۷ | SUM |
| | | | ۰/۲۲۲ | ۰/۲۲۲ | | ۰/۱۱۱ | ۰/۲۲۲ | ۰/۲۲۲ | ۰/۱۱۱ | | | ۰/۲۲۲ | | | ۰/٤٤٤ | PR |
| | | | ۰/۱۲٥ | ۰/۱۲٥ | | ۰/۰٦۳ | ۰/۱۲٥ | ۰/۱۲٥ | ۰/۰٦۳ | | | ۰/۱۲٥ | | | ۰/۲٥۱ | NPR |
| | | | ۰/۰۹۷ | ۰/۰۲٤ | | ۰/۰۰۲٥ | ۰/۰۸٤ | ۰/۰٦۲ | ۰/۰۰۹ | | | ۰/۰٦۸ | | | ۰/۲۸۳ | SUM*NPR |
| | | | ۲ | ٦ | | ۸ | ۳ | ٥ | ۷ | | | ٤ | | | ۱ | رتبه بندی |

**جدول ۵** راهبردهای پیشنهادی جهت تدوین نقشهٔ راهبردی مقابله با مخاطرات محیطی کلان‌شهر مشهد

| برنامه هدفمند طرح ترافیک | جلوگیری از تغییرات کاربری اراضی | تدوین برنامه کنترل مهاجرپذیری | مقاوم‌سازی بناها در برابر زمین لرزه | تعیین حریم شهری جهت توسعه | افزایش سرانه فضای سبز | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| ۰/۲۵۸ | ۰/۱٤۲ | ۰/۰۷۱ | ۰/۲۱٤ | ۰/۱۷۸ | ۰/۱۰۷ | زمان |
| ۰/۲٦۳ | ۰/۱۸۳ | ۰/۱٦۳ | ۰/۱۸۳ | ۰/۱٦۳ | ۰/۱٤۲ | سودآوری اقتصادی |
| ۰/۲۱۲ | ۰/۱۵۱ | ۰/۱۲۱ | ۰/۱۸۱ | ۰/۱۸۱ | ۰/۰۹ | منابع مالی موجود |
| ۰/۱٦۲ | ۰/۱٦۲ | ۰/۱۳۹ | ۰/۱۸٦ | ۰/۱٦۲ | ۰/۱۸٦ | پتانسیل اکولوژیکی |
| ۰/۱۸٤ | ۰/۱۵۷ | ۰/۱۵۷ | ۰/۲۱ | ۰/۱۳۱ | ۰/۱۵۷ | امکانات فن‌آوری |

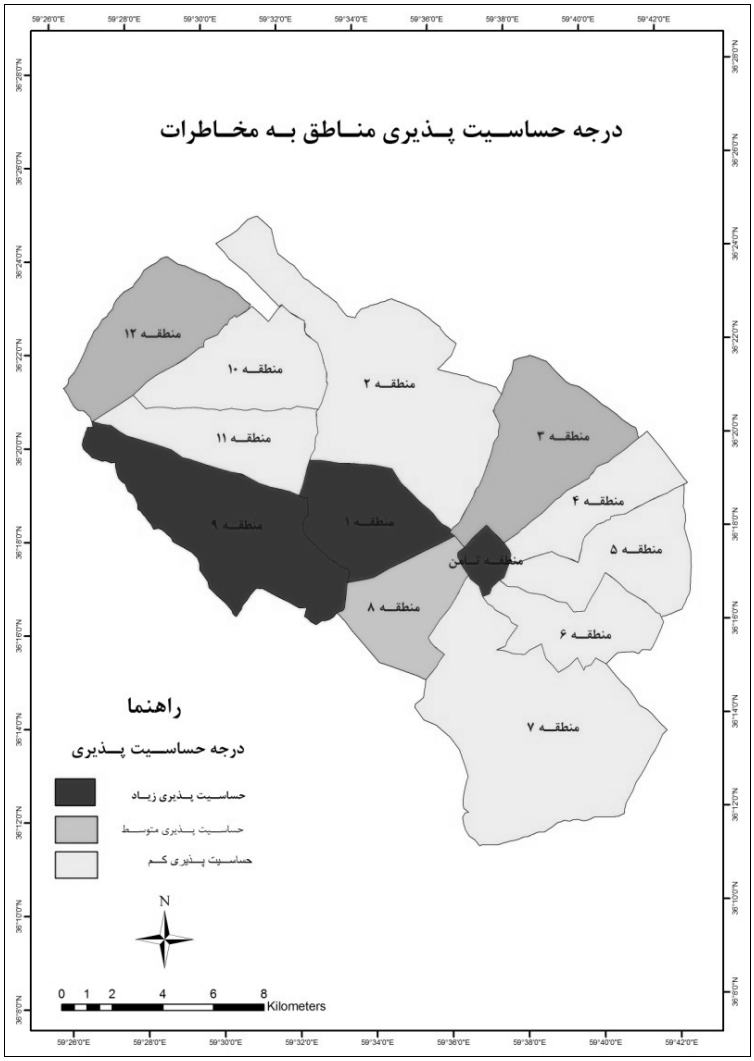
## ۵. بحث و نتایج

همان‌طور که بیان گردید هدف از مطالعه مذکور، تهیه نقشه تحمل‌پذیری مناطق شهری کلان‌شهر مشهد به مخاطرات محیطی و ارائه راهبردهای مقابله در مناطق شهری کلان‌شهر مشهد بوده است. تهیهٔ نقشه‌های کیفیت ۹ معیار مخاطره شامل معیارهای ژئومورفولوژیک و محیط‌زیستی نشان داد که مناطق ۱، ۲، ۷، ۹، ۱۰ و ۱۱ شهری مناطق مستعد روان‌گرایی هستند.همچنین مناطق ۳، ٤، ۷، ۸، ۹، ۱۱ و ۱۲ احتمال وقوع مخاطرات ناشی از گسل در آن‌ها زیاد است. بررسی نقشه‌ها مؤید خطر بالای فرونشست در مناطق ۱، ۲، ۳، ٤، ٦، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ نسبت به سایر مناطق شهری است.

در رابطه با مخاطرات محیط‌زیستی، نتایج نشان می‌دهد که تراکم جمعیت در مناطق ۳، ٤ و ٦ بیش‌تر از سایر مناطق بوده و در بعضی از این مناطق مانند منطقهٔ ٤ به علت تراکم بالای جمعیت، آلودگی منابع آب و هوا در وضعیت بحرانی است. مناطق ٤، ۵، ٦، ۱۲ و ثامن، که بخش عمده بافت قدیمی و فرسوده مشهد را نیز در برگرفته‌اند، از روند افزایشی اسکان غیررسمی در سال‌های اخیر برخوردارند، آنچه وضعیت آلودگی منابع آب و هوا و تغییرات کاربری را در این مناطق به دنبال داشته است. در مناطق ۹، ۱۱ و ۱۲، به علت گسترش شهر و ساخت و ساز در سال‌های اخیر در این مناطق، شاهد تغییرات کاربری بیش از اندازه نسبت به مناطق دیگر هستیم. ازآنجاکه بافت جدید شهر در این مناطق متمرکز شده است، توجه به مطالعات آمایشی در توسعه شهری و بررسی مخاطرات شهری در این مناطق بسیار مهم است. از لحاظ آلودگی منابع آب، مناطق ۱، ۳، ٤، ۵، ٦، ۷، ۸ و ثامن از وضعیت نامناسبی در مقایسه با مناطق ۲، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲ شهری برخوردارند. این امر به تراکم جمعیت، اسکان‌های غیر رسمی و هم‌جواری بارگاه امام هشتم (ع) و تراکم ساخت و ساز در این مناطق برمی‌گردد.

شکل ٤، نقشه حساسیت (تحمل‌پذیری) مناطق شهری کلان‌شهر مشهد را به مخاطرات محیطی نشان می‌دهد. درجه حساسیت پذیری پایین معرف تحمل پذیری بالای منطقه در برابر وقوع مخاطرات است. همان‌طور که مشخص است، مناطق ۱، ۹ و ثامن آسیب‌پذیرترین مناطق به مخاطرات محیطی هستند و در کلاس حساس پذیر قراردارند. البته با توجه به مطالعات و تهیه نقشه‌های کیفی مخاطرات، حساسیت پذیری بالای منطقه ۹، که بافت جدید شهر را شامل می‌شود، به شرایط ژئومورفیک این منطقه نظیر هم‌جواری با خط گسل، زلزله خیزی، توسعه بر روی مخروط افکنه و موارد مشابه

دیگر مربوط می‌شود. این در حالی است که حساسیت پذیری بالای منطقه ثامن عمدتاً در ارتباط با مخاطرات محیط‌زیستی است. هم‌چنین در منطقه ۱ اثرات مخرب ژئومورفولوژیکی در این منطقه نسبت به سایر مخاطرات سهم بیش‌تری در ایجاد روند حساسیت پذیری دارد. درجهٔ حساسیت پذیری مناطق به صورت روبرو می‌باشد: ۱۰>۷>۱۲>۸>٤>۹>۱۳>۱




**شکل ٤** درجه حساسیت پذیری مناطق شهری مشهد به مخاطرات محیطی

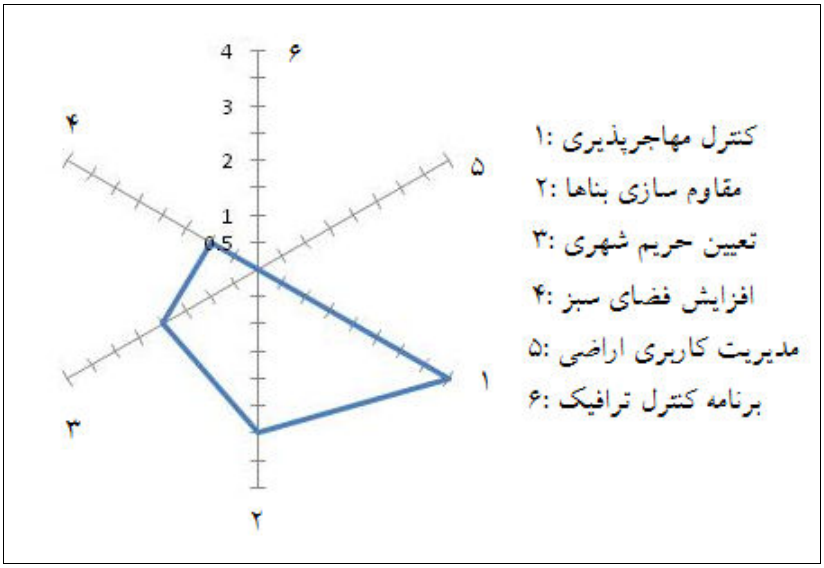
پس از مشخص شدن درجه آسیب پذیری مناطق مناسب‌ترین راهبردها جهت توسعهٔ پایدار کلان‌شهر مشهد مطابق جدول ٦، با استفاده از الگوریتم سیموس ارائه شد. با توجه به این‌که برای انجام توسعهٔ پایدار کلان‌شهر مشهد زمان، سودآوری اقتصادی، منابع مالی موجود، پتانسیل اکولوژیکی و امکانات فن‌آوری علاوه بر اهمیتی که دارند، محدود هستند، این گزینه‌ها به‌عنوان محدودیت‌ها برای انجام راهبردها توسط کارشناسان در نظر گرفته شد. از آن‌جا که زمان، منابع مالی موجود و پتانسیل اکولوژیکی و امکانات فن‌آوری به‌طور نامحدود برای توسعه در اختیار ما نمی‌باشند، توجه به آن‌ها امری بسیار ضروری برای برنامه‌ریزی و

اولویت‌بندی راهبردها جهت توسعه می‌باشد. علاوه بر این سودآوری اقتصادی نیز برای ما مهم است زیرا اگر طرح توسعه توجیه اقتصادی نداشته باشد در اولویت کاری قرار نخواهد گرفت.

**جدول ٦** جدول اولویت‌بندی راهبردها

| | A | B | C | D | E | F | رابطه | اثر | آستانه |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **زمان** | | | | ۱/۲۸۹ | | | <= | Max | ۰/۱٦۲ |
| **سودآوری اقتصادی** | ۰/۰۸٦ | ۰/۲۱۹ | ۰/٤٦۰ | ۰/۲۰۷ | | | >= | Max | ۰/۱٦٦ |
| **منابع مالی موجود** | ۰/۰۱۳ | | ۰/٦٤٤ | ۰/۳۱٦ | | | >= | Max | ۰/۱٥٦ |
| **پتانسیل اکولوژیکی** | | | ۰/٦٤٥ | ۰/۳۳۱ | | | >= | Max | ۰/۱٦٦ |
| **امکانات فن‌آوری** | ۰/۰۸۸ | ۰/۳۲٦ | ۰/۳۷٥ | ۰/۱۹٤ | | | >= | Max | ۰/۱٦٦ |
| **راهنما ۱** | | | | | | | | | |
| **SUM** | ۰/۱۸۷ | ۰/٥٤٥ | ۲/۱۲٤ | ۲/۳۳۷ | | | | | |
| **راهنما ۲** | | | | | | | | | |
| **PR** | ۰/٦ | ۰/٤ | ۰/۸ | ۱ | | | | | |
| **NPR** | ۰/۲۱٤ | ۰/۱٤۳ | ۰/۲۸٦ | ۰/۳٥۷ | | | | | |
| **SUM*NPR** | ۰/۰٤۰ | ۰/۰۷۷ | ۰/٦۰۷ | ۰/۸۳٤ | | | | | |
| **رتبه‌بندی** | ٤ | ۳ | ۲ | ۱ | | | | | |

با توجه به محدودیت‌های مهم جهت اجرای طرح‌های توسعه کلان‌شهر مشهد،اولویت‌بندی راهبردهای مؤثر در توسعهٔ پایدار این کلان‌شهر با توجه به حساسیت پذیری مناطق به مخاطرات، مطابق شکل ٥ ارائه شد.




**شکل ٥** اولویت راهبردهای مؤثر در توسعه پایدار شهری مشهد بر پایه محدودیت‌های مؤثر در اجرای طرح‌های توسعه

بدین ترتیب بهینه‌ترین راهبردها با الگوریتم سیموس به ترتیب اولویت، تدوین برنامهٔ کنترل مهاجرپذیری، مقاوم‌سازی بناها و ساختمان‌ها در برابر زمین‌لرزه، تعیین حریم شهری جهت توسعه و افزایش سرانهٔ فضای سبز خواهد بود. همان‌طور که در تعیین بهینه‌ترین راهبردها دریافت شد در مناطق ٤، ٥، ٦، ١٢ و ثامن که وضعیت مناسبی از لحاظ معیارهای محیط‌زیستی قرار ندارند، اولویت راهبرد تدوین برنامهٔ کنترل مهاجرپذیری می‌باشند. تعیین حریم شهری جهت توسعه امکان‌پذیر نیست مگر با تدوین برنامهٔ کنترل مهاجرپذیری و از آن‌جایی که گسترش شهر در سال‌های اخیر در مناطق نه، ده و یازده شهری متمرکز شده است، تعیین حریم شهری جهت توسعه بسیار مهم می‌باشد. در مناطقی که ریسک وقوع زمین‌لرزه بسیار زیاد است (مناطق ۱، ۹، ۱۰، ۱۱ و ۱۲)، راهبرد مقاوم‌سازی بناها و ساختمان‌ها در برابر زمین‌لرزه باید در اولویت طرح‌های توسعه در این مناطق باشد.

## ٦. نتیجه‌گیری

مکان‌گزینی، گسترش و توسعهٔ فیزیکی شهرها می‌بایست بر پایهٔ نقش و درجهٔ تأثیر مخاطرات محیطی صورت گیرد. جلوگیری از خسارت‌های جبران‌ناپذیر ناشی از فرآیندهای ژئومورفولوژیکی و صدماتی که در پی توسعهٔ شهری بر محیط‌زیست وارد می‌آید، نیازمند اتخاذ تصمیم‌های برنامه‌ریزی شده و مدیریت اصولی مسئولان برای روند تکاملی توسعهٔ شهری است. اشتیاق به هم‌جواری با بارگاه امام هشتم، رفاه و دسترسی به امکانات شهری، وجود مراکز علمی-صنعتی، ذوق به زندگی در این کلان‌شهر را افزایش داده است. متأسفانه مهاجرت و توسعه غیرمنطقی، موجب توسعه غیر اصولی شهر در مناطقی با حساسیت بالا به مخاطرات ژئومورفیک شده است. هم‌چنین آلودگی منابع آب و نیز افزایش آلاینده‌های هوا در سال‌های اخیر، ارمغان این روند مهاجرت و توسعه شهری در دهه‌های اخیر بوده است. با در نظر گرفتن وضعیت موجود کلان‌شهر مشهد و مشخص شدن درجهٔ حساسیت پذیری مناطق شهری نسبت به مخاطرات موجود، توجه به درجه تحمل‌پذیری مناطق شهری در اجرای طرح‌های توسعه بسیار مهم است. در این پژوهش با استفاده از الگوریتم خطی سیموس، نقشه حساسیت پذیری مناطق شهری مشهد به مخاطرات محیطی تهیه شد. نتایج مؤید درجه حساسیت بالای مناطق ۱، ۹ و ثامن (حرم رضوی) به مخاطرات محیطی است. این در حالی است که این مناطق در سال‌های اخیر با رشد جمعیت و ساخت و سازهای شهری همراه هستند. الگوریتم استفاده شده در این پژوهش گامی نخست در کاربرد روش‌های برنامه‌ریزی خطی در مدیریت و تهیه نقشه مخاطرات محیطی است و می‌تواند در پژوهش‌های آتی مورد توجه و ارزیابی قرار گیرد.

## کتابنامه

حسین‌زاده، سید رضا، خسروی بیگی، رضا، ایستگلدی، مصطفی، شمس‌الدینی، رضا؛ ۱۳۹۰. ارزیابی پایداری زیست محیطی در نواحی شهری با استفاده از فن تصمیم‌گیری چند معیاره تخصیص خطی (مطالعهٔ موردی: شهر بندر ترکمن). چشم‌انداز جغرافیایی (مطالعات انسانی)، شماره ١٦.

شریفی‌کیا، محمد، مال‌امیری، نعمت، شایان، سیاوش؛ ۱۳۹۲. سنجش آسیب‌پذیری سکونتگاه‌ها و تاسیسات از مخاطره مورفولوژیکی فرونشست در بخشی از جنوب شهر تهران. جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۵.

شمسی‌پور، علی اکبر و همکاران؛ ۱۳۹۱. تحلیل آسیب‌پذیری محیطی حریم شهر کرج با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی. پژوهش‌های آبخیزداری، شماره ۹۵.

رحمتی، صفرقائد؛ حیدری‌نژاد، نسیم؛ ۱۳۸۸. گسترش فیزیکی شهرها و ضرورت تعیین حریم امن شهری (نمونه: شهر اصفهان). فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی، شماره ۱.

زارعی، پروین، رامشت، محمدحسین؛ ۱۳۹۱. شاخص‌های محیطی مؤثر در توسعهٔ فیزیکی شهر قروه. چهارمین کنفرانس برنامه‌ریزی و مدیریت شهری.

عابدی، قدرت؛ ۱۳۸۸. بررسی بلایا و نقش آن در توسعهٔ پایدار با تأکید بر ایران. سپهر، شماره ۲۸.

عسکریزاده، سید محمد، محمدنیا قرائی، سهراب، ظهور، مجتبی؛ ۱۳۸۹. برنامه‌ریزی مدیریت بلایا و مخاطرات محیطی در راستای توسعهٔ پایدار. مجموعه مقالات چهارمین کنگره بین‌المللی جغرافیدانان جهان اسلام(ICIWG 2019).

فتحعلی، جعفر، میرجلیلی، فرشته‌السادات؛ ۱۳۸۸. مکان‌یابی فرودگاه استان سمنان با استفاده از روش‌های تاپسیس و مکان‌یابی مرکز. پژوهشنامه حمل و نقل، شماره ٤.

کرم، امیر، محمدی، اعظم؛ ۱۳۸۸. ارزیابی و پهنه‌بندی تناسب زمین برای توسعه فیزیکی شهر کرج و اراضی پیرامونی بر پایهٔ فاکتورهای طبیعی و روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، فصلنامه جغرافیای طبیعی، شماره ٤.

لطفی، حیدر، زیاری، یوسفعلی، صادقی، بابک؛ ۱۳۸۹. بررسی مکان‌یابی دفع پسماندها با روش برنامه‌ریزی خطی در محیط GIS (مطالعهٔ موردی: نواحی از استان خراسان رضوی). فصلنامه جغرافیایی سرزمین، شماره ۲٦.

نسترن، مهین، ابوالحسنی، فرحناز، ایزدی، ملیحه؛ ۱۳۸۹. کاربرد تکنیک تاپسیس در تحلیل و اولویت‌بندی توسعهٔ پایدار مناطق شهری مطالعهٔ موردی: مناطق شهری اصفهان. مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی شماره ۳۸(۲).

Abdi, A., Naseri Alavi, M. P., Mobasheri, H., 2013. Allocation of CNG stations in urban street Networks based on GIS approach and Prioritization with AHP and Topsis methods (case study: Rasht city). Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology 5 12, 3262-3272.

Abedi, G., 2009. Investigation of disasters and role on sustainable development considering Iran. Sepehr 28, 12-21.

Askarizadeh, S. M., Gharai, M. S., Zohour, M., 2010. Planning of disaster management and environmental hazards to sustainable development. In: Proceeding of ICIWG, pp. 104-113.

Fatali, J., Mirjalili, F., 2009. Place selection of Semnan airport using TOPSIS and center methods. Transportation Researches 4, 24-35.

Feng, C. C., Chan, H. W., 2004. Application of AHP in Decision-Making on urban land use: A case study of CHAO-HU city development inChina. International Journal of Construction Management 3 5, 93-110.

Ghed Rahmati, S., Heidarinejad, N., 2009. Physical development of cities and necessity of cities border determining (case study: Isfahan city). Geography and environmental studies 1, 43-54.

Han, Y., Huang, Y.F., Wang, G.Q., 2011. A Multi-objective Linear Programming model with interval parameters for water resources allocation Dalian city, Water Resource Manage 25, 449-463.

Hongrui, W., Yuanyuan, G., Qiong, L., Jinxi, S., 2010. Land use allocation based on interval Multi-objective Linear Programming model: A case study of Pi County in Sichuan province. China Geography Science 20 2, 176-183.

Hosseinzadeh, S. R., Khosravi Beigi, R., Istagladi, M., Shamsoddini, R., 2011. Assessment of environmental stability in urban areas using linear multi criteria decision techniques (case study: Bandar Torkaman). Landscape Geography 16, 31-51.

Huang, G. H., Sae-Lim, N., Liu, L., Chen, Z., 2001. An interval-parameter fuzzy-stochastic programming approach for municipal solid waste management and planning. Environmental Modeling and Assessment 6, 271-283.

Jafari, H.R., Rafii, Y., Ramezani Mehrian, M., Nasiri, H., 2012. Urban landfill site selection using AHP and SAW in GIS environment (case study: Kohkiluye-o-Boyer Ahmad province, Iran), Journal of Environmental Studies 61, 71-84.

Karam, A., Mohammadi, A., 2009. Assessment and zoning of land suitability for physical development of Karaj city and marginal areas based on natural factors and AHP method. Physical Geography 4, 51-63.

Lotfi, H., Ziyari, Y. A., Sadeghi, B., 2010. Investigation of sewage disposal by linear programming on GIS environment (case study: Khorasan Razavi). Land 26, 18-31.

Nastaran, M., Abolhasani, F., Izadi, M., 2010. Application of TOPSIS techniques for analysis and priority of sustainable development in Isfahan regions city. Geography and Environmental Planning 38 2, 47-61.

Nigim, K., Munier, N., Green, J., 2004. pre-feasibility MCDM tools to aid communities in prioritizing local viable renewable energy sources. Renewable Energy 29, 1775-1791.

Shadparvar, V., Torkashvand, A. M, Hashemabadi, D., 2013. Ranking of urban landscape using with analytic hierarchy process technique (case study: Rasht neighborhood parks). Advances in Applied Science Research 4 1, 273-276.

Shamsipoor, A. A., Feizi, V., Rezai Rad, H., 2012. Analyzing environmental vulnerability of Karaj city border using AHP. Watershed Management Researches 95, 91-104.

Sharifikia, M., Malmiri, N., Shayan, S., 2013. Settlement and infrastructure vulnerability assessment due to land subsidence geomorphological hazard in part of South Tehran. Geography and Environmental Hazards 2 5, 32-45.

Vrscaj, B., Poggio, L., Marsan, F.A., 2008. A method for soil environmental quality evaluation for management and planning in urban areas. Landscape and urban planning 88, 81-94.

Yang, Y., Ma, J., 2010. Study on Risk Zoning Technology of Major Environmental RiskSources in Urban Scale and Its Application in Shanghai, China. Environmental Sciences 2, 1050-1062.

Zarei, P., Ramesht, M. H., 2012. Environmental parameters affecting development of Ghorveh city. In: Proceeding of 4th conference on urban planning and management, pp. 121-128.