

# دو فصلنامه‌ی ژئومورفولوژی کاربردی ایران

سال اول، شماره اول، بهار و تابستان ۱۳۹۲

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۱/۹ تاریخ پذیرش: ۹۲/۴/۳

صص ۴۵ - ۶۰

## مکان‌یابی بهینه توسعه شهری با تاکید بر پارامترهای طبیعی با استفاده از مدل

تلفیقی فازی / AHP

### مطالعه موردی: شهرستان بروجرد

عزت اله فنواتی\*، دانشیار گروه ژئومورفولوژی دانشگاه خوارزمی، تهران، ایران

فاطمه دلفانی گودرزی، کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، تهران، ایران

#### چکیده

از تبعات رشد روز افزون جمعیت در ایران و دیگر کشورها، وسعت یافتن سطوح انواع کاربری‌های شهری، مسکونی و صنعتی است که به ضرر اراضی کشاورزی می‌باشد. فرایند تخصیص زمین به کاربری‌های مناسب، تلاشی است برای ایجاد چارچوبی که طی آن بتوان برای رسیدن به راه حل بهینه اقدام کرد. با توجه با این‌که برنامه‌ریزی کاربری زمین به استفاده‌ی مطلوب و بهینه از زمین مربوط می‌شود، بدیهی است که اطلاعات مربوط به ژئومورفولوژی و سایر علوم زمین، می‌تواند عنصر مهمی در تنظیم طرح‌های برنامه‌ریزی باشد. در این پژوهش سعی شده است با شناسایی ویژگی‌های محیطی، خصوصاً ویژگی‌های ژئومورفولوژیکی و ارزیابی آن، مکان‌های بهینه برای توسعه شهری مشخص شود. برای ارزیابی از ۱۳ شاخص استفاده شده که با استفاده از تلفیق دو مدل منطق فازی و AHP، ابتدا هر کدام از لایه‌ها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی فازی شدند و بعد از ضرب وزن لایه‌های حاصل از AHP در هر کدام از لایه‌ها، عملگر ضرب، جمع فازی و گامای فازی اجرا شد. در نهایت گامای بهینه در GIS به ۵ کلاس تناسب تقسیم‌بندی شد و مشخص شد که ۴۶/۸ درصد منطقه مورد مطالعه (۸۰۴  $km^2$ ) در کلاس تناسب کم قرار دارد و ۲۸/۳ درصد از منطقه (۴۸۶/۵  $km^2$ ) در کلاس تناسب زیاد قرار می‌گیرد. مناسب‌ترین پهنه‌ها برای توسعه‌ی شهری مناطق مرکزی به سمت شمال می‌باشد، و نامناسب‌ترین پهنه‌ها در بخش غربی، شمال غربی، شرق و در بعضی قسمت‌های جنوبی شهرستان می‌باشد.

#### واژگان کلیدی:

کاربری توسعه شهری، مدل فازی، فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)، شهرستان

بروجرد.

## مقدمه:

با پیشرفت برق آسای دنیای کنونی در تمام زمینه‌ها، نیاز بشری نیز در حال ازدیاد است. این توسعه روز افزون به همراه استفاده از زمین، بدون در نظر گرفتن تفاوت‌های اکولوژیکی و پتانسیل‌های محیطی باعث پیامدهای ناگواری هم‌چون فرسایش خاک، بیابان‌زایی، کاهش سطح مراتع و جنگل‌ها و... می‌شود (جلالیان و ایوبی، ۱۳۸۹: ۱). شناخت ساختار طبیعی ناحیه از یک طرف می‌تواند موجب وسعت بینش و معرفت از محیط گشته و از سوی دیگر امکان هرگونه حرکت سنجیده و اندیشیده را در محیط از سوی انسان در قالب یک سیستم منظم فراهم می‌سازد. بنابراین شناخت اجزاء، عناصر و عوامل سازنده مؤثر در محیط، لازمه و پیش شرط هرگونه حرکت اندیشیده از طرف انسان است که برای اعمال مدیریت بر محیط صورت می‌گیرد (سرور، ۱۳۸۷: ۲۳۳). یکی از ویژگی‌های عصر ما شهرنشین شدن جمعیت و افزایش جمعیت شهرها و در پی آن توسعه شهرهای کوچک و بزرگ است که به ضرر اراضی کشاورزی می‌باشد. بنابراین با توجه به توسعه روزافزون شهرها مشکلات بیش‌تری نیز به وجود می‌آید و به صورت مسائل بسیار جدی در زندگی روزمره‌ی بشر ظاهر می‌شوند. از سویی نمی‌توان توسعه شهری را که از جنبه‌های ضروری برای ادامه حیات و فعالیت‌های انسان است، محدود ساخت بلکه باید آن‌ها را متناسب نیازهای امروز و فردای بشر آماده نمود به‌گونه‌ای که از وارد آمدن آسیب به محیط زیست جلوگیری شود (میرکتولی، ۱۳۹۰). استقرار و پیدایش یک شهر بیش از هر چیز تابع شرایط و موقعیت جغرافیایی است، زیرا عوارض و پدیده‌های طبیعی در مکان‌گزینی، حوزه‌ی نفوذ، توسعه‌ی فیزیکی و مورفولوژیک شهری اثر قاطعی دارند. پدیده‌های طبیعی گاه به عنوان عوامل مثبت و گاه به عنوان عوامل منفی و بازدارنده عمل می‌کنند. (قرخلو، ۱۳۹۰). برنامه‌ریزی برای نحوه‌ی استفاده از سرزمین و منابع آن پدیده‌ای جدید و منحصر به دوران اخیر و جهان پیشرفته امروزی نیست (سرور، ۱۳۸۷: ۲۷). در این خصوص مطالعات بسیاری برای کاربری‌های مختلف (توسعه‌ی شهری، کشاورزی، جنگل، و...) صورت گرفته است که از آن جمله می‌توان به مطالعه سین و همکاران (۲۰۰۲) با هدف ارزیابی ساختارهای کاربری زمین شهری با چشم‌اندازی به توسعه‌ی پایدار اشاره کرد. سادھیرا و همکاران (۲۰۰۴) پویایی و مدل‌سازی گسترش شهری را با کمک GIS در شهر منگاور هند بررسی نمودند و نوع گسترش آینده شهر را پیش‌بینی کردند. یان سی<sup>۲</sup> و همکاران در سال ۲۰۰۶ با استفاده از تفسیر تصاویر ماهواره‌ای و مشاهده‌ی میدانی با ترکیب معیارهای فیزیکی (آب و هوا، هیدرولوژی، توپوگرافی و خاک، پوشش گیاهی) در کوهستان‌های کوبین لاینگ در چین تناسب زمین را مشخص و کاربری بهینه را پیشنهاد کردند. چانگ<sup>۳</sup> (۲۰۰۸) با استفاده از ترکیب GIS و مدل تصمیم‌گیری چند معیاره فازی زمین‌های مستعد را جهت استقرار جنگل شهری در هارلینگن<sup>۴</sup> شناسایی کرده است.

در ایران نیز در این زمینه تحقیقاتی صورت گرفته است، کردعلیوند (۱۳۷۹) در رساله‌ی کارشناسی ارشد خود به مدل‌سازی کاربری اراضی در منطقه خرم‌آباد با استفاده از GIS و RS پرداخت و با استفاده از پارامترهایی از جمله شیب، جهت شیب، زمین‌شناسی، پوشش گیاهی، ارتفاع، میزان بارندگی و نوع خاک تناسب اراضی را برای کاربری‌های مختلف از جمله کشاورزی، توریسم، جنگل‌کاری و مرتع‌داری مشخص کرد.

<sup>۱</sup>. SUDHIRA<sup>۲</sup>. YAN-sui<sup>۳</sup>. Chang<sup>۴</sup>. Harlingen

عزیزپور (۱۳۷۵) در مورد توان‌سنجی محیط طبیعی و توسعه فیزیکی شهر رساله‌ای در دانشگاه تربیت مدرس ارائه کرده است. نگارش (۱۳۸۳) در مقاله‌ای با عنوان کاربرد ژئومورفولوژی در مکان‌گزینی شهرها به بررسی پدیده‌های ژئومورفولوژیک مؤثر بر شکل‌گیری شهرها پرداخته است. مظفری و اولی‌زاده (۱۳۸۷) جهات بهینه توسعه‌ی آتی شهر سقز را به روش تحلیلی توصیفی با کمک GIS تعیین نمودند. هم‌چنین محمدی در سال ۱۳۸۸ در رساله‌ی کارشناسی ارشد خود به ارزیابی و پهنه‌بندی تناسب زمین برای توسعه‌ی فیزیکی شهر کرج بر پایه فاکتورهای طبیعی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی پرداخته است. قرخلو (۱۳۸۸) در مقاله‌ای با عنوان ارزیابی توان اکولوژیک منطقه‌ی قزوین جهت تعیین نقاط بالقوه‌ی توسعه‌ی شهری با استفاده از GIS مناطق مناسب برای توسعه شهری را مشخص کرده است و نتایج نشان داد که فقط طبقه یک (مناسب) کاربری توسعه شهری در منطقه مورد مطالعه است. شمسی‌پور و شیخی (۱۳۸۹) به پهنه‌بندی مناطق حساس و آسیب‌پذیری محیطی را در ناحیه غرب فارس با روش طبقه‌بندی فازی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی پرداختند. میر کتولی در مقاله‌ای به ارزیابی توان اکولوژیک کاربری توسعه شهری در شهرستان ساری با مدل تصمیم‌گیری چند معیاره و GIS مناطق مناسب و نامناسب توسعه شهری را مشخص کرده است (۱۳۹۰). ضیاییان و همکاران در سال ۱۳۹۰ به تعیین جهات بهینه گسترش شهر مشهد با استفاده از مدل ارزیابی چند عامله پرداختند و پس از ارزیابی نهایی مشخص کردند که جهات مناسب برای توسعه شهر مشهد شمال غرب و غرب می‌باشد. پورجعفر (۱۳۹۱) به ارزیابی توان اکولوژیک به‌منظور تعیین عرصه‌های مناسب برای توسعه شهر جدید سهند پرداخت و در نهایت محدوده‌های مناسب برای توسعه شهر پیشنهاد شد.

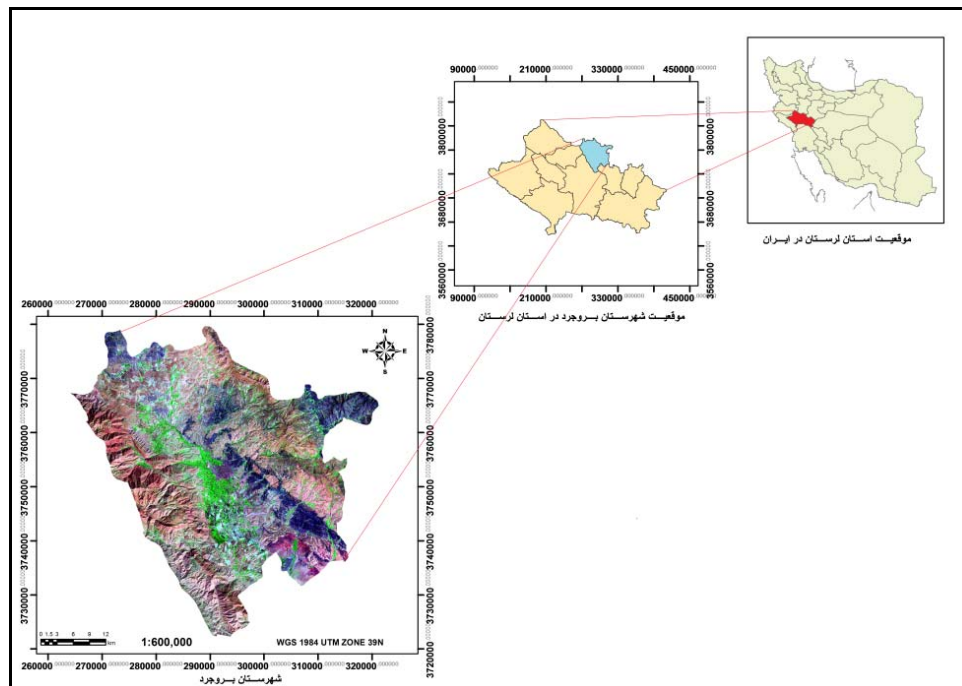
شهرستان بروجرد به رغم دشت‌های موجود منطقه‌ای کوهستانی است که بخشی از آن را سرزمین‌های با شیب بالای ۳۰ درصد پوشانده است، از جمله مناطق مستعد با پتانسیل بالای لرزه‌خیزی در استان لرستان دشت دورود - بروجرد (سیلاخور) است. ویژگی‌های سنگ‌شناسی این دشت و ریخت‌شناسی آن سبب گردیده تا در پی وقوع زمین لرزه، حجم قابل توجهی از توده‌های سنگی ناپایدار لغزش یافته و محدوده وسیعی از دامنه‌های اطراف طی زلزله در گیر سنگ ریزش شوند. در سال‌های اخیر زلزله‌هایی که در این منطقه رخ داده خسارت‌های مالی و جانی فراوانی به مردم منطقه وارد کرده است. با توجه به آن‌چه گذشت برای احداث شهر، شهرک‌های جدید، اجرای طرح‌های جامع شهری و هم‌چنین احداث تأسیسات و کارخانه‌ها نیاز ضروری به مطالعات جامع در ابعاد متنوع آن می‌باشد. پژوهش حاضر نیز با هدف تعیین مناطق مناسب برای توسعه کاربری شهری براساس پارامترهای طبیعی و با استفاده از مدل تلفیقی فازی ای‌اچ‌پی در شهرستان بروجرد گردآوری شده است.

### معرفی محدوده‌ی مورد مطالعه

شهرستان بروجرد با مساحت ۱۷۱۰ کیلومتر مربع در شمال شرقی استان لرستان بین ۴۸ درجه و ۲۷ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۳ دقیقه طول شرقی و ۳۳ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۶ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. این شهرستان دارای دو بخش به نام‌های اشترینان و مرکزی ۲ نقطه شهری به نام‌های بروجرد و اشترینان و دارای هفت دهستان می‌باشد. بروجرد دارای آب و هوای نیمه خشک سرد تا مرطوب کوهستانی با میانگین بارندگی ۴۴۴ میلی‌متر در سال می‌باشد. طبق آمار و ارقام میانگین دمای سالانه شهرستان بروجرد برابر با ۱۴/۹ درجه سانتی‌گراد و میانگین تعداد روزهای یخبندان در ماه‌های سرد سال به ۲۱ روز می‌رسد.

از لحاظ زمین‌شناسی ورقه‌ی بروجرد پیکره دگرگونی در امتداد زون سنندج - سیرجان در شمال و زاگرس مرتفع در جنوب را به خود اختصاص داده است. بین دو واحد دگرگونی در شمال شرق و شرق و زاگرس خرد شده در شمال غرب و غرب نهشته‌های کواترنری بخشی از دشت بروجرد - دورود (سیلاخور) را تشکیل داده‌اند، که در قسمت‌های جنوب بر وسعت نهشته‌های آبرفتی اضافه می‌شود. محدوده ارتفاعی منطقه‌ی مورد مطالعه بین ۱۴۷۱ تا ۳۴۸۳ متر از سطح دریا واقع شده است. شهرستان بروجرد از لحاظ پستی و بلندی شامل سه قسمت مهم کوه‌های مرتفع یا زاگرس خرد شده، واحد تپه ماهوری و دشت‌ها می‌باشد.

شهرستان بروجرد دارای بیش‌ترین میزان شهرنشینی در سطح استان است در سال ۱۳۸۵ جمعیت شهرستان بروجرد ۳۲۳۸۲۶ نفری بوده و ۷۲/۵۱ درصد آن را جمعیت شهری را شامل می‌شده که حدود ۲۳ درصد از کل جمعیت شهری استان می‌باشد. شهرستان بروجرد دارای دو نقطه شهری به نام‌های بروجرد و اشترینان می‌باشد. وسعت شهر بروجرد ۱۴/۶ کیلومتر مربع است شهر بروجرد مرکز شهرستان بروجرد می‌باشد در سال ۱۳۸۵ جمعیت این شهر ۲۲۳۲۲۶ نفر بوده است. هم‌چنین شهر اشترینان با جمعیت ۵۲۶۸ نفر در شمال شرقی بروجرد و در ۱۵ کیلومتری این شهر قرار دارد (شکل ۱).



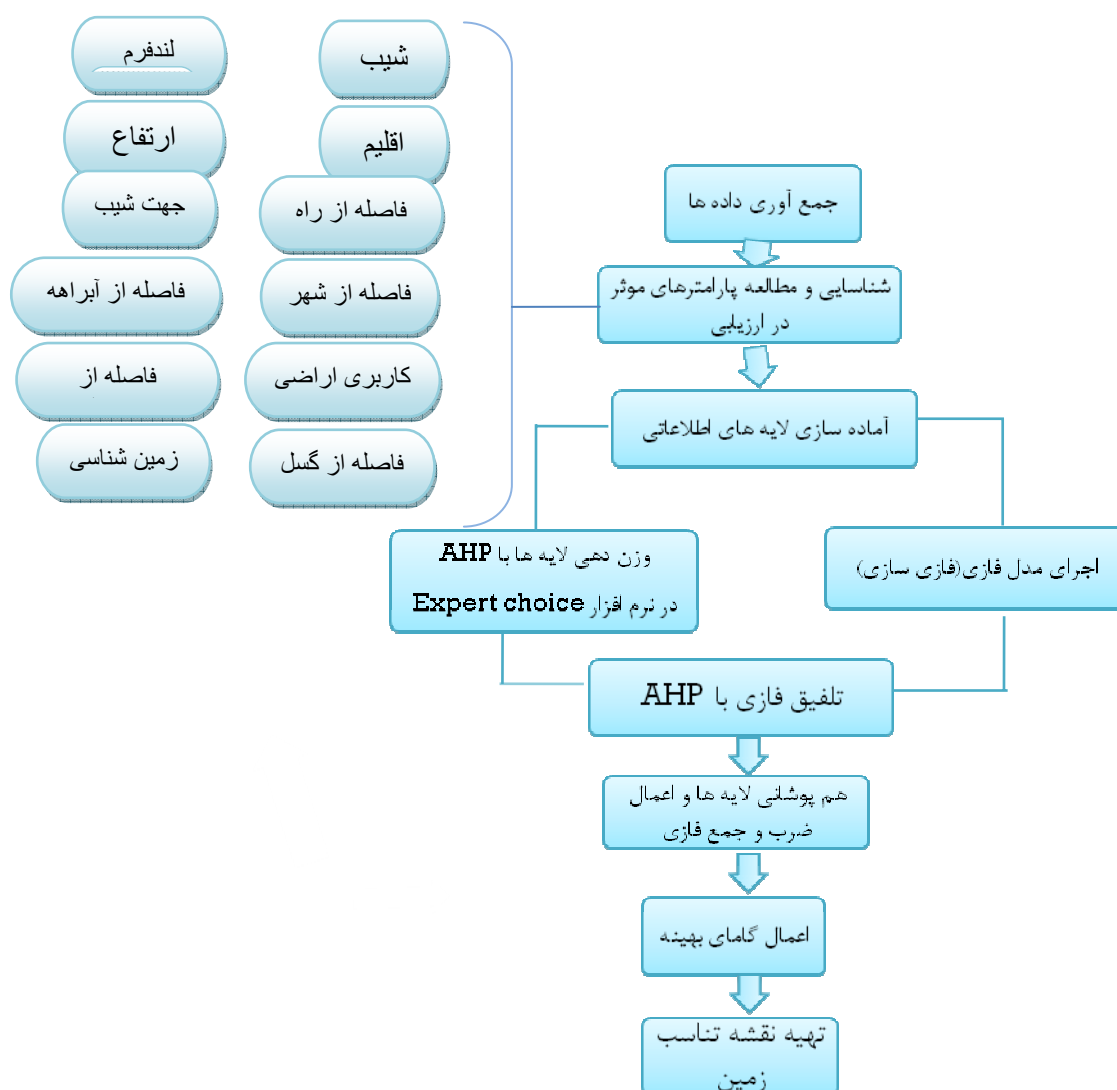
شکل شماره ۱ : نقشه محدوده مورد مطالعه

## داده‌ها و روش‌شناسی

### داده‌ها

در این پژوهش از مطالعات اسنادی و کتابخانه‌ای و گزارش‌های موجود شامل مطالعات قبلی انجام شده در منطقه، مطالعات و طرح‌هایی که توسط معاونت برنامه‌ریزی استانداری، منابع طبیعی شهرستان، آبخیزداری استان لرستان انجام گرفته، استفاده شده است. هم‌چنین با مراجعه به سایت‌های اینترنتی اطلاعات مورد نظر جمع‌آوری شده است. و در نهایت مطالعات میدانی که این بخش مهم‌ترین منبع برای کسب اطلاعات می‌باشد.

به منظور بررسی و ارزیابی تناسب زمین برای کاربری توسعه شهری با استفاده از پارامترهای محیطی حدوداً ۱۲ فاکتور مرتبط شناسایی شدند. تمام لایه‌های با سیستم زمین مرجع یکسان (utmwgs 1984 zone 39n)، با مقیاس مشترک و cells یکسان (۳۰×۳۰) در محیط GIS آماده پردازش و ارزیابی قرار گرفته‌اند. برای تعیین اهمیت شاخص‌های مورد نظر جهت ارزیابی تناسب زمین ابتدا اهمیت نسبی هر کدام از معیارها با استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی توسط نرم‌افزار Expert Choise 11 تعیین شده‌اند. سپس هر کدام از آن‌ها توسط نرم‌افزار GIS10 فازی شده و در طیف عددی صفر تا یک قرار گرفتند. بعد از این مرحله با تلفیق مدل AHP و فازی تمامی لایه‌های استاندارد شده در هر یک از وزن‌های حاصل از مدل تحلیل سلسله مراتبی ضرب خواهند شد، و در این صورت به لایه‌های وزن دار فازی تبدیل می‌شوند. سپس عملگرهای ضرب و جمع فازی روی لایه‌ها انجام گرفته و هم‌پوشانی لایه‌ها صورت می‌گیرد، در نهایت با عملگر گاما نقشه‌های نهایی تناسب زمین برای کاربری توسعه شهر به دست می‌آید (شکل ۲).



شکل شماره ۲: فرآیند پژوهش جهت ارزیابی کاربری توسعه‌ی شهری شهرستان بروجرد

## روش‌شناسی

در مطالعه حاضر در ارزیابی زمین برای کاربری توسعه شهری از تلفیق دو مدل فازی و فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) استفاده شده است. فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) از جامع‌ترین مدل‌های طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چند گانه است زیرا این مدل امکان فرموله کردن مسأله را با در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی به صورت سلسله مراتبی فراهم می‌کند، این فرایند گزینه‌های مختلف را در تصمیم‌گیری دخالت می‌دهد و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیر معیارهای مختلف کمی و کیفی را در مسأله دارد. علاوه بر این بر مبنای مقایسه‌ی زوجی یا دو به دویی بنا نهاده شده است که قضاوت و محاسبه را تسهیل می‌بخشد و مقدار سازگاری و ناسازگاری تصمیم را نشان می‌دهد. تئوری فازی در سال ۱۹۶۵ توسط لطفی زاده در مقاله‌ای با عنوان مجموعه‌های فازی در مجله‌ی اطلاعات و کنترل ارائه گردید. تئوری فازی شامل تمام تئوری‌هایی است که از مفاهیم اساسی مجموعه‌های فازی یا توابع عضویت استفاده می‌کند و هدف از آن ایجاد روشی نوین در بیان عدم قطعیت‌ها و ابهامات روزمره است. منطق فازی به دلیل در نظر گرفتن محدوده‌ای از امکان‌ها به جای اعداد، علاوه بر مزایای روش آماری به دلیل قابلیت فرموله نمودن دانش بشری در قالب ریاضی، ابزاری سودمند در ارزیابی محیطی به شمار می‌آید (قدیمی، ۱۳۸۹). عملگرهای فازی که در این پژوهش برای تلفیق نقشه‌ها استفاده شده‌اند عبارتند از:

### عملگر ضرب فازی<sup>۱</sup>

تمامی لایه‌های اطلاعاتی در هم ضرب می‌شوند و در نقشه خروجی اعداد کوچک‌تر شده و به سمت صفر میل می‌کنند، در نتیجه تعداد پیکسل کم‌تری در کلاس خیلی خوب قرار می‌گیرد. به همین دلیل این اپراتور حساسیت بالایی در مکان‌یابی اعمال می‌کند.

$$\mu_{combination} = \prod_{i=1}^n \mu_i$$

که در آن  $\mu_{combination}$  لایه حاصل از حداقل‌سازی  $\mu_i$  لایه وزن دار فازی  $i = 1, 2, 3, \dots, n$  تعداد نقشه‌های ترکیب شونده را نشان می‌دهد.

### عملگر جمع فازی<sup>۲</sup>

در این اپراتور متمم ضرب مجموعه‌ها محاسبه می‌شود. به همین دلیل در نقشه خروجی بر خلاف عملگر ضرب جبری فازی ارزش پیکسل به سمت یک میل می‌کند. در نتیجه تعداد پیکسل بیش‌تری در کلاس خیلی خوب قرار می‌گیرد و حساسیت کمی در مکان‌یابی دارد و در نتیجه عرصه‌های بیش‌تری نسبت به ضرب فازی عنوان مناسب به خود می‌گیرد.

$$\mu_{combination} = 1 - \prod_{i=1}^n (1 - \mu_i)$$

که در آن  $\mu_{combination}$  لایه حاصل از حداکثرسازی  $\mu_i$  لایه وزن دار فازی و  $i = 1, 2, 3, \dots, n$  تعداد نقشه‌های ترکیب شونده را نشان می‌دهد.

<sup>۱</sup>. fuzzy product

<sup>۲</sup>. fuzzy sum

## عملگر گاما

برای تعدیل حساسیت خیلی بالای عملگر فازی ضرب و حساسیت خیلی کم عملگر فازی جمع، عملگر دیگری به نام گامای فازی معرفی شده است که حد فاصل ضرب و جمع جبری فازی می‌باشد. اگر  $\gamma$  برابر با یک باشد خروجی همان نقشه حاصل از fuzzy sum خواهد بود و اگر  $\gamma$  برابر با صفر باشد نقشه خروجی همان نقشه fuzzy product خواهد بود.

$$\mu_{combination} = (\text{fuzzy algebraic sum} \times \text{fuzzy algebraic product})^{1-\gamma}$$

که در آن  $\mu_{combination}$  لایه حاصل از گامای فازی و  $\gamma$  پارامتر انتخاب شده در محدوده (۰ و ۱) است.

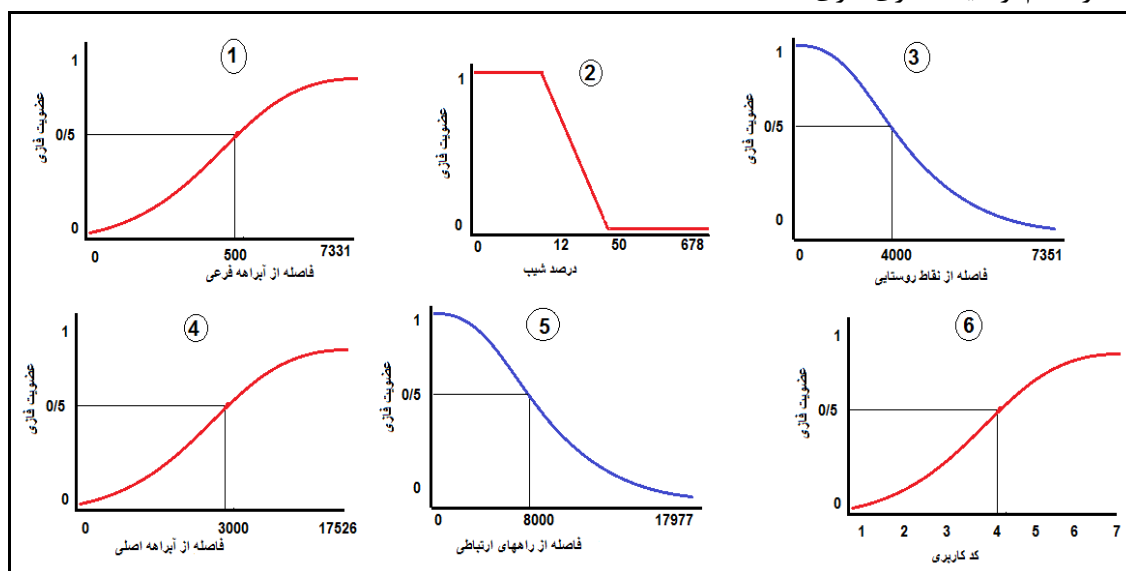
## یافته‌های تحقیق

برای ارزیابی پهنه‌های مناسب توسعه شهری براساس مدل تلفیقی فازی / AHP هر کدام از لایه‌ها را باید فازی‌سازی کرد. برای فازی‌سازی، لایه‌ها باید به صورت فرمت رستری باشند بنابراین لایه‌های نقطه‌ای و خطی (فاصله از نقاط شهری و روستایی، گسل، آبراهه، و راه‌های اصلی) با استفاده از تحلیل Distance و برای لایه‌های پلیگونی (زمین‌شناسی، کاربری اراضی، اقلیم، لندفرم) براساس مناسب بودن آن‌ها برای کاربری توسعه شهری طبق نظر کارشناسی کدگذاری شده است، با دادن کدهای ۱ به بالا و با تحلیل feature to raster به لایه‌های رستری تبدیل می‌شود.

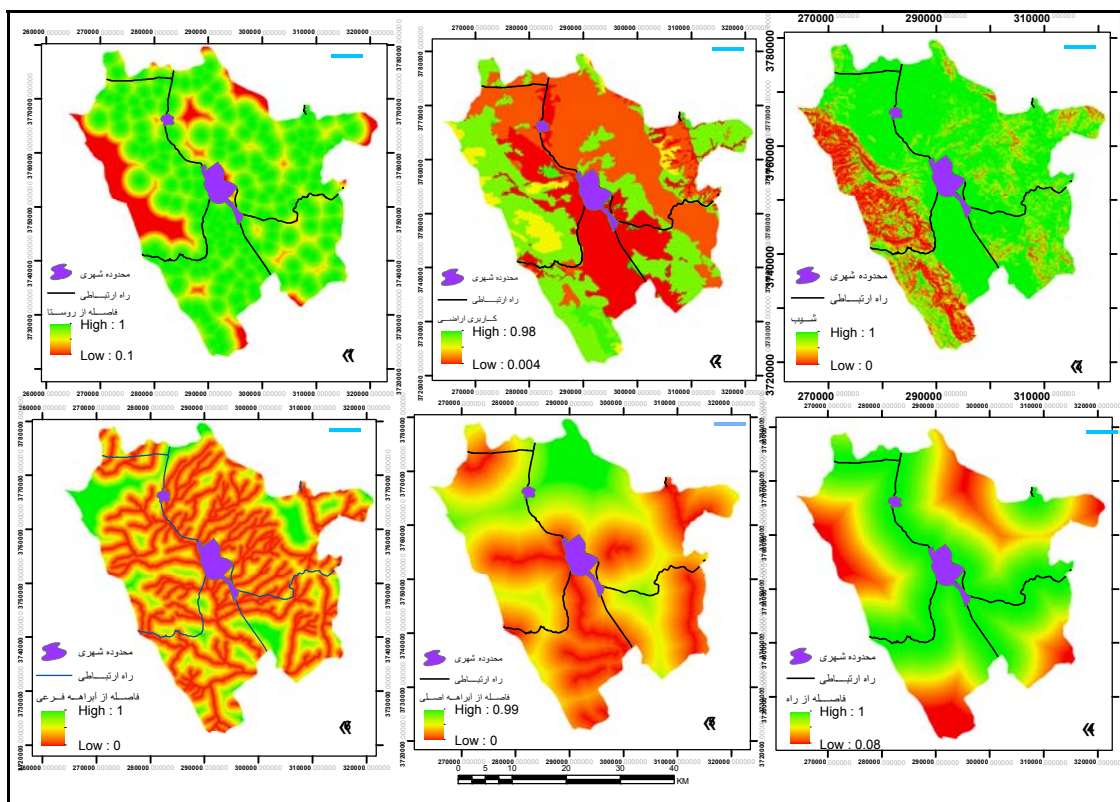
بعد از رستری کردن لایه‌ها، با استفاده از توابع شکل (۳ و ۵) در محیط ARC GIS 10 با تحلیل:

Arc toolbox > Spatial Analyst tools > fuzzy membership

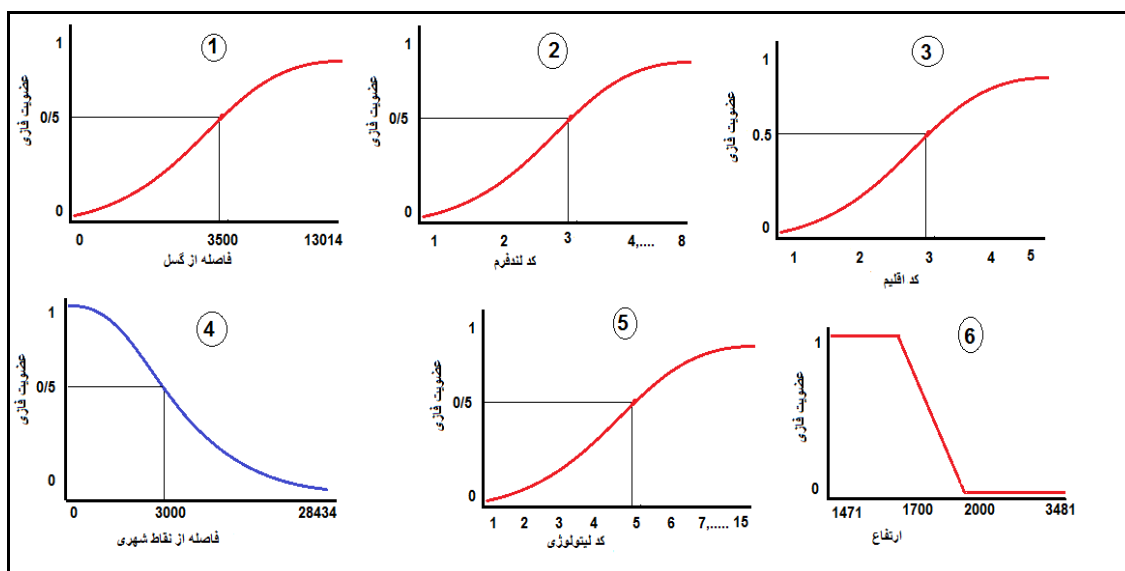
هر کدام از لایه‌ها فازی‌سازی شده‌اند.



شکل شماره ۳: توابع فازی‌سازی معیارها (۱) فاصله از آبراهه فرعی (۲) درصد شیب (۳) فاصله از نقاط روستایی (۴) فاصله از آبراهه اصلی (۵) فاصله از راه‌های ارتباطی (۶) کاربری اراضی

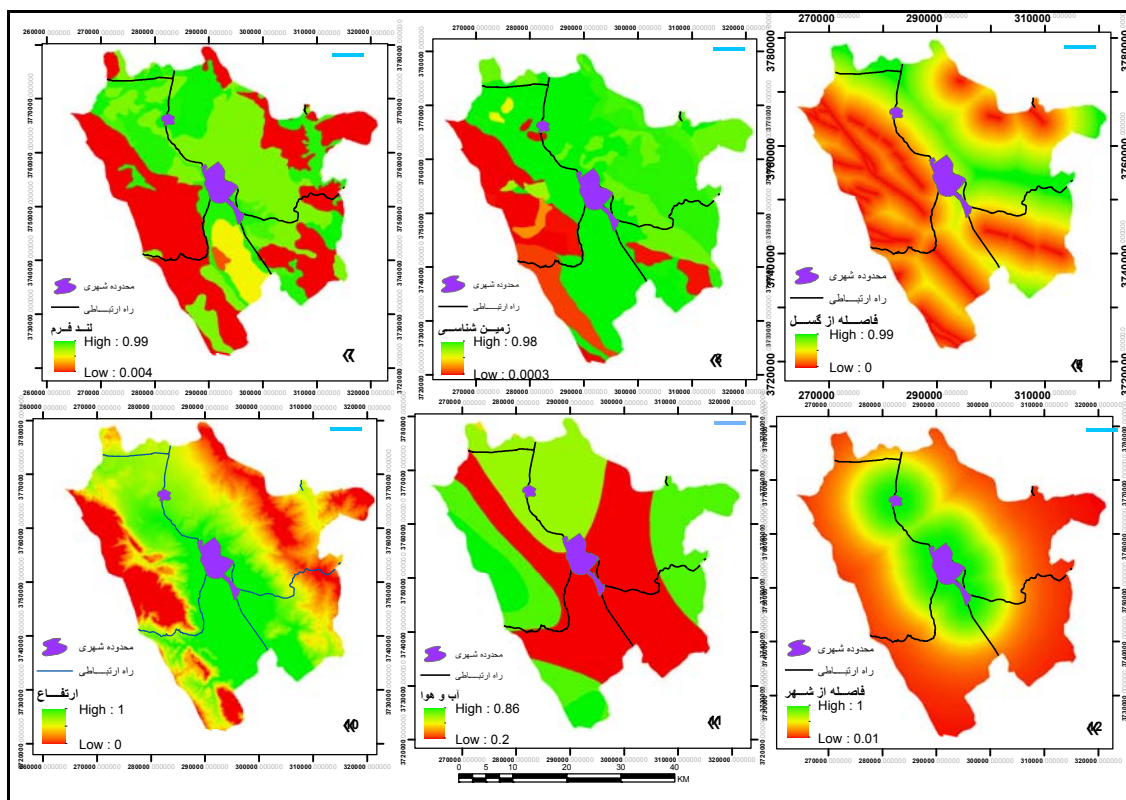


شکل شماره ۴: لایه‌های فازی شده: (۱) فاصله از نقاط روستا (۲) کاربری اراضی (۳) شیب (۴) فاصله از راه (۵) فاصله از ابراهه اصلی (۶) فاصله از ابراهه فرعی



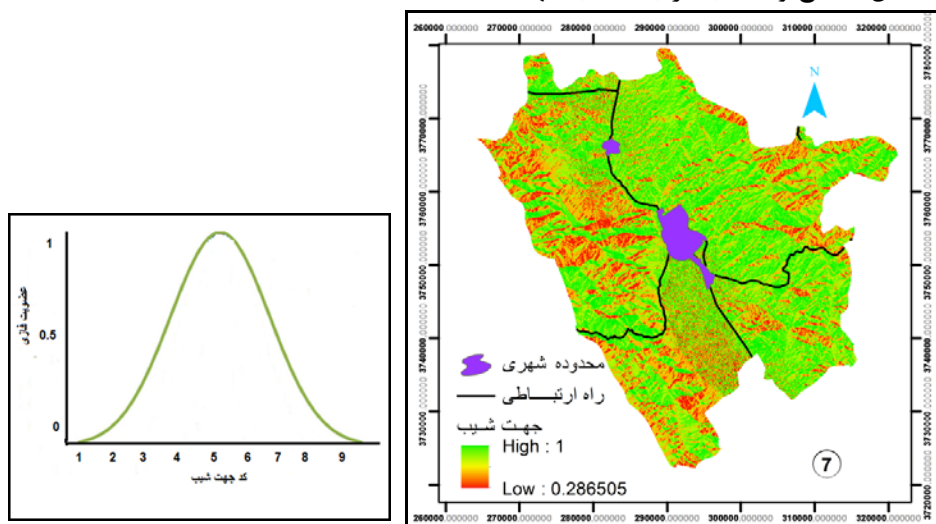
شکل شماره ۵: توابع فازی‌سازی معیارهای (۱) فاصله‌ی گسل (۲) لندفرم (۳) اقلیم (۴) فاصله‌ی نقاط شهری (۵) لیتولوژی (۶) ارتفاع





شکل شماره ۶: لایه‌های فازی شده: (۷) لندفرم (۸) زمین‌شناسی (۹) فاصله از گسل (۱۰) فاصله از شهر (۱۱) آب و هوا (۱۲) ارتفاع

و در نهایت شکل ۷ تابع و لایه‌ی فازی شده‌ی جهت شیب:



شکل شماره ۷: تابع و لایه‌ی فازی شده‌ی جهت شیب

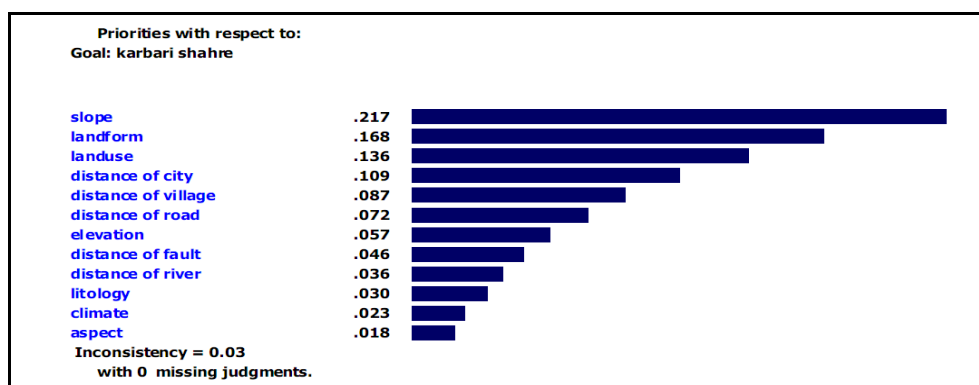
تعیین ضرایب اهمیت شاخص با استفاده از AHP

برای وزن دهی و اولویت‌بندی معیارها در نرم‌افزار Expert Choise 11 در ابتدا هدف پژوهش که برنامه‌ریزی بهینه کاربری زمین برای توسعه‌ی شهری که در بالاترین سطح است، مشخص می‌شود، و در سطح

دوم معیارها وجود دارند. جهت مقایسه‌ی زوجی از روش ماتریسی در نرم‌افزار استفاده شده است، و طبق نظر کارشناسی با توجه به شناخت منطقه‌ی مورد مطالعه وزن دهی به هر کدام از معیارها انجام می‌شود (شکل ۸). بعد از وزن دهی و انجام محاسبات در نرم‌افزار و با توجه به نرخ سازگاری (نرخ سازگاری باید کمتر از ۰/۱ باشد) وزن‌های نهایی به دست می‌آید که در کاربری توسعه‌ی شهری بیش‌ترین وزن به شاخص شیب (۰/۲۱۷) و کم‌ترین وزن به شاخص جهت شیب (۰/۰۱۸) تعلق گرفته است (شکل ۹).

	slope	landform	landuse	distance of city	distance of village	distance of road	elevation	distance of fault	distance of river	litology	climate	aspect
slope		2.0	2.0	3.0	3.0	3.0	4.0	5.0	5.0	6.0	7.0	7.0
landform			2.0	2.0	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0	5.0	5.0	6.0
landuse				2.0	2.0	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0	5.0	5.0
distance of city					2.0	2.0	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0	5.0
distance of village						2.0	2.0	3.0	3.0	3.0	4.0	4.0
distance of road							2.0	2.0	3.0	3.0	4.0	4.0
elevation								2.0	2.0	3.0	3.0	4.0
distance of fault									2.0	2.0	3.0	4.0
distance of river										2.0	2.0	3.0
litology											2.0	3.0
climate												2.0
aspect												

شکل شماره ۸: ماتریس مقایسه زوجی برای معیارها



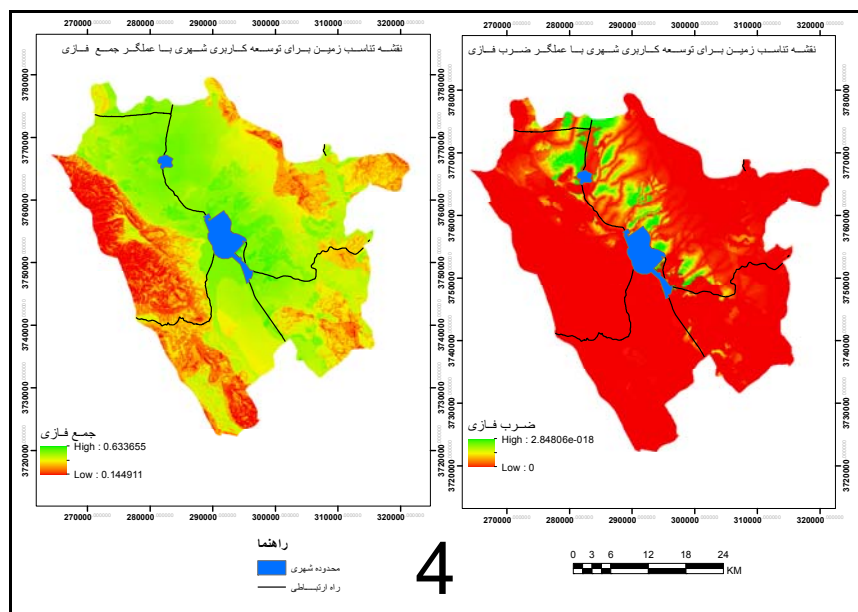
شکل شماره ۹: وزن‌های به دست آمده برای معیارها و میزان سازگاری

بعد از وزن دهی معیارها در نرم‌افزار Expert Choise 11 وزن هر کدام از معیارها در لایه‌ی مربوطه ضرب شد.

$$f(x) = w_i \mu(x_i)$$

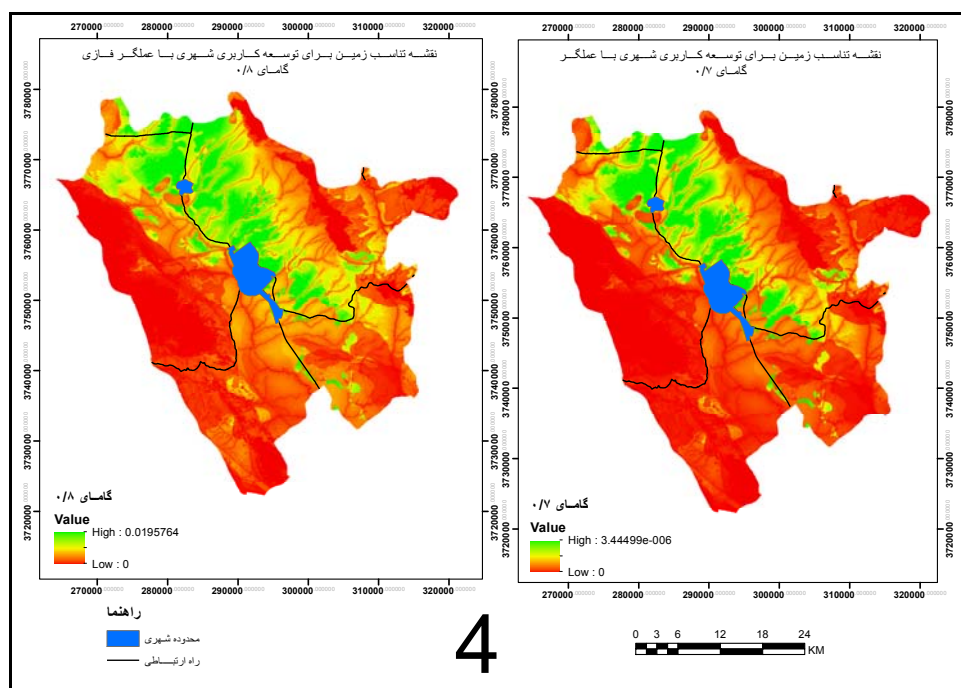
که در آن  $f(x)$  لایه وزن‌دار فازی،  $w_i$  وزن هر یک از معیارهای AHP و  $\mu x_i$  تابع فازی هر کدام از لایه‌ها می‌باشد.

بعد از فازی‌سازی و ضرب وزن‌ها در لایه‌های فازی شده عملگرهای sum، product، GAMA بر لایه‌های فازی شده اجرا می‌شود.

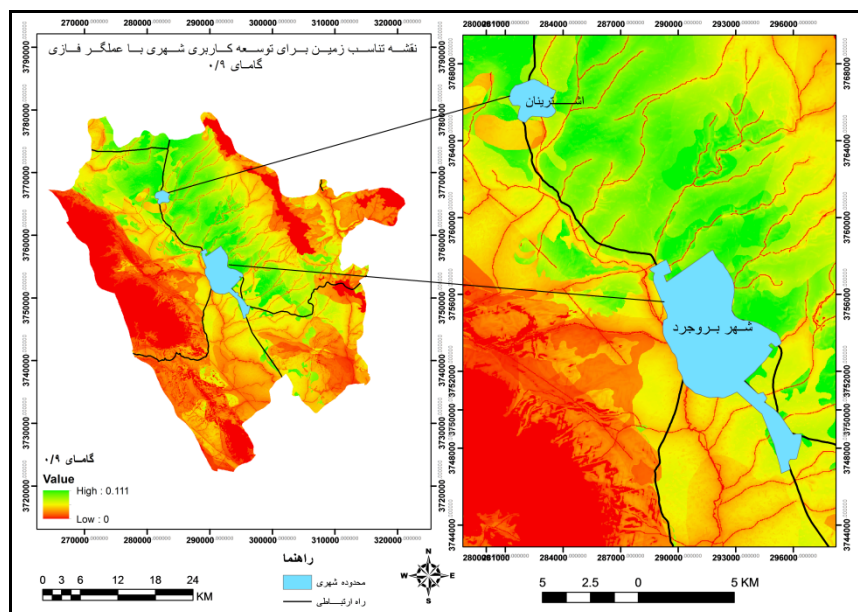


شکل شماره ۱۰: نقشه‌های حاصل از عملکرد ضرب و جمع فازی

در شکل (شماره ۱۰) نقشه‌های حاصل از عملکرد ضرب فازی با حساسیت بالا در مکان‌یابی و نقشه‌ی حاصل از عملکرد جمع فازی با حساسیت کم در مکان‌یابی نشان داده شده است. برای تعدیل حساسیت خیلی بالای عملکرد ضرب و حساسیت خیلی کم عملکرد فازی جمع، نقشه‌ی حاصل از عملکرد گامای فازی ۰/۷ (شکل شماره ۱۱) و نقشه‌ی حاصل از عملکرد گامای ۰/۹ (شکل شماره ۱۲) معرفی شده است.



شکل شماره ۱۱: نقشه‌ی تناسب زمین برای کاربری توسعه شهری با عملکرد ۰/۷ و ۰/۸

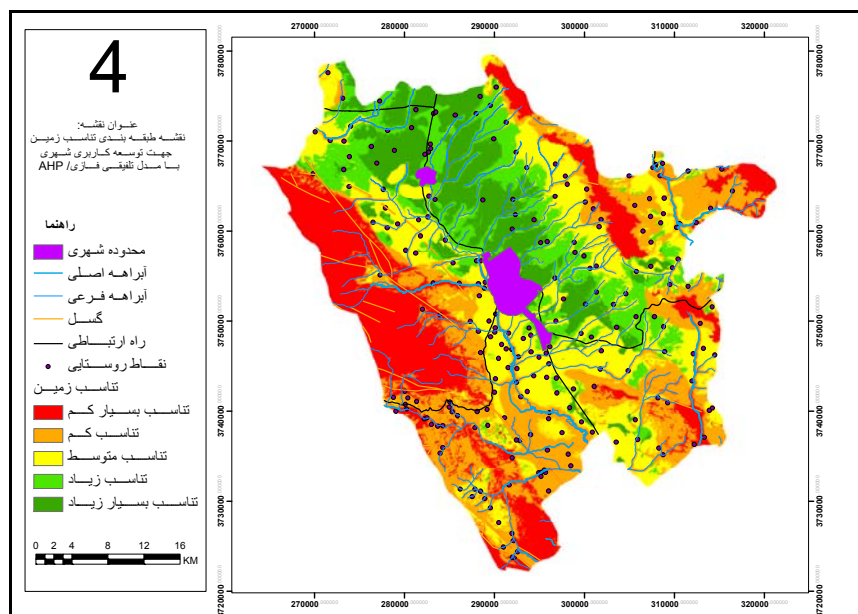


شکل شماره ۱۲: نقشه تناسب زمین برای کاربری توسعه شهری با عملکرد ۰/۹

با توجه به لایه‌های گاما و محدوده‌های شهری مشخص شد که گامای ۰/۹ بیش‌ترین انطباق را با توسعه شهری دارد، لذا گامای ۰/۹ به عنوان لایه نهایی تناسب زمین برای کاربری شهری معرفی می‌گردد.

جدول شماره ۱: مقادیر طبقات تناسب زمین برای کاربری توسعه شهری مدل گامی فازی ۰/۹

تناسب زمین برای توسعه کاربری شهری با گامای ۰/۹ فازی		طبقه‌بندی تناسب زمین
مساحت به درصد	مساحت به کیلومتر مربع	
۲۲/۲	۳۸۰/۸۲	تناسب بسیار کم
۲۴/۷	۴۲۳/۹۲	تناسب کم
۲۴/۴	۴۱۸/۴۳	تناسب متوسط
۱۴/۸	۲۵۴/۵۸	تناسب زیاد
۱۳/۵	۲۳۲/۰۱	تناسب بسیار زیاد
۱۰۰	۱۷۱۰	مجموع مساحت



شکل شماره ۱۳: نقشه‌ی نهایی تناسب زمین برای کاربری توسعه‌ی شهری با مدل فازی AHP

### نتیجه‌گیری

در این تحقیق شناسایی ویژگی‌های محیطی شهرستان بروجرد با تاکید بر پارامترهای طبیعی جهت کاربری مناسب توسعه شهری با استفاده از تلفیق روش AHP / fuzzy مد نظر قرار گرفته است و مکان‌های بهینه جهت توسعه شهری با استفاده از لایه‌ی گامای ۰/۹ پیشنهاد شده است. لایه‌ی مربوطه در محیط GIS طبقه‌بندی شد. در طبقه‌بندی مربوطه مشخص شد که ۴۶/۸ درصد منطقه‌ی مورد مطالعه که معادل ۸۰۴ کیلومتر مربع می‌باشد، در کلاس تناسب کم و بسیار کم قرار دارد (شکل ۱۲). حدود ۲۴/۴ درصد که معادل ۴۱۸/۴ کیلومتر مربع می‌باشد، در کلاس با تناسب متوسط قرار می‌گیرد. و در نهایت ۲۸/۳ درصد از منطقه‌ی مورد مطالعه که معادل ۴۸۶/۵ کیلومتر مربع می‌باشد در کلاس تناسب زیاد و بسیار زیاد قرار می‌گیرد.

با توجه به نقشه‌ی نهایی توسعه‌ی تناسب زمین برای توسعه‌ی کاربری شهری، شکل ۱۳ مناسب‌ترین پهنه‌ها برای توسعه‌ی مناطق مرکزی به سمت شمال می‌باشد که به دلایلی از جمله ارتفاع کم، شیب مناسب برای ساخت و ساز، فاصله مناسب از رودخانه و همچنین فاصله مناسب از گسل، مساعدترین پهنه‌ها برای توسعه‌ی شهر بروجرد می‌باشند. همچنین قسمت‌های جنوب شرقی برای توسعه شهری جزء پهنه‌های با تناسب متوسط تا زیاد محسوب می‌شود که از سمت شمال هر چه به اطراف شهر بروجرد و قسمت‌های جنوبی این شهر نزدیک می‌شویم مساحت پهنه مساعد، کاهش پیدا می‌کند و در مقابل نامناسب‌ترین پهنه‌ها در بخش غربی، شمال غربی، شرق و در بعضی قسمت‌های جنوبی شهرستان می‌باشد که به دلایلی از جمله وضعیت توپوگرافی نامساعد، نزدیکی به خط گسل، فاصله‌ی کم از رودخانه اصلی، توسعه شهری در این جهات عقلانی نمی‌باشد.

در مناطق غربی جنس سنگ‌ها و تناوب سازندهای نرم و سخت باعث شده است که سازندهای سطح زمین پایداری چندانی نداشته باشند. واحدهای آهکی، سازنده ارتفاع، کوه‌ها و پرتگاه‌ها بوده و رفتار آن‌ها در مقابل نیروهای وارده به صورت خرد شدگی می‌باشد که در این صورت احتمال سقوط سنگ، بهمن سنگی و لغزش

بسیار زیاد است. سازندهای مازنی و شیلی نرم که بیش‌تر بین ماسه سنگ و آهک قرار دارد، ضمن فراهم نمودن شرایط برای ناپایداری آهک‌ها و ماسه سنگ‌ها، تحت تاثیر آبیگری انجام شده، ازدیاد حجم یافته و تحت تاثیر فشارهای وارده گسیخته و لغزش می‌یابند، بنابراین یکی دیگر از علل نامساعد بودن این مناطق ساختار زمین‌شناسی می‌باشد. علاوه بر ساختار زمین‌شناسی قسمت غربی منطقه بیش از سایر پهنه‌ها دارای گسل، به همین دلیل یکی دیگر از عوامل محدود کننده در بخش غربی گسل‌ها می‌باشد. از لحاظ کاربری، در بخش جنوبی شهرستان بروجرد دشت حاصلخیز و آبرفتی سیلاخور قرار دارد که به‌طور فشرده به کشاورزی محصولات مختلف به صورت آبی اختصاص دارد، بنابر این توسعه‌ی شهر بروجرد در امتداد جنوبی (مسیر جاده بروجرد - خرم آباد) غیر عقلانی و غیر قابل توجیه می‌باشد.

### پیشنهادهات

- ۱ - در این پژوهش برنامه‌ریزی بهینه کاربری زمین، بیش‌تر براساس فاکتورهای طبیعی انجام گرفت در صورتی که این مطالعه در راستای توجه به سایر عوامل اقتصادی، اجتماعی، و فرهنگی باشد نتایج بهتری حاصل می‌شود.
- ۲ - مسئولین و برنامه‌ریزان برای توسعه شهر جهات شرقی و شمالی نقاط شهری را در اولویت قرار دهند.
- ۳ - پیشنهاد می‌شود از مدل ارزیابی اکولوژیکی (مخدوم) نیز در برنامه‌ریزی بهینه کاربری زمین برای شهرستان استفاده شود.
- ۴ - در برنامه‌ریزی برای توسعه‌ی نقاط شهری شهرستان بروجرد پیشنهاد می‌شود با توجه به عوامل اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و نیز طرح‌های جامع تفضیلی، جهات مناسب توسعه‌ی شهری در نظر گرفته شود.
- ۵ - برای برنامه‌ریزی بهینه کاربری زمین در سطح شهرستان شاخص‌هایی هم‌چون نفوذپذیری خاک و سایر ویژگی‌های خاک منطقه، سطح ایستابی آب زیرزمینی، به خصوص در کاربری کشاورزی مد نظر قرار گیرد.

## منابع و مآخذ

- ۱- استانداری استان لرستان، (۱۳۸۶)، سالنامه آماری استان لرستان.
- ۲- اداره منابع طبیعی شهرستان بروجرد، نقشه ۱:۲۵۰۰۰۰ کاربری اراضی شهرستان.
- ۳- اداره منابع طبیعی شهرستان بروجرد، نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی شهرستان.
- ۴- پورجعفر، محمد رضا، مهدی منتظر الحجه، احسان رنجبر، (۱۳۹۱)، ارزیابی توان اکولوژیکی به منظور تعیین عرصه‌های مناسب در محدوده شهر جدید سهند، مجله‌ی جغرافیا و توسعه، شماره‌ی ۲۸، ۱۱ - ۲۲.
- ۵- جلالیان، احمد و ایوبی، شمس الله، (۱۳۸۵)، ارزیابی اراضی، اصفهان: انتشارات دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ۶- حسینی، هاشم، (۱۳۹۰)، ارزیابی ژئومورفولوژیکی تناسب زمین جهت توسعه فیزیکی شهر دیوان دره با استفاده از مدل فازی و AHP، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، تهران: دانشگاه تربیت معلم.
- ۷- زمردیان، م (۱۳۸۵)، کاربرد جغرافیا طبیعی در برنامه شهری و روستایی، تهران: انتشارات پیام نور.
- ۸- شمسی‌پور، علی‌اکبر و محمد شیخی، (۱۳۸۹)، پهنه‌بندی مناطق حساس و آسیب‌پذیری محیطی در ناحیه‌ی غرب فارس با روش فازی و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، مجله‌ی پژوهش‌های جغرافیای طبیعی، شماره‌ی ۷۳، ۶۸ - ۷۳.
- ۹- ضیاییان، پرویز، هادی سلیمانی مقدم، صادق برزگر، (۱۳۹۰)، تعیین جهات بهینه گسترش شهر مشهد با استفاده مدل ارزیابی چند عامله، مجله‌ی جغرافیا، سال نهم، شماره‌ی ۳۰، ۷۸ - ۹۴.
- ۱۰- قرخلو، مهدی، حمیدرضا پورخباز، محمدجواد امیری، حسنعلی فرجی سبکبار (۱۳۸۸)، ارزیابی توان اکولوژیک قزوین جهت تعیین نقاط بالقوه توسعه شهری با استفاده از RS و GIS، مجله‌ی مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای، سال اول، شماره‌ی ۲، ۶۸ - ۵۱.
- ۱۱- کرم، امیر، اعظم محمدی، (۱۳۸۸)، ارزیابی پهنه‌بندی تناسب زمین برای توسعه فیزیکی شهر کرج و اراضی پیرامون بر پایه فاکتورهای طبیعی و AHP، فصل‌نامه‌ی جغرافیای طبیعی، شماره‌ی ۴.
- ۱۲- مظفری، غلامعلی و انور اولی‌زاده، (۱۳۸۷)، بررسی وضعیت توسعه فیزیکی شهر سقز و تعیین جهات بهینه توسعه آن، فصل‌نامه‌ی محیط‌شناسی، ۴۷، دانشکده‌ی محیط‌زیست، دانشگاه تهران.
- ۱۳- مخدوم، مجید (۱۳۸۰)، شالوده آمایش سرزمین، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- ۱۴- میرکتولی، جعفر، محمدرضا کنعانی (۱۳۸۹)، ارزیابی توان اکولوژیک کاربری توسعه‌ی شهری با مدل تصمیم‌گیری چند معیاری MCDM، GIS، مجله‌ی پژوهش‌های جغرافیای انسانی، شماره‌ی ۷۷، ۸۸ - ۵۵.
- ۱۵- مقیمی، ابراهیم (۱۳۸۵)، ژئومورفولوژی شهری، تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- ۱۶- نگارش، حسین (۱۳۸۲)، کاربرد ژئومورفولوژی در مکان‌گزینی شهرها و پیامدهای آن، مجله‌ی جغرافیا و توسعه.
- ۱۷- نری میسا، سارا، محمدباقر نبوی، محمدتقی ساداتی‌پور، (۱۳۹۰)، ارزیابی توان اکولوژیک منطقه سجافی با استفاده از GIS و منطق فازی، مجله‌ی پژوهش‌های محیط‌زیست، سال ۲، شماره‌ی ۴، ۴۰ - ۲۹.

- 18- Chang Ni - BIN, (2008), *combing GIS with Fuzzy multicriteria decicsion making for landfill siting in a fast - geowing urban region. Jornal of Environmental management. Volume 87. Issuel.p - p 139 - 153.*
- 19- YAN - sui Lju and Jie yong ,(2006), *GIS - based assessment of land suitability for optimal Allocation in the qinling mountains, china, Valume 16, p - p 579 - 586*
- 20- SUDHIRA ,h.s , Ramachandra , T.V, and jagadish, k.s .2004, *urban sprawl: metrics, dynamics using GIS, international jornal if applied earth observation and Geoinformation 5.*