مدل‌سازی اکولوژیک توسعه شهری با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری تعاملی AHP و Fuzzy AHP باکلی (مطالعه موردی: حاشیه شهر اراک)

حمیدرضا پورخباز[1*]، سمانه کمانی[2]،سعیده جوانمردی[3]، شهرام یوسفی‌خانقاه[4]

۱. استادیار، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان،
۲. دانشجوی کارشناسی‌ارشد ارزیابی و آمایش سرزمین دانشکده منابع طبیعی دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان،
۳. عضو هیات علمی گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان
۴. استادیار، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان،

دریافت: ۹۵/۳/۲۰ پذیرش: ۹۵/۱۲/۱۵

چکیده

انجام توسعه و ایجاد نقاط مناسب برای توسعه شهری بدون در نظر گرفتن توان اکولوژیکی مشکلات اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی متعددی را درپی دارد. این پژوهش در چارچوب روش آنالیز سیستمی با هدف تعیین نقاط مناسب جهت توسعه شهری، براساس شاخص‌های مدل ارزیابی توان اکولوژیک توسعه شهری ایران در حاشیه شهر اراک انجام شده است. به این منظور از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره AHP و فازی AHP باکلی جهت تعیین وزن معیارها و توابع عضویت فازی برای استانداردسازی آن‌ها استفاده شده است. نتایج حاکی از آن است که از مجموع کل مساحت منطقه به‌روش FAHP، ٪۶۳ دارای اراضی با توان درجه یک و ٪۱۲ دارای اراضی نامناسب برای کاربری توسعه شهری هستند و به روش AHP، ٪۶۵ دارای توان درجه یک و ٪۲۱ نامناسب است. نتایج کنترل طبقات مدل توسعه شهری در این مطالعه ضمن تأیید مدل تصمیم‌گیری سلسله مراتبی AHP در منطقه مورد مطالعه مشخص نمود که روش تصمیم‌گیری چندمعیاره FAHP بهترین روش ارزیابی است که عمل ارزیابی توان اکولوژیک سرزمین را با دقت بیشتری مدل‌سازی کرده و تطابق بیشتری با واقعیت زمینی داشته است.

واژگان کلیدی: ارزیابی توان اکولوژیک،FAHP باکلی، توسعه شهری، تصمیم‌گیری چند معیاره، اراک

* نویسنده ی مسئول مقاله: Pourkhabbaz@bkatu.ac.ir

۱. مقدمه

محدوده شهرها با رشد سریع جمعیت و مهاجرت در سه دهه اخیر و گرایش شدید به شهرگرایی و به‌تبع آن افزایش نیاز به زمین برای سکونت رشدی بی‌قواره و لجام گسیخته داشته (میرداودی و همکاران، ۲۴۵:۱۳۸۷) که این روند سبب گسترش شهر به محدوده پیرامونی و تغییر کاربری این اراضی شده است (باتی[1]، ۹۶:۲۰۰۵)؛ بنابراین نمی‌توان توسعه شهرها را که از جنبه‌های ضروری برای ادامه حیات و فعالیت‌های انسان است محدود ساخت (میرکتولی و کنعانی، ۷۶:۱۳۸۹). لازمه این امر توجه به چگونگی کنترل توسعه شهرها با برنامه و حرکت در راستای اصول توسعه پایدار را الزامی می‌کند (پورجعفر و همکاران، ۱۲:۱۳۹۱)؛ بنابراین در چند دهه اخیر،بسیاری از کشورها برنامه‌ریزی سرزمین براساس آمایش و ارزیابی توان اکولوژیک را مهم‌ترین ابزار و عامل تحقق توسعه پایدار و مناسب به شمار آورده‌اند (همان). در حالتی که معیارهای چندگانه (کیفی و کمی) مطرح باشد فقدان استاندارد برای اندازه‌گیری معیارهای کیفی و فقدان واحد برای تبدیل معیارها به یکدیگر تصمیم‌گیری را پیچیده می‌کند. برای رفع این مشکل یا کمینه‌کردن آثار جانبی آن از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده شود. با این وضع شایسته است که برای یافتن مکان‌های مناسب شهری، تمرکززدایی و ایجاد تعادل در محیط زیست از روش ارزیابی چندمعیاره[2] که یکی از اصولی‌ترین روش‌های تصمیم‌گیری در سامانه اطلاعات جغرافیایی[3] است و به‌عنوان ابزار پشتیبان تصمیم‌گیری فضایی برای برنامه‌ریزی سرزمین به کار می‌رود، استفاده شود

(عسگری و همکاران،۲۵:۱۳۸۱؛ پورخباز و همکاران، ۹۰:۱۳۹۲؛ فنگ و شو[4]، ۳:۱۹۹۹)

بحث عدم قطعیت در امر تصمیم‌گیری و ارزیابی توان موجب استفاده از منطق فازی به‌عنوان منطق مدل‌سازی ریاضی فرآیندهای غیردقیق و مبهم شده است، که بستری را برای مدل‌سازی در شرایط عدم اطمینان فراهم می‌سازد. روش تحلیل سلسله‌مراتبی در مقایسه‌های زوجی از اعداد دقیق استفاده کرده و سبب می‌شود که تصمیم‌گیرندگان نتوانند به صراحت نظرشان را در مورد برتری‌ها اعلام کنند. در هر صورت به دلیل طبیعت فازی این مقایسات، کارشناسان ارائه یک بازه را به جای یک عدد ثابت ترجیح می‌دهند؛ بنابراین از روش FAHP باکلی استفاده می‌کنند تا اهمیت نسبی عناصر را با استفاده از اعداد فازی بیان کنند (عطائی، ۱۰۳:۱۳۸۹). از این دو مدل جهت وزن‌دهی معیارها در یکی از متداول‌ترین تکنیک‌های تصمیم‌گیری یعنی

1. Batty
2. Multi Criteria Evaluation (MCE)
3.GIS
4. Feng & Xu

روش ترکیب خطی وزنی[1] استفاده می‌شود. مطالعات متعددی در زمینه موضوع مربوط از جمله جت[2] و همکاران (۲۰۰۷) پایش و مدل‌سازی توسعه شهری آجمر[3] در هند را با کمک تکنیک‌های RS و سیستم اطلاعات جغرافیایی صورت گرفته. در این مطالعه توسعه شهری و مشخصات فضایی و زمانی آن از تصاویر طبقه‌بندی‌شده ماهواره‌ای به‌دست آمدند. برای تعیین شکل شهر، آنتروپی شانون و معیارهای سرزمین (تنوع کاربری‌ها و تنوع نقشه) محاسبه شدند. یانگ[4] و همکاران (۲۰۰۸) در تحقیقی با عنوان سیستم تجزیه و تحلیل فضایی برای مدیریت کاربری اراضی براساس سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل‌سازی ارزیابی چندمعیاره در شهر چانگشا چین از تلفیق دامنه وسیعی از داده‌های اکولوژیکی و زیست‌محیطی برای توسعه و برنامه‌ریزی شهری کمک گرفته شد. کرم (۱۳۸۸) به تحلیل تناسب زمین برای توسعه کالبدی در محور شمال‌غرب شیراز با استفاده از رویکرد ارزیابی چندمعیاری MCE، در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی پرداخته است. در این پژوهش توسعه کالبدی شیراز بر پایه پنج معیار (شیب، جنس، قابلیت زمین، فاصله با شهر و فاصله با راه‌های اصلی)، ارزیابی و نقشه تناسب زمین در محدوده یادشده تهیه شده است. قرخلو و همکاران (۱۳۸۸) برای ارزیابی توان اکولوژیک منطقه قزوین جهت تعیین نقاط بالقوه توسعه شهری پژوهشی انجام دادند که محققین توان اکولوژیک توسعه شهری قزوین را براساس تناسب اراضی با استفاده از پارامترهای تنوع اکولوژیک و زیستی از طریق منطق بولین در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تعیین کرده‌اند. عزیزیان و همکاران (۱۳۹۲) در پژوهشی طی رویکرد ارزیابی چند معیاره با استفاده از روش ترکیب خطی وزن‌دار و در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی ارزیابی توان اکولوژیکی حاشیه شهر تبریز برای توسعه کالبدی بر پایه مشاهدات محیطی (طبیعی و انسانی به تعداد ۱۲ معیار) را انجام دادند و نقشه نهایی نواحی مناسب برای توسعه کالبدی شهر در محدوده یادشده را تهیه کردند. در ی دیگر پورخباز و همکاران (۱۳۹۲) با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره و با مدل منطق فازیWLC-AHP توان توسعه شهری زون جنوبی البرز مرکزی را پیش‌بینی کردند. پارامترهای اکولوژیک فیزیکی و زیستی در این ارزیابی به‌کار گرفته شد. نتایج نشان داد که تصمیم‌گیری چندمعیاره همراه با مدل فازی برای ارزیابی زیست‌محیطی توسعه شهری عملکرد بالایی دارد.

جوادیان کوتنایی و همکاران (۱۳۹۳) در تحقیقی تدوین الگوی ارزیابی توان اکولوژیک توسعه شهری با بهره‌گیری از فرآیند تحلیل شبکه‌ای ANP را در ساری انجام دادند که در آن

1. Weighted Linear Combination
2. Jat
3. Ajmer
4. Yang

مهم‌ترین معیارهای توان اکولوژیک توسعه شهری در قالب ساختار شبکه‌ای و با بهره‌گیری از سامانه اطلاعات جغرافیایی، تحلیل و نقشه پهنه‌بندی محدوده مورد مطالعه براساس توان اکولوژیک توسعه شهری تهیه شد. در پایان به کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی در جهت بهینه‌سازی فرآیند توسعه شهری جهت جلوگیری از بحران‌های زیست‌محیطی به‌عنوان راه‌کار عملی پیشنهاد شد. بررسی پیشینه پژوهش نشان می‌دهد، با وجود ارزیابی توان اکولوژیک و آمایش سرزمین امروزه دارای دامنه علمی وسیعی بوده و تصمیم‌گیری برای آن‌ها مستلزم در نظر گرفتن معیارهای متعدد است، ولی استفاده از تکنیک‌های ریاضی تصمیم‌گیری به روش FAHP در مسائل توان اکولوژیک شهری به‌ندرت انجام شده است. در این پژوهش حاشیه شهر اراک از نظر کاربری توسعه شهری ارزیابی شده است. استان مرکزی یکی از قطب‌های صنعتی کشور به محسوب می‌شود که اکنون پذیرای صنایع مختلف است. از طرفی وجود زمین و منابع آبی به نسبت غنی استان رونق بسیار خوبی به فعالیت‌های کشاورزی آن داده است. رشد صنعت و کشاورزی و وجود بازار کار از عوامل مهم تمرکز جمعیت در این استان به شمار می‌آید و فعالیت‌های شهرنشینی و مسائل مبتلا به آن را بیش از پیش دامن زده است. توسعه‌های پیاپی صنعتی، کشاورزی و شهرسازی در این استان موضوع بررسی ارزیابی توان اکولوژیکی منطقه را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد. در واقع رویکردهای این پژوهش پیاده‌سازی طرح‌های آمایشی کاربری توسعه شهری و استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره جهت مدل‌سازی توان اکولوژیکی این کاربری است. رویکرد اصلی این مطالعه تعیین مکان‌های مناسب برای توسعه شهری در اطراف شهر اراک است که کمترین آثار سوء را اکنون و در بلندمدت درپی داشته باشد. از این‌رو طرح تعیین کاربری اراضی براساس توان اکولوژیک در این منطقه ضروری می‌نماید. بدین منظور در این پژوهش توان اکولوژیک اطراف شهر اراک با کمک دو روش وزن‌دهی فرایند تحلیل سلسله مراتبی[1] و فرایند تحلیل سلسله مراتبی فازی[2] در تلفیق با سیستم اطلاعات جغرافیایی تعیین و مقایسه شد.

۲. مباحث نظری

۱-۲- برنامه‌ریزی محیط زیست (آمایش سرزمین)

نظریه توسعه پایدار شهری حاصل بحث‌های طرفداران محیط‌زیست درباره مسائل زیست‌محیطی، به ویژه محیط‌زیست شهری است (زیاری، ۳۴:۱۳۷۸). این چنین شهری دارای حداقل دخالت در منابع طبیعی و تعادل بهینه بین جمعیت و منابع است (بحرینی، ۴۷:۱۳۷۷).

1. Analytic Hierarchy Process
2. Fuzzy Analytic Hierarchy Process

ایجاد تعادل منطقی مقدور و نسبی بین زمین و نحوه استفاده از آن با فعالیت‌ها و عملکردهای انسان بر آن لازم و ضروری است. درپی این‌گونه تفکر (معصومی‌اشکوری، ۲۳:۱۳۸۷) و به دلیل استفاده غیرمنطقی انسان از سرزمین طی سالیان متمادی (مخدوم، ۸:۱۳۸۴) نظام آمایش سرزمین به وجود آمد. آمایش سرزمین (برنامه‌ریزی منطقه‌ای کاربری اراضی) عبارت از «تنظیم رابطه بین انسان، سرزمین و فعالیت‌های انسان در سرزمین جهت بهره‌برداری در خور و پایدار از جمیع امکانات انسانی و فضایی سرزمین در جهت بهبود وضعیت مادی و معنوی اجتماع در طول زمان» است که ارزیابی توان اکولوژیکی سرزمین شالوده آمایش سرزمین (برنامه‌ریزی محیط‌زیست) است (مخدوم، ۱۴:۱۳۸۴). ارزیابی توان محیط‌زیست (توان اکولوژیکی و نیز توان اقتصادی و اجتماعی) عبارت از برآورد استفاده ممکن انسان از سرزمین برای کاربری‌های کشاورزی، مرتع‌داری، جنگل‌داری، پارک‌داری، حفاظت، کشاورزی، صنعت، خدمات و بازرگانی است. می‌توان توان اکولوژیک را توان بالقوه سرزمین در رابطه با قابلیت‌های اکولوژیکی آن برای توسعه دانست (پورجعفر و همکاران، ۱۲:۱۳۹۱). تفاوت روش‌های مختلف ارزیابی توان اکولوژیکی در نوع مدل‌های اکولوژیکی به‌کار گرفته شده در آن‌هاست (اورگر[1]، ۱۲:۲۰۰۰؛ بوث[2]، ۷۸:۱۹۸۵). هدف از طرح‌ریزی مدل نوین کاربری توسعه شهری و خدماتی سرزمین ایران دستیابی به یک مدل ریاضی خطی وزن داده شده جهت مطالعات ارزیابی توان اکولوژیک است. در طراحی این مدل انتخاب یک شیوه متناسب و علمی جهت شناسایی و ارزش‌گذاری پارامترهای تأثیرگذار در فرآیند ارزیابی توان اکولوژیک مهم‌ترین مرحله تصمیم‌گیری و طرح‌ریزی به شمار می‌رود (پنینگتون[3]، ۲۶:۲۰۰۰؛ تنگ[4]، ۵۴:۲۰۰۰).

۲-۲- مدل اکولوژیک کاربری توسعه شهری ایران

روش ارزیابی توان اکولوژیک محیط‌زیست در ایران برای دستیابی به آمایش سرزمین چند عامله است. مدل‌های اکولوژیک ایران سامانه پشتیبان تصمیم‌گیری برای ارزیابی توان اکولوژیک جهت پهنه‌های زیست‌محیطی ایران است، که ارزیابی و طبقه‌بندی سرزمین با مقایسه بین ویژگی‌های اکولوژیک واحدهای زیست‌محیطی و مدل‌های اکولوژیک حرفی ایران انجام می‌شود. مدل حرفی با سه طبقه توان مناسب، نسبتاً مناسب و نامناسب جهت ارزیابی توان اکولوژیک کاربری توسعه شهری ارائه شده که معیارهای اقلیم، شکل زمین، سنگ مادر،

1. Aurger
2. Booth
3 .Pennington
4.Tang

خصوصیات خاک، منابع آب و پوشش گیاهی در آن در نظر گرفته شده است (مخدوم و همکاران، ۱۳۸۸: ۲۱۴).

۳-۲- تجزیه و تحلیل تناسب کاربری اراضی

تناسب اراضی واژه‌ای کلی در ارتباط با ترکیب فاکتورها و اثرات آن با توجه به کاربری‌های بالقوه است. مالچفسکی[1] (۲۰۰۴) آنالیز تناسب را چنین توصیف می‌کند: ناحیه در آنالیز تناسب اراضی به مجموعه واحدهای مطالعاتی کوچک چون پلی‌گون‌ها (واحدهای سطحی) یا رسترها تقسیم می‌شود. در واقع آنالیز تناسب اراضی طبقه‌بندی این واحدهای مطالعاتی را براساس تناسب برای یک فعالیت ویژه سبب می‌شود (اگدن[2]، ۱۴:۲۰۰۷). یکی از سودمندترین کاربردهای سیستم اطلاعات جغرافیایی برای برنامه‌ریزی و مدیریت، نقشه‌سازی و آنالیز تناسب کاربری اراضی است (بریل[3] و کلسترمن[4]، ۳۹۰:۱۹۷۷؛ کلینز[5] و همکاران، ۶۱۳:۲۰۰۱؛ هپکینز[6]، ۲۹۲:۲۰۰۱؛ مک هارگ[7]، ۳۲:۱۹۶۹)، ارزیابی تناسب اراضی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌عنوان روش تصمیم‌گیری چند معیاره است. این موضوع بیشتر بر آنالیز تناسب اراضی در برنامه‌ریزی و مدیریت شهری، منطقه‌ای و زیست‌محیطی معطوف می‌شود تا کاربری‌های کشاورزی، اکولوژیکی و زمین‌شناختی (کالجیرو[8]، ۲۰۰۲).

۴-۲- مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره تعاملی

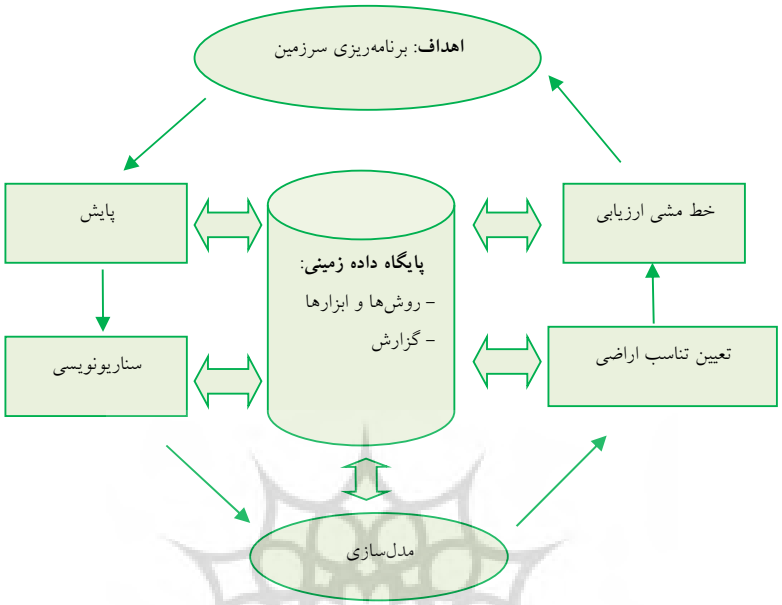
برای تحلیل و ارزیابی چندمعیاری تناسب زمین روش‌های متعددی وجود دارد که روش ترکیب خطی وزن‌دار[9] یکی از رایج ترین آنهاست (مالچفسکی، ۲۰۰:۱۹۹۹). روش یادشده به این دلیل انتخاب شده که نخست ساده و از رایج‌ترین روش‌های ارزیابی چندمعیاری است. دوم به آسانی در قالب سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی قابل اجراست. سوم می‌تواند دیدگاه و اطلاعات تحلیل‌گر در مورد اهمیت معیارها و بازنگری آن‌ها را به بهترین نحو اعمال کند (کرم، ۹۴:۱۳۸۴). ترکیب خطی وزن‌دار یک روش تجمع است که اجازه می‌دهد تنوع عوامل پیوسته و گسسته حفظ شود. این مستلزم آن است که عوامل به طیف عددی مشترک استاندارد و سپس

1. Malczewski
2. Ogden
3. Brail
4. Klosterman
5. Collins
6. Hopkins
7 .Mc Harg
8. Kalogirou
9. WLC

با میانگین وزنی ترکیب شوند (رومانو[1] و همکاران، ۱۳۴:۲۰۱۵). در ارتباط با استانداردسازی، از توابع عضویت فازی استفاده می‌شود. نظریه منطق فازی برای نخستین بار توسط دانشمند ایرانی، پروفسور عسکر لطفی‌زاده برای اقدام در شرایط عدم اطمینان ارائه شد. منطق فازی یک منطق چند مقداری است، یعنی پارامترها و متغیرهای آن علاوه‌بر آن‌که اعداد ۱ یا صفر را اختیار می‌کنند، می‌توان تمامی مقادیر بین این دو عدد را نیز به آن‌ها اختصاص داد (پورخباز و همکاران،۱۳۹۲:۹۰). در نظریه مجموعه‌های فازی مفهوم تابع عضویت از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، که مقدار فازی بودن یک مجموعه فازی را مشخص می کند (ابلماسف[2] و ابرادویک[3]، ۳۵:۱۹۹۷). در این خصوص می‌توان به توابع خطی[4]، J شکل[5]، S شکل[6] و توابع عضویت[7] اشاره کرد (گرزفسکی[8] و همکاران، ۳:۲۰۰۶). پیش از انجام عملیات ادغام نقشه‌ها لازم است تمامی لایه‌های مورد استفاده از اعداد و مقادیر معیار ارائه‌شده استاندارد شوند. مقیاس معمولی برای استفاده در منطق فازی مقیاسی بین صفر و ۱ است که می‌توان به جای مقیاس ۱-۰ از مقیاس ۲۵۵-۰ نیز استفاده کرد، در این مقیاس اعداد نزدیک‌تر به ۲۵۵ مرغوبیت بیشتری دارند (پورخباز و همکاران،۱۳۹۲:۹۰). مدل مفهومی استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری در تعیین تناسب اراضی در شکل ۱ آمده است.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1. Romano
2. Abolmasov
3. Obradovic
4. Linear functions
5. J-shaped
6. S-shaped
7. User-defined
8. Gorsevski

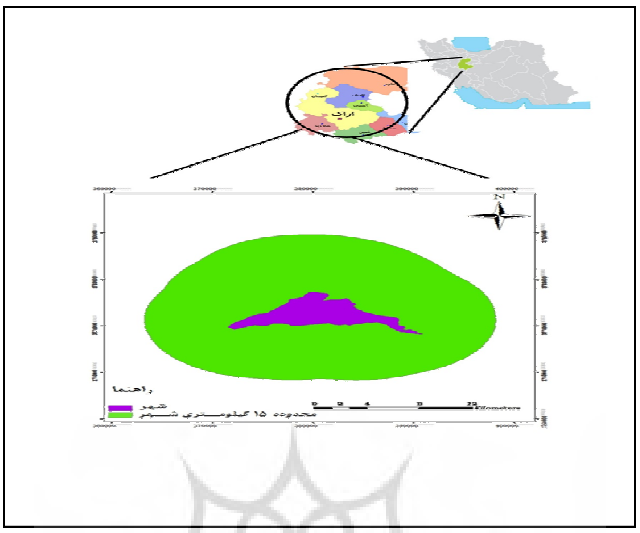


شکل ۱. مدل مفهومی آنالیز تناسب تلفیقی در چارچوب مدل تصمیم‌گیری

۳. مواد و روش‌ها

۳-۱- منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بین طول جغرافیایی ۴۹ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۵۰ درجه شرقی و عرض جغرافیایی۳۴ درجه و۱۴ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۵۷ دقیقه شمالی در ۱۵ کیلومتری حاشیه شهر اراک قرار دارد. براساس سرشماری سال ۱۳۹۰ جمعیت کلان شهر اراک ۵۲۶۱۸۲ نفر است. ارتفاع متوسط آن از سطح دریا ۱۸۰۰ متر، مساحت منطقه ۸۵۶/۶۴ کیلومترمربع و اقلیم آن براساس طبقه‌بندی آمبرژه خشک و سرد است (میرداودی و همکاران،۲۴۵:۱۳۸۷). نقشه منطقه مورد مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است.

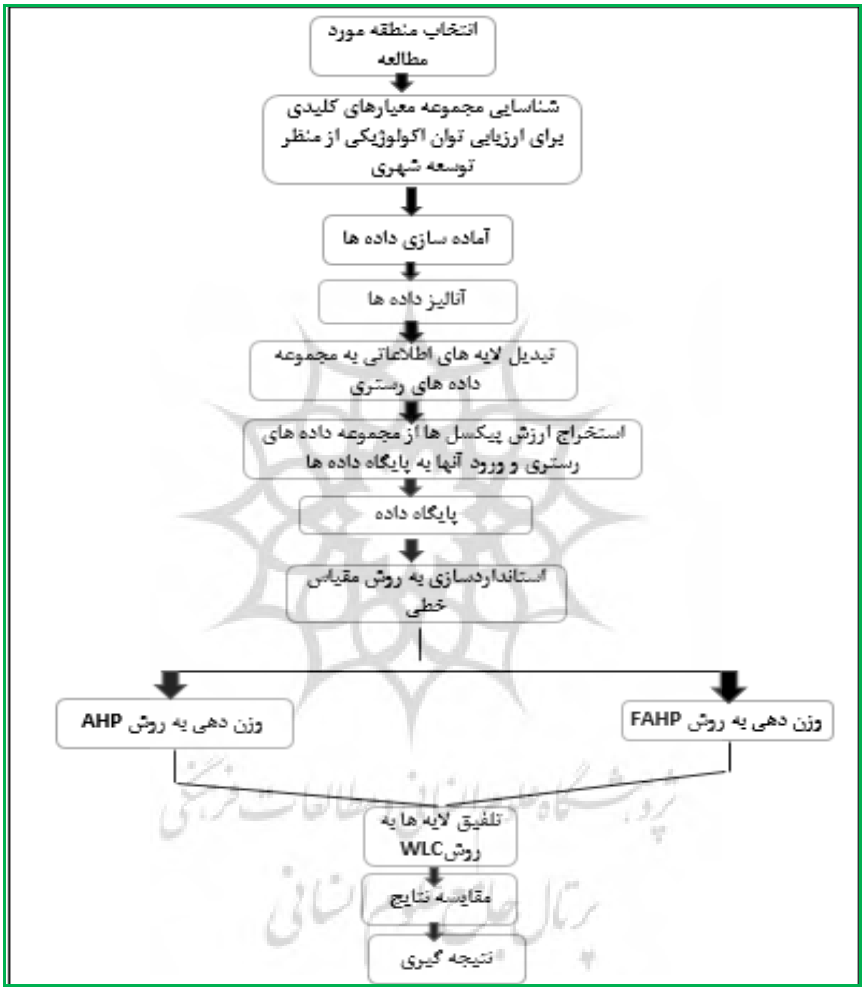


شکل ۲. موقعیت منطقه مطالعه

۳-۲- روش تحقیق

مدل اکولوژیک توسعه شهری ایران به طورکلی نشان‌دهنده سه طبقه توان است که در چهارچوب معادلات برنامه‌ریزی خطی سامان داده شده است. بر این اساس تحقیق حاضر بر پایه عوامل اکولوژیک لازم (فیزیکی و زیستی) حاشیه شهر اراک برای ارزیابی توان اکولوژیک کاربری شهری است که عبارتند از: فیزیوگرافی (درصد شیب) (so)، ارتفاع از سطح دریا (E)، جهت جغرافیایی (As)، سرعت باد (Cw)، رطوبت نسبی (Ch)، دبی آب (wc/m^3)، بارندگی(Cp)، دما (Ct)، عمق خاک (Pd)، فرسایش خاک (Es)، ساختمان خاک (تحول یافتگی) (Ps)، بافت خاک (Pte)، زهکشی خاک (Pdr)، دانه‌بندی خاک (Pg)، تراکم پوشش گیاهی(Vgo)، اقلیم و زمین‌شناسی (سنگ مادر Li). پژوهش حاضر از لحاظ هدف کاربردی و روش مطالعه توصیفی– تحلیلی و گردآوری اطلاعات به دو روش اسنادی (کتابخانه‌ای) و میدانی (پیمایشی) انجام شده است. برای تهیه نقشه DEM، از تمامی خطوط میزان منحنی نقشه ۱:۲۵۰۰۰ منطقه (تهیه‌شده از سازمان نقشه‌برداری کشور) با خطوط میزان ۱۰ متری، نقشه اقلیمی با کمک داده‌های اقلیمی سازمان هواشناسی و عملیات درون‌یابی روی آن‌ها، برای نقشه‌های خصوصیات خاک از نقشه ارزیابی منابع و قابلیت اراضی منطقه تحت پوشش (تهیه‌شده از مؤسسه تحقیقات خاک و آب کشور در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰) و جهت تهیه نقشه سنگ مادر از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی (تهیه‌شده از سازمان زمین‌شناسی) استفاده گردید. از

نرم‌افزارهای اکسل ۲۰۱۳[1]، پابلیشر[2]، ایدریسی[3]، اکسپرت چویس ۱۱[4]، Arc GIS 10، نیز برای آماده‌سازی داده‌ها استفاده و روند نما جهت اجرای مدل در شکل ۳ نشان داده شده است.



شکل ۳ . روند نما جهت اجرای مدل پیشنهادی ارزیابی توان اکولوژیک توسعه شهری

1. Excel 2013
2. Publisher
3. Idrisi
4. Expert Choice 11

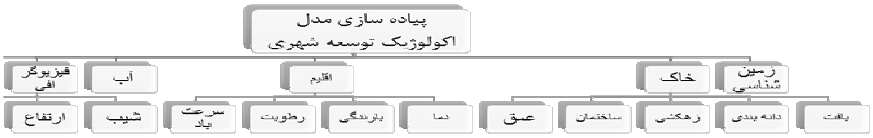
جمع‌بندی و تلفیق داده‌های مربوط به معیارهای محیطی در روش تجزیه و تحلیل چندمعیاره ضرورت می‌یابد. برای تهیه و طبقه‌بندی مجدد لایه شیب و جهت از DEM[5] منطقه استفاده شده است. پیش از عملیات ادغام نقشه‌ها لازم است تمام لایه‌ها با عملیات ژئورفرنس تصحیح، ویرایش و رقومی‌سازی شوند و تعریف سیستم مختصات آماده و سپس استاندارد شوند تا با استفاده از قواعد تصمیم‌گیری قابلیت ادغام داشته باشد. معیارها و استخراج محدودیت ها و فاکتورها، محدودیت‌ها در پایان مرحله آماده‌سازی به صورت صفر و یک (براساس منطق بولین) طبقه‌بندی مجدد (استانداردسازی) شدند. محدودیت‌ها به کمک نقشه‌های اراضی کشاورزی و باغات، منطقه حفاظت‌شده، خط راه آهن، آزادراه و بزرگراه‌ها، مناطق مسکونی و روستاهای بزرگ، گسل، رودخانه و معادن توسط تابع بافر[6] تعیین شدند. پیش از انجام عملیات ادغام‌کردن نقشه‌ها در اجرای مدل فازی نیاز به وزن هر یک از فاکتورها و استانداردسازی آن‌ها (فازی‌سازی پارامترهای اکولوژیک)، مشخص کردن توابع عضویت پارامترها و در نهایت ترکیب آن‌ها به روش MCE است (پورخباز، ۱۳۸۹:۳۰). جهت انجام استانداردسازی ابتدا لایه‌های وکتوری معیارها را به شکل رستری تبدیل می‌کنیم. برای استانداردسازی لایه‌های رستری نیز از روش فازی و تعیین توابع عضویت استفاده شد. لایه‌ای پس از استانداردسازی و براساس منطق فازی به وجود آمد که ارزش داده‌های آن در دامنه‌ای بین ۰-۲۵۵ قرار داشت که در غیر این صورت این کار با کشیدن لایه[7] و به کمک توابع عضویت انجام گردید. در توابع خطی برای فازی کردن لایه‌های نقشه باید موقعیت حداقل ۲-۴ نقطه a، b، c و d بر نمودار تابع عضویت خطی معین شود (ایستمان، ۲۰۰۳:۳۳). جهت تعیین بردار وزن معیارها، از روش FAHP وAHP کمک گرفته شد که پس از مشخص کردن اهمیت هر کدام از عوامل با توجه به نظر کارشناسی از نرم‌افزار اکسپرت چویس استفاده شد که ضریب ناسازگاری[8] کمتر از ۰/۱ بود که نشان از قابل قبول بودن داده‌هاست. مراحل مربوط به تلفیق لایه‌ها پس از وزن‌دهی فاکتورها با استفاده از قواعد تصمیم‌گیری MCDM[9] جهت دست‌یابی به مناطق مستعد کاربری توسعه شهری آغاز شد.

۴. وزن‌دهی معیارها

از آن‌جا که معیارهای مختلف ماتریس تصمیم در تعیین کاربری اراضی از اهمیت یکسانی برخوردار نیست، دانستن ضریب اهمیت یا وزن هریک از این معیارها در تصمیم‌گیری و ارزیابی

5. Digital Elevation Model
6. Buffer
7 .Stretch
8. Inconsistency
9. Multi-Criteria Decision Making

ضروری است (عطایی، ۴۵:۱۳۸). برای انجام این کار سه سطح: هدف (به‌عنوان اصلی‌ترین شاخه)، معیارها و زیرمعیارها ایجاد شد (شکل ۴).



شکل ۴. سلسله مراتب معیارها در فرایند وزن‌دهی

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP)

روش مقایسه دوتایی به وسیله ال ساعتی[10] (۱۹۸۰) در زمینه فرایند سلسله مراتب تحلیلی ارائه شده است. این روش شامل مقایسه دوتایی جهت ایجاد یک ماتریس نسبت است که یک ورودی به صورت مقایسه‌های دوتایی دارد و وزن‌های نسبی را به‌عنوان خروجی تولید می‌کند (قدسی‌پور، ۱۵:۱۳۸۵). روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی با توجه به سادگی، انعطاف‌پذیری، به‌کارگیری معیارهای کیفی و کمی هم‌زمان و نیز قابلیت بررسی سازگاری در قضاوت‌ها می‌تواند در بررسی موضوعات پیچیده شهری کاربرد مطلوبی داشته باشد، همچنین این روش زمینه‌ای را برای تحلیل و تبدیل مسائل مشکل و پیچیده به سلسله مراتبی منطقی و ساده‌تر فراهم می‌آورد که در چارچوب آن برنامه‌ریز بتواند ارزیابی گزینه‌ها را با کمک معیارها و زیرمعیارها به راحتی انجام دهد (پیشگاهی‌فرد و همکاران، ۱۳۹۱:۱۹۴). این وزن‌دهی، توسط ساعتی در یک مقیاس پیوسته به مقادیر کمی بین ۱-۹ تبدیل شده‌اند (جدول ۱).

10. Saaty

جدول ۱. ماتریس میزان ارجحیت نسبی معیارها در مقایسه زوجی

متغیرهای کلامی	درجه اهمیت
اهمیت یکسان	**۱**
ارجحیت متوسط	**۳**
ارجحیت زیاد	**۵**
ارجحیت بسیار زیاد	**۷**
ارجحیت فوق‌العاده	**۹**
ارجحیت‌های بینابین	**۲، ۴، ۶، ۸**

منبع ایستمان، ۱۲۳:۲۰۰۱

روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی باکلی

روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی فازی ابداع باکلی شکل تعمیم‌یافته‌ای از روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی کلاسیک است. در این روش برای مقایسه زوجی گزینه‌ها از اعداد فازی و ذوزنقه‌ای و برای به‌دست‌آوردن وزن‌ها و ارجحیت‌ها از روش میانگین‌گیری هندسی استفاده می‌شود، زیرا این روش به‌سادگی به حالت فازی قابل تعمیم است و پاسخ یگانه‌ای برای ماتریس مقایسه‌ای زوجی تعیین می‌کند. شخص تصمیم‌گیرنده در این روش می‌تواند مقایسه زوجی المان‌های هر سطح را در قالب اعداد فازی ذوزنقه‌ای بیان کند (عطایی، ۲۴:۱۳۸۹). الگوریتم روش باکلی را می‌توان در چهار گام بیان کرد (کایا و کاهرامان[11]، ۸۵۵۵:۲۰۱۱).

گام نخست برآورد اهمیت نسبی معیارها با استفاده از ماتریس مقایسه زوجی:

متغیرهای زبانی برای ارزیابی اهمیت معیارها به اعداد فازی ذوزنقه‌ای تبدیل می‌شوند (جدول ۲).

11. Kaya and Kahraman

جدول ۲ ارزیابی مقیاس فازی

تعریف زبانی	عدد فازی	امتیاز فازی ذوزنقه‌ای
کاملا قوی	~۹	(۴، ۷/۲، ۳، ۵/۲)
خیلی قوی	~ ۷	(۷/۲، ۳، ۵/۲، ۲)
نسبتا قوی	~ ۵	(۳، ۵/۲، ۲، ۳/۲)
کمی قوی	~ ۳	(۵/۲، ۳/۲،۲، ۱)
یکسان	~ ۱	(۱،۱،۱،۱)
کمی ضعیف	$\sim ۳^{-1}$	(۱، ۲/۳، ۱/۲، ۲/۵)
نسبتا ضعیف	$\sim ۵^{-1}$	(۲/۳، ۱/۲، ۲/۵، ۱/۳)
خیلی ضعیف	$\sim ۷^{-1}$	(۱/۲، ۲/۵، ۱/۳، ۲/۷)
کاملا ضعیف	$\sim ۹^{-1}$	(۲/۵، ۱/۳، ۲/۷، ۱/۴)

منبع کایا و کاهرامان، ۸۵۵۵:۲۰۱۱

گام دوم با استفاده از عملگر میانگین‌گیری اعداد فازی ذوزنقه‌ای به صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود.

$$\tilde{c}_{jk} = {}^{1}/_{k}[\tilde{c}^{1}_{jk}(+)\tilde{c}^{2}_{jk} \dots (+)\tilde{c}^{k}_{jk}] \quad (۱)$$

نظرها و عمل‌کردهای انفرادی کارشناسان گروه‌بندی می‌شوند که k تعداد کارشناسان و $\tilde{c}_{jk}$ ارزیابی k-امین تصمیم‌گیرنده بین معیارهای j-ام و k-ام در ماتریس مقایسه زوجی است.

گام سوم، وزن‌های فازی $\tilde{w}_j$ به صورت روابط (۳،۲) محاسبه می‌شوند.

$$\tilde{a}_j = [\prod_{k=1}^{n} a_{jk}]^{1/n} \quad (۲)$$

$$\sum_{j=1}^{n} a_j \quad (۳)$$

به‌طور مشابه می‌توان d, d_j, c, c_j, b, b_j را نیز تعریف کرد، سپس وزن‌های فازی w_j به صورت رابطه (۴) تعریف می‌شوند (چن[12] و هووانگ[13]، ۲۹۱:۲۰۰۶).

$$\tilde{w}_j = \left(\frac{a_j}{d}, \frac{b_j}{c}, \frac{c_j}{b}, \frac{d_j}{a}\right) \text{ و } \forall_j \quad (۴)$$

گام چهارم، وزن‌های فازی ذوزنقه‌ای غیرفازی و نرمال‌سازی می‌شوند.جهت غیرفازی‌سازی اعداد فازی ذوزنقه‌ای رابطه (۵) به‌کار می‌رود.

12. Chen
13. Hwang

$$w_j` = \frac{\frac{a_j}{d} + 2\left(\frac{b_j}{c} + \frac{c_j}{b}\right) + \frac{d_j}{a}}{6} \quad (۵)$$

برای استاندارد و نرمال کردن وزن‌های قطعی از رابطه (۶) استفاده می‌شود.

$$w_j = \frac{w_j}{\sum_{j=1}^{n} w_j}, \qquad j = 1,2, \dots, n \quad (۶)$$

رزیابی چندمعیاره WLC

روش ترکیب خطی وزنی (WLC) یکی از متداول‌ترین تکنیک تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره است. در این‌جا روش مدل هم‌پوشانی شاخص یا ترکیب خطی وزنی برای تلفیق لایه‌ها برای دست‌یابی به مناطق مستعد کاربری توسعه شهری به‌کار گرفته شد. در این روش با ضرب نمره معیارها در وزن‌شان (عطائی، ۶۱:۱۳۸۹)، لایه نهایی ارزیابی با استفاده از رابطه (۷) حاصل شد.

$$A_t - \sum w_j x_{tj} \quad , \quad \sum w_j - 1 \quad (۷)$$

A_i امتیاز گزینه i-ام و x_{ij} نمره گزینه i-ام درمورد صفت j-ام و w_j وزن صفت j-ام است. این روش رایج‌ترین مدل در مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی است (پرهیزگار و غفاری گیلانده، ۴۵:۱۳۸۵). در پایان نقشه نهایی تهیه‌شده براساس نقاط شکست (با گرفتن هیستوگرام از تعداد پیکسل‌ها و مطلوبیت آن‌ها) و نظرهای کارشناسی به سه طبقه تقسیم شد.

تعیین صحت روش‌های ارزیابی

ضریب کاپا

ضریب کاپا دقت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند. به این معنی که مقدار کاپا دقت طبقه‌بندی را نسبت به حالتی که یک تصویر کاملاً به صورت تصادفی طبقه‌بندی شود محاسبه می‌کند که در رابطه (۸) نشان داده شده است.

$$K = \frac{\text{obsaerved accuracy} - change\ agreement}{1 - change\ agreement} \quad (۸)$$

برای نمونه یک کاپا معادل ۷۵٪ یعنی این‌که نتایج طبقه‌بندی ۷۵٪ بهتر از موقعی است که پیکسل‌ها به طور تصادفی برچسب‌دهی شوند. مقادیر بین ۰-۱۰۰٪ هر یک سطح معینی را به نسبت این طبقه‌بندی (کاملاً صحیح) نشان می‌دهند و مقادیر منفی مؤید نتایج بسیار بد طبقه‌بندی است.

رابطه محاسبه این ضریب به صورت رابطه (۹) است.

$$\hat{K} = \frac{N\sum_{i=1}^{r} Xii - \sum^{r} X_{i+}X_{+i}}{N^2 - \sum^{r} X_{i+}X_{+i}} \quad (۹)$$

در این رابطه N تعداد کل پیکسل‌های واقعیت زمینی، X_{+i} مجموع عناصر سطر i و X_{+i} مجموع عناصر ستون i است. در این تحقیق ضریب کاپا در نرم‌افزار IDRISI 17 محاسبه شد. نقشه کلاسه‌بندی FAHP به‌عنوان مبنا در نظر گرفته شد، زیرا که بررسی‌های صحرایی حاکی از دقت بالای این نقشه است. سپس صحت کلاسه‌بندی نقشه AHP با مقایسه با نقشه FAHP به‌دست آمد. ضریب کاپا در این مرحله میزان شباهت کلاسه‌بندی روش AHP را با نقشه مبنا محاسبه می‌کند.

۴. یافته‌های تحقیق

در این تحقیق نخست ارزیابی توان اکولوژیک کاربری توسعه شهری با نگرش همه جانبه به تمام معیارهای اکولوژیک در حاشیه شهر اراک به‌عنوان واحد برنامه‌ریزی و مدیریت سرزمین مورد نظر بوده است. در این راستا مطالعه و آماده‌سازی فاکتورهای فیزیکی و زیستی انجام شد، سپس با استفاده از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی و به کمک مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره WLC-AHP و WLC-FAHP ارزیابی توان اکولوژیک منطقه مورد مطالعه با مدل‌های حرفی توسعه شهری ایران (جدول ۳) اجرا شد. همان‌طور که پیشتر بیان شد توسعه بی‌رویه و بدون برنامه‌ریزی کاربری‌های مختلف در اطراف شهر اراک بدون در نظر گرفتن عوامل اکولوژیک صورت گرفته که سبب می‌شود در این پژوهش معیارهای مهم و اساسی در این زمینه مورد نظر قرار گیرد. نتایج حاصل از مطالعات پارامترهای اکولوژیک منطقه مورد نظر به نقشه‌های رقومی تبدیل و با توجه به مدل ارزیابی اکولوژیک کاربری شهری مجدداً طبقه‌بندی شدند. برای اجرای ارزیابی معیارها با منطق فازی، ابتدا لایه معیارهای کیفی مانند بافت، زه‌کشی، فرسایش‌پذیری، دانه‌بندی و ساختمان خاک و سنگ مادر به فرمت رستری تبدیل و سپس براساس نظر کارشناسی در محیط ArcGIS10 طبقه‌بندی دوباره شد. برای نمونه به بافت خاک رسی لومی بیشترین وزن (۰/۹) و به بافت شنی کمترین وزن (۰/۱) برای کاربری توسعه شهری داده شد. لایه معیارهای کمی مانند شیب و جهت با تابع عضویت User defined و سایر نقشه‌ها با تابع عضویت خطی در محیط ایدریسی استاندارد شدند (جدول ۴). معیارهای اکولوژیک در ارزیابی توان اهمیت یکسانی ندارند؛ بنابراین وزن‌دهی به فاکتورها یکی از مراحل مهم و اساسی در به‌کارگیری روش تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی است. از نرم‌افزار

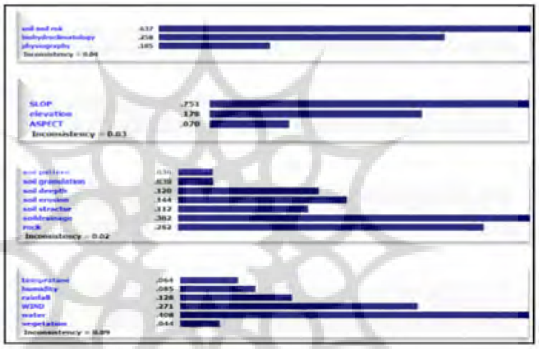
اکسپرت چویس برای تعیین وزن لایه‌ها به‌روش تحلیل سلسله‌مراتبی پس از مشخص کردن اهمیت هرکدام از عوامل با توجه به نظر کارشناسی استفاده شد. در شکل ۵ وزن‌های فاکتورهای اکولوژیک نمایش داده شده، بر این اساس میزان نسبت سازگاری (کمتر از ۰/۱) قابل قبول است و صحت این مرحله را تأیید می‌کند.

جدول ۳. طبقات قابلیت اراضی برای کاربری توسعه شهری براساس مدل اکولوژیک حرفی ایران (مخدوم، ۱۳۸۴)

شماره طبقه	F1 طبقه توان درجه یک (مناسب)	F2 طبقه توان درجه دو (نسبتاً مناسب)	F3 طبقه سوم (نامناسب)
ارتفاع (m)	۴۰۱-۱۷۰۰	۰-۴۰۰/۱۷۰۱-۱۸۰۰	>۱۸۰۰
شیب (٪)	۰-۱۲	۱۲/۱-۱۵	>۱۵
بارندگی (mm)	۳۰۱-۸۰۰	۵۱ -۲۰۰۰	۵۱> و ۲۰۰۰<
دما (°c)	۱۸/۱-۲۶	۱۸/۱-۳۰	۱۸/۱> و ۳۰<
رطوبت نسبی (٪)	۴۰/۱-۸۰	۲۰/۱-۸۰	۲۰/۱> و ۸۰<
بافت خاک	لومی- لومی رسی	شنی (عمیق)، شنی لومی، لومی (کم عمق تا متوسط)، لومی رسی (کم عمق تا متوسط)، لومی رسی شنی، رسی شنی، لومی شنی	شنی (کم عمق)، رسی سنگین یا نیمه سنگین، خاک هیدرومرف
فرسایش خاک	بدون فرسایش (مقاوم)، فرسایش خفیف (کمتر از ۲۵٪)	بدون فرسایش (مقاوم)، فرسایش خفیف (کمتر از ۲۵٪)	نسبتاً شدید تا بسیار شدید (بیش از ۲۵٪)
تحول‌یافتگی خاک	نیمه تحول‌یافته تا تحول‌یافته	نیمه تحول‌یافته	کم تحول‌یافته
دانه بندی خاک	ریز تا متوسط، متوسط	ریز تا متوسط، متوسط تا درشت	بسیار ریز
عمق خاک (cm)	۲۶-۱۵۰	۲۶-۵۰	۲۶<
زهکشی خاک	خوب تا کامل	۲-۱۵	۲-۱۵
سال دبی آب (m^3/)	۶۰۰۰<	۳۰۰۰<	۳۰۰۰=<
تراکم پوشش گیاهی (٪)	۲۵<	۵۰= <	۵۰<
سرعت باد غالب (km/h)	۱-۳۵	۱-۵۰	۵۰<
جهت جغرافیایی	دشت (هموار)، جنوب‌غربی، جنوبی	جنوب‌شرقی، غربی	شمالی، شرقی، شمال‌غربی، شمال‌شرقی
سنگ مادر	ماسه سنگ، روانه‌های بازالت، رسوبات آبرفتی (آبرفت‌های فلات قاره)	سنگ آهک، سنگ رس، آهک دولومیتی، گرانیت، توف‌های شکاف‌دار، روانه‌های بین چینه ای، لس، آبرفتی (مخروط افکنه و آبرفت‌های دره ساز)، شیل، کنگلومرا	مارن، شیست، تپه‌های ماسه‌ای، دشت‌های سیلابی

جدول ۴ . استانداردسازی معیارهای پیوسته به‌روش فازی

معیار	نوع تابع	شکل تابع	نقاط کنترل				
			a		b	c	d
ارتفاع	خطی	ذوزنقه ای	۰		۱۶۶۰	۱۸۰۰	۲۶۲۰
تراکم پوشش گیاهی	خطی	نزولی	-		-	۲۵	۹۱
عمق خاک	خطی	صعودی	۰		۱۵۰	-	-
بارش	خطی	ذوزنقه ای	۰		۳۰۰	۳۵۰	۳۵۱



شکل ۵ . وزن نهایی معیارها و زیر معیارها با استفاده از روش AHP

در مرحله بعد دوباره با استفاده از مدل FAHP باکلی و نظرات کارشناسی و کمک اعداد فازی (جدول ۲) وزن‌دهی انجام شد، وزن‌های هریک از معیارها و زیرمعیارهای مؤثر در ارزیابی توان کاربری شهری محاسبه محاسبه شدند (جداول ۵، ۶، ۷ و ۸).

جدول ۵ ماتریس ارزیابی فازی برای تعیین وزن معیارها

معیارها	**فیزیوگرافی**	**بیوهیدروکلیماتولوژی**	**خاک وسنگ**	r_i	w_j
فیزیوگرافی	۱،۱،۱،۱	۱/۳ ،۲/۵ ،۱/۲،۲/۳	۱، ۲/۳، ۱/۲، ۲/۵	۱، ۱/۱۷، ۱/۳۸ ۰/۸۴	۰/۳۱
بیوهیدروکلیماتولوژی	۱/۳ ،۲/۵ ،۱/۲،۲/۳	۱،۱،۱،۱	۵/۲ ، ۲، ۳/۲، ۱	۱/۵، ۱/۳۲، ۱/۱۳، ۰/۹۳	۰/۳۳
خاک وسنگ	۱، ۲/۳، ۱/۲، ۲/۵	۵/۲ ، ۲، ۳/۲، ۱	۱،۱،۱،۱	۱/۵، ۱/۳۱، ۱/۲۴، /۸۷	۰/۳۶

جدول ۶ . ماتریس ارزیابی فازی برای تعیین وزن زیرمعیارهای فیزیوگرافی

معیار اصلی	زیرمعیارها	ارتفاع	شیب	جهت	$\overline{w}_j$	w_j
فیزیوگرافی	ارتفاع	۱، ۱،۱،۱	۱، ۲/۳، ۱/۲، ۲/۵	۱/۲،۲/۳، ۱/۳، ۲/۵	۱/۲۷، ۱/۰۵، ۰/۸۸، ۰/۷۳	۰/۲۹
	شیب	۲/۳، ۱، ۱/۲، ۲/۵	۱،۱،۱،۱	۷/۲، ۳، ۲ ، ۵/	۲/۱۸، ۱/۹۴، ۱/۶۹، ۱/۴۲	۰/۵۴
	جهت	۱/۲،۲/۳، ۲/۵، ۱/۳	۲/۵، ۱/۲، ۱/۳، ۲/۷	۱،۱،۱،۱	۰/۷۶، ۰/۶۲، ۰/۵۳، ۰/۴۶	۰/۱۷

۷. ماتریس ارزیابی فازی برای تعیین وزن زیر معیارهای سنگ و خاک

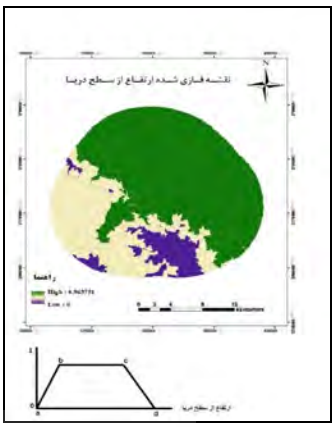
معیار اصلی	زیر معیارها	بافت	دانه‌بندی	عمق خاک	فرسایش	تحول‌یافتگی	زهکشی	سنگ مادر	$\overline{w}_j$	w_j
سنگ و خاک	بافت	۱،۱،۱،۱	۱، ۲/۳، ۱/۲، ۲/۵	۱/۲،۲/۳، ۲/۵، ۱/۳	۱/۲،۲/۳، ۲/۵، ۱/۳	۱، ۲/۳، ۱/۲، ۲/۵	۱/۲،۲/۳، ۲/۵، ۱/۳	۱/۲،۲/۳، ۲/۵، ۱/۳	۰/۷۶، ۲/۷، ۱/۱۵، ۱/۳۹	۰/۱۸
	دانه بندی	۱، ۲/۳، ۱/۲، ۲/۵	۱،۱،۱،۱	۱/۲، ۲/۵، ۱/۳، ۲/۷	۱، ۲/۳، ۱/۲، ۲/۵	۱، ۲/۳، ۱/۲، ۲/۵	۱، ۲/۳، ۱/۲، ۲/۵	۱/۲، ۲/۵، ۱/۳، ۲/۷	۰/۶۰، ۰/۶۵، ۰/۸۹، ۰/۴۹	۰/۰۷
	عمق	۱/۳، ۲/۵، ۱/۲،۲/۳	۷/۲، ۳، ۲ ، ۵/	۱،۱،۱،۱	۱، ۲/۳، ۱/۲، ۲/۵	۱/۳، ۲/۵، ۱/۲،۲/۳	۱/۳، ۲/۵، ۱/۲،۲/۳	۱، ۲/۳، ۱/۲، ۲/۵	۱/۹، ۱/۵۶، ۲/۲۳، ۱/۲۱	۰/۲
	فرسایش	۱، ۲/۳، ۱/۲، ۲/۵	۱، ۲/۳، ۱/۲، ۲/۵	۱، ۲/۳، ۱/۲، ۲/۵	۱،۱،۱،۱	۱/۳، ۲/۵، ۱/۲،۲/۳	۱/۳، ۲/۵، ۱/۲،۲/۳	۱، ۲/۳، ۱/۲، ۲/۵	۱/۱۳، ۱/۳۶، ۱/۶۵، ۰/۹۱	۰/۱۴
	تحول یافتگی	۱، ۲/۳، ۱/۲، ۲/۵	۱، ۲/۳، ۱/۲، ۲/۵	۱/۲،۲/۳، ۲/۵، ۱/۳	۱/۲،۲/۳، ۲/۵، ۱/۳	۱،۱،۱،۱	۱، ۲/۳، ۱/۲، ۲/۵	۱/۲، ۲/۵، ۱/۳، ۲/۷	۰/۷۳، ۰/۸۸، ۱/۱، ۰/۵۹	۰/۰۹
	زهکشی	۱/۲،۲/۳، ۲/۵، ۱/۳	۱، ۲/۳، ۱/۲، ۲/۵	۱/۲،۲/۳، ۲/۵، ۱/۳	۱/۲،۲/۳، ۲/۵، ۱/۳	۱، ۲/۳، ۱/۲، ۲/۵	۱،۱،۱،۱	۱/۲، ۲/۵، ۱/۳، ۲/۷	۰/۹۸، ۱/۱۹، ۰/۸۱، ۰/۶۶	۰/۱
	سنگ مادر	۱/۲،۲/۳، ۲/۵، ۱/۳	۷/۲، ۳، ۲ ، ۵/	۱، ۲/۳، ۱/۲، ۲/۵	۱، ۲/۳، ۱/۲، ۲/۵	۷/۲، ۳، ۲ ، ۵/	۷/۲، ۳، ۲ ، ۵/	۱،۱،۱،۱	۲/۱۴، ۲/۴۴، ۱/۷۸، ۲	۰/۲۲

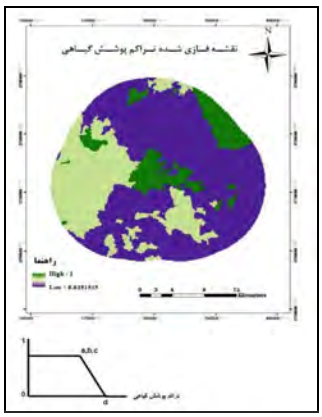
جدول ۸ . ماتریس ارزیابی فازی برای تعیین وزن زیرمعیارهای بیوهیدروکلیماتولوژی

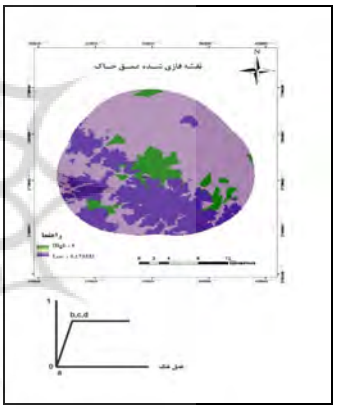
معیار اصلی	زیرمعیارها	دما	رطوبت	بارندگی	سرعت باد	دبی آب	تراکم پوشش گیاهی	r_{ij}	w_j
بیوهیدروکلیماتولوژی	دما	۱،۱،۱،۱	۱،۱،۱،۱	۱، ۲/۳، ۱/۲، ۲/۵	۱/۳، ۲/۵، ۱/۲،۲/۳	۱/۲، ۲/۵، ۱/۳، ۲/۷	۱، ۲/۳، ۱/۲، ۲/۵	۰/۹۱، ۰/۷۶، ۰/۶۴، ۰/۶۵	۰/۱۱
	رطوبت	۱،۱،۱،۱	۱،۱،۱،۱	۱، ۲/۳، ۱/۲، ۲/۵	۱/۲، ۲/۵، ۱/۳، ۲/۷	۱/۲، ۲/۵، ۱/۳، ۲/۷	۱، ۲/۳، ۱/۲، ۲/۵	۰/۹۶، ۰/۸۱، ۰/۷۲، ۰/۶۱	۰/۱۱
	بارندگی	۱، ۲/۳، ۱/۲، ۲/۵	۱،۱،۱،۱	۱،۱،۱،۱	۱، ۲/۳، ۱/۲، ۲/۵	۱/۲، ۲/۵، ۱/۳، ۲/۷	۱، ۲/۳، ۱/۲، ۲/۵	۱/۱۹، ۱/۱۲، ۰/۹۳، ۰/۷۶	۰/۱۴
	سرعت باد	۱/۳، ۲/۵، ۱/۲،۲/۳	۱، ۲/۳، ۱/۲، ۲/۵	۱، ۲/۳، ۱/۲، ۲/۵	۱،۱،۱،۱	۱، ۲/۳، ۱/۲، ۲/۵	۱/۳، ۲/۵، ۱/۲،۲/۳	۱/۸۶، ۱/۵۱، ۱/۲۵، ۱	۰/۲۱
	دبی آب	۲/۷، ۳، ۲/ ۲۰۵	۲/۷، ۳، ۲/ ۲۰۵	۲/۷، ۳، ۲/ ۲۰۵	۱، ۲/۳، ۱/۲، ۲/۵	۱،۱،۱،۱	۲/۷، ۳، ۲/ ۲۰	۲/۷۱، ۲/۳۸، ۲/۰۵، ۱/۷۰	۰/۳۳
	تراکم پوشش گیاهی	۱، ۲/۳، ۱/۲، ۲/۵	۱، ۲/۳، ۱/۲، ۲/۵	۱، ۲/۳، ۱/۲، ۲/۵	۱/۳، ۲/۵، ۱/۲،۲/۳	۱/۲، ۲/۵، ۱/۳، ۲/۷	۱،۱،۱،۱	۰/۹۴، ۰/۷۷، ۰/۶۵، ۰/۵۷	۰/۱

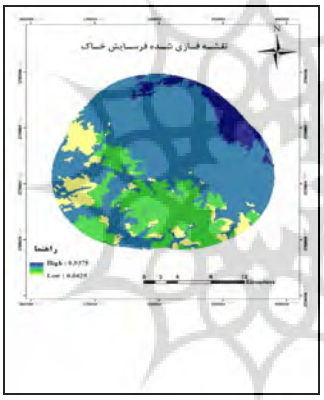
در این مرحله نقشه‌های فازی وزنی با استفاده از وزن‌های نهایی به‌دست آمد (شکل ۶).

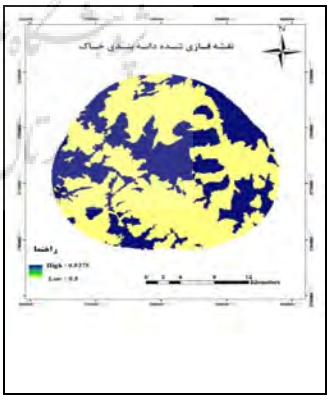
پرتال جامع علوم انسانی

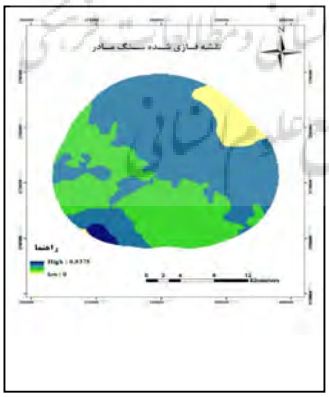

نقشه فازی شده ارتفاع از سطح دریا
راهنما
ارتفاع از سطح دریا

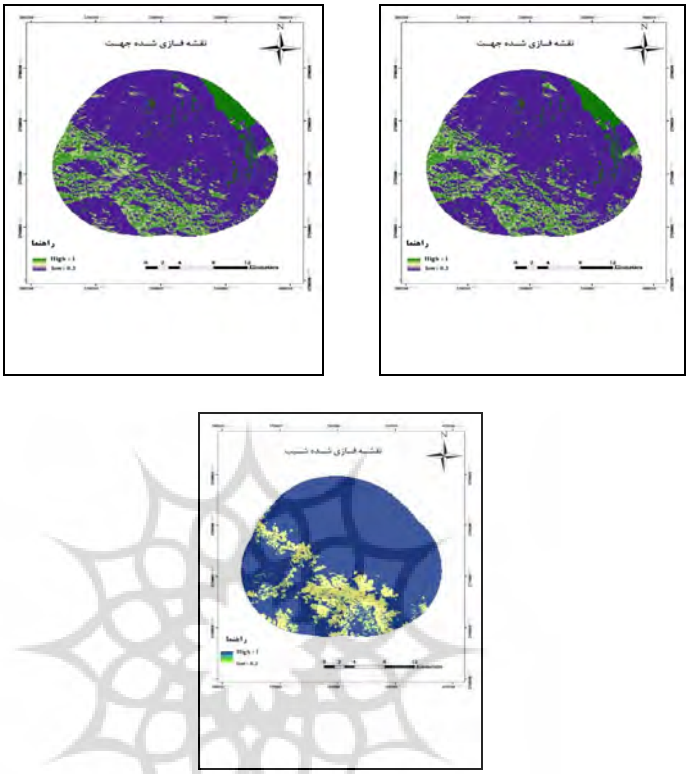

نقشه فازی شده تراکم پوشش گیاهی
راهنما


نقشه فازی شده عمق خاک
راهنما


نقشه فازی شده فرسایش خاک
راهنما

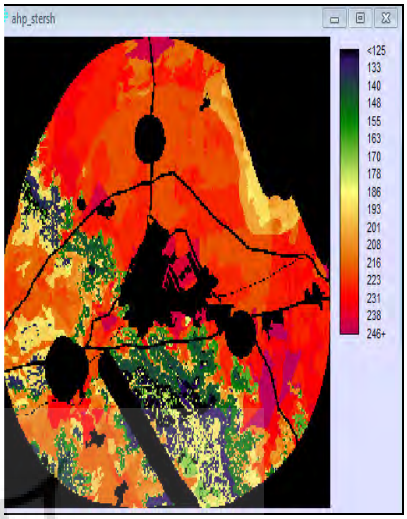

نقشه فازی شده دانه بندی خاک
راهنما


نقشه فازی شده سنگ مادر
راهنما

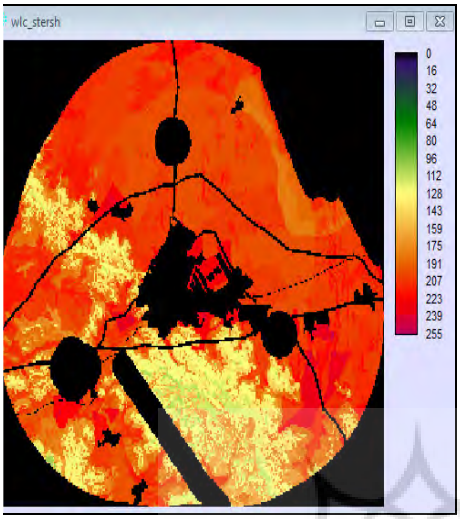


شکل ۶. نقشه‌های اکولوژیک فازی منطقهٔ مورد مطالعه

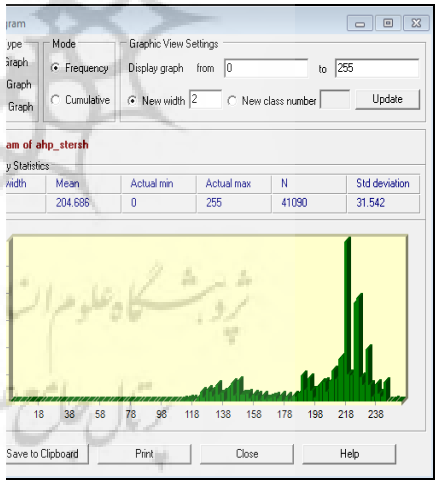
روش ترکیب خطی وزنی یکی از متداول‌ترین تکنیک‌ها در تصمیم‌گیری‌های چندمعیاره است؛ بنابراین پس از بی‌مقیاس‌کردن و تعیین بردار وزن معیارها، برای تلفیق لایه‌ها از روش WLC در محیط ایدریسی استفاده شد. نقشه استاندارد شده هر فاکتور در وزن آن ضرب (شکل ۶) و در نهایت مجموع آن برای تمام فاکتورها در نقشه محدودیت ضرب شد. نقشه حاصل (شکل‌های ۷ و ۸) نمایان‌گر لایه‌ای با طیفی از مطلوبیت‌های متفاوت پیکسل‌ها (۰-۲۵۵) است، مطلوبیت بیشتر نشان‌دهنده درجه توان بالاتر و مطلوبیت کم‌تر بیان‌گر درجه توان پایین‌تر برای توسعه شهری است. در مرحله آخر طبقه‌بندی طبقات سه‌گانه توسعه شهری با کمک هیستوگرام این نقشه (شکل‌های ۹ و ۱۰) و تعیین نقاط شکست انجام شد (شکل‌های ۱۱ و ۱۲).



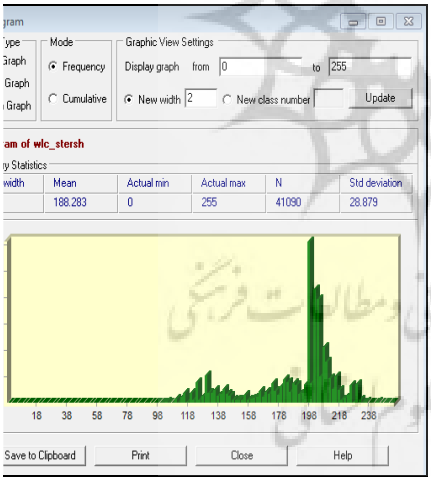
شکل ۷ . نقشه نهایی کاربری توسعه شهری با روش FAHP



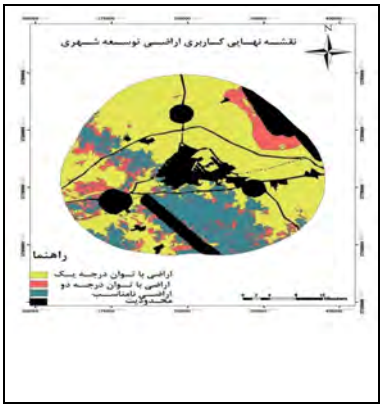
شکل ۸ . نقشه نهایی کاربری توسعه شهری با روش AHP



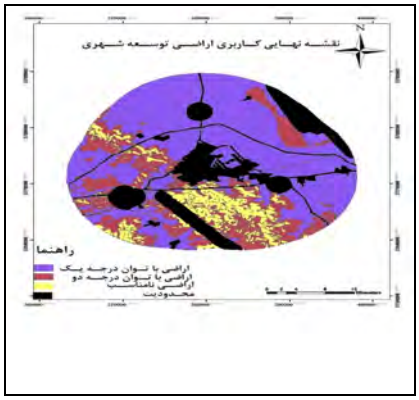
شکل ۹ . هیستوگرام پراکنش داده‌ها با روش AHP



شکل ۱۰ . هیستوگرام پراکنش داده‌ها با روش AHP

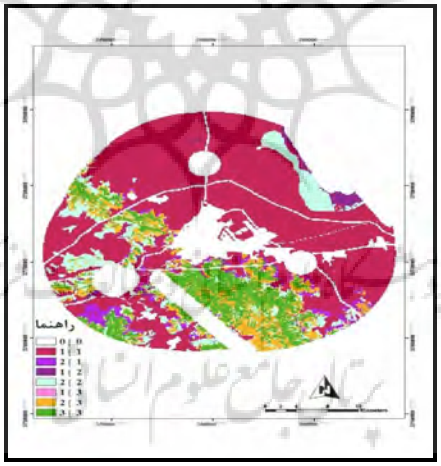


شکل ۱۱ . نقشه نهایی کاربری توسعه شهری با روش FAHP



شکل ۱۲ *. نقشه نهایی کاربری توسعه شهری با روش AHP*

بدون شک عملیاتی را نمی‌توان یافت که از دقت و صحت کامل برخوردار باشد. در این تحقیق از ضریب کاپا و بازدید صحرایی برای صحت ارزیابی روش‌های اجراشده استفاده گردید (شکل ۱۳).



شکل۱۳ . مقایسه بین منطق WLC- FAHP با منطق WLC- AHP، KIA= ۰/۸۷

۵. بحث و نتیجه‌گیری

نتایج حاکی از آن است که نقاط جنوبی و بخش‌هایی از جنوب‌غربی منطقه مورد نظر از لحاظ زهکشی، بافت خاک، دانه‌بندی خاک و تراکم پوشش گیاهی شیب و ارتفاع مناسب توسعه شهری محدودیت دارد. همان‌گونه که مشخص است شیب در توسعه شهری یک عامل مهم است، همچنان که شکل ۵ نشان می‌دهد شیب‌های ٪۱۲-٪۰، حدود ٪۶۰ از منطقه را شامل می‌شود و نوار جنوبی به سمت شمال‌غربی منطقه به‌دلیل کوهستانی بودن و داشتن شیب‌های تند برای توسعه نامناسب شناخته شد. ارتفاع مناسب جهت توسعه بیش از ٪۵۰ منطقه را در نواحی شمال، شرق تا جنوب‌شرقی شامل می‌شود که با توجه به جدول ۴ جهت استانداردسازی آن از تابع عضویت خطی ذوزنقه‌ای استفاده شده است. بی‌بعد کردن معیارهای پیوسته تراکم پوشش گیاهی، عمق خاک و بارش نیز با منطق فازی و با کمک توابع عضویت خطی نزولی-صعودی و ذوزنقه‌ای انجام شد. پس از عملیات استانداردسازی، تعیین وزن معیارها با دو روش موردنظر انجام گرفت که بردار وزنی معیارهای اصلی به‌روش FAHP در جدول ۵ نشان می‌دهد معیار خاک و سنگ مادر (۰/۳۶) بیشترین و فیزیوگرافی (۰/۳۱) کمترین اثرگذاری را در منطقه مطالعه دارد که این به دلیل تنوع زمین‌شناسی و واحدهای مختلف خاک در منطقه و عدم تغییرات چشم‌گیر شیب و ارتفاع در سطح منطقه مطالعاتی است و در بین زیرمعیارهای فیزیوگرافی (جدول ۶)، شیب (۰/۵۴) بالاترین اثرگذاری، بین زیرمعیارهای سنگ و خاک (جدول ۷)، سنگ مادر (۰/۲۲) و دانه‌بندی (۰/۰۷) خاک به‌ترتیب دارای بیشترین و کمترین اثرگذاری و در بین زیرمعیارهای بیوهیدروکلیماتولوژی (جدول ۸)، زیرمعیار دبی آب (۰/۳۳) دارای بالاترین اثرگذاری است. با توجه به وجود سنگ‌های مادری مختلف در منطقه و همچنین شرایط کمبود آب به عنوان عامل مهم توسعه این موضوع قابل درک است. در روش AHP معیار خاک و سنگ مادر (۰/۶۳) در بین معیارهای اصلی دارای بیشترین و فیزیوگرافی (۰/۱) دارای کمترین اثرگذاری، زه‌کشی (۰/۳۰) در بین زیرمعیارهای خاک دارای بیشترین و بافت، و دانه‌بندی خاک (۰/۰۳) دارای کمترین اثرگذاری است (شکل ۵). در سطح بالای سلسله مراتب نتایج مشابهی در بردار وزنی معیارها برای هر دو روش به دلیل پیچیدگی کمتر و قطعیت زیاد به‌دست آمده است، ولی هرچه به سطوح پایین پیش می‌رویم به دلیل افزایش پیچیدگی و ابهام و طبیعت فازی مقایسات زوجی نتایج متفاوتی حاصل می‌شود. جهت مشخص شدن طبقات سه‌گانه توسعه شهری از ماژول‌های Stretch، Histo و Reclass (تابع طبقه‌بندی مجدد) استفاده شد و نقشه نهایی ارزیابی به‌دست آمد که اشکال ۹ و ۱۰ هیستوگرام‌های مربوطه را نشان می‌دهد، که با تعیین نقاط شکست در این نمودارها طبقات سه‌گانه توسعه شهری حاصل گردید. با توجه به نقشه‌های نهایی (شکل‌های ۱۱ و۱۲)، بخش‌هایی از منطقه با شیب کمتر از

٪۱۲، ارتفاع بین ۱۷۰۰-۴۰۱ متر، بافت خاک لومی- لومی‌رسی و مقاوم به فرسایش، با عمق خاک ۱۵۰-۲۶ سانتی‌متر، تراکم پوشش گیاهی کمتر از ٪۲۵ و میزان بارندگی ۸۰۰-۳۰۱ میلی‌متر دارای توان درجه یک (مناسب) برای توسعه کاربری شهری شناخته شدند، که درصد مساحت اراضی درجه یک توسعه شهری در هر دو روشFAHP و AHP بسیار نزدیک بهم هستند و اختلاف چندانی ندارند، تفاوت آن‌ها در طبقات دو و سه توسعه است (جدول ۹). قسمتی از منطقه مطالعاتی که دارای شیب بین ٪۱۵-٪۱۲/۱، ارتفاع کمتر از ۴۰۰ و بیشتر از ۱۷۰۰ متر، بافت خاک شنی و رسی شنی، عمق خاک ۵۰-۲۶ سانتی‌متر و تراکم پوشش گیاهی کمتر از ٪۵۰ بود، به‌عنوان توان درجه دو (نسبتاً مناسب) توسعه شهری مشخص گردید، که مساحت این طبقه در روش AHP، ٪۱۴و در FAHP ٪۲۵ منطقه را شامل می‌شود که پراکندگی این طبقه در جهت شمال‌شرقی و به صورت پراکنده در جهات جنوبی تا شمال‌غربی است، ولی مناطقی که دارای شیب‌های تند بیش از ٪۱۵ بافت خاک شنی و رسی سنگین با فرسایش شدید، عمق خاک کم و زمین‌شناسی مارن، شیست و دشت‌های سیلابی هستند جهت توسعه شهری نامناسب بوده که مساحت این طبقه در دو روش AHP وFAHP به ترتیب ٪۲۱ و ٪۱۲ است. مقایسات دو مدل نشان می‌دهد که با توجه به شیب، ارتفاع، خاک و دیگر معیارهای مورد مطالعه بخشی از اراضی با توان درجه دو در مدل FAHP واقع در جنوب تا شمال‌غربی منطقه در روش AHP به طبقه نامناسب اختصاص داده شده است. با توجه به نقشه نهایی از مجموع کل مساحت منطقه به روش FAHP دارای ٪۶۳ اراضی با توان درجه یک، ٪۱۲ اراضی نامناسب برای کاربری توسعه شهری، و به روش AHP دارای ٪۶۵ توان درجه یک و ٪۲۱ نامناسب است (جدول ۹)؛ بنابراین با تدوین استراتژی‌های مناسب توسعه و هدایت سکونت‌گاه‌ها و فعالیت‌ها به سوی اراضی مناسب می‌توان از گسترش مراکز سکونت در اراضی نامناسب ممانعت کرد و ضمن حفاظت از محیط‌زیست منطقه از منابع موجود به نحو مطلوب‌تری استفاده کرد. در این زمینه مطالعات پورخباز و همکاران (۱۳۹۲) و عزیزیان و همکاران (۱۳۹۲) جهت تعیین توسعه شهری با کمک مـدل WLC-AHP نشان می‌دهد که مدل ترکیب خطی وزنی در تعیین قابلیت اراضی جهت توسعه شهری موثر بوده که این با نتایج تحقیق حاضر منطبق است. پورخباز و همکاران (۱۳۹۳) در ارزیابی توان توسعه شهری با مدل تصمیم‌گیری OWA-AHP و رحیمی و همکاران (۱۳۹۴) در تعیین توان جنگل‌داری با کمک مدل FAHP از مدل‌های تعاملی تصمیم‌گیری جهت استانداردسازی و وزن‌دهی معیارها استفاده کرده و مدل حرفی اکولوژیک ایران را جهت تعیین تناسب اراضی به‌کار گرفتند، به نتایج عملی خوبی دست یافتند و مانند تحقیق پیش‌رو به اهمیت به‌کارگیری از این مدل‌ها در تعیین توان رسیدند. یانگ و همکاران (۲۰۰۸) در مدل‌سازی ارزیابی چند معیاره در شهر

چانشای چین مانند این تحقیق از مدل‌های تصمیم‌گیری به ویژه فازی در ارزیابی و مدل‌سازی توان استفاده کرده و دریافتند که به دلیل عدم قطعیت نظرات کارشناسی کاربرد منطق فازی بسیار مفید و در واقع این منطق بهترین وسیله برای مدل‌سازی سیستم‌هایی با پیچیدگی زیاد است، که این پژوهش نیز این مسئله را اثبات کرده است.

جدول ۹. مساحت کلاس‌های توان اراضی حاصل از روش AHP و FAHP

روش / کلاس‌ها	روش AHP		روش FAHP	
	مساحت (km^2)	مساحت (٪)	مساحت (km^2)	مساحت (٪)
اراضی درجه یک	۴۵۱/۰۳۷	۶۵	۴۳۶/۸۳۶	۶۳
اراضی درجه دو	۹۴/۹۹۴	۱۴	۱۷۴/۳۴۹	۲۵
اراضی نامناسب	۱۴۷/۹۴۲	۲۱	۸۲/۸۱۸	۱۲
جمع	۶۹۴	۱۰۰	۶۹۴	۱۰۰

با توجه به رشد و گسترش سریع شهرها در چند دهه اخیر و تخریب اراضی کشاورزی و باغات اطراف شهرها لزوم برنامه‌ریزی بیشتر جهت کنترل رشد لجام گسیخته شهرها احساس می‌شود. هدایت نحوه و شدت استفاده از اراضی با توجه به توان‌های برآوردی یکی از وظایف مدیریت منطقه است. برنامه‌ریزی مبتنی‌بر توان بالقوه سرزمین شاید بهترین راه‌کار در جلوگیری از ادامه بحران‌های موجود و کاهش تاثیرات سوء آن‌ها باشد. در این تحقیق با استفاده از روش‌های AHP و FAHP همراه با سیستم اطلاعات جغرافیایی جهت برنامه‌ریزی سرزمین، توان اکولوژیک توسعه شهری حاشیه شهر اراک، با نگرش همه‌جانبه به عوامل اکولوژیک ارزیابی شده است. برای بررسی صحت ارزیابی و تطابق روش‌های اجرا شده از ضریب کاپا به کمک جداول متقاطع (ماژول Crosstab) در نرم‌افزار ادریسی و بازدید صحرایی استفاده شد. ضریب کاپا نشان‌دهنده همخوانی کلی نقشه تهیه شده با واقعیت زمینی یا نقشه دیگر است که هرچه این ضریب به عدد یک نزدیک‌تر باشد هم‌خوانی و مطابقت آن بیشتر است. شکل ۱۳ نشان می‌دهد که کاپای روش AHP با FAHP برابر با ۰/۸۷است، که نشان‌دهنده شباهت طبقه‌بندی این دو روش به میزان ٪۸۷ است، که دلیل این امر شباهت طبقات توسعه شهری این دو روش است. علاوه‌براین بررسی‌های میدانی و مقایسه با تصاویر ماهواره‌ای منطقه نشان می‌دهد، منطقه نامناسب که در روش FAHP کوهستانی بوده، در روش AHP برخی کوهستانی و برخی دیگر با توجه به شرایط اکولوژیکی در روش AHP به طبقه نامناسب تعلق گرفته، که تا اندازه‌ایی می‌تواند مزیت روش FAHP به روش AHP باشد. به دلیل آن‌که مدل تناسب اراضی

چندمعیاره کاربری شهری برای نخستین بار در منطقه مطالعاتی انجام شده است امکان مقایسه و بررسی اعتبار این مدل در حال حاضر به روش مقایسه‌ای وجود ندارد؛ بنابراین از مطالعات میدانی و نظرسنجی از کارشناسان منطقه در این زمینه استفاده شد. برای تعیین صحت مدل (نقشه ارزیابی) تعدادی نقاط کنترل (۱۵ نقطه) به صورت تصادفی در سطح منطقه در نظر گرفته شد و کیفیت طبقات مختلف توان در نقاط کنترل بررسی گردید. درصد دقت خروجی نشان از ٪۷۷ برای AHP و ٪۸۹/۳ برای FAHP است. نتایج کنترل طبقات مدل توسعه شهری در این مطالعه ضمن تأیید مدل تصمیم‌گیری سلسله مراتبی AHP در منطقه مورد مطالعه مشخص کرد که روش تصمیم‌گیری چندمعیاره FAHP بهترین روش جهت ارزیابی است که عمل ارزیابی اکولوژیک سرزمین را با دقت بیشتری مدل‌سازی کرده و تطابق بیشتری با واقعیت زمینی داشت. با توجه به این‌که روش فازی غیرقطعی است و نظر کارشناسان و دیدگاه آن‌ها را بهتر نشان می‌دهد نتایج روش Fuzzy AHP حاکی از کارایی این روش در مطالعات آمایش سرزمین به‌ویژه در مطالعات ارزیابی توان اکولوژیک است. روش ترکیب برای ارزیابی کیفیت اراضی در استفاده از منطق فازی متفاوت از روش سیستمی ادغام نقشه‌هاست. در هر حال پیش‌بینی موقعیت‌های شهری جدید یکی از هدف‌های مدل‌های کاربری زمین که استفاده از مدل منطق فازی با کمک روش تلفیقی WLC-FAHP یکی از تکنیک‌های قوی در ارتباط با تعیین نقاط مستعد توسعه شهری منطقه است. لزوم رعایت نکات آینده‌نگری و ترسیم سیمای آینده توسعه، گرایش‌ها را در زمینه برنامه‌ریزی و بهره‌برداری عقلانی از منابع توان و پتانسیل مناطق سوق می‌دهد. الگوی نامناسب استفاده از سرزمین و تغییرات شدید در کاربری زمین سبب پیدایش بحران‌های زیست‌محیطی شده است؛ بنابراین با توجه به وضعیت منابع زیستی کشور لازم است هرگونه برنامه‌ریزی در خصوص استقرار فعالیت‌های صنعتی، کشاورزی، توسعه و عمران ملی و منطقه‌ای با نگرش به استعداد و قابلیت‌های سرزمین و در چارچوب توان و ظرفیت محیط و با لحاظ دیدگاه و تفکر آمایشی و اصول پایداری توسعه که همانا توسعه متعادل، متوازن و مستمر است صورت پذیرد.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد رشته محیط‌زیست- ارزیابی و آمایش محیط‌زیست دانشگاه صنعتی خاتم‌الانبیاء بهبهان است.

۶. منابع

- بحرینی، سید حسین، *فرایند طراحی شهری*، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۷۷.
- پرهیزکار، اکبر و عطا غفاری گیلانده، *سامانه اطلاعات جغرافیایی و تحلیل تصمیم چندمعیاری*، تهران: سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت)، ۱۳۸۵.
- پورجعفر، محمدرضا، مهدی منتظرالحجه و احسان رنجبر و رضا کبیری، «ارزیابی توان اکولوژیکی به منظور تعیین عرصه‌های مناسب توسعه در محدوده شهر جدید سهند»، *مجله جغرافیا و توسعه*، شماره ۲۸، صفحه ۲۲-۱۱، ۱۳۹۱.
- پورخباز، حمیدرضا، «مدل‌سازی توان اکولوژیک کاربری توسعه شهری»، *رساله دکتری برنامه‌ریزی شهری*، دانشگاه تهران، تهران، ۱۳۸۹.
- پورخباز، علی‌رضا، حمیدرضا پورخباز، سعیده جوانمردی و محمدجواد امیری، «تصمیم‌گیری چندمعیاره برای پیش‌بینی توان توسعه شهری با استفاده از مدل منطق فازی WLC-AHP (مطالعه موردی: زون جنوبی البرز مرکزی)»، *فصل‌نامه علوم محیطی*، دوره یازدهم، شماره ۳، صفحه ۹۸-۸۹، ۱۳۹۲.
- پورخباز، حمیدرضا، سعیده جوانمردی، «مدل‌سازی فازی کاربری توسعه شهری جهت رتبه‌بندی تناسب اراضی با استفاده از روش تصمیم‌گیری OWA-AHP (مطالعه موردی: حوضه آبریز شور استان قزوین)»، *فصل‌نامه فضای جغرافیایی*، شماره ۵۲، صفحه ۵۴-۳۷، ۱۳۹۴.
- پیشگاهی فرد، زهرا، ناصر اقبالی، عبدالرضا فرجی‌راد و بشیر بیگ بابایی، «مدل‌سازی تعیین مناطق خطرپذیر با استفاده از مدل AHP در محیط GIS جهت مدیریت بحران شهری (مطالعه موردی: منطقه ۸ شهرداری تبریز)»، *فصل‌نامه علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی*، سال دوازدهم، شماره ۳۷، صفحه ۲۰۰-۱۸۳، ۱۳۹۱.
- جوادیان‌کوتنایی، سارا، سعید ملماسی، ندا اورک و جعفر مرشدی، «تدوین الگوی ارزیابی توان اکولوژیک توسعه شهری با بهره‌گیری از فرآیند تحلیل شبکه‌ای (نمونه موردی: شهرستان ساری)»، *آمایش سرزمین*، شماره اول، صفحه ۱۷۸-۱۵۳، ۱۳۹۳.
- رحیمی، وحید، حمیدرضا پورخباز، حسین اقدر و فاطمه محمدیاری، «مقایسه مدل‌های FUZZYAHP باکلی و ANP در ارزیابی توان جنگل‌داری (مطالعه موردی: حاشیه شهر بهبهان)»، *مجله بوم‌شناسی کاربردی*، شماره ۱۳، صفحه ۳۰-۱۵، ۱۳۹۴.
- زیاری، کرامت الله، *برنامه‌ریزی شهرهای جدید*، تهران، انتشارات سمت، ۱۳۷۸.
- عزیزیان، محمدصادق، فریده نقدی، و مهدی ملازاده، «ارزیابی توان اکولوژیک حاشیه شهر تبریز به منظور توسعه پایدار شهری با رویکرد MCE»، *مجله پژوهش و برنامه‌ریزی شهری*، سال چهارم، شماره سیزدهم، صفحه ۱۲۸-۱۱۳، ۱۳۹۲.
- عسگری، علی، اسد رازانی، و پدرام رخشانی، «*برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری*»، همدان، نور علم، ۱۳۸۱.

- عطائی، محمد، *تصمیم‌گیری چندمعیاره*، شاهرود: انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود، ۱۳۸۹.
- قدسی‌پور، حسن، *فرآیند تحلیل سلسله مراتبی AHP*، تهران، انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۸۵.
- قرخلو، مهدی، حمیدرضا پورخباز، محمدجواد امیری، و حسنعلی فرجی‌سبکبار، «ارزیابی اکولوژیکی تناسب اراضی جهت تعیین نقاط بالقوه توسعه شهری با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (مطالعه موردی: منطقه قزوین)»، *مطالعات و پژوهش‌های شهری و منطقه‌ای*، سال اول، شماره ۲، صفحه ۶۸-۵۱، ۱۳۸۸.
- کرم، عبدالامیر، «تحلیل تناسب زمین برای توسعه کالبدی در محور شمال‌غرب شیراز با استفاده از رویکرد ارزیابی چندمعیاری (*MCE*) در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (ساج-GIS)»، *پژوهش‌های جغرافیایی*، شماره ۵۴، صفحه ۱۰۶-۹۳، ۱۳۸۴.
- مخدوم، مجید، علی‌اصغر درویش صفت، هوفر جعفرزاده و عبدالرضا مخدوم، *ارزیابی و برنامه‌ریزی محیط‌زیست با سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی*، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۸.
- مخدوم، مجید، *شالوده آمایش سرزمین*، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۸۴.
- معصومی اشکوری، سید حسن، *اصول و مبانی برنامه‌ریزی منطقه‌ای*، تهران: انتشارات پیام، ۱۳۸۷.
- میرداودی، حمیدرضا، حجت‌اله زاهدی‌پور، حمیدرضا مرادی و غلامرضا گودرزی، «بررسی و تعیین توان اکولوژیک استان مرکزی از نظر کشاورزی و مرتع‌داری با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)»، *فصل‌نامه علمی پژوهشی تحقیقات مرتع و بیابان ایران*، جلد ۱۵، شماره ۲، صفحه ۲۵۵-۲۴۲، ۱۳۸۷.
- میرکتولی، جعفر و محمدرضا کنعانی، «ارزیابی توان اکولوژیک توسعه شهری با مدل تصمیم‌گیری چندمعیاری MCDM و GIS (مطالعه موردی: شهرستان ساری، استان مازندران)»، *پژوهش‌های جغرافیای انسانی*، شماره ۷۷، صفحه ۸۸-۷۵، ۱۳۸۹.

- Bahreini, H., *Urban design process*, University of Tehran Press, 1998. [In Persian]
- Parhizkar, A. and A. Ghafari Gilandeh, *GIS and Multicriteria Decision Analysis*, Tehran: SAMT, 2007. [In Persian]
- Pourjafar, M.R., M. Montazralhjh, E. Ranjbar and R. kabiri, "Ecological capability assessment to determine appropriate areas within the city limits new development Sahand", *Journal of Geography and Development*, 28, pp.11-22, 2012. [In Persian]
- Pourkhabbaz, H.R., *Ecological capability modeling of urban development*, Ph.D. Thesis of Urban Planning, Tehran: Tehran University, 2010. [In Persian]
- Pourkhabbaz, A.R., H.R. Pourkhabbaz, S. Javanmardi and M.J. Amiri, "MCDM to predict the urban development using fuzzy logic model

WLC-AHP (Case study: South Central Alborz zone)", *Journal of Environmental Sciences*, 3, pp. 89-98, 2013. [In Persian]
- Pourkhabbaz, A.R. and S. Javanmardi, "Fuzzy modeling of Urban Development Land use for Land Suitability ranking Using OWA- AHP Decision Making method (Case study: The water catchment of Shur in Qazvin province)", *Journal of Geographic Space*, 15 (52), pp.37-54, 2015. [in Persian]
- Pishgahifard, Z., N. Iqbali, A. Faraji Rad and B.Big Babayi, "Determining risk areas using AHP model in GIS environment for civil crisis management (Case Study: District 8 of Tabriz)", *Quarterly Journal of geographic space*, 37, pp. 183-200, 2012. [In Persian]
- Javadian cotenaee, S., S. Malmasy, N. Orkut and J. Morshedi, "Development of ecological urban development pattern can be evaluated using ANP (Sample: Sari city)", *Journal Land use planning*, 1 (6), pp. 153-178, 2014. [In Persian]
- Rahimi, V., H.R. Pourkhabbaz, H. Aghdar and F. Mohammadyari, "Comparison of FUZZYAHP Buckley and ANP models in Forestry Capability Evaluation (Case study: Behbahan city fringe)", *Iranian Journal of Applied Ecology*, 4 (13): pp. 15-30, 2015. [in Persian]
- Ziari, K., *New urban planning*, Tehran, SAMT Press, 1999. [in Persian]
- Azizian, M.S., F. Naghdi and M. Mollazadeh, "Evaluation of ecological sustainable development of urban fringes of Tabriz to MCE", *Journal of Research and urban planning*, Issue XIII, pp 113-128, 2013. [In Persian]
- Asgari A., A. Razani and P. Rakhshani, *Urban land use planning*, Hamadan, Iran, Noore Elm Press, 2003. [In Persian]
- Ataei, M., *Multi-Criteria Decision Making*, Shahroud: Shahroud University of Technology Press, 2011. [In Persian]
- Ghodsipour, H., *Analytic Hierarchy Process*, Tehran: Amirkabir University of Technology Press, 20 pp., 2007. [In Persian]
- Gharakhlou M., H.R. Pourkhabbaz, M.J. Amiri and H.A. Faraji, "Ecological capability evaluation of Qazvin region for determining urban development potential points using Geographic Information System", *Journal of Urban – Regional Studies and Research*, 1(2): pp 51-68, 2010. [In Persian]
- Karam, A.A., "Land Suitability Analysis for Physical Development in northwest position of Shiraz by MCE method in GIS environment", *Journal of Geography Researches*, 54, pp 94-106, 2006. [In Persian]
- Makhdoum, M., A.A. Darvishsefat, H. Jafarzadeh and A. Makhdoum, *Environmental Evaluation and Planning by Geographic Information System*, Tehran: Tehran University Press, 2010. [In Persian]
- Makhdoum, M., *Fundamental of Land Use Planning*, Tehran: Tehran University Press, 2006. [In Persian]

- Massumi Eshkevari, S.H., *Principles and Basis of Regional Planning*, Tehran: Payam Press, 2009. [In Persian]
- Mirdavoodi, H.R., H. Zahedi Pour, H.R. Moradi and Gh.R. Goudarzi, "Determination of agricultural and rangeland ecological capability of Markazi using geographic information system (GIS)", *Quarterly Journal Scientific Research RANGE AND DESERT RESEARCH Iran*, 15 (2), pp 242-255, 2008. [In Persian]
- Mirkatuly, J. and M.R. Canaanite, "Urban development, ecological capability of multi-criteria decision-making models MCDM and GIS (Case study: the city of Sari, Mazandaran Province)", *Journal the Study of Human Geography*, 77, pp 75-88, 2010. [In Persian]
- Abolmasov, B., and I.Obradovic, "Evaluation of geological parameter for landslide hazard mapping by fuzzy logic", *Engineering Geology and the Environment Journal*, pp. 50, 1997.
- Aurger, P., "Aggregation and emergence in ecological modeling", *Ecol. Model*., 127: pp 11-20, 2000.
- Batty, M., *Cities and Complexity, Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models and Fractals*, the MIT Press, Cambridge Massachusetts. 2005.
- Bhattacharya, A., J. Geraghty and P. Young, "Supplier Selection Paradigm: An Integrated Hierarchical QFD Methodology Under Multiple-Criteria Environment", *Applied Soft Computing*, 10(4): pp1013-1027, 2010.
- Booth, T.H., *Resource evaluation in Environmental Planning and Management*, CSIRO, Canbera: pp 77-88, 1985
- Brail, R.K. and R.E. Klosterman, *Planning Support Systems*, ESRI Press, Redlands, CA, 2001.
- Chen, C.T., C.T. Lin and S.F. Hwang, "A Fuzzy Approach for Supplier Evaluation and Selection in Supply Chain Management", *International Journal of Production Economics*, No. 102, pp. 289-301, 2006.
- Collins, M.G., and F.R., SteinerRushman, "Land-use Suitability Analysis in the United States: Historical Development and Promising Technological Achievements", *Environmental Management*, 28 (5), 611–621, 2001.
- Eastman, R.J., *Idrisi32, Release 2*, Tutorial. Clark University, USA, p 237, 2001.
- Eastman, R.J., *Idrisi for windows user guide*, Clark University, New York, P 328, 2003.
- Feng, S., and L.D. Xu, "Decision Support for Fuzzy Comprehensive Evaluation of Urban Development", *Fuzzy Sets and Systems,* 105: 1-12, 1999.

- Gorsevski, P.V., P., Jankowski and P.E. Gessler, "Heuristic Approach for Mapping Landslide Hazard Integrating Fuzzy Logic with Analytic Hierarchy process", *Control and Cybernetics Journal*, 35: 1-26, 2006.
- Hopkins, L.D., "Methods of Generating Land Suitability Maps: A Comparative Evaluation", *Journal of American Institute of Planners*, 43(4), pp 386–400, 1977.
- Jat, M.k., P.k. Garg and D. khare, "Monitoring and modelling of urban sprawl using remote sensing and GIS techniques", *International Journal of applied earth observation and Geoinformation*, 10 (1), pp 26-43, 2007.
- Kalogirou, S., "Expert systems and GIS: an Application of Land Suitability Evaluation", *Computers, Environment and Urban Systems*, 26 (2–3), 89–112, 2002.
- Kaya, T. and C. Kahraman, "An Integrated Fuzzy AHP- ELECTRE Methodology for Environmental Impact Assessment", *Expert Systems with Applications*, 38, pp 8553-8562, 2011.
- Malczewski, J. *GIS and Multicriteria Decision Analysis*, John Wiely and sons. New York. USA, pp.198-204, 1999.
- McHarg, I.L., *Design with Nature*, Wiley, New York, 1969.
- Pennington, M., "Urban Policy and Public Choice Theory and Politics of Urban Containment", *Journal of Environmental and Planning Policy*, 18: pp 25-32, 2000.
- Ogden, D., "Land Suitability Analysis for Dog Park Site in Keller, Texas. Course Project for GEOG 4550 "Advanced GIS", pp 1-32, 2007.
- Romano, G., P. Dal Sasso, G. Trisorio Liuzzia and F. Gentile, "Multi-criteria decision analysis for land suitability mapping in a ruralarea of Southern Italy", *Land Use Policy,* 48: pp 131–143, 2015.
- Tang, W., "Chinese urban planning: An Assessment of the Planning Theory Literature", *Journal of Planning Literature*, 14: pp 52-61, 2000.
- Yang, F., G. Zeng, C. Du, L. Tang, J. Zhou and Z. Li, "Spatial Analyzing System for Urban lLand-use Management Based on GIS and Multi-Criteria Assessment Modeling", *Journal of Progress in Natural Science*, 18: pp 1279-1284, 2008.