دوفصلنامهٔ مطالعات محیط انسان‌ساخت
دوره یک، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۴۰۱، ص ۲۴۱-۲۷۲
DOI: 10.30487/hmes.2022.251391

ارزیابی انطباق سکونتگاه‌های انسانی استان یزد با مکان‌های مطلوب (مطالعهٔ موردی: استان یزد)

فائزه چهرآذر[۱]، اسماعیل صالحی[۲]، یحیی چهرآذر[۳]

(دریافت: ۱۴۰۰/۸/۵ ـ پذیرش: ۱۴۰۱/۱/۱۷، نوع مقاله: پژوهشی)

چکیده

شهرها به محیط طبیعی خود به‌شدت وابسته‌اند و می‌بایست خودشان را با آن تطبیق دهند. شهر یزد دارای اقلیم گرم و خشک است و تاکنون توانسته خود را با محیط سخت و خشک خویش انطباق دهد. برای تداوم این سازگاری می‌بایست برنامه‌ریزی درست صورت گیرد و مکان‌های مطلوب جهت گسترش شهری شناسایی شوند.

این پژوهش با هدف بررسی انطباق استان یزد با مکان‌های مطلوب است که روش‌های مورداستفاده شامل تکنیک تصمیم‌گیری با کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل‌های فازی بوده است. در این پژوهش سعی شده با شناسایی ویژگی‌های محیطی و اجتماعی و اقتصادی، میزان انطباق استان با مطلوبیت مکانی سنجیده شود. برای ارزیابی از یازده شاخص استفاده شده است. با استفاده از روش دیمتیل فازی اهمیت و تأثیر معیارها تعیین شد. با دو روش تلفیقی فازی و ترکیب خطی وزنی (wlc) و روش وزن‌دهی فرایند تحلیل شبکهٔ فازی (FANP) نقشهٔ نهایی جهت تعیین مطلوبیت مکانی ایجاد و موردمقایسه قرار گرفتند. در روش فازی ابتدا لایه‌ها فازی و استانداردسازی شدند سپس لایه‌ها در در وزن‌های حاصل از (FANP) در هر یک از عملگرهای فازی (AND,OR, GAMMA۰/۵) اجرا شدند و در روش دوم WLC لایه‌ها براساس ارزش‌دهی انجام‌شده طبقه‌بندی شدند و در وزن نهایی به‌دست آمدند. نتایج حاصل از آن نشان داد عملگر

---

۱. دانشجوی دکتری برنامه‌ریزی محیط زیست، دانشکدهٔ محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران (faeze_chehrazar@ut.ac.ir) نویسندهٔ مسئول
۲. دانشجوی دکتری برنامه‌ریزی محیط زیست، دانشکدهٔ محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران
۳. کارشناس ارشد برنامه‌ریزی، مدیریت و آموزش محیط زیست، دانشکدهٔ محیط زیست، دانشگاه تهران، تهران، ایران

فازی AND دارای رویکرد سخت‌گیرانه‌تری نسبت‌به سایر عملگرهای OR و ۰/۵ GAMMA است. بیشترین مساحت حدود ۸۷ درصد را انطباق خیلی کم دربرگرفته است و در روش OR کم‌ترین احتیاط را نسبت‌به دورش AND و ۰/ ۵ GAMMA دارد و مساحت ۳۸ درصد را انطباق خیلی کم و کم و مساحت ۱۴ درصد را با انطباق خیلی زیاد را دربرگرفته است. روش ۵ /۰ GAMMA نسبت‌به روش AND احتیاط کم‌تری را درنظر می‌گیرد و نسبت‌به روش OR سخت‌گیرانه‌تر است و مساحت ۸۴ درصدی را به انطباق خیلی کم و مساحت ۲ درصد به انطباق خیلی زیاد معرفی می‌کند. در روش ترکیب خطی وزن WLC برهم‌کنش نتایج را درنظر نمی‌گیرد و فقط ارزش سلول‌ها را ترکیب می‌کند. نقشه‌های به‌دست آمده مساحت ۹۰ درصد را به انطباق خیلی کم و مساحت ۱ درصد را به انطباق خیلی زیاد نسبت داده است. با توجه به مدل‌سازی‌های صورت‌گرفته جهت گسترش شهرها با توجه به هر مدل و میزان سخت‌گیری آن‌ها پیشنهاد شد.

واژه‌های کلیدی: مدل‌فازی، انطباق و عدم انطباق سکونتگاه، یزد Dematel Fuzzy،WLC، FANP

Studies on Man- Made Environment
Vol. 1,No 1 Spring & Summer 2022
DOI: 10.30487/hmes.2022.251391

The study of adaptation of Yazd settlements with spatial desirability (case study: Yazd Province)

Faezeh Chehzar[1], Esmaeil Salehi[2], Yahya Chehzar[3]

Abstract

The cities are severely affected by the natural environment around with which they shall be adapted. Yazd Province is located in a hot dry climate and it could be survived and adapted with the hard dry natural environment. To have this adaptation continued, a proper planning should be done to set desirable settlements to develop urban areas.

The research goal is to examine Yazd Province adaptation with desirable locations. The methodology was decision techniques using Geographical Information System (GIS) and fuzzy models. In this research, the Province adaptation with spatial desirability was measured with environmental, social and economic features by eleven indicators. The importance and impact of the criteria were determined by Fuzzy Dimethyl Method. The final map to determine and compare spatial desirability was created by two methods of Fuzzy Compilation and Linear Weighted Composition (WLC). In the Fuzzy method, the layers were first fused and standardized, then, the layers were performed on the weights obtained from (FANP) in each of the Fuzzy operators (0.5 GAMMA, AND, OR). In the second method, the WLC layers were categorized based on the value given and were obtained in the final weight. The results showed that the AND fuzzy operator contains a more rigorous approach than other OR operators and 0.5 GAMMA. The largest area is about %87 with very too low adaptation. In the OR method, the minimum precaution is about AND and GAMMA 0.5; the area of %38 has a too low and low adaptation and an area of %14 with great adaptation. There is a lee caution in 0.5 GAMMA method than the caution in AND method. 0.5 GAMMA is more rigorous than OR and determines the area of %84 as a too low adaptation and the area of %2 as a high adaptation. In WLC the interaction of results does not

1. Faezeh Chehzar, Ph.D. student in Environmental Planning, Faculty of Environment, University of Tehran
2. Esmaeil Salehi, Associate Professor, Department of Environmental Planning, Management and Education, Faculty of Environment, University of Tehran
3. Yahya Chehzar, Master of Environmental Planning, Management and Education, Faculty of Environment, University of Tehran

considered and it only combines the cell values. In the obtained map, the area of %90 is considered as a too low adaptation and the area of %1 is considered as a high adaptation. The orientation of cities' development was suggested based on the done modelling and the rate of rigorousness.

Keywords: Fuzzy Model, Adaptation and Non-adaptation of the Settlement, Dimethyl Fuzzy, WLC, FANP

مقدمه

یک روند رو به رشد جمعیت جهانی وجود دارد، درنتیجه الگوهای فضایی مناطق شهری با استفاده از محدودیت‌ها و مرزهایی آن را به گونه‌ای پیچیده تغییر می‌دهد (کوانگ[1] و همکاران، ۲۰۱۴). سکونتگاه‌ها تجسم و تبلور فضایی ایفای نقش‌های اساسی انسان هستند که در چارچوب روابط متقابل انسان و محیط و برحسب شرایط محیط طبیعی، اجتماعی، فرهنگی، تاریخی و... سازمان می‌یابند (لین[2] و همکاران، ۲۰۰۵). بحث درمورد سکونتگاه انسانی ازجمله مباحث مهمی است که به‌دلیل گسترش آن در دهه‌های آینده دارای اهمیت بسیار زیادی است. رشد جمعیت شهری تا سال ۲۰۰۰ در حدود ۲/۹ میلیارد نفر رسیده است و تا سال ۲۰۲۵ تا ۵ میلیارد نفر می‌رسد و در حدود ۶۱ درصد از جمعیت مناطق در نواحی شهری زندگی خواهند کرد. سکونتگاه‌ها براساس فاکتورهای اقتصادی، اجتماعی، امنیتی و ارتباطات تعیین می‌شوند. موقعیت و فاکتورهای جغرافیایی و همچنین عوامل توپوگرافی، دسترسی به آب بسیار تأثیرگذارند (رابینسون[3] و همکاران، ۲۰۱۲). سکونتگاه‌ها به‌منزلهٔ یکی از اساسی‌ترین ارتباط بین مردم و زمین عمل می‌کنند. شناخت اندازه، الگو و توزیع سکونتگاه‌های انسانی برای توزیع منابع، مدیریت، توسعهٔ اقتصادی ضروری است (میلسی[4] و همکاران، ۲۰۰۳). مکان‌های سکونتگاه‌های انسانی در مقیاس‌های فضایی مختلف توزیع می‌شوند (زاهانگ[5] و همکاران، ۲۰۱۴). بسیاری از مطالعات اخیر به تجزیه و تحلیل الگوی فضایی می‌پردازند درحالی که مطالعات قبلی بر روی ناحیه، فشردگی، شکل سکونتگاه‌ها تأکید داشته‌اند (فن و همکاران، ۲۰۰۹). باوجود این ویژگی‌های فضایی موقعیت سکونتگاه‌ها کم‌تر موردتوجه قرار گرفته است. موقعیت سکونتگاه‌های انسانی می‌تواند به‌منزلهٔ نقاط چندگانه در مقیاس و مکان مشخص ساده شود. مطالعات کمی الگوی نقاط فضایی موقعیت سکونتگاه‌ها را بررسی کرده‌اند (تیان و همکاران، ۲۰۱۲). از روش‌هایی برای کشف الگوی نقطهٔ فضایی سکونتگاه انسانی همانند توابع خطر و نزدیک‌ترین روش فاصلهٔ همسایه استفاده می‌شود (لینارد[6] و همکاران، ۲۰۱۲). مکان‌یابی سکونتگاه‌های جدید در بهبود و دسترسی جوامع به خدمات اساسی،

1. Kuang
2. Lin
3. Robinson
4. milesi
5. Zhang
6. Linard

ابزاری مهم در شتاب بخشیدن به توسعهٔ منطقه‌ای به شمار می‌رود، به‌طوری‌که مکان‌یابی مناسب علاوه‌بر اثرگذاری در هزینه‌ها، در کارایی و بهره‌برداری و نیز کیفیت سطح زندگی جوامع، همچنین رابطه و تعاملات اجتماعی سکونتگاه با سکونتگاه‌های هم‌جوار و شهرهای اطراف نقش و تأثیر بسزایی دارد.

توسعهٔ شهری شبیه به یک روند فازی است که هر دو بعد فضایی و زمانی را درنظر می‌گیرد. در بعد فضایی، هیچ مرز مشخصی بین مناطق شهری ساخته شده وجود ندارد. در بعد زمانی، توسعهٔ شهری فرایندی مداوم است که از یک روند کلی و از یک منحنی لجستیک پیروی می‌کند. آبیاری زمینه‌ای قابل کشت، افزایش جمعیت و تراکم آن در نواحی مساعد طبیعی، عامل اصلی بوده است (شاکویی[1]، ۲۰۱۶).

برد توابع عضویت کلاسیک ((XA(X))، مجموعهٔ دو عضوی صفر و یک بوده، درحالی که عضو توابع عضویت فازی (UA(X))، بازهٔ بستهٔ صفر و یک است (حیدرزاد[2] و همکاران، ۲۰۱۷). در روش ANP به‌منزلهٔ تعمیمی از AHP ارائه شد. همان‌طور که AHP بستری را برای ساختارهای سلسله‌مراتبی با روابط یک‌سویه فراهم می‌کند، ANP نیز امکان روابط پیچیدهٔ داخلی بین سطوح مختلف تصمیم و معیارها را مهیا می‌سازد و رویکرد بازخوردی ساختار سلسله‌مراتبی را جایگزین کرده و حاکی از آن است که روابط بین سطوح مختلف تصمیم‌گیری را نمی‌توان به سادگی بالا ـ پایین، غالب مغلوب یا مستقیم ـ غیرمستقیم تصور کرد. برای نمونه می‌توان گفت نه‌تنها اهمیت بین معیارها مشخص‌کنندهٔ اهمیت بین گزینه‌ها در سلسله‌مراتب است، بلکه اهمیت گزینه‌ها نیز ممکن است در اهمیت بین معیارها تأثیرگذار باشد. بنابراین ارائهٔ ساختار سلسله‌مراتبی با روابط خطی بالا به پایین نمی‌تواند درمورد سیستم‌های پیچیده مناسب باشد (کیم و لی[3]، ۲۰۰۰؛ ساتی[4]، ۱۹۸۰)در این تحقیق روش ANP فازی به‌منزلهٔ یکی از روش‌های وزن‌دهی به معیارها در بحث پهنه‌بندی معرفی و استفاده می‌شود روش‌های پرکاربرد در تصمیم‌گیری چند معیاره است. از انواع تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌توان WLC را نام برد که از رایج‌ترین (لی[5] و همکاران، ۲۰۰۷) روش WLC که یک ترکیب

1. Shakoye
2. Hydarzade
3. Kim & Lee
4. Saaty
5. Malczewski

خطی وزنی است یکی از پرکاربردترین قوانین تصمیم‌گیری در محیط GIS است و این روش اغلب در تجزیه و تحلیل کاربری تناسب زمین، انتخاب سایت و مشکلات ارزیابی مناسب است. درواقع روش WLC ترکیبی از روش کمی و کیفی است (مالکزوسکوی[1]، ۲۰۰۲؛ ماهین، ۲۰۰۶) که معیارهای اندازه‌گیری‌شده و وزن‌های داده‌شده توسط روش FANPبه هر کدام از آن‌ها را با هم ضرب می‌کندکه معیارهای اندازه‌گیری‌شده و وزن‌های داده شده است. جغرافیدانان بر سر تأثیر شرایط ویژهٔ فیزیکی سکونتگاه‌ها ازجمله: آب و هوا، شیب، ناهمواری‌ها و شرایط ژئوموفولوژیکی، همچون ساخت سکونتگاه‌ها، کاربری و نوع استفاده از زمین، بحث‌های فراوانی دارند. البته بایستی به این نکته نیز توجه کرد که هر کدام از عوامل طبیعی در بعد خاصی از سکونتگاه‌های انسانی موثر واقع می‌شوند، اما در کل چنین گفته می‌شود که تمدن واقعی بشر در بخش‌هایی از نواحی جغرافیایی که دارای آب و هوای مساعد و خاک حاصلخیز بوده، ظاهر شده است. براساس نظریهٔ هیدرولیک در پیدایش سکونتگاه‌ها، روند وابستگی مناطق شهری به منابع طبیعی محیط پیرامون خود بسیار حائز اهمیت است. شهر یزد در اقلیم خشک قرار دارد و اینکه یکی از قدیم‌ترین شهرهای دنیا محسوب می‌شود که توانسته خود را با محیط خشک و سخت خویش انطباق دهد. بنابراین در این مطالعه سعی بر آن شده تا گسترش شهری یزد موردمطالعه قرار گیرد و مکان های که بیشترین تطبیق را از نظر گسترش شهری دارند موردمطالعه قرار گیرد تا موجب هر چه بیشتر این سازگاری شود. اهمیت و ضرورت این تحقیق در بررسی تطبیق و عدم تطبیق سکونتگاه‌های انسانی با شرایط موجود با استفاه از روش ANP فازی و دیمتیل فازی در جهت تصمیم‌گیری مناسب برای توسعهٔ سکونتگاه‌های انسانی است. در این تحقیق سعی شده است که به سؤال‌های زیر پاسخ داده شود.

آیا سکونتگاه‌های استان یزد با توجه به معیارهای استفاده‌شده دارای انطباق با مکان‌های مطلوب دارد؟

گسترش سکونتگاه‌های جدید با توجه به مدل‌های استفاده‌شده در کدام جهت صورت گیرد؟

در این زمینه تحقیقاتی صورت گرفته است. ارفایو[2] در سال ۲۰۱۵ در مطالعهٔ خود به

1. mahin
2. Arefiev

بررسی ارزیابی چندگانه از بخش‌هایی از زمین براساس تئوری مجموعهٔ فازی در سیستم اطلاعات جغرافیایی با استفاده از چهار روش چهارگانهٔ تکنولوژیکی، اقتصادی، زیست محیطی و اجتماعی برای ارزیابی زمین‌های حومهٔ سن پترزبورگ پرداختند. معیارهای اکولوژیکی و اقتصادی برای تصمیم‌گیری زمین از اهمیت برخوردارند.

پلو[1] در سال ۲۰۰۸ به ارائهٔ کاربرد یک منطق فازی در برنامه‌ریزی شهری پرداختند. با توجه به اینکه برنامه‌ریزی شهری بخش مهمی از برنامه‌ریزی مدیریت محیط زیست است که بیان کردند تئوری‌های سنتی ارزیابی خوبی را به ارمغان نمی‌آورند و تئوری مجموعهٔ فازی در ارزیابی و تجزیه و تحلیل محیط توانایی مدیریت اطلاعات نامنظم و مبهم را دارد. کمرا[2] در سال ۲۰۰۹، در تحقیقی توسعهٔ فیزیکی شهر کرج و اراضی پیرامونی آن را بر پایهٔ فاکتورهای طبیعی و روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) موردارزیابی و پهنه‌بندی قرار داده است. زیان[3] در سال ۲۰۱۱ در تحقیقی عوامل مؤثر در مکان‌گزینی سکونتگاه‌های جدید را شناسایی کرد و میزان تأثیر هر عامل را مشخص ساخت که عبارت‌اند از معیارهای محیط طبیعی، اقتصادی و اجتماعی، کالبدی و فضایی و ... . با استفاده از تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) وزن‌دهی به کمک نرم‌افزار ArcGIS تحلیل شده است. قنبرزاده[4] در سال ۲۰۱۷ در این تحقیق با هم‌پوشانی لایه‌های اطلاعاتی و نقشه‌های توپوگرافی در محیط GIS، محدودهٔ بهینهٔ سبزوار جهت توسعهٔ فیزیکی مشخص شد که نشان داد خطر آب‌گرفتگی مناطق جنوب سبزوار را تهدید می‌کند. بهترین مکان شمال و شمال شرق سبزوار بهترین گزینه جهت گسترش هستند. قادری و فیروزی[5] در سال ۲۰۱۸ در نتایج تحقیق خود نشان دادند که تعداد و سطح پوشش آمبولانس هوایی در شهرها و جاده‌های استان سیستان و بلوچستان مناسب نیستند. لذا نقشهٔ حاصل از تلفیق فازی لایه‌های اطلاعاتی عوامل مؤثر شناسایی‌شده نشان می‌دهد که محدودهٔ شهرهای زابل و ایرانشهر بهترین وضعیت معیارهای انتخابی را جهت تأسیس پایگاه‌های هوایی اورژانس در سطح سیستان و بلوچستان دارند.

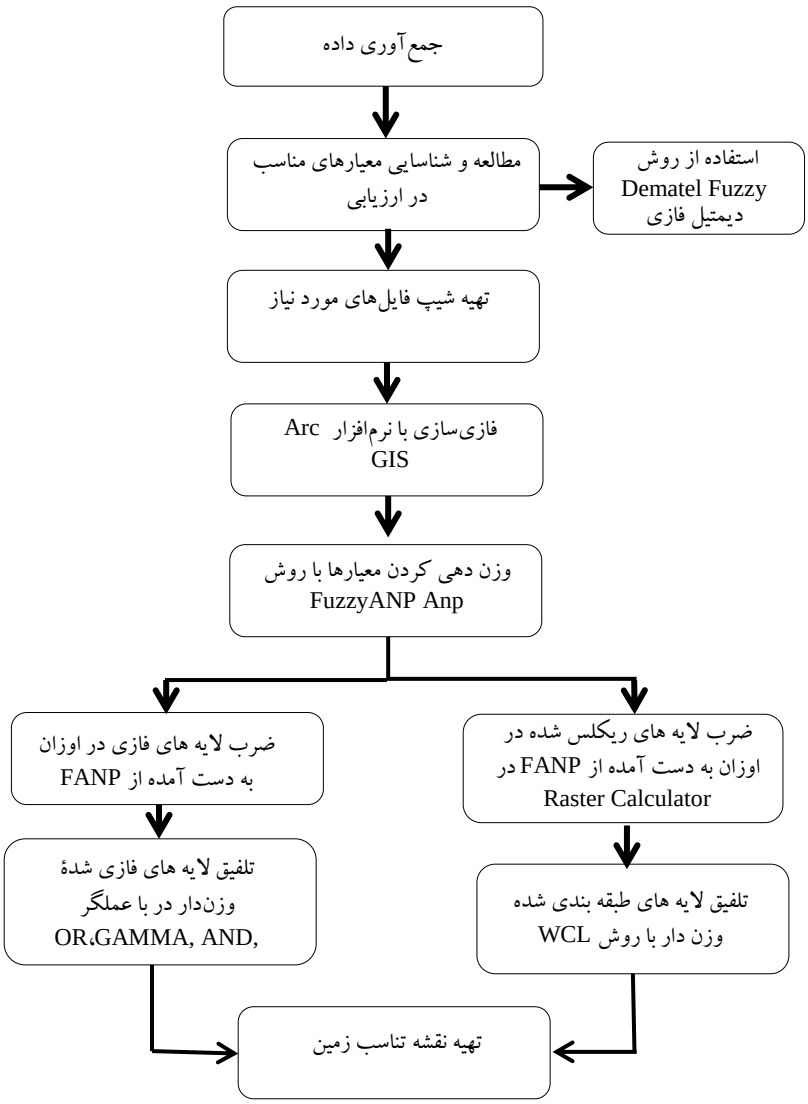
1. Pleho
2. kmara
3. ziayan
4. Ghanbarzade
5. Ghadery & Fyrozy

روش

مکان‌یابی سکونتگاه‌های جدید مطابق با مکان‌های مطلوب در بهبود و دسترسی جوامع به خدمات اساسی، ابزاری مهم در شتاب بخشیدن به توسعهٔ منطقه‌ای به‌شمار می‌رود، به‌طوری‌که مکان‌یابی مناسب علاوه‌بر اثرگذاری در هزینه‌ها، در کارایی و بهره‌برداری و نیز کیفیت سطح زندگی جوامع، همچنین رابطه و تعاملات اجتماعی سکونتگاه با سکونتگاه‌های همجوار و شهرهای اطراف نقش و تأثیر بسزایی دارد.

موجودات و محیط آن‌ها همیشه روی زمین به‌منزلهٔ یک اکوسیستم عمل کند. بنابراین، بهره‌وری هر اکوسیستم بستگی به نوع و کیفیت کاربری زمین با توجه به تکامل ایده‌ها و عناصر تحلیلی که در برنامه‌ریزی و زمین مورداستفاده قرار می‌گیرند. با استفاده از مدیریت در قرن اخیر، استانداردهایی برای ارزیابی سازگاری کاربری اراضی شهری وجود دارد. برای روشن کردن معیارهای مکان سایت توسعه یافته است و با توجه به این استانداردها به‌نظر می‌رسد در موقعیت مکانی گسترش شهر اجتناب‌ناپذیر است به‌ویژه زیرساخت‌ها و امکانات عمومی بدین‌گونه است. مفهوم انطباق و سازگاری یک فضای منطقی است. برای حفظ ثبات بین فعالیت‌ها، مکان و هماهنگی با کاربری اراضی، برنامه‌ریزی ضروری است، زیرا رشد فعالیت‌های طبیعی همیشه با نیازهای انسان مطابقت ندارند (طالشی و همکاران، ۲۰۱۲).

پژوهش حاضر براساس تحقیقات انجام‌شده دارای یازده لایهٔ اطلاعاتی شامل کاربری اراضی، شیب، فاصله از گسل، فاصله از مسیل‌های سیلابی، فاصله از جاده، فاصله از مناطق حفاظت‌شده، فاصله از جمعیت، پوشش گیاهی، ژئومورفولوژی، اقلیم، فرسایش است. فرسایش به‌منزلهٔ لایهٔ اطلاعاتی در سه شاخص زیست‌محیطی، اقتصادی، اجتماعی برای انطباق استان یزد با مطلوبیت مکانی مورداستفاده قرار گرفته است که در این تحقیق پس از تعیین معیارهای حائز اهمیت در ساختار سلسله‌مراتب ماتریس‌های مقایسهٔ زوجی در هر سطح ایجاد و جهت وزن‌دهی در اختیار پانزده نفر از کاشناسان محیط زیست، جغرافیا و شهرسازی قرار گرفت. ساختار سلسله‌مراتبی شاخص‌ها در نمودار زیر آورده شده است. الگوی کلی روند تحقیق در نمودار ۲ نشان داده شده است.



نمودار ۱ روند تحقیق

محدودهٔ مورد مطالعه

استان یزد در مرکز ایران بین عرض‌های جغرافیایی ۲۹ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۳۰ دقیقهٔ شمالی و طول جغرافیایی ۵۲ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۵۶ درجه و ۳۰ دقیقه شرقی از نصف النهار مبدأ قرار گرفته است. این استان از شمال و غرب به استان اصفهان، از شمال

شرقی به استان خراسان، از جنوب غربی به استان فارسی و از جنوب شرقی به استان کرمان محدود می‌شود و به‌دلیل دور بودنش از سر حدات مرزی ایران، در طول تاریخ از بحران‌ها و فشارهای فرهنگی و نژادی مصون مانده است. استان یزد در حدود ۱۵۶.۷۲ کیلومتر مربع وسعت دارد که تقریباً ۳۷/۴ درصد از وسعت کل خاک کشور را دربر می‌گیرد. طبق آخرین تقسیمات کشوری این استان، دارای هفت شهرستان، ۱۵ شهر، ۱۴ بخشی و ۳۸ دهستان است و شهرستان‌های آن شامل: ابرکوه، اردکان، بافق، تفت،مهریز، میبد و یزد است.

شکل ۱ موقعیت جغرافیایی محدودهٔ موردمطالعه (منبع: نگارندگان)

یافته‌ها و بحث

روش دیمتیل فازی

به‌منظور ساخت یک نمودار علی و تجسم ساختار روابط علیت پیچیده بین مجموعه‌ای از عوامل یک سیستم از روش دیمتیل استفاده شده است. برای رفع ابهام قضاوت متخصصان روش Dematile با منطق فازی ترکیب شده است و درواقع پاسخ‌گویان به جای داوری براساس مقادیر دقیق، عدم قطعیت‌ها را در قالب یک تشخیص زبان‌شناختی براساس تجربه ارائه می‌دهند. ازاین‌رو باید به عدم قطعیت پارامترهای ورودی سیستم تصمیم‌گیری به

اندازه کافی توجه شود تا اطمینان نتایج بهبود یابد. دیمتل که از انواع روش‌های تصمیم‌گیری بر پایهٔ مقایسات زوجی است، با بهره‌مندی از قضاوت خبرگان در استخراج عوامل یک سیستم و ساختاردهی سیستماتیک به آن‌ها توسط به‌کارگیری اصول تئوری گراف‌ها، ساختار سلسله‌مراتبی از عوامل موجود در سیستم، همراه با روابط تأثیرگذاری و تأثیرپذیری متقابل عناصر مذکور به‌دست می‌دهد، به‌گونه‌ای که شدت اثر روابط مذکور و اهمیت آن‌ها را به‌صورت امتیازی عددی معین می‌کند.

در این تحقیق به منظور بررسی انطباق و عدم انطباق در شکل‌گیری سکونتگاه‌ها از یازده معیار استفاده شده که اسامی آن‌ها در جدول ۱ آورده شده است. همچنین به‌منظور مقایسهٔ معیارها با یکدیگر از ۵ تعداد عبارت کلامی استفاده شده است که نام این عبارات و مقادیر فازی معادلشان در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱ عبارات کلامی به‌کار رفته در تحقیق و مقادیر معادلشان

عبارت کلامی	مقدار فازی
بدون تأثیر	(۱,۱,۱)
تأثیر خیلی کم	(۲,۳,۴)
تأثیر کم	(۴,۶,۵)
تأثیر زیاد	(۷,۶,۸)
تأثیر خیلی زیاد	(۸,۹ ,۹)

برای درنظر گرفتن نظر همهٔ خبرگان طبق فرمول ۱ از آن‌ها میانگین حسابی می‌گیریم.

فرمول (۱) $$\tilde{z} = \frac{\tilde{x}^1 \oplus \tilde{x}^2 \oplus \tilde{x}^3 \oplus \ldots \oplus x^p}{p}$$

در این فرمول p تعداد خبرگان و $\tilde{x}^1$، $\tilde{x}^2$، $\tilde{x}^p$ به ترتیب ماتریس مقایسهٔ زوجی خبرهٔ ۱، خبرهٔ ۲ و خبرهٔ p و $\tilde{z}$ عدد فازی مثلثی به‌صورت $\tilde{z}_{ij} = (l'_{ij}, m'_{ij}, u'_{ij})$ است.

برای نرمالیزه کردن ماتریس به‌دست‌آمده از فرمول‌های ۲ و ۳ استفاده می‌کنیم.

فرمول (۳)، (۲)

$$\tilde{H}_{ij} = \frac{\tilde{z}_{ij}}{r} \; r = max_{1\le i\le n}(\sum_{j=1}^{n} u_{ij}) = (\frac{l'_{ij}}{r}, \frac{m'_{ij}}{r}, \frac{u'_{ij}}{r}) = (l''_{ij}, m''_{ij}, u''_{ij})$$

که r از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید:

فرمول (۴) $$[l^{t}_{ij}] = H_l \times (I - H_l)^{-1}$$

فرمول (۵) $$[m^{t}_{ij}] = H_m \times (I - H_m)^{-1}$$

$$[u^{t}_{ij}] = H_u \times (I - H_u)^{-1}$$ فرمول (۶)

در این فرمول‌ها I ماتریس یکه و H_l، H_m و H_u هر کدام ماتریس nxn هستند که درایه‌های آن را به ترتیب عدد پایین، عدد میانی و عدد بالایی اعداد فازیِ مثلثیِ ماتریسِ H تشکیل می‌دهد.

گام بعدی به‌دست آوردن مجموع سطرها و ستون‌های ماتریس $\tilde{T}$ است. مجموع سطرها و ستون‌ها با توجه به فرمول‌های ۸ و ۹ به‌دست می‌آوریم.

$$\tilde{D} = (\tilde{D}_i)_{n\times 1} = [\sum_{j=1}^{n} \tilde{T}_{ij}]_{n\times 1}$$ فرمول (۷)

$$\tilde{R} = (\tilde{R}_i)_{1\times n} = [\sum_{i=1}^{n} \tilde{T}_{ij}]_{1\times n}$$ فرمول (۸)

$$\tilde{R} = (\tilde{R}_i)_{1\times n} = [\sum_{i=1}^{n} \tilde{T}_{ij}]_{1\times n}$$ فرمول (۹)

که $\tilde{D}$ و $\tilde{R}$ به ترتیب ماتریس $n \times 1$ و $1 \times n$ هستند.

مرحلهٔ بعدی میزان اهمیت شاخص‌ها $(\tilde{D}_i + \tilde{R}_i)$ و رابطهٔ بین معیارها $(\tilde{D}_i - \tilde{R}_i)$ مشخص می‌شود. اگر $\tilde{D}_i - \tilde{R}_i > 0$ باشد معیار مربوطه اثرگذار و اگر $\tilde{D}_i - \tilde{R}_i < 0$ باشد معیار مربوطه اثرپذیر است. جدول ۷، $\tilde{D}_i + \tilde{R}_i$ و $\tilde{D}_i - \tilde{R}_i$ را نشان می‌دهد.

جدول ۲ اهمیت و تأثیرگذاری معیارها (اعداد فازی)

معیار	$\tilde{D}_i + \tilde{R}_i$	$\tilde{D}_i - \tilde{R}_i$
معیار ۱	(2.28,4.17,7.99)	(-3.73,-0.83,1.99)
معیار ۲	(2.33,4.23,8.15)	(-4.28,-1.24,1.54)
معیار ۳	(2.56,4.56,8.53)	(-1.96,0.96,4.02)
معیار ۴	(2.61,4.63,8.61)	(-2.13,0.83,3.87)
معیار ۵	(2.52,4.50,8.46)	(-1.85,1.04,4.09)
معیار ۶	(2.52,4.50,8.53)	(-4.17,-1.07,1.84)
معیار ۷	(2.40,4.34,8.33)	(-3.89,-0.86,2.03)
معیار ۸	(2.47,4.44,8.42)	(-2.43,0.47,3.52)
معیار ۹	(2.11,3.92,7.71)	(-2.50,0.23,3.10)
معیار ۱۰	(2.32,4.22,8.14)	(-3.10,-0.22,2.72)
معیار ۱۱	(2.49,4.45,8.26)	(-2.24,0.69,3.54)

در گام بعدی اعداد فازی $\tilde{D}_i + \tilde{R}_i$ و $\tilde{D}_i - \tilde{R}_i$ به‌دست آمده از مرحلهٔ قبلی را

طبق فرمول ۱۰ دیفازی می‌کنیم.

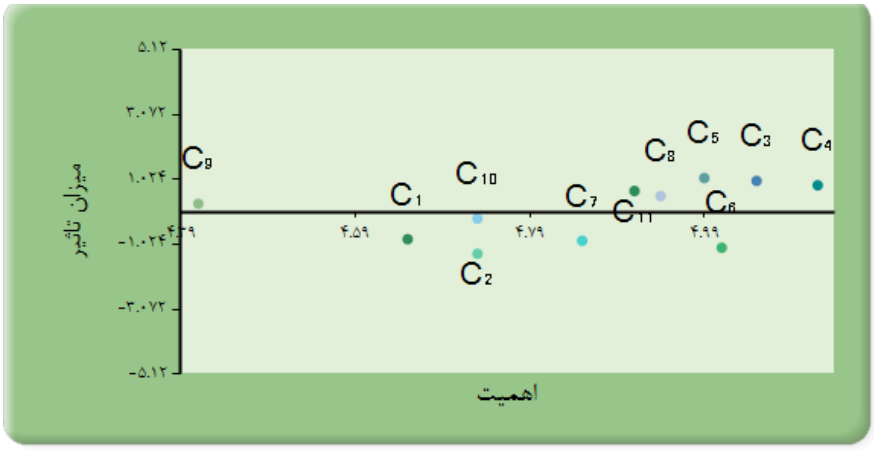
$$B = \frac{(a_1 + a_2 + 2 \times a_2)}{4}$$ فرمول (۱۰)

B دیفازی‌شده عدد $\tilde{A} = (a_1, a_2, a_3)$ است.

جدول ۳ اهمیت و تأثیرگذاری معیارها (اعداد قطعی)

معیار	$(\tilde{D}_i + \tilde{R}_i)^{def}$	$(\tilde{D}_i - \tilde{R}_i)^{def}$
معیار ۱	4.65	-0.85
معیار ۲	4.73	-1.31
معیار ۳	5.05	0.99
معیار ۴	5.12	0.85
معیار ۵	4.99	1.08
معیار ۶	5.01	-1.12
معیار ۷	4.85	-0.90
معیار ۸	4.94	0.51
معیار ۹	4.41	0.27
معیار ۱۰	4.73	-0.20
معیار ۱۱	4.91	0.67

نمودار۲ هم میزان اهمیت و تأثیرگذاری و تأثیرپذیری بین معیارها را نشان می‌دهد. محور افقی نمودار اهمیت معیارها و محور عمودی تأثیرگذاری یا تأثیرپذیری معیارها را نشان می‌دهد.



نمودار ۲ میزان اهمیت و تأثیرگذاری و تأثیرپذیری بین معیارها

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌کنید جهت تطبیق و عدم تطبیق سکونتگاه در استان یزد با مطلوبیت مکانی بیشترین اهمیت معیار گسل (C_4) بعد از آن به ترتیب معیارهای سیل (C_3) و جمعیت (C_6)، گیاه (C_5)، آب و هوا (C_8)، مناطق حفاظت‌شده (C_{11})، جاده (C_7)، کاربری زمین و شیب (C_2، C_{10}) دارای اهمیت تقریباً یکسان، معیار فرسایش (C_1) و کم‌اهمیت‌ترین معیار ژئومورفولوژی (C_9) است. از نظر تأثیرگذاری دارای بیشترین تأثیرگذاری گیاه (C_5) و به ترتیب معیارهای سیل (C_3) و معیار گسل (C_4)، مناطق حفاظت‌شده (c_{11})، آب و هوا (c_8)، ژئومورفولوژی (C_9)، شیب (C_{10})، جاده (C_7)، فرسایش (C_1)، آب و هوا (C_8)، کاربری زمین (C_2) است. در اینجا بیشترین میزان تأثیرگذاری فاکتور گیاه (C_5) و بیشترین میزان اهمیت فاکتور (C_4) در انطباق‌پذیری سکونتگاه را دارند.

معرفی معیارها

اصولی که براساس آن مکان‌یابی پهنه‌های مناسب جهت توسعهٔ شهر شناسایی شده و لایه‌های موردنظر طبق آن به‌صورت تابع فازی شکل می‌گیرند شامل معیارهای فیزیکی ازجمله (فیزیوگرافی، اقلیم، زمین‌شناسی، خاک، هیدرولوژی)، معیارهای بیولوژیکی شامل (پوشش گیاهی و مناطق حفاظت‌شده) و معیارهای اقتصادی و اجتماعی شامل (کاربری، راه‌های ارتباطی، مراکز جمعیتی) است. نوع لایه‌ها جهت فازی‌سازی به دو صورت متفاوت (raster and feature) هستند که در جدول ۴ نمایش داده شده است.

جدول ۴ معیارهای مورداستفاده برای ارزیابی مطلوبیت مکانی سکونتگاه

ردیف	ابعاد	معیار	زیر معیار	References
۱		فیزیوگرافی	شیب (درصد)	رنزهی[1] و همکاران، ۲۰۱۴ گدورا[2] و همکاران، ۲۰۱۵ میاگمارتسرن[3] و همکاران، ۲۰۱۷
۲		اقلیم	اقلیم	لی[4] و همکاران، ۲۰۱۷
۳			تبخیر	

1. Renzhi
2. Gdoura
3. Myagmartser
4. Li

ادامهٔ جدول ۴

ردیف	ابعاد	معیار	زیر معیار	References
۴		هیدرولوژی	فاصله از مسیل (km)	گدورا و همکاران، ۲۰۱۵
۵		زمین‌شناسی	فاصله از گسل (km)	ایکس یو[1] و همکاران، ۲۰۱۶
			زمین‌شناسی (کد طبقهٔ زمین‌شناسی)	گدورا و همکاران، ۲۰۱۵ ماهر[2] و همکاران، ۲۰۱۷
۶		خاک	فرسایش خاک	گدورا و همکاران، ۲۰۱۵ میاگمارتسرن و همکاران، ۲۰۱۷ ماهر و همکاران، ۲۰۱۷
۷		پوشش گیاهی	تراکم پوشش گیاهی	میاگمارتسرنو همکاران، ۲۰۱۷ ماهر و همکاران، ۲۰۱۷
۸	بیولوژیکی		تیپ گیاهی	میاگمارتسرن و همکاران، ۲۰۱۷
۹				ماهر و همکاران، ۲۰۱۷
۱۰		مناطق حفاظت‌شده	فاصله از مناطق حفاظت‌شده(km)	گدورا و همکاران، ۲۰۱۵
۱۱		راه‌های ارتباطی	فاصله از جاده(km)	رنزهی و همکاران، ۲۰۱۴ میاگمارتسرن و همکاران، ۲۰۱۷ ماهر و همکاران، ۲۰۱۷
۱۲	اقتصادی اجتماعی	مراکز جمعیتی	فاصله از شهرها (km)	رنزهی و همکاران، ۲۰۱۴ میاگمارتسرن و همکاران، ۲۰۱۷
۱۳		کاربری	کاربری اراضی (کد طبقهٔ کاربری)	رنزهی و همکاران، ۲۰۱۴ گدورا و همکاران، ۲۰۱۵

1. Xu
2. Maher

وزن‌دهی معیارها

ازاین‌رو، برای تعیین اهمیت شاخص‌های موردنیاز جهت ارزیابی تناسب زمین ابتدا اهمیت نسبی هر کدام از معیارها با استفاده از مدل تحلیل سلسله‌مراتبی ANP فازی تعیین می‌شود. فرایند تحلیل شبکهٔ فازی از تلفیق فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی فازی و ماتریس تأثیرات وابستگی متقابل بین معیارها به‌دست می‌آید. به‌منظور دستیابی به هدف تحقیق پرسش‌نامه‌های مقایسات زوجی طراحی و بین خبرگان توزیع شد. با توجه به رویکرد فازی در این پژوهش، از عبارات کلامی و اعداد فازی مندرج در جدول ۵ استفاده شد.

جدول ۵ طیف فازی و عبارت کلامی متناظر (منبع: نویسندگان)

کد	عبارات کلامی	عدد فازی
۱	ترجیح برابر	(1,1,1)
۲	ترجیح کم	(1,3,5)
۳	ترجیح زیاد	(3,5,7)
۴	ترجیح خیلی زیاد	(5,7,9)
۵	ترجیح کاملاً زیاد	(7,9,9)

مراحل به‌دست آوردن وزن مؤلفه‌ها با تحلیل شبکه‌ای فازی براساس سوپرماتریس، به‌دست آمد. جهت تجمیع نظرات خبرگان، از مقایسات زوجی پاسخ‌دهندگان میانگین هندسی گرفته می‌شود. برای محاسبهٔ بردار ویژه هر یک از جدول‌های مقایسات زوجی تجمیع‌شده، طبق رابطهٔ ۹ از روش لگاریتمی حداقل مجذورات، استفاده می‌شود.

$$w_k^s = \frac{\left(\prod_{j=1}^{n} a_{kj}^s\right)^{1/n}}{\sum_{i=1}^{n}\left(\prod_{j=1}^{n} a_{ij}^m\right)^{1/n}}, \quad s \in \{l, m, u\}$$

فرمول (۹)

$$\tilde{w}_k = (w_k^l, w_k^m, w_k^u) \quad k = 1,2,3,\ldots,n$$

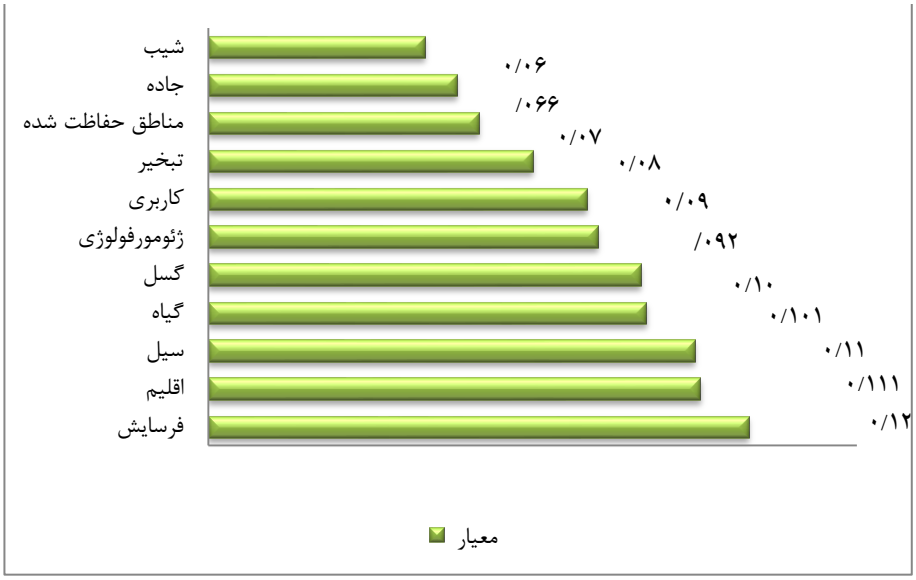
برای محاسبهٔ وزن نهایی مؤلفه‌های هر سطح (W_i^*) می‌بایست حاصل‌ضرب ماتریس بردار ویژهٔ روابط درونی در بردار ویژهٔ همان سطح را در وزن نهایی سطح بالاتر ضرب کنیم.

$$W_i^* = W_{ii} \times W_{i(i-1)} \times W_{i-1}^* \qquad \text{فرمول (۱۰)}$$

بعد از وزن‌دهی و انجام محاسبات در نرم‌افزار وزن‌های نهایی به‌دست می‌آید که در انطباق سکونتگاه با مطلوبیت مکانی بیشترین وزن به شاخص مناطق حفاظت‌شده و کم‌ترین وزن به شاخص فرسایش تعلق گرفته است که در جدول ۶ آمده است.

جدول ۶ وزن‌های معیارها (منبع: نویسندگان)

ردیف	معیارها	وزن‌ها
۱	فرسایش	۰/۱۲
۲	اقلیم	۰/۱۱۱
۳	سیل	۰/۱۱
۴	گیاه	۰/۱۰۱
۵	گسل	۰/۱۰
۶	ژئومورفولوژی	۰/۰۹۲
۷	کاربری	۰/۰۹
۸	تبخیر	۰/۰۸
۹	مناطق حفاظت‌شده	۰/۰۷
۱۰	جاده	۰/۰۶۶
۱۱	شیب	۰/۰۶



نمودار ۳ وزن معیارها (منبع: نویسندگان)

منطق فازی

منطق فازی این توانایی را دارد که تغییرپذیری، کلامی، ابهام و عدم قطعیت را به ساختاری ریاضی تبدیل کند. منطق فازی و ادغام آن با سایر تکنیک‌ها به‌منزلهٔ یک روش جدید در ارزیابی مشکلات مختلف محیطی رشد کرده است. منطق فازی راهکار جدیدی است که شیوه‌های مرسوم برای طراحی و مدل‌سازی یک سیستم را که نیازمند ریاضیات پیشرفته و نسبتاً پیچیده است، با استفاده از مقادیر و شرایط زبانی یا به‌عبارتی دانش فرد خبره و با هدف ساده‌سازی و کارآمدتر شدن طراحی سیستم، جایگزین و تاحد زیادی تکمیل می‌کند. منطق فازی علمی است که امکان و اجازهٔ شبیه‌سازی پویایی یک سیستم را بدون نیاز به توصیفات ریاضی مفصل و با استفاده از داده‌های کمی و کیفی پدید آورده است (فیلیس[1]، ۲۰۰۱؛ هرنزاده[2]، ۲۰۲۰).

منطق فازی که در برابر منطق کلاسیک مطرح شد، ابزار توانمند برای حل مسایل مربوط به سامانه‌های پیچیده‌ای به شمار می‌آید که در آن‌ها مشکل یا مسائلی وابسته به استدلال، تصمیم‌گیری و استنباط بشری است (دوستال[3]، ۲۰۰۸؛ کورپازان، ۲۰۲۰[4]).

استانداردکردن لایه‌ها با منطق فازی

تئوری فازی به تفسیر عدم قطعیت می‌پردازد و به اندازه‌گیری پدیده‌های نامشخص دنیای واقعی می‌پردازد. این عدم قطعیت از ویژگی‌های غیرآماری طبیعت که به عدم وجود مرزهای شدید اطلاعات اشاره دارد سرچشمه می‌گیرد. با این حال منبع اصلی عدم اطمینان که شامل فرایند پیچیدهٔ تصمیم‌گیری در مقیاس بزرگ است، از طریق توابع عضویت فازی توصیف شده است (چانگ و همکاران، ۲۰۰۸). تعریف مقدار عضویت فازی معیارها یکی از مراحل مهم در منطق فازی، تعریف کردن مقدار عضویت فازی برای هر یک از معیارها بوده است. در این مدل، میزان عضویت یک عنصر در یک مجموعه، با مقداری دربازهٔ یک (عضویت کامل) تا صفر (عدم عضویت کامل) تعریف می‌شود (بونهام کارتر[5]، ۱۹۹۱؛ علوی‌پور[6] و همکاران، ۲۰۱۶). بدین منظور از دستور

1. Phillis
2. Heranzade
3. korepazan
4. Dostál
5. Bonham-Carter
6. alavipor

عملیاتی Fuzzy Membership در ابزار Arc Toolbox استفاده شده است. درواقع تعریف میزان عضویت فازی، همان استانداردسازی معیارها بوده که یکی از مراحل مهم روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) است. در جدول ۷ نقاط کنترل جهت استانداردسازی نقشه‌ها در محیط GIS برای بررسی مطلوبیت مکانی استفاده شده است و نقاط کنترل و نوع تابع فازی جهت استانداردسازی در نقشه‌ها آورده شده است. شکل ۲ تصاویر حاصل از فازی را نشان می‌دهد. تمام لایه‌ها (شیپ فایل‌ها) توسط نرم افزارARC GIS فازی شدند و در طیف عددی صفر تا یک قرار گرفتند. در منطق فازی هر منطقه با توجه به مقداری که معیار مورد نظر (X) را رعایت می‌کند مقدار عضویتی می‌گیرد (μx) که بیان‌کنندهٔ میزان مطلوبیت آن ناحیه است. به این معنی که هر ناحیه با مقدار عضویت بالاتر، از مطلوبیت بالاتری برخوردار است (متکان و همکاران، ۱۳۸۷). این تابع عضویت برای هر عدد X به‌صورت مثلثی هستند و از رابطهٔ زیر تعریف می‌شوند که در آن «l,m,r» نشان‌دهندهٔ یک عدد فازی مثلثی است.

تعریف مجموعه معیارهای ارزیابی و گزینه‌ها:

فرمول (۱۱)

$$U\frac{\sim}{A}(X)=\begin{cases}\frac{x-1}{m-1}, l \leq x \leq m, l \neq m\\ \frac{x-r}{m-r}, m \leq x \leq r, m \neq r\\ o\ , otherelse\end{cases}$$

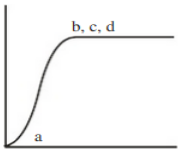
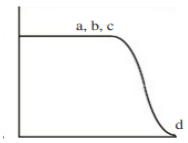
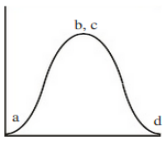
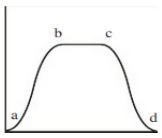
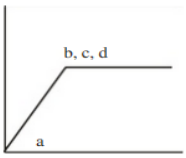
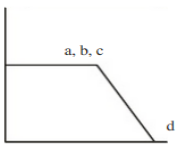
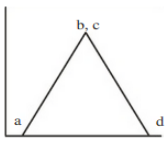
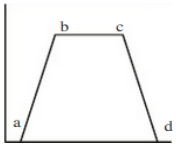
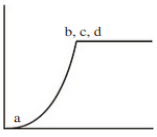
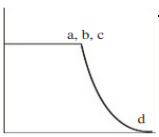
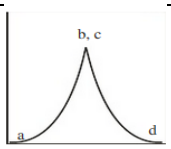
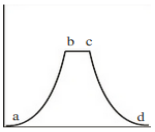
جدول ۶ نقاط کنترل و نوع تابع فازی جهت استانداردسازی نقشه‌ها (منبع : نویسندگان)

ردیف	معیار	تابع فازی مورد استفاده	Max	Min
۱	فرسایش	خطی کاهنده	۱	۵
۲	اقلیم	خطی کاهنده	۱	۵
۳	شیب	خطی کاهنده	۵۱۸	۴۰۳۷
۴	پوشش گیاهی	خطی افزاینده	۵	۰
۵	فاصله از گسل	خطی افزاینده	۴۰۰۷۸	۰
۶	فاصله از مناطق حفاظت شده	خطی افزاینده	۱۶۹۷۰	۰
۷	کاربری	خطی افزاینده	۵	۰

ردیف	معیار	تابع	Mid point	spread
۸	فاصله از شهر	Sشکل متقارن	۸۴۸۵۰	۰/۱
۱۰	ژئومورفولوژی	Sشکل افزاینده	۵۷۳۸۹۵۷۹۶۳۰	۵
۱۱	جاده	Sشکل متقارن	۴۰۶۵۱	۰/۱
۱۲	سیل	Sشکل متقارن	۶۰۵۵۲	۰/۱

جدول ۷ شکل نقاط کنترل و نوع تابع فازی جهت استانداردسازی نقشه‌ها در منطق فازی

(منبع: Ronald Eastman, 2012)

÷	شکل توابع عضویت فازی			
	فزآینده به‌طور یکنواخت	کاهنده به طور یکنواخت	متقارن	
شکل S Sigmoidal				
خطی Linear				
شکل J J-Shaped				

روی‌هم‌گذاری لایه‌های استانداردشدهٔ وزن‌دار

ترکیب خطی وزنی (WLC)

برای تلفیق معیارها از ترکیب خطی وزندار (WLC) در محیط سامانهٔ اطلاعات جغرافیایی یادشده استفاده شد. روش ترکیب خطی وزن‌دار که به آن روش امتیازدهی نیز اطلاق می‌شود از پرکاربردترین روش‌ها در تصمیم‌گیری‌های چندشاخصه است. این روش برپایهٔ مفهوم میانگین وزنی استوار است که در آن تصمیم‌گیرنده به‌طور مستقیم وزن‌هایی را که نشان‌دهندهٔ اهمیت نسبی مشخصه‌هاست به هر یک از آن‌ها تخصیص می‌دهد و امتیاز نهایی نشان‌دهندهٔ مطلوبیت است. روش ترکیب خطی وزندار (WLC) برمبنای GIS مشتمل بر مراحل زیر است:

تعریف مجموعه معیارهای ارزیابی و گزینه‌ها؛

استاندارد نمودن هر لایه نقشه معیار؛

تعریف وزن‌های مربوط به هر معیار: به این معنی که به هر نقشهٔ معیار مستقیماً یک وزن اهمیت نسبی اختصاص داده شود؛

ساختن لایه‌های نقشهٔ استانداردشده دارای وزن: به این معنی که لایه‌های نقشهٔ استانداردشده را در وزن‌های مربوطه ضرب کنیم؛

دادن امتیاز نهایی به هر گزینه به کمک عملیات روی‌هم‌گذاری (گاما) برای لایه‌های وزن‌دار نقش‌هایی که استاندارد شده است؛

مرتب کردن گزینه‌ها براساس امتیاز گزینه‌ای دارای بیشترین امتیاز بهترین گزینه است.

مطلوبیت‌ها براساس فرمول زیر از مجموع حاصل ضرب وزن عامل‌ها در ارزش بی‌مقیاس‌شدهٔ آن به‌دست می‌آید (Abedi et al، 2011).

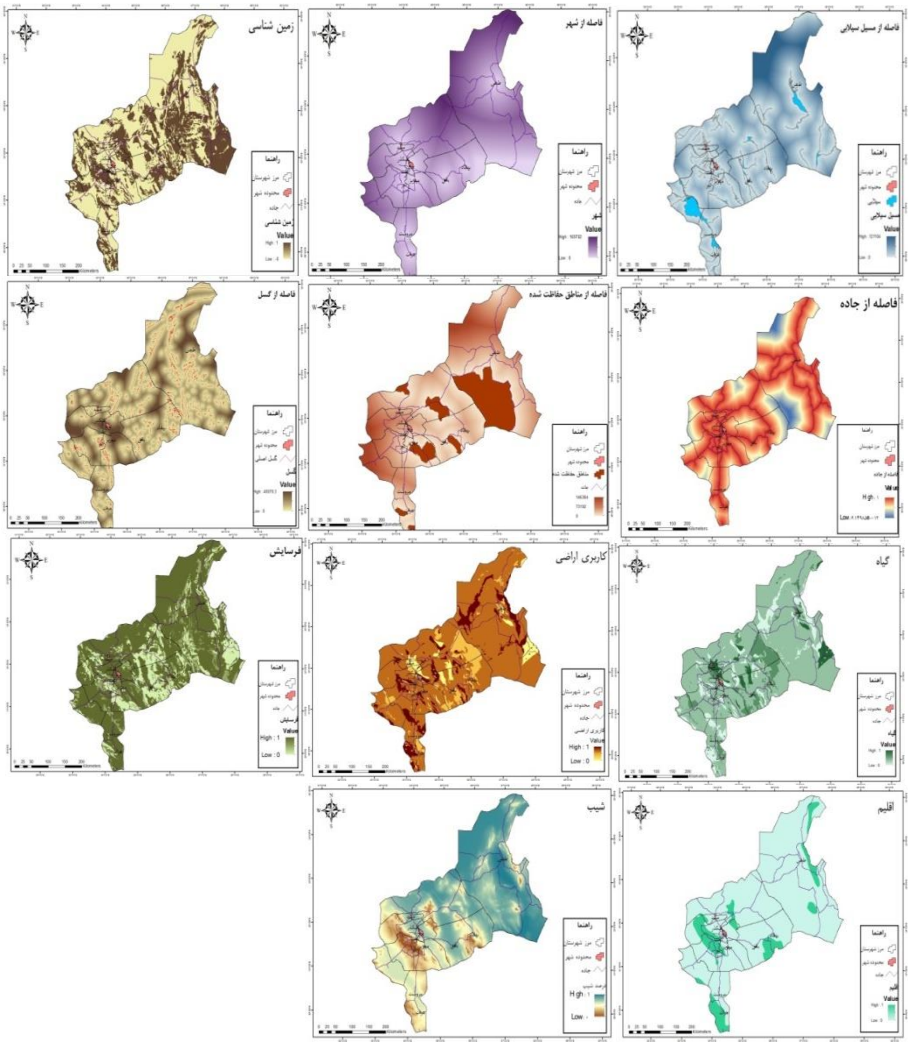
$$S = \sum w_i x_i \qquad \text{فرمول(۱۲)}$$

در این رابطه s مطلوبیت عرصه

Wi وزن مشخصه

Iو xi ارزش بی‌مقیاس شدهٔ مشخصهi هست. در این قسمت تمام لایه‌های رستری به فازی تبدیل شدن و سپس طبقه‌بندی شدند و ارزش طبقات آن‌ها مشخص شد. سپس در RASTER CALCULATOR لایه‌های طبقه‌بندی‌شده با وزن‌های حاصل از FANP ضرب

شدند و در آخر کل لایه‌ها روی‌هم‌گذاری شـده و بـه پـنج طبقـه انطبـاق خیلـی کـم، کـم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد تقسیم شد که در شکل زیر نشان داده شده که اثر برخی کاهشـی و اثر برخی دیگر افزایشی است. سپس براساس قـوانین از قبـل تعیـین‌شـده عمـل تلفیـق نقشـه‌ها صـورت گرفت.



شکل ۲ نقشه‌های حاصل از فازی سازی a) فاصله از مسیل، b) فاصله از شهر، c)زمین شناسـی، d)فاصـله از جـاده، e) فاصله از منـاطق حفاظـت شـده، f) فاصـله از گسـل، j) گیـاه، h)کـاربری زمـین، k) فرسـایش، l) اقلـیم، m) شیب

عملگرهای فازی

در این مرحله عملیات، هم‌پوشانی فازی (Overlay Fuzzy) صورت گرفته است. بدین منظور، لایه‌های رقومی که در مرحلهٔ گذشته فازی‌سازی شده است، عملگرهای پنج‌گانه‌ای برای این منظور وجود دارند عبارت‌اند از عملگرهای فازی شامل اشتراک فازی (AND) Fuzzy ،اجتماع فازی ،(Fuzzy OR) ضرب فازی (Fuzzy Product) فازی جمع (Fuzzy Algebraic Sum)، عملگر فازی گاما (Fuzzy Gamma Operation). برای تلفیق مجموعه فاکتورها مورداستفاده قرار می‌گیرند که در اینجا فقط به بیان روابط آن‌ها اکتفا می‌کنیم.

در این پژوهش از عملگر اجتماعی فازی OR، عملگر اجتماعی فازی (AND)، عملگر فازی (Gamma) استفاده شده است (وارسی[1] و همکاران، ۲۰۱۵). نیز مشابه اجتماع در مجموعه‌های کلاسیک است. تأثیر این عملگر آن است که نقشه‌های خروجی توسط بزرگ‌ترین مقدار عضویت فازی که در هر موقعیت روی می‌دهد کنترل می‌شود (زیمرمان و بونهام[2]، ۱۹۸۰).

فرمول (۱۳) $\mu \text{ Or combination} = MAX(\mu A, \mu B, \ldots)$

عملگر اجتماعی فازی (AND)

AND نیز مشابه اشتراک در مجموعه‌های کلاسیک است. نقشهٔ خروجی توسط کوچک‌ترین مقدار عضویت فازی که در هر موقعیت روی می‌دهد کنترل می‌شود (اتکینسون[3]، ۲۰۰۵).

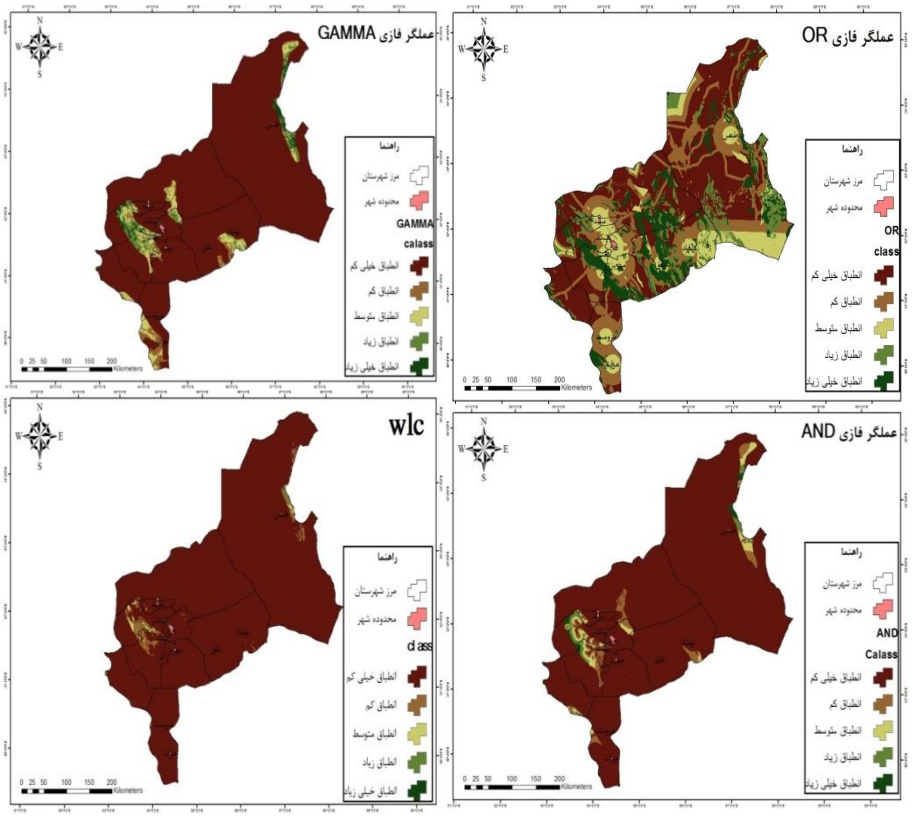
فرمول(۱۴) $\mu \text{ And combination} = MIN(\mu A, \mu B, \ldots)$

عملگر فازی (Gamma) امای فازی از حاصل ترکیب جمع جبری و ضرب جبری است و از فرمول زیر به‌دست می‌آید.

(فرمول ۱۵) $\mu \text{ combination} = (FuzzySum)^{\gamma} \times (FuzzyProduct)^{1-\gamma}$

1. varesi
2. Zimmermann & Bonham
3. Atkinsona

پارامتر گاما (γ) در محدوده (۰و۱) انتخاب شده است. وقتی گاما (γ) عدد ۱ بگیرد، ترکیب همانند جمع جبری است، درحالی که وقتی گاما صفر باشد گاما همان ضرب جبری است. در این تحقیق از عملگر گاما (Gamma) با مقدار ۰/۵ استفاده شده است. در شکل ۴ لایه‌های تلفیق‌شده حاصل از عملگرهای فازی AND,OR,GAMMA0/5 را مشاهده می‌کنید.



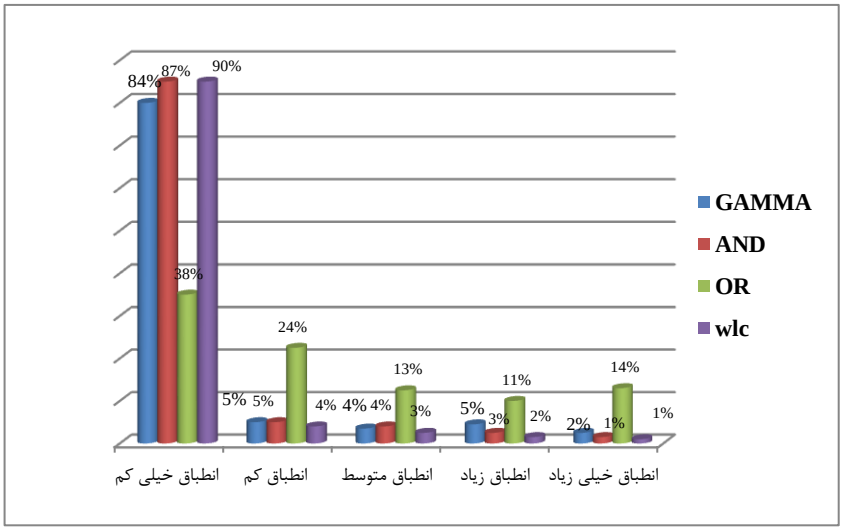
شکل ۳ تلفیق لایه‌ها با استفاده از روش (AND,OR, GAMMA 0/5, WCL) (منبع: نویسندگان)

نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از پارامترهای بیولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی و فیزیکی از روش دیمتیل فازی جهت اهمیت و تأثیر پارامترها استفاده شدکه نتایج حاصل از آن بدین گونه است. مکانی بیشترین اهمیت معیار گسل (C_4) و کم‌اهمیت‌ترین معیار ژئومورفولوژی (C_9)

است و از نظر تأثیرگذاری بیشترین تأثیرگذاری معیار گیاه (C_5) و کم‌ترین معیار کاربری‌زمین (C_2) است. همچنین از روش روش وزن‌دهی FANP استفاده شد که بسیار دقیق‌تر از AHP است. به‌دلیل اینکه بین تمام اعضا به‌صورت شبکه‌ای ارتباط برقرار می‌کند. FANP با تأکید بر پارامترهای بیولوژیکی ، اقتصادی و اجتماعی و فیزیکی با تأکید بر ۱۱ معیار و پس از مقایسات زوجی وزن نهایی را ارائه می‌دهد در صورتی که در روش AHP معیارها به‌صورت سلسله‌مراتب و یک‌طرفه مرتبط و با هم مقایسه می‌شوند. در این روش بیشترین وزن به معیار فرسایش (۰/۱۲) و کم‌ترین وزن به معیار شیب ۰/۰۶تعلق گرفته است. همچنین جهت بررسی مطلوبیت مکانی و انطباق و عدم انطباق استان یزد با استفاده از روش‌های تلفیقی عملگر فازی (AND, OR, GAMMA0/5) و روش ترکیب خطی وزن‌دار (WLC) استفاده شد که نتایج حاصل از آن بدین گونه است که در نمودار ۴ و شکل ۳ مشاهده می‌کنید. روش AND نسبت‌به سایر عملگرهای فازی رویکرد سختیگرانه‌تری به مطلوبیت مکانی دارد که بیشترین میزان مساحت را به انطباق خیلی کم در حدود ۸۷ درصد و ۵ درصد انطباق کم را شامل می‌شود. تمامی شهر و شهرستان‌های استان یزد در این دو پهنه قرار دارند. مساحت حدود ۴ درصد انطباق متوسط را شامل می‌شود و کم‌ترین مساحت را به انطباق زیاد، خیلی زیاد در حدود ۱ درصد و ۳ درصد نسبت داده است که بیشتر بخش غربی استان یزد را دربر می‌گیرد. در روش GAMMA احتیاط کم‌تری نسبت‌به عملگر AND که دارای مساحت حدود ۸۴ درصد را به خود اختصاص می دهد و محدوده دارای انطباق خیلی کم ۵ درصد است که بیشتر شهرستان‌های استاد یزد در این محدوده قرار دارند. انطباق متوسط مساحتی حدود ۴ درصد دارد که شهرستان بافق نیز بخشی از آن است. مساحت انطباق زیاد حدود ۵ درصد که شهرستان تفت در این پهنه قراردارد و انطباق خیلی زیاد مساحت ۲ درصد دارد که بیشتر مساحت‌های شمال غرب و غرب و بخش‌هایی از شرق استان را دربرمی‌گیرد. همان‌طور که در نمودار۲ نشان می‌دهد عملگر OR نسبت‌به عملگر دیگر کم‌ترین احتیاط را در نظر گرفته و کم‌ترین رویکرد سخت‌گیرانه را دارد. مساحت حدود ۳۸ درصد را به انطباق خیلی کم و ۲۴ درصد را انطباق کم دربر می‌گیرد که برخلاف دو رویکرد GAMMA و AND هیچ‌کدام از شهرستان‌های استان یزد در این دو پهنه قرار ندارند. پهنهٔ انطباق متوسط مساحت حدود ۱۳ درصد دارد. شهر یزد و بیشتر شهرستان‌ها در این پهنه قرار دارند. مساحت حدود ۱۱ درصد انطباق زیاد و ۱۴ درصد انطباق خیلی زیاد که بخشی از

شهرستان‌های بافق، مهریز، نیر و بهاباد و همچنین بخش زیادی از مرکز و جنوب شرق استان یزد در پهنهٔ انطباق زیاد و بخشی از مرکز و غرب استان در پهنهٔ انطباق خیلی زیاد قرار دارند. در روش WLC به این گونه است که ارزش سلول‌های متناظر در هر لایه براساس عمل ریاضی ضرب یا جمع با یکدیگر تلفیق می‌شوند. در عمل ضرب تفاوت‌ها قابل‌تفکیک‌تر از عمل جمع است. روش ترکیب خطی وزنی برهم‌کنش نتایج را درنظر نمی‌گیرد و فقط ارزش سلول ها را ترکیب می‌کند. در این روش حدود ۹۰ درصد از مساحت استان یزد در انطباق خیلی کم که شامل ۴ درصد است که تمامی شهرستان‌های استان یزد با توجه به این روش در پهنهٔ انطباق خیلی کم قرار دارند. ۴ درصد در انطباق کم قرار دارند و ۳ درصد در انطباق متوسط که بخشی از غرب و شمال غرب استان در این پهنه قرار دارد. حدود ۱ درصد در انطباق خیلی زیاد و ۲ درصد در انطباق زیاد قرار دارند.



نمودار ۴ مقایسهٔ نتایج حاصل از عملگرهای فازی (منبع: نویسندگان)

همان‌طور که در نمودار ۲ و نقشهٔ ۴ مشاهده می‌کنید روش AND نسبت‌به سایر عملگرهای فازی رویکرد سختگیرانه‌تری به مطلوبیت مکانی دارد که بیشترین میزان مساحت را به انطباق خیلی کم در حدود ۸۷ درصد و ۵ درصد انطباق کم را شامل می‌شود. تمامی شهر و شهرستان‌های استان یزد در این دو پهنه قرار دارند. مساحت حدود ۴ درصد انطباق متوسط را شامل می‌شود و کم‌ترین مساحت را به انطباق زیاد و خیلی زیاد در حدود ۱ درصد و ۳ درصد نسبت داده است که بیشتر بخش غربی استان یزد را در برمی‌گیرد. در

روش GAMMA احتیاط کم‌تری نسبت‌به عملگر AND دارد .که مساحت حدود ۸۴ درصد را به انطباق خیلی کم، ۵ درصد به انطباق کم اختصای داده است که بیشتر شهرستان‌های استاد یزد در این محدوده قرار دارند. انطباق متوسط مساحتی حدود ۴ درصد دارد که شهرستان نیر بخشی از آن است. مساحت انطباق زیاد حدود ۵ درصد است که شهرستان تفت در این پهنه قراردارد و انطباق خیلی زیاد مساحت ۲ درصد دارد و بیشتر مساحت‌های شمال غرب و غرب و بخش‌هایی از شرق استان را دربرمی‌گیرد. همان‌طور که در نمودار ۴ نشان می‌دهد عملگر OR نسبت‌به عملگر دیگر کم‌ترین احتیاط را درنظر گرفته است و کم‌ترین رویکرد سخت‌گیرانه را دارد. مساحت حدود ۳۸ درصد را به انطباق خیلی کم و ۲۴ درصد را انطباق کم فراگرفته است که برخلاف دو رویکرد GAMMA و AND هیچ‌کدام از شهرستان‌های استاد یزد در این دو پهنه قرار ندارند. پهنهٔ انطباق متوسط مساحت حدود ۱۳ درصد دارد. شهر یزد و بیشتر شهرستان‌ها در این پهنه قرار دارند. مساحت حدود ۱۱ درصد انطباق زیاد و ۱۴ درصد انطباق خیلی زیاد که بخشی از شهرستان‌های بافق، مهریز، نیر و بهاباد و همچنین بخش زیادی از مرکز و جنوب شرق استان یزد در پهنهٔ انطباق زیاد و بخشی از مرکز و غرب استان در پهنهٔ انطباق خیلی زیاد قرار دارند.

در روشWLC به این گونه است که ارزش سلول‌های متناظر در هر لایه براساس عمل ریاضی ضرب یا جمع با هم تلفیق می‌شوند. در عمل ضرب تفاوت‌ها قابل‌تفکیک‌تر از عمل جمع است. روش ترکیب خطی وزنی برهم‌کنش نتایج را در نظر نمی‌گیرد و فقط ارزش سلول‌ها را ترکیب می‌کند. در این روش ۹۰ درصد از مساحت استان یزد در انطباق خیلی کم ۴درصد است که تمامی شهرستان‌ها در این پهنه قرار دارند. ۴ درصد در انطباق کم ۳ درصد در انطباق متوسط قرار دارند که بخشی از غرب و شمال غرب استان در این پهنه قرار دارد. حدود ۱ درصد در انطباق خیلی زیاد و ۲ درصد در انطباق زیاد قرار دارند.

با مقایسهٔ نتایج عملگرهای مختلف می‌توان کاربرد این عملگرها را در کارهای مشابه مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. طوری که نتایج عملگرها را با میزان سخت‌گیری آن‌ها رتبه‌بندی کرد و در مراحل مختلف برنامه‌ریزی استفاده از آن‌ها را پیشنهاد داد. با توجه به مدل فازی OR که دید کم‌تر سخت‌گیرانه‌ای نسبت‌به سایر عملگرها دارد، در صورت گسترش و ایجاد سکونتگاه‌ها جدید می‌بایست شهرستان‌های هرات مهریز، نیر، میبد به‌سمت جنوب و بخش‌های غربی، شهرستان بافق به‌سمت شمال و جنوب و شهرستان

طبس به‌سمت شرق و بهاباد به‌سمت جنوب و شرق و یزد به‌سمت جنوب که دارای انطباق خیلی زیاد، زیاد و متوسط هستند نیز گسترش یابند. در مدل گاما (GAMMA) شهرستان‌های مهریز، مروست و هرات در جهت غرب و شهرستان‌های میبد، بافق، اشکذر، در جهت غرب و جنوب غرب و شهرستان طبس در سمت شرق و جنوب شرقی ایجاد شوند و در مدل WCL که رویکرد سخت‌گیرانه‌تری نسبت‌به سایر مدل‌ها دارد، فضای بسیار اندکی را از نظر مطلوبیت مکانی درنظر گرفته است. با توجه به آن بهتر در آینده شهرستان اشکذر به‌سمت غرب، شهرستان تفت به‌سمت شمال غرب و طبس به‌سمت شرق گسترش پیدا کنند. همچنین در مدل AND رویکرد کم‌تر سخت‌گیرانه‌ای نسبت‌به WLC دارد. میبد، اشکذر، مهریز به‌سمت غرب، شهرستان تفت به‌سمت غرب و شمال غرب، شهرستان نیر هم به‌سمت غرب و جنوب غرب گسترش یابند.

نوآوری این تحقیق در مقایسه با سایر تحقیقات دیگر به شرح زیر است:

کامیابی و الیانی در مقاله‌ای در سال ۱۳۹۸ در مقاله‌ای به بررسی توسعهٔ فضایی روستا شهر ماکلوان پرداخته‌اند. در این مطالعه توسعهٔ فضایی شهر تنها با روش مدل سلسله‌مراتبی AHP با استفاده از دانش خبرگان و نرم‌افزار choice Export استفاده شده است. در مطالعهٔ حاضر سعی شده از مدل فازی گردد و لایه‌ها فازی و استانداردسازی شوند سپس لایه‌ها در در وزن‌های حاصل از (FANP) در هر یک از عملگرهای فازی (AND,OR, GAMMA۰/۵) اجرا شوند و در روش دوم WLC لایه‌ها براساس ارزش‌دهی انجام‌شده طبقه‌بندی شدند و در وزن نهایی به‌دست آمدند که با تلفیق روش دیمتیل و روش (FANP) انجام شد. روش فازی بسیار دقیق‌تر از روش AHP بوده و بیشترین رویکردهای سختگیرانه تا کم‌ترین رویکرد سخت‌گیرانه را بررسی کرده است. به‌طورکلّی روش‌های ارزیابی چندمعیاری و GIS به‌منزلهٔ دو زمینهٔ تحقیقی و مطالعاتیِ جدا از هم، می‌توانند از برتری‌ها و قابلیت‌های همدیگر بهره‌مند شوند، زیرا از یک سو، فنون و روش‌های مبتنی‌بر GIS نقش مهمی را در تحلیل مسائل مبتنی‌بر روش‌های ارزیابی چندمعیاری دارند و قابلیت‌های بی‌همتایی را در مدیریت و تحلیل دامنهٔ متنوعی از داده‌های فضایی مطرح در تصمیم‌گیری دارند. پوراحمد (۱۳۹۱) در مناطق مستعد توسعهٔ شهری، شهرستان بابلسر را با استفاده از روش ارزیابی چندمعیاره (MCDE) در محیط GIS بررسی کرده‌اند و مساحت هر یک از مناطق دارای تناسب ضعیف و بسیار ضعیف، تناسب متوسط، تناسب بالا و بسیار بالا را، به‌صورت تفکیک‌شده جهت توسعهٔ آتی شهر پیشنهاد

کرده‌اند. این مطالعه در مقایسهٔ مطالعهٔ حاضر تنها از شاخص‌های بیولوژیک جهت تعیین گسترش شهر استفاده کرده و شاخص‌های اجتماعی و اقتصادی را مدنظر قرار نداده‌اند. همچنین تنها از روش MCDE استفاده شده که در مطالعهٔ حاضر روش (FANP) بسیار دقیق‌تر از روش MCDE است.

پورجعفر و همکاران (۱۳۹۱) به ارزیابی توان اکولوژیکی به‌منظور تعیین عرصه‌های مناسب توسعه در محدودهٔ شهر جدید سهند پرداخته اند و بهترین مکان مناسب برای توسعهٔ شهری شهر جدید سهند که کم‌ترین آثار سوء را در حال حاضر و در بلندمدت به دنبال داشته است را پیشنهاد داده‌اند در مطالعهٔ یادشده همانند سایر مطالعات انجام‌شده که در بالا ذکر شد نیز تنها از روش MCDE استفاده شده است که در مطالعهٔ حاضر در مقایسه با سایر مطالعات از روش بسیار دقیق‌تر (FANP) نسبت به روش MCDE استفاده شده است.

منابع

پورجعفر، م.ر.، منتظرالحجه، م.، رنجبر، ا.، و کبیری، ر. (۱۳۹۱). ارزیابی توان اکولوژیکی به‌منظور تعیین عرصه‌های مناسب توسعه در محدودهٔ شهر جدید سهند. *جغرافیا و توسعه*، ۲۸، ۱۱-۲۲.

پور احمد، ا.، مهدی، ع.، و مهدیان بهنمیری، م. (۱۳۹۱). بررسی مناطق مستعد توسعهٔ شهری با استفاده از روش ارزیابی چندمعیاره (MCE) در محیط GIS- مورد پژوهش شهرستان بابلسر. چهارمین همایش علمی سراسری دانشجویی جغرافیا.

کامیابی، س.، و الیانی، س. (۱۳۹۸). محیط جغرافیایی و توسعهٔ فضایی روستاشهر ماکلوان با تأکید بر حوزهٔ اقتصاد روستایی. *اقتصاد فضا و توسعهٔ روستایی*، ۴، ۸۱-۹۸.

Aburas, M. M., Abdullah, S. H., Ramli, M. F., & Asha'ari, Z. H. (2017). Land Suitability Analysis of Urban Growth in Seremban Malaysia, Using GIS Based Analytical Hierarchy Process. *Procedia Engineering*, *198*, 1128-1136.

Abedi, Kh., Ojaghi, M., Outaghi, T., Masoud, M., & Mahmoud M. (2011). The Application of Multi-Criterion Evaluation (SMCE) in Urban Waste Landfill Recovery *(*Case Study of Tabriz City*)*. *Journal of Environmental Economics,* , p *51*

Alavipoor, F. S., Karimi, S., Balist, J., & Khakian, A. H. (2016). A geographic information system for gas power plant location using analytical hierarchy process and fuzzy logic. *Global Journal of Environmental Science and Management*, *2*(2), 197-207.

Arefiev, N, Vitaly T, and Vladimir B. (2015). GIS-based fuzzy method for urban planning. *Procedia Engineering, 117,* 39-44.

Atkinson, D. M., Deadman, P., Dudycha, D., & Traynor, S. (2005). Multi-criteria evaluation and least cost path analysis for an arctic all-weather road. *Applied Geography*, *25*(4), 287-307.

Bonham-Carter, G. F. (1991). Integration of geoscientific data using GIS. *Geographic information systems: principle and applications. Longdom, London*, 171-184.

Chang, N. B., Parvathinathan, G., & Breeden, J. B. (2008). Combining GIS with fuzzy

multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region. *Journal of environmental management*, *87*(1), 139-153.

Dostál, P., & Kruljacová, A. (2019). Evaluation of University Quality via Fuzzy Logic.

Fan, F., Wang, Y., Qiu, M., & Wang, Z. (2009). Evaluating the temporal and spatial urban expansion patterns of Guangzhou from 1979 to 2003 by remote sensing and GIS methods. *International Journal of Geographical Information Science*, *23*(11), 1371-1388.

Ghadiry, M., & Firoozi Jahang, F. (2018). Location of Air Ambulance Using Combined ANAP Fuzzy Method of Demak Fuzzy in Arc GIS, *Journal of Hospital*, year 17, Issue 19.

Ghanbarzadeh, H., Behnifar, A., & Saberi Tollaye, R. (2015). Risk assessment of drinking water resources in mountainous villages using topsis technique and hierarchical analysis process (Case study: Brodood village, Kashmar city). *Journal of Rural Research and Planning*.(*In Persian*).

Gdoura, K., Anane, M., & Jellali, S. (2015). Geospatial and AHP-multicriteria analyses to locate and rank suitable sites for groundwater recharge with reclaimed water. *Resources, Conservation and Recycling*, *104*, 19-30.

Heirs, H. R., Shiran, Gh., & Azizi Hasanoun, H. (2015). Location of bus stations with ANP and Fuzzy logic (GIS Case Study: Khorramabad). *Journal of Planning Research*, vol. 6, Issue 23, Winter 2013, 55-76.

Hernández, A. B., & Hidalgo, D. B. (2020). Fuzzy Logic in Business, Management and Accounting. *Open Journal of Business and Management*, *8*(06), 2524.

Hydarzadeh, H., Balisth, J., & Karimi, S. (2017). Modeling and estimating the ecotourism power distribution with TOPSIS and FAHP, Logic. *(Reading: Shahrud city)*, *Journal of Environmental research*, 15 .(*In Persian*).

Korepazan, A. (2008). Principles of the Theory of Fuzzy Collections and Its Applications in Modeling Water Engineering Issues, First Edition, Jahad Publishing University, Amirkabir University of Technology .

Karm, A., & Mohammadi, A. (2009). Evaluation and zoning of land suitability for physical development of Karaj city And peripheral lands based on natural factors and method of hierarchical analysis process (AHP) Quarterly, *Journal of Natural Geography*, Lhrastan.

Kuang, W., Chi, W., Lu, D., & Dou, Y. (2014). A comparative analysis of megacity expansions in China and the US: Patterns, rates and driving forces. *Landscape and Urban Planning*, *132*, 121-135.

Lee, J. W., & Kim, S. H. (2000). Using analytic network process and goal programming for interdependent information system project selection. *Computers & Operations Research*, *27*(4), 367-382.

Linard, C., Gilbert, M., Snow, R. W., Noor, A. M., & Tatem, A. J. (2012). Population distribution, settlement patterns and accessibility across Africa in 2010. *PloS one*, *7*(2), e31743.

Liu, R., Zhang, K., Zhang, Z., & Borthwick, A. G. (2014). Land-use suitability analysis for urban development in Beijing. *Journal of environmental management*, *145*, 170-179.

Li, S., Juhász-Horváth, L., Pedde, S., Pintér, L., Rounsevell, M. D., & Harrison, P. A. (2017). Integrated modelling of urban spatial development under uncertain climate futures: a case study in Hungary. *Environmental Modelling & Software*, *96*, 251-264.

Malczewski, J. (2000). On the use of weighted linear combination method in GIS: common and best practice approaches. *Transactions in GIS*, *4*(1), 5-22.

Merlin, P. (2000). Methodes Quantitative and Space Urban Publisher. *University of Paris, Paris*.

Milesi, C., Elvidge, C. D., Nemani, R. R., & Running, S. W. (2003). Assessing the environmental impacts of human settlements using satellite data. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, *14*(1), 99-107.

Momoh, J. A., & Zhu, J. Z. (1998, October). Application of AHP/ANP to unit commitment in the deregulated power industry. In *SMC'98 Conference Proceedings. 1998 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (Cat. No. 98CH36218)* (Vol. 1, pp. 817-822). IEEE.

Motacan, Shakiba, Pour Ali, Nourmfar; Ali Akbar, Alireza, Seyed Ali, Hossein. (2008). Appropriate location for waste dumping using GIS. *Journal of Environmental science*, 6th year. The second issue.

Myagmartseren, P., Buyandelger, M., & Brandt, S. A. (2017). Implications of a spatial multicriteria decision analysis for urban development in Ulaanbaatar, Mongolia. *Mathematical Problems in Engineering*, *2017*.

Pleho, J., & Avdagic, Z. (2008, May). Fuzzy model in urban planning. In *FS'08 Proceedings of the 9th WSEAS International Conference on Fuzzy Systems, World Scientific and Engineering Academy and Society (WSEAS), Stevens Point* (pp. 156-160).

Robinson, D. T., Murray-Rust, D., Rieser, V., Milicic, V., & Rounsevell, M. (2012). Modelling the impacts of land system dynamics on human well-being: Using an agent-based approach to cope with data limitations in Koper, Slovenia. *Computers, Environment and Urban Systems*, *36*(2), 164-176. Ronald Eastman, J. (2012). IDRISI Selva manual. Clark University. Sitio web: www. clarklabs. org.

Seto, K. C., Dhakal, S., Bigio, A., Blanco, H., Delgado, G. C., Dewar, D., ... & Ramaswami, A. (2014). Human settlements, infrastructure and spatial planning.

Sevenant, M., & Antrop, M. (2007). Settlement models, land use and visibility in rural landscapes: Two case studies in Greece. *Landscape and urban planning*, *80*(4), 362-374.

Saaty, T. (1990). The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation. *The Analytic Hierarchy Process Series*, vol. I.

Tian, G., Qiao, Z., & Zhang, Y. (2012). The investigation of relationship between rural settlement density, size, spatial distribution and its geophysical parameters of China using Landsat TM images. *Ecological Modelling*, *231*, 25-36.

Zhang, Z., Xiao, R., Shortridge, A., & Wu, J. (2014). Spatial point pattern analysis of human settlements and geographical associations in eastern coastal China—A case study. *International journal of environmental research and public health*, *11*(3), 2818-2833.

Zhang, Z., Yang, X., & Xiao, R. (2015). Fractal characterization of settlement patterns and their spatial determinants in coastal zones. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, *4*(4), 2728-2741.

Zimmermann, H. J., & Zysno, P. (1980). Latent connectives in human decision making. *Fuzzy sets and systems*, *4*(1), 37-51.

Ziaian, P. (2011). Determination of the optimal direction of the expansion of Mashhad city using multi-factor evaluation model, RS, and GIS, *Journal of Geographical Society of Iran*, Sh, *30*, Tehran.

Taleshi, M., & Ghobadi, A. (2012). Urban land use sustainability assessment through evaluation of compatibility matrix case study: Karaj City. *OIDA International Journal of Sustainable Development*, *3*(1), 57-64.