

مکان‌یابی شهرک‌های صنعتی با استفاده از نرم‌افزار GIS (مطالعه‌ی موردی: شهرستان ملایر)

امیر دهقان *

دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی، مشهد، ایران

Dehghan_amir1990@yahoo.com

علی صحاف

استادیار، استاد راهنما، دانشکده فنی مهندسی، مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

Dehghan_amir1990@yahoo.com

ماشالله سعیدان بجستانی

استادیار، استاد راهنما، دانشکده فنی مهندسی، مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

Dehghan_amir1990@yahoo.com

لادن عباسی

استادیار، استاد راهنما، دانشکده فنی مهندسی، مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد، ایران

Dehghan_amir1990@yahoo.com

چکیده

انتخاب مکان مناسب برای یک فعالیت یکی از تصمیمات پایدار برای انجام یک طرح گسترده است که نیازمند تحقیق در مکان از دیدگاه‌های مختلف می‌باشد. از آنجا که مکان‌یابی نیاز به اطلاعات دقیق دارد و اهمیت زیادی دارد، حجم بزرگی از اطلاعات جزئی برای معرفی مکان‌های مختلف باید جمع‌آوری، ترکیب و تجزیه و تحلیل شوند تا ارزیابی صحیحی از عواملی که ممکن است در انتخاب تأثیر داشته باشند صورت پذیرد. پژوهش حاضر در پی آن است تا با به کارگیری روش‌های مختلف تصمیم‌گیری در سامانه اطلاعات جغرافیایی به مکان‌یابی مناطقی جهت احداث شهرک صنعتی با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و ارزیابی‌های چند معیاره شهرستان ملایر بپردازد که با احداث آن‌ها بتوان نیاز ملایر را تامین نمود. این تحقیق با یافتن مکان‌های بهینه در ملایر زمینه را برای انجام تحقیقات تفصیلی بعدی فراهم می‌کند. نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد، بهترین مکان‌ها برای احداث سایت شهرک صنعتی در جنوب شهرستان ملایر واقع شده‌اند. با توجه به در نظر گرفتن تمام عوامل موثر در مکان‌یابی شهرک صنعتی و وزن‌دهی به هر کدام از معیارها و زیر معیارها با روش وزن‌دهی AHP و همچنین نقشه‌های بدست آمده در این ارتباط با مدل‌های فازی و تاپسیس به این نتیجه رسیدیم که تقریباً محل‌های مناسبی شهرک شهرستان ملایر در قسمت‌های جنوبی و جنوب غربی قرار دارد و با توجه به درصد انطباق قواعد تصمیم‌گیری، با سه معیار جمعیت، زمین‌شناسی و نزدیکی به راه‌های ارتباطی، در شهرستان ملایر به این نتیجه رسیدیم که از میان روش‌های انجام گرفته برای مکان‌یابی، روش تاپسیس و تاپسیس فازی عملکرد مناسبتری دارد. روش‌های بعدی به ترتیب عبارتند از: تاپسیس فازی، فازی، روش هم‌پوشانی شاخص و بولین.

واژگان کلیدی: مکان‌یابی، تصمیم‌گیری چند معیاره، GIS، شهرک صنعتی شهرستان ملایر، روش تاپسیس.

مقدمه

تصمیم‌گیری، طریقه عمل در مسیری خاص به صورت آگاهانه جهت نیل به اهداف و مطلوب تعریف شده است. برای اعمال تصمیم‌گیری نیازمند داده و اطلاعات هستیم. بیش از ۸۰ درصد داده‌ها و اطلاعات دارای ماهیت مکانی می‌باشند. فرایند تصمیم‌گیری‌های مکانی در سال‌های اخیر پیچیده‌تر شده است. این تصمیم‌گیری‌ها ناشی از در نظر گرفتن تمام ابعاد مرتبط با موضوع و سعی در پیش‌بینی پیامدها و نتایج تصمیم‌ها می‌باشد. در جهت پاسخگویی و رفع این پیچیدگی‌ها ابزارهای گوناگونی از سوی کارشناسان مطرح شده است تا بتوانند تمام ابعاد مساله را مورد بررسی قرار دهند. سامانه‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی جزء این ابزارها هستند؛ به عبارت دیگر برنامه‌ریزی‌های مکانی جهت اجرا به صورت جامع و کامل مطالعه می‌شوند. لازمه‌ی اینگونه برنامه‌ریزی‌ها، شناسایی همه معیارها و گروه‌های مرتبط با موضوع به شکل صحیح است. روش‌های موجود برای تصمیم‌گیری‌های مکانی متعدد می‌باشند. با این وجود هر کدام مزایا و معایبی دارند لذا جهت اطمینان از نتایج این روش‌ها بررسی آن‌ها ضروری خواهد بود. نتایج این روش‌ها حین استفاده با یکدیگر مقایسه شده سپس به کار گرفته شوند. با توجه به این موضوع که شهرک‌های صنعتی با وجود فاصله از حوزه‌های زیستی جزئی از ساختار کالبدی شهرهای پیرامونی خود محسوب می‌شوند و هر گونه تغییر و تحول در ساختار آن در کالبد و روح شهر نیز تاثیر دارد، راه‌اندازی این مجتمع‌های عظیم صنعتی تغییرات کالبدی چه از نظر اقتصادی و چه از نظر زیست محیطی در پی خواهد داشت. بنابراین اکثر کشورها به دنبال آن هستند تا قبل از احداث پروژه‌های صنعتی ملاحظات مکان‌یابی را در نظر گرفته تا بیشترین بازدهی و سودمندی اقتصادی ایجاد و کمترین تخریب زیست محیطی را به همراه داشته باشد.

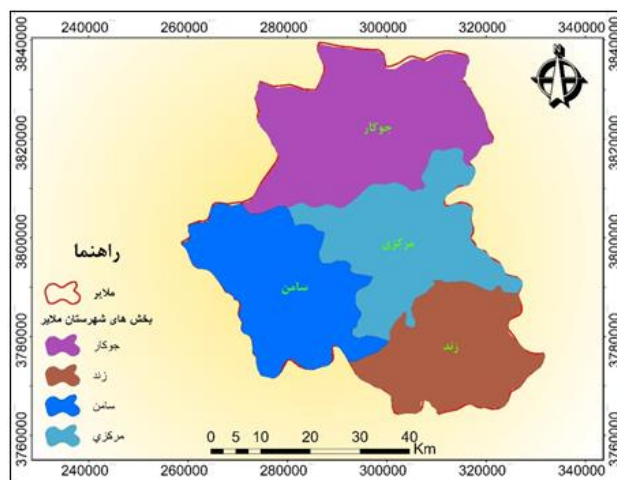
افضلی و همکاران، ۱۳۹۴ در پژوهشی به‌منظور مکان‌یابی محل شهرک‌های صنعتی در نجف‌آباد با استفاده از اطلاعات جغرافیایی و فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی، با روی هم‌گذاری نقشه‌های حاصل از دو منطق فازی و بولین دو منطقه با در نظر گرفتن حداقل مساحت مورد نیاز محل شهرک صنعتی برای ۲۰ سال مناسب تشخیص داده شدند (افضلی و همکاران، ۱۳۹۴). مددی و همکاران ۱۳۹۴، در پژوهشی که به‌منظور مدل‌سازی مکان‌های مناسب شهرک صنعتی با استفاده از روش‌های AHP، منطق فازی، شاخص هم‌پوشانی وزنی و منطق بولین در شهر ادبیل صورت‌گرفت نتایج حاکی از آن بود که کاربرد موثر روش‌های AHP، شاخص هم‌پوشانی وزنی و منطق فازی به ترتیب بیش‌ترین تناسب را برای مکان‌یابی محل شهرک صنعتی در شهر اردبیل را دارا می‌باشند و در این بین روش بولین با ارائه مکان‌یابی نادرست جزء روش‌های نامناسب محسوب می‌شود (مددی و همکاران، ۱۳۹۴). مهتابی‌اوغانی و همکاران، ۱۳۹۳ در پژوهشی که به‌منظور انتخاب محل شهرک صنعتی کرج با مقایسه دو روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی و تاپسیس انجام یافت، نتایج بیانگر ارجحیت، کارایی بهتر و دقت بیشتر روش فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی در مقایسه با روش تاپسیس است (مهتابی‌اوغانی و همکاران، ۱۳۹۳).

پتالاس و همکاران، ۲۰۰۷ در پژوهشی در شهرستان باتم در کشور اندونزی به منظور انتخاب شهرک صنعتی توسط نرم‌افزار ArcGIS و روش چند معیاره AHP و با استفاده از لایه‌های بافت و جنس‌خاک، کاربری‌اراضی، مناطق شهری، مناطق گردشگری، جاده‌ها، فرودگاه و منابع آب‌سطحی و زیرزمینی، هفت محل مناسب شناسایی شد (Petalas et al, 2007). چانگ و همکاران در پژوهشی که به منظور مکان‌یابی شهرک صنعتی در شهر رام‌الله فلسطین، با استفاده از نرم‌افزار GIS و روش چندمعیاره AHP انجام یافت، محل مناسب شهرک صنعتی با کمترین اثر نامطلوب بر محیط‌زیست انتخاب شد (Chang et al, 2008). هوبینا در سال ۲۰۰۵ با استفاده از الگوریتم چند معیاره براساس مقایسه دوتایی اقدام به مکان‌یابی دفن زباله در شهر مینسک کرده است. هدف ایجاد مدل ارزیابی چندمعیاره مدلی که توپولوژی، برای تصمیم‌گیری درباره مکان مناسب دفن را بالا می‌برد. نقشه مناسب محل دفن از ترکیب لایه‌های وزن دهی شده شامل "عوامل" و "موانع" به دست می‌آید. هر دو معیار عوامل و منابع، از منابع متفاوتی شامل نقشه‌های رقومی، پوشش زمین، منابع آبی، مراکز جمعیتی، جاده‌ها، زمین‌شناسی، اقلیمی، بعد از وزن دهی به معیارهای عوامل و موانع مکان مناسب را با استفاده از ابزار GIS در شمال منطقه انتخاب کرده است. در پژوهشی که به منظور انتخاب محل دفن موادزائد در حوضه آبریز سینیرکنت-الوبورلو در کشور ترکیه با استفاده از نرم‌افزار GIS و روش AHP انجام یافت، طبق نتایج، ۹۶/۳ درصد وسعت حوضه برای دفن بهداشتی نامناسب، ۱/۶ درصد نسبتاً مناسب و ۱/۲ درصد مناسب می‌باشد (واستاوا و ناتاوا، ۲۰۰۳). در این مطالعه سعی شده است با مروری بر تئوری مسائل روش‌های تصمیم‌گیری مکانی و معیارهای موثر در مکان‌یابی مناطقی جهت احداث شهرک

صنعتی با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و ارزیابی های چند معیاره به اجرای روش های گوناگون در جهت معرفی اولیه مکان های مناسب پرداخته شود.

معرفی منطقه ی مورد مطالعه

شهرستان ملایر بزرگترین شهرستان ملایر پس از همدان با وسعتی حدود ۳۲۱۰ کیلومتر مربع شامل ۳ شهر: ملایر، سامن و ازندریان و سه بخش: مرکزی، سامن و جوکار و ۱۵ دهستان و ۲۲۱ روستای دارای سکنه می باشد. شهرستان ملایر در ۴۸° و ۴۹° طول جغرافیایی و ۳۴° و ۱۷° عرض جغرافیایی قرار دارد و از شمال به همدان از شرق به اراک از جنوب به بروجرد و از طرف غرب به شهرهای تویسرکان و نهاوند محدود شده است. ارتفاع این شهرستان از سطح دریا ۱۷۸۰ متر و فاصله اش از همدان ۸۶ کیلومتر است. امتداد رشته کوه الوند از شمال و شمال شرق این شهرستان می گذرد. وسعت شهرستان ملایر ۳۲۱۰ کیلومتر مربع است که نسبت به شهرستان های مجاور خود بسیار بیشتر است. (سازمان جغرافیایی و نیروهای مسلح، ۱۳۹۵).



شکل ۱: بخش های منطقه مورد مطالعه

ارتفاع از سطح دریا در ملایر ۱۷۸۰ متر و فاصله اش از همدان ۸۶ و تهران ۳۹۰ کیلومتر است. امتداد رشته کوه البرز از شمال و شمال شرق این شهرستان می گذرد و به کوه های سربلند اراک متصل می شود. مرتفع ترین کوه این شهرستان (قله لشکر دریا ارتفاع ۲۹۲۸ متری) می باشد و کوه معروف (یزدگرد) با بقایای قلعه یزدگرد ساسانی در جنوب شهر قرار دارد. از دیگر ارتفاعات مهم، ارتفاع کوه گرمه با ارتفاع ۲۲۰۶ متر و کوه سرده با ارتفاع ۲۲۷۷ متر می باشد از جمله کوه های آن می توان به کوه های برآفتاب، دره غار، سبزه وار و کمر سیر اشاره کرد. مرتفع ترین کوه ملایر، قله لشکر در و کوه معروف یزدگرد (با بقایای قلعه یزدگرد ساسانی) می باشد. از دیگر ارتفاعات مهم ملایر گرم کوه و سرد کوه می باشد.

۱- کوه گرمه (گرم کوه) به ارتفاع ۲۲۰۶ متر در شمال ملایر

۲- کوه سرده (سرد کوه) به ارتفاع ۲۷۷۷ متر از شمال تا مشرق ملایر

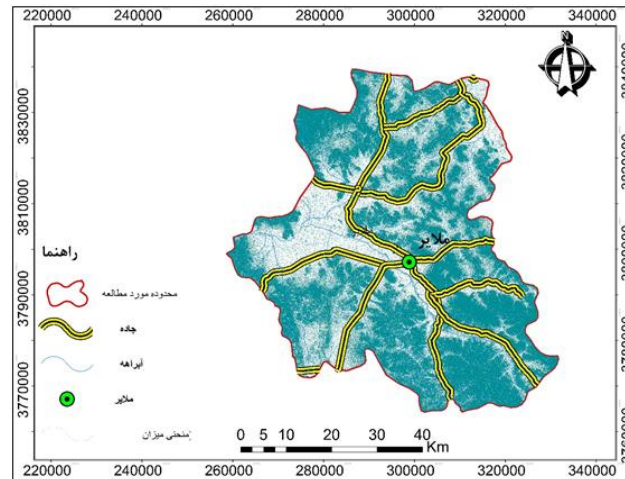
۳- کوه لشکر بین شمال ملایر و اراک به ارتفاع ۲۹۲۸ متر

۴- کوه سفید در جنوب غربی ملایر به ارتفاع ۲۴۷۵ متر.

۵- کوه یزدگرد در جنوب ملایر به ارتفاع ۲۴۸۷ متر.

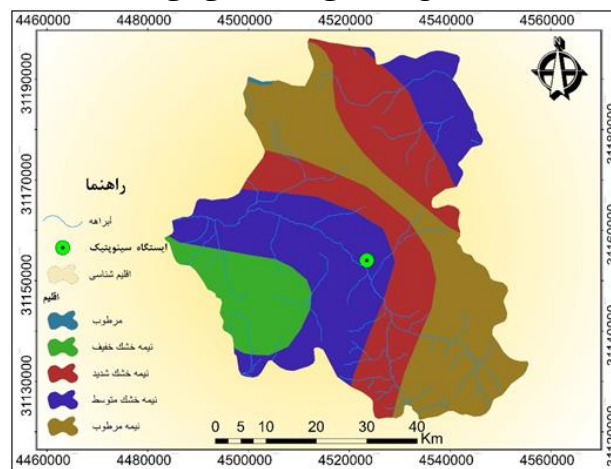
۶- کوه بیاتان در جنوب شرقی ملایر به ارتفاع ۲۵۸۰ متر.

در شمال غربی ملایر یک رشته کوه از سلسله جبال الوند بطرف جنوب غربی کشیده که به سیاه کوه نهانند متصل می‌شود. (سازمان نقشه برداری، ۱۳۹۵).

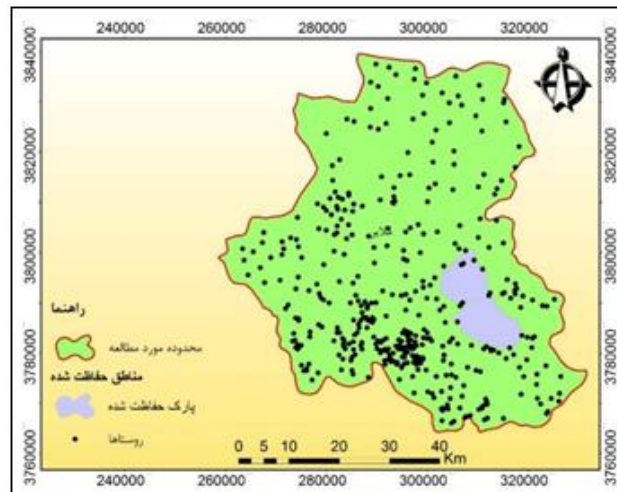


شکل ۲: نقشه توپوگرافی منطقه مورد مطالعه

شهرستان ملایر به صورت دشت میان‌کوهی در بین ارتفاعات کم و بیش مرتفع زاگرس، در جنوب ملایر و غرب کشور گسترده شده است. این شهرستان از لحاظ موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های طبیعی در منطقه غرب کشور از وضعیت خاصی برخوردار است و نقش یک شاهراه ارتباطی از نظر تجاری بین نقاط مختلف و مناطق همجوار دارد. آب و هوای شهرستان ملایر معتدل مدیترانه‌ای است. این شهرستان از لحاظ توپوگرافی از دو قسمت دشت و کوهستان تشکیل گردیده است که کوه‌ها، رودها و تالاب‌ها را در بر گرفته است؛ که در مجموع نقش مهمی در پرورش گونه‌های جانوری و پوشش گیاهی مختلف متناسب با آب و هوای منطقه دارد. شهرستان ملایر که در دهه‌های اخیر به علت آب و هوای معتدل مدیترانه‌ای و وفور منابع آب سطحی و زیرزمینی توسعه چشمگیری نسبت به دوره‌های گذشته داشته است. این روند توسعه را می‌توان در رشد جمعیت، افزایش تعداد شهرها، دهستان‌ها و خیابان‌های پر تردد شهرستان‌ها شاهد بود؛ چراکه شهرستان دارای سه شهر، سه بخش، ۱۵ شهرستان و ۲۵۶ روستا و ۱۰۰ مزرعه است (اداره سینوپتیک همدان ۱۳۹۵). نقشه مناطق حفاظت شده از سازمان محیط زیست ملایر همدان تهیه شده است. مناطق حفاظت شده‌ای که در منطقه مورد مطالعه از نظر سطح دسترسی قابل بررسی می‌باشد در شکل ۴ آمده است.



شکل ۳: نقشه اقلیم شهرستان ملایر



شکل ۴: نقشه منطقه حفاظت شده شهرستان ملایر

مواد و روش ها

در این تحقیق از مواد و روش هایی استفاده می شود که با توجه به مکان مورد مطالعه و ویژگی های منحصر بفردی که هر مکان مختص به خود دارد، متفاوت می باشد. لذا برای رسیدن به یک هدف مناسب و بهینه در امر مکان یابی شهرک صنعتی به کاربردن روش ها و نرم افزارهای کارآمد و به روز در این زمینه بسیار حائز اهمیت می باشد. چرا که توجه به حداکثر لایه های مورد استفاده و ارزیابی و مقایسه نهایی مدل های GIS، به ما یک دید جامع و گسترده را در این امر می دهد. موارد مورد استفاده در تحقیق به دو دسته لایه ها و نرم افزارها تقسیم می شوند. به منظور جمع آوری، پردازش، تجزیه و تحلیل و مدلسازی داده های مختلف و تهیه و تدوین این پژوهش از نرم افزارهای مختلف ذیل استفاده شده است:

- Autodesk map 2010
- IDRISI 15
- Arc GIS 10.3
- Excel 2013
- Map source
- Edrisi

جهت رقومی نمودن نقشه های موجود و همچنین جهت ساخت توپولوژی بر روی لایه های وکتوری نیز در این تحقیق، از نرم افزار Autodesk map استفاده گردید. با توجه به اینکه فرآیند مکان یابی یک مسئله تصمیم گیری چند صفتی بوده و با استفاده از مدل رستری قابل انجام است، می بایست در انتخاب نرم افزار این نکته را مورد نظر قرار داد که نرم افزار منتخب علاوه بر مدل وکتوری، مدل رستری را نیز مورد پشتیبانی قرار داده و علاوه بر این موارد، قابلیت استفاده از قواعد تصمیم گیری چند صفتی را نیز داشته باشد. بدین منظور با توجه به بررسی های انجام شده، نرم افزارهای Arc GIS 10.3 و IDRISI 15 جهت عملیات آنالیز چند صفتی انتخاب گردید. با استفاده از نرم افزار Arc GIS و قابلیت های بالای آن در ویرایش، پرسش، و تحلیل، لایه های اطلاعاتی در آن ایجاد، خلاصه سازی و مورد پرسش قرار گرفتند. با استفاده از نرم افزار Excel 2013 به ترسیم نمودارهای مختلف پرداخته و همچنین با استفاده از نرم افزار Map Source به تخلیه داده های بدست آمده از دستگاه GPS اقدام شد.

آنالیز تصمیم گیری چند معیاره

ارزیابی مجموعه ای از گزینه ها بر اساس معیارهای مختلف، تصمیم گیری چند معیاره (MCDM) و یا آنالیز تصمیم گیری چند معیاره گفته می شود. منظور از معیار، هدف و صفت می باشد. بدین جهت، دو طیف وسیع از تصمیم گیری چند معیاره قابل تشخیص می باشد:

الف. تصمیم‌گیری چند صفتی (MADM).

ب. تصمیم‌گیری چند منظوره (MODM).

به همین ترتیب این دو دسته خود به مسائل تصمیم‌گیری انفرادی و گروهی قابل قسمت می‌باشد. مسائل انفرادی و گروهی به تصمیمات تعیینی، احتمالی و فازی تقسیم می‌شوند. در مسائل تصمیم‌گیری تعیینی فرض بر این است که اطلاعات کاملاً شناخته شده و ارتباط معینی بین تصمیم و نتیجه تصمیم وجود دارد. در مسائل تصمیم‌گیری احتمالی در مورد یک موقعیت تصمیم‌گیری نامعین درباره حالت محیط مسئله و درباره ارتباطات بین تصمیم و پیامدهای آن بحث می‌نماید. به این دلیل که تحلیل احتمالاتی درباره عدم قطعیت، به صورت تصادفی بحث می‌نماید، برای بررسی بی‌دقتی موجود در اطلاعات دربرگیرنده تصمیم‌گیری نیز مناسب است. آنالیز تصمیم‌گیری فازی نیز درباره عدم قطعیت بحث می‌نماید.

تحلیل چند منظوره

قواعدی که بر مبنای آن‌ها تصمیمات مطابق مطلوبیتشان مرتب می‌گردند، معیار گفته می‌شود. در نتیجه تصمیم‌گیری چند معیاره شامل تصمیم‌گیری چند صفتی و چند منظوره می‌باشد. با مقایسه روش‌های آنالیز چند منظوره و چند صفتی مشخص می‌شود که مسائل آنالیز چند منظوره نیازمند مشخص شدن رابطه ابزار مقاصد نیز باشند، زیرا به طور مشخص در مورد روابط بین صفات گزینه‌ها و اهداف سطح بالاتر تصمیم‌گیر بحث می‌کنند. بنابراین، این روش‌های چند معیاره دربرگیرنده طراحی گزینه‌ها و جستجوی بهترین تصمیمات در میان مجموعه بی‌نهایت یا بسیار بزرگ گزینه‌های ممکن می‌باشد. نقش روش‌های MODM در تصمیم‌گیری ایجاد محدوددهایی جهت طراحی مجموعه‌ای از گزینه‌هاست (اکبری و زاهدی کیوان، ۱۳۸۷). جدول ۱ روش‌های MADM و MODM را مقایسه می‌کند.

جدول ۱: مقایسه روش‌های MADM و MODM (Pitz and Mckillip, 1984)

تعاریف	MADM	MODM
تعریف معیارها توسط	صفات	اهداف
تعریف اهداف	ضمنی	صریح
تعریف صفات	صریح	ضمنی
تعریف محدودیتها	ضمنی	صریح
تعریف گزینه‌ها	صریح	ضمنی
تعداد گزینه‌ها	محدود	نامحدود
کنترل تصمیم‌گیر	محدود	مناسب
الگوی مدل‌سازی تصمیم	نتیجه مدار	فرایند مدار
مرتبط با	ارزیابی / انتخاب	طراحی / جستجو
ارتباط ساختار داده‌های جغرافیایی	GIS رستری	GIS برداری

وزن دهی به معیارها

هدف از وزن دهی آن است که بتوان اهمیت هر معیار را نسبت به معیارهای دیگر بیان کرد. در این تحقیق وزن معیارها با توجه به میانگین نظر کارشناسان و متخصصین در اختیار چندین نفر هر کدام در رشته‌های مرتبط متخصص بودند بعد از دادن توضیحات لازم قرار گرفت از آن‌ها خواسته شد به معیارها عددی بین یک تا نه را که نشان‌دهنده ارجحیت معیارها نسبت به هم هست دهند. سپس میانگین نظرات آن‌ها وارد نرم‌افزار و وزن نهایی هر معیار به دست آمد. ملاحظه می‌شود که برای عمل احداث شهرک صنعتی در شهرستان ملایر با توجه به شرایط آن، بیش‌ترین وزن و درجه اهمیت در هر سه دیدگاه تصمیم‌گیری متعلق به معیار جمعیت هست. در سایر معیارها تفاوت‌هایی در دیدگاه‌های تصمیم‌گیری بود. در دیدگاه تصمیم‌گیری اقتصادی جمعیت، کاربری اراضی و شیب زمین معیارهای اصلی و از دیدگاه اجتماعی فرهنگی جمعیت و نزدیکی به خطوط انتقال نیرو مهم‌ترین معیارها در مکانیابی شهرک صنعتی محسوب می‌شوند در مجموع سه معیار مهم در تصمیم‌گیری جمعیت، نزدیکی به خطوط انتقال نیرو و نزدیکی به راه ارتباطی می‌باشند. این سه معیار در مجموع ۸۰ درصد اهمیت را دارا می‌باشند. وزن‌ها معمولاً استاندارد می‌شوند این عمل به صورتی انجام می‌شود که مجموع آن‌ها برابر با یک می‌شوند.

جدول ۲: نحوه طبقه بندی مجدد فاصله از خطوط انتقال نیرو شهرستان ملایر

فرسایش	جمعیت	نزدیکی به راه	کاربری اراضی	شیب	نزدیکی به خطوط انتقال نیرو برق
۷	۳	۳	۴	۲	۱
۵	۴	۲	۲	۱	۰.۵
۳	۵	۳	۱	۰.۵	۲
۶	۳	۱	۰.۳۳	۰.۵	۰.۳۳
۸	۱	۰.۳۳	۰.۲	۰.۳۳	۰.۲۵
۱	۰.۱۲۵	۰.۱۶۶۶	۰.۳۳	۰.۲	۰.۱۴۲

محاسبه ی نرخ سازگاری

یکی از ویژگی‌های روش تحلیل سلسله مراتبی تعیین مقدار عددی سازگار جواب‌ها است. این روش دارای مکانیزمی است که جامعیت یا سازگاری مقایسات، مشخص می‌شود و در نهایت نشان می‌دهد که تا چه اندازه می‌توان به اولویت به دست آمده اعتماد نمود؛ به عبارت دیگر، ممکن است مقایسات انجام شده همدیگر را نقض نمایند و سازگار نباشند. برای مثال فرض کنید اولویت A به B برابر ۲ باشد و اولویت B به C برابر ۳ در این صورت باید اولویت A به C برابر ۶ باشد (۲×۳) اگر پاسخ‌ها سازگار باشند، میزان انحراف از مقدار ۶، باعث کاسته شدن از سازگاری است به طوری که اگر این انحراف از حدی معین تجاوز نماید می‌بایست در مقادیر مقایسه‌ای ابتدایی تجدید نظر کرد. این موضوع در تحلیل سلسله مراتبی توسط نرخ سازگاری مشخص می‌شود. تجربه ثابت کرده هر گاه نرخ سازگاری کمتر از ۰/۱ باشد، سازگاری پاسخ‌ها و مقادیر مقایسه‌ای قابل قبول هستند و چنانچه این نرخ بیش از ۰/۱ باشد، باید مقایسات دوباره انجام شود. برای محاسبه‌ی نرخ سازگاری از دو پارامتر شاخص سازگاری (C. I) و شاخص تصادفی (R. I) استفاده می‌شود. پس از محاسبه نرخ سازگاری که برابر با چهار صدم به دست آمد وزن نهایی هر لایه محاسبه شد که در جدول ۳ آمده است. (۰/۰۴ = نرخ ناسازگار)

$$C.I = \frac{\lambda \max - n}{n - 1} \quad (1)$$

$$R = \frac{C.I}{R.I} \begin{cases} \leq 0.1 \text{ سازگار} \\ > 0.1 \text{ ناسازگار} \end{cases} \quad (2)$$

جدول ۳: وزن هر معیار در مکان‌یابی شهرک صنعتی ملایر

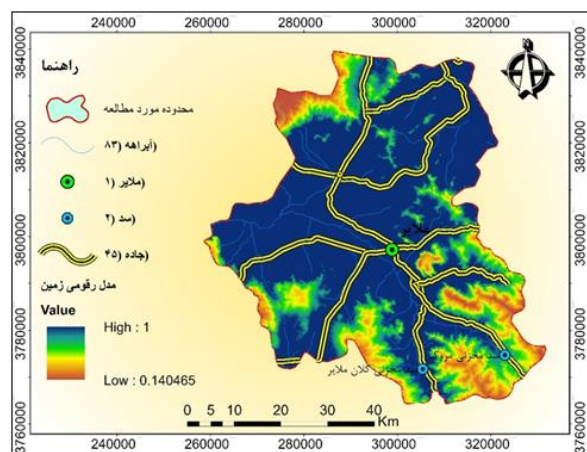
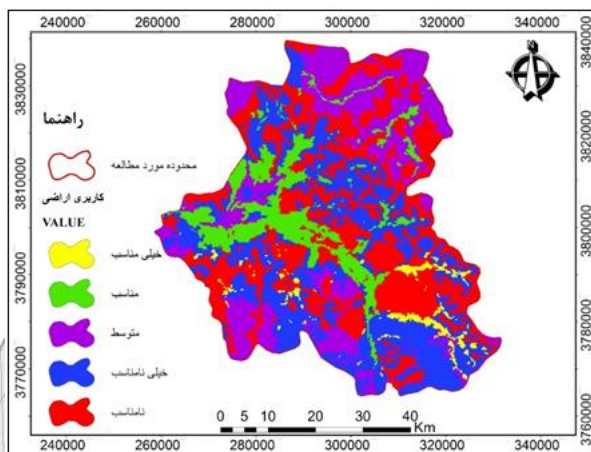
کاربری اراضی	شیب	جمعیت	نزدیکی به راه	فرسایش	نزدیکی به خطوط انتقال نیرو
۰.۰۶۳	۰.۱۰۸	۰.۴۰۹	۰.۱۵۱	۰.۰۲۹	۰.۲۴

استاندارد سازی نقشه‌های فازی

ترتیب تهیهی نقشه‌ی مکان‌یابی شهرک صنعتی به روش فازی به قرار زیر می‌باشد.

۱. تهیهی لایه‌های (نقشه‌های) عوامل موثر بر محل شهرک صنعتی.
۲. رستری نمودن لایه‌ها.
۳. طبقه‌بندی مجدد لایه‌ها.
۴. فازی نمودن لایه‌ها با استفاده از توابع فازی.
۵. وزن دادن به لایه‌ها.
۶. همپوشانی نمودن لایه‌ها با استفاده از عملگرهای فازی و استخراج بهترین عملگر.

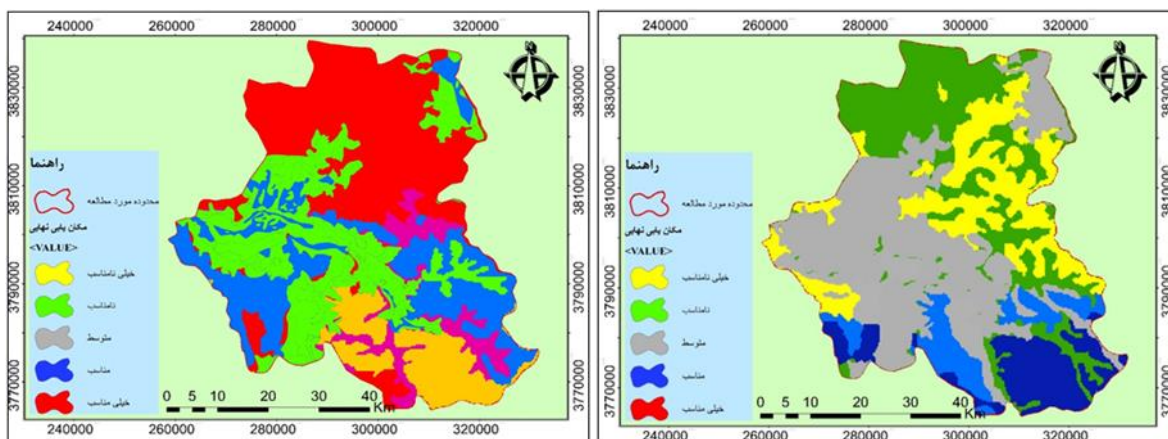
پس از تهیهی لایه‌های مربوطه آن‌ها را به صورت رستری درآورده و طبقه‌بندی مکرر روی آن‌ها انجام می‌دهیم تا بتوانیم عوامل را به دامنه‌ای از مقادیر تقسیم کنیم. سپس با استفاده از توابع فازی آنها را فازی سازی می‌کنیم به این صورت که ارزش پیکسل‌ها را بین ۰ و ۱ قرار می‌دهیم.



شکل ۵: نقشه فازی کاربری اراضی (سمت راست) و نقشه فازی طبقات ارتفاعی (سمت چپ)

پس از فازی سازی نمودن لایه‌ها آنها را با استفاده از دانش تجربی و مهندسی وزن دهی می‌کنیم. در منطق‌های کلاسیک، وزندهی به هر یک از لایه‌های اطلاعاتی از نوع قطعی و شامل مقدار مطلوبیت کامل و عدم مطلوبیت کامل در دامنه‌ای بین ۰ و ۱ است در صورتی که در منطق فازی، درجه‌ی مطلوبیت هرمتغیر دارای بینهایت مقدار در دامنه‌ای بین ۰ و ۱ است. در روشهای مطرح در منطق فازی، وزندهی به لایه‌ها بیشتر

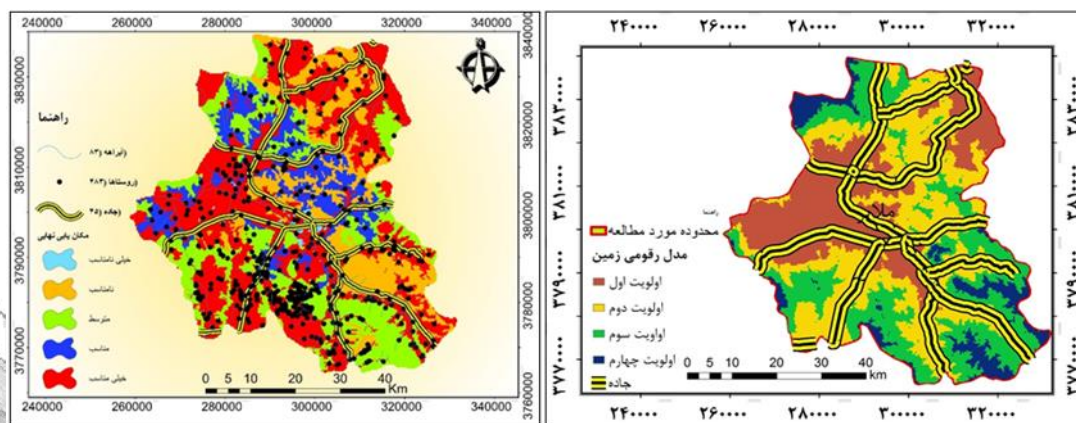
مبتنی بر دانش تجربی و قضاوت مهندسی و کارشناسی است. بر این اساس با توجه به درجه‌ی اهمیت و مقدار تأثیر هر کدام از عناصر آنها را وزن دهی خواهیم نمود. جهت همپوشانی نقشه‌های فازی سازی شده از تابع fuzzy overlay استفاده می‌کنیم به هنگام همپوشانی از عملگرهای مختلف فازی شامل اجتماع، اشتراک، جمع جبری فازی، ضرب جبری فازی و گامای $0/3$ استفاده گردید که به ترتیب در زیر عملگرهای مختلف مورد بررسی قرار گرفته و نقشه‌های حاصل در ادامه با نقشه پراکنش محل مکان‌یابی شهرک صنعتی همپوشانی گردیدند و در نهایت درصد موفقیت حاصل از اجرای هر کدام از عملگرها در مکان‌یابی محل شهرک صنعتی مشخص گردید.



شکل ۶: مکان‌یابی شهرک صنعتی بر اساس عملگر OR (سمت راست) و مکان‌یابی شهرک صنعتی بر اساس عملگر SUM (سمت چپ)

مدل سلسله مراتبی AHP

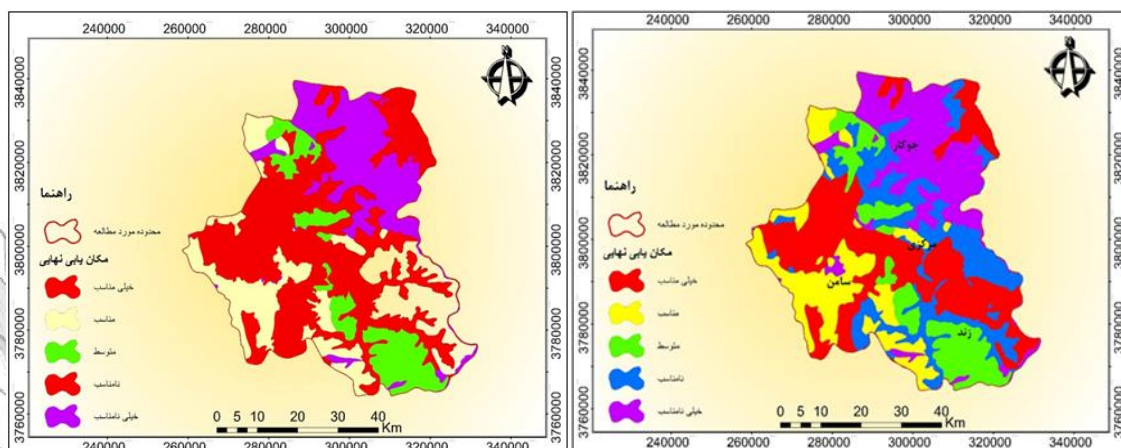
نتایج نقشه مکان‌یابی محل بهینه شهرک صنعتی با استفاده از مدل AHP مشخص نمود که حدود ۶۶ درصد از سطح ملایر در محدوده محل بهینه خیلی مناسب و مناسب و ۳۴ درصد از شهرستان ملایر در محدوده محل بهینه نامناسب، خیلی نامناسب و متوسط قرار گرفته‌اند. با توجه به روش AHP و همچنین استاندارد کردن وزن‌ها، اقدام به محاسبه وزن‌های درجه‌ی نهایی گردید، که در جدول ۴ نشان داده شده است.



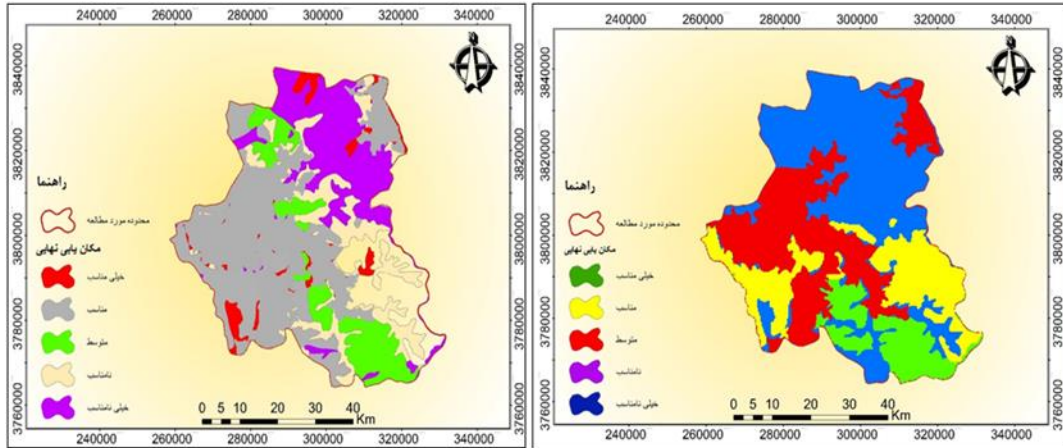
شکل ۷: نقشه محل بهینه شهرک صنعتی بر اساس روش تاپسیس (سمت راست) و نقشه محل بهینه شهرک صنعتی بر اساس روش ahp (سمت چپ)

جدول ۴: وزن‌های درجه‌ای معیارهای ارزیابی مورد استفاده در مکان‌یابی محل شهرک صنعتی

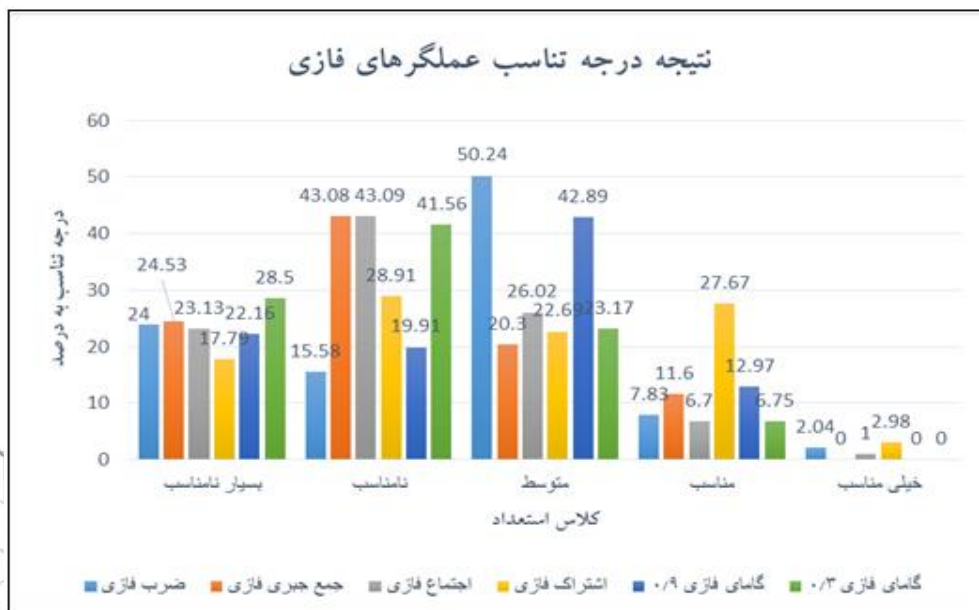
درصد اهمیت	پدیده مورد ارزیابی	درصد اهمیت	تقدم گروهی	معیارهای مکان‌یابی
۱۲٪	شیب	۳۴٪	ژئومورفولوژیکی	
۱۰٪	فرسایش			
۷٪	توپوگرافی			
۵٪	طبقات ارتفاعی			
۶٪	خاک شناسی	۱۰٪	زمین شناسی	
۱۰٪	گسل			
۹٪	لیتولوژی			
۴٪	عمق آب‌های زیرزمینی	۱۳٪	هیدرولوژی و ژئوهیدرولوژی	
۵٪	فاصله از آب‌های سطحی			
۴٪	فاصله از چاه‌ها			
۶٪	فاصله از مناطق حفاظت شده	۶٪	مسایل زیست محیطی	
۴٪	فاصله از مراکز فاصله از دهستانها			
۵٪	فاصله از مراکز شهری	۱۲٪	کاربری اراضی	
۳٪	فاصله از شهر مابیر			
۵٪	فاصله از جاده و خطوط نیرو	۲۵٪	قابلیت دسترسی به محل	
۵٪	فاصله از خطوط پوشش گیاهی			



شکل ۸: نقشه محل بهینه شهرک صنعتی بر اساس عملگر ۰/۵ Gumma (سمت راست) مکان‌یابی محل بهینه شهرک صنعتی بر اساس عملگر ۰/۳ Gumma (سمت چپ)



شکل ۹: مکان یابی شهرک صنعتی بر اساس عملگر ۰/۹ Gumma (سمت راست) مکان یابی شهرک صنعتی بر اساس عملگر ۰/۸ Gumma (سمت چپ) در این پژوهش مکان یابی محل بهینه شهرک صنعتی در شهرستان ملایر با استفاده از عملگرهای منطق فازی صورت گرفت. نتایج نشان می دهد که دقت مکان یابی شهرک صنعتی با کارگیری عملگر اشتراک فازی به دلیل لحاظ شدن حداقل ارزش عضویت هر عامل در هر نقطه، همواره کم و غیر قابل اعتماد است. به طوریکه حدود ۳۰ درصد ملایر در طبقات محل بهینه مناسب و خیلی نامناسب قرار دارد. همانطور که نمودار ۱۰ نشان می دهد مقدار خطای نسبی برای روش های گامی فازی ۰/۳، گامی فازی ۰/۹، و جمع جبری فازی و ضرب جبری فازی، اشتراک فازی و اجتماع فازی به ترتیب برابر ۶۱/۷۵٪، ۱۲/۹۷٪ و ۱۱/۰۶٪ و ۹/۸۷٪ و ۳۰/۰۶٪ و ۷/۷۴٪ می باشد. مقدار موفقیت نسبی ۷۰/۰۶٪، ۴۲/۰۷٪، ۶۷/۵۷٪، ۳۹/۸۷٪، ۴۶/۷٪ و ۶۶/۲۲٪ به ترتیب برای گامی فازی ۰/۳، گامی فازی ۰/۹، و جمع جبری فازی و ضرب جبری فازی، اشتراک فازی و اجتماع فازی می باشد.



شکل ۱۰: نمودار نتیجه تناسب عملگرهای فازی

نتیجه ارزیابی نهایی روش‌ها

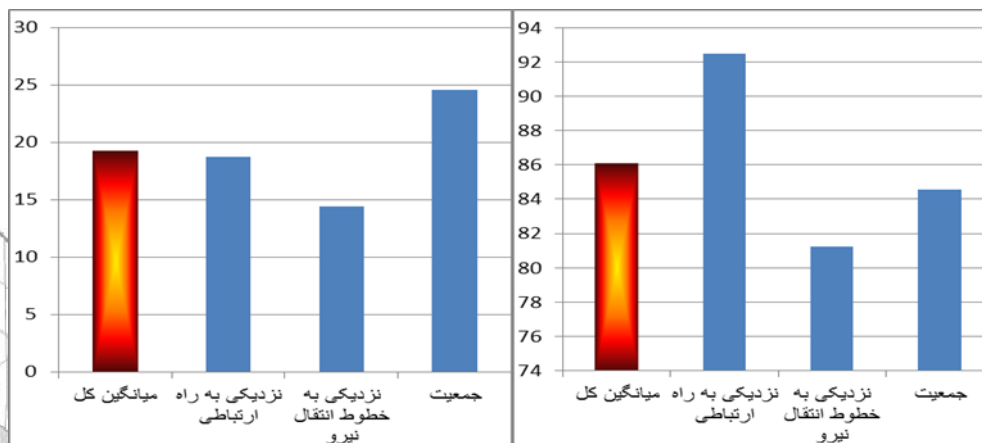
با توجه به عدم انطباق قابل قبول بین روش‌ها و اطمینان از صحت و دقت هر روش، لازم است تا نتیجه هر روش ارزیابی شود. بنابراین نتیجه بدست آمده از هر روش بر اساس سه فاکتور اصلی یعنی جمعیت، نزدیکی به راه و نزدیکی به خطوط انتقال نیرو که حدود ۸۰ درصد وزن‌ها را شامل می‌شوند، ارزیابی شد. بدین صورت که مقدار و درصد انطباق نتایج بدست آمده با این سه لایه محاسبه شد و نتیجه این انطباق در جدول ۵ و جدول ۶ نشان داده شده است. همچنین نمودار تطابق قواعد تصمیم‌گیری در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ نمایش داده شده است.

جدول ۵: مقدار انطباق تعداد سلول‌های رستری نتایج بدست آمده با گزینه‌های ایده آل سه معیار اصلی

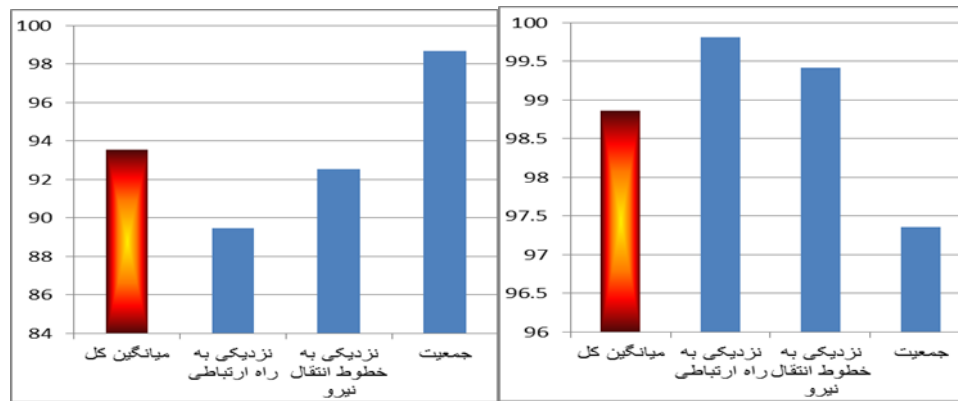
مجموع	نزدیکی به راه	نزدیکی به خطوط انتقال نیرو	جمعیت	قاعده تصمیم‌گیری
۱۷۹۱۵۷	۴۸۷۷۳	۵۴۷۴۲	۷۵۶۴۲	AHP
۶۰۳۹۳۱	۲۰۱۹۷۵	۱۸۴۵۱۱	۲۱۷۴۴۵	AHPFuzzy
۶۹۶۷۹۲	۲۱۴۵۳۳	۲۳۶۵۱۸	۲۴۵۷۴۱	فازی
۸۲۳۵۱۵	۲۸۴۴۱۷	۲۶۴۵۲۷	۲۷۴۵۷۱	تاپسیس
۷۱۷۹۲۴	۲۱۹۸۷۴	۲۱۵۴۷۵	۲۸۲۵۷۵	تاپسیس فازی

جدول ۶: درصد انطباق قواعد تصمیم‌گیری مختلف با گزینه‌های ایده آل سه معیار اصلی

مجموع به درصد	نزدیکی به راه	نزدیکی به خطوط انتقال نیرو	جمعیت	قاعده تصمیم‌گیری
۰.۳۸۴۵۷	۰.۳۵۸۸۷	۰.۲۶۹۹۱	۰.۲۷۶۵۵	AHP
۰.۵۱۳۲۵	۰.۵۶۴۵۸	۰.۳۴۸۷۱	۱	AHPFuzzy
۰.۶۷۴۵۵	۰.۵۹۲۲۷	۱	۰.۳۴۸۷۱	فازی
۰.۷۳۱۴۹	۱	۰.۵۹۲۲۷	۰.۵۶۴۵۸	تاپسیس
۱	۰.۷۳۱۴۹	۰.۶۷۴۵۵	۰.۵۱۳۲۵	تاپسیس فازی



شکل ۱۱: نمودار تطابق روش ahp با سه معیار (سمت راست) نمودار تطابق روش فازی با سه معیار (سمت چپ)



شکل ۱۲: نمودار تطابق روش AHPFuzzy با سه معیار اصلی (سمت راست) نمودار تطابق روش تاپسیس با سه معیار (سمت چپ)

بحث و نتیجه‌گیری

- با توجه به نتایج ویژگی‌های اصلی تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی در شناسایی مناطق مستعد احداث شهرک صنعتی را می‌توان به این صورت خلاصه کرد:
 - الف) می‌توان تحلیل چند معیار متعارض و ناسازگار را با هم آسان کرد.
 - ب) به تصمیم‌گیر این امکان داده شد تا مسئله‌ای که در آن تعدادی گزینه مطرح است حل کرده و مجموع گزینه‌ها را تا یک اندازه معنی‌دار کاهش دهد.
 - ج) این روش داده‌های مکانی و غیر مکانی و اولویت‌های تصمیم‌گیران را با هم ترکیب کرد.
- با بررسی‌های انجام شده می‌توان نتیجه‌گیری کرد که در شهرستان ملایر مناطق مناسبی برای احداث شهرک صنعتی وجود دارد و می‌توان بخشی از نیاز شهرستان را با شناسایی مکان مناسب جهت احداث تامین نمود.
- مناطق معرفی شده به عنوان مکان‌های بهینه نمی‌توانند کاملاً جامع باشند بنابراین فقط برای مطالعات تفصیلی و جامع‌تر معرفی می‌شوند.
- از روش‌های انجام گرفته برای مکان‌یابی، روش تاپسیس و تاپسیس فازی به عنوان روشی با عملکرد بهتر معرفی شد. روش‌های بعدی به ترتیب عبارتند از: تاپسیس فازی، فازی، روش هم‌پوشانی شاخص و بولین. البته این نظر بر اساس ارزیابی‌های مبتنی بر سه فاکتور اصلی می‌باشد.
- مهمترین فاکتورهای مکان‌یابی شهرک صنعتی در شهرستان ملایر با در نظرگیری سه دیدگاه مطالعه شده به ترتیب اولویت عبارتند از:
 - الف) جمعیت
 - ب) نزدیکی به خطوط انتقال نیرو نزدیکی به راه این فاکتورها در مجموع حدود ۸۰ درصد وزن کل معیارها را شامل می‌شوند.
 - ج) با استفاده از فن‌آوری سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی و تلفیق آن با روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره مکانی می‌توان این روش‌ها را در شهرستان دیگر استان همدان و کشور جهت شناسایی مناطق مستعد برای احداث شهرک صنعتی، استفاده کرد.

منابع

- افسانه افضلی، نورالله میرقادری، علیرضا سفیانپان، کاربرد سامانه اطلاعات جغرافیایی و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی در مکان‌یابی محل دفن پسماندهای شهری: مطالعه موردی شهرستان نجف‌آباد، مجله علمی پژوهشی بوم‌شناسی کاربردی، دوره دوم، شماره ششم، دانشگاه صنعتی اصفهان، ۱۳۹۴.
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح، www.ngo-org.ir
- سازمان برنامه و بودجه کشور، سازمان نقشه برداری کشور info@ncc.org.ir
- عقیل مددی محمد آزادی مبارکی، فریدون بابایی اقدم، مدل سازی مکان‌های مناسب دفن زباله با استفاده از روش‌های AHP، منطق فازی، شاخص همپوشانی وزنی و منطق بولین (مطالعه موردی شهر اردبیل)، نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۱۷، شماره ۴۵، دانشگاه محقق اردبیلی، پاییز ۱۳۹۲.
- مرضیه مهتابی اوغانی، اکبر نجفی، حبیب‌الله یونسی، مقایسه دو روش فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و تاپسیس در مکان‌یابی محل دفن پسماندهای شهری (مطالعه موردی: انتخاب محل دفن پسماند شهری کرج)، مجله سلامت و محیط، فصلنامه علمی پژوهشی انجمن علمی بهداشت محیط ایران، دوره ششم، شماره سوم، پاییز ۱۳۹۲.
- نعمت‌الله اکبری، مهدی زاهدی کیوان، منصور زاهدی کیوان، اندازه‌گیری ریسک کشت محصولات زراعی در استان همدان با استفاده از برنامه‌ریزی ریاضی تحت شرایط ریسک و نبود قطعیت، فصلنامه علمی پژوهشی اقتصاد کشاورزی و توسعه، دوره شانزدهم، شماره ۶۴، تابستان ۱۳۸۷.
- Gemitizi, A., Tsihrintzis, V., christou, A., Petalas, O. (2007). Use of GIS in siting stabilization pond facilities for domestic wastewater treatment, J of Environmental Management, 82(1): 155-166.
- Ni-Bin Chang. G. Parvathinathan, Jeff B. Breeden, (2008). Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region, Journal of Environmental Management. 6(3):139-153.
- Vastava, Sh., Nathawa, T., 2003. Selection of potential waste disposal sites around ranchi urban complex using remote sensing and GIS techniques, urban planning, Map Asia Conference, pp. 35-89.