Online ISSN: 3041-9255

Journal of Human Ecology

journal homepage: http://www.landscapeecologyjournals.ir/

Research Paper

Locating industrial areas by combining physical and dynamic land criteria

Reza Peykanpour Fard [1] Ferial Farasat* [2]

1 PhD candidate, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan 84156-83111, Iran.
2 PhD candidate, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan.Iran.

Keywords

Site selection Industrial development Air pollution Multi Criteria Decision Making (MCDM)

A B S T R A C T

By preparing and implementing land exploitation and productivity plans before the emergence of land planning science in the world, humans have tried to optimally use land resources (water and land) for major human uses. Such plans often fail due to the lack of involvement of the land's natural talents in the exploitation process, and as a result, environmental damage has been caused to humans following the implementation of such plans. Evaluating the ecological potential of land as one of the tools for moving towards sustainable development has sought to measure the availability and latent potential of the land with specific and pre-planned criteria and standards. Approaches to spatial planning are changing as societies become more complex. The purpose of this research is to locate industrial areas in Mobarakeh County with attention to air pollution criteria. To do this, considering the PM10 and NOx distribution map obtained from the AERMOD software, standardization and determination of the weight of the ecological, physical, and socio-economic criteria and sub-criteria of industrial use were carried out using the AHP model, and the suitability of evaluating the power of the region was obtained using the WLC method. Finally, the best spots for industrial use were identified using the TOPSIS method. The results of this research included prioritizing industrial options with attention to air pollution, which identified 4 options, the weight of the first option was 0.24, the second option was 0.19, the third option was 0.43, and the fourth option was 0.14, and as a result, the best spot for industrial use development was determined. The above shows that to achieve sustainable and appropriate development, it is better to use dynamic physical factors such as air pollution along with the use of ecological, socio-economic, and sustainable physical criteria in a region to obtain more acceptable results with minimal damage to the environment.

سال سوم، شماره هفتم ، تابستان ۱۴۰۳، ۵۵۱-۵۶۳.

شاپای الکترونیکی: ۹۲۵۵-۳۰۴۱

فصلنامه اکولوژی انسانی

http:// www.landscapeecologyjournals.ir

مقاله پژوهشی

مکان‌یابی مناطق صنعتی با تلفیق معیارهای فیزیکی و پویای سرزمین

رضا پیکانپور فرد [۱] فریال فراست* [۲]

[۱] دانشجوی دکتری گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

[۲]دانشجوی دکتری گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

چکیده

انسان با تهیه تدوین و اجرای طرح‌های بهره‌برداری و بهره‌وری از سرزمین پیش از پیدایش دانش آمایش در جهان، سعی در استفاده مطلوب از منابع سرزمین (آب و زمین) برای مصارف عمده انسانی داشته است. این‌گونه طرح‌ها به خاطر دخالت ندادن استعدادهای طبیعی سرزمین در فرآیند بهره‌برداری اغلب دچار مخمصه شده، درنتیجه به دنبال اجرای این‌گونه طرح‌ها خرابی محیط‌زیست عاید انسان شده است. ارزیابی توان اکولوژیک سرزمین به‌عنوان یکی از ابزارهای حرکت در راستای توسعه پایدار، به دنبال سنجش موجودی و توان نهفته سرزمین با ملاک‌ها و معیارهای مشخص و از پیش طرح ریزی شده است. رویکردها به برنامه‌ریزی فضایی همگام با پیچیده‌تر شدن جوامع دگرگون می‌شوند. هدف از این پژوهش مکان‌یابی مناطق صنعتی در شهرستان مبارکه با لحاظ معیار آلودگی هوا می‌باشد. برای انجام این کار با لحاظ نقشه پراکنش PM10 و NOx حاصل از نرم‌افزار AERMOD است به استانداردسازی و تعیین وزن معیارها و زیرمعیارهای اکولوژیک، فیزیکی و اقتصادی-اجتماعی کاربری صنعتی با استفاده از مدل AHP پرداخته شد و مطلوبیت ارزیابی توان منطقه با روش WLC به‌دست آمد. درنهایت بهترین لکه‌ها برای کاربری صنعتی با استفاده از روش TOPSIS تشخیص داده شد. نتایج این پژوهش شامل اولویت‌بندی گزینه‌های صنعتی باتوجه به آلودگی هوا بود که ۴ گزینه شناسایی گردید که وزن گزینه اول ۰/۲۴، گزینه دوم ۰/۱۹، گزینه سوم ۰/۴۳ و گزینه چهارم ۰/۱۴ به‌دست آمد و درنتیجه بهترین لکه برای توسعه کاربری صنعتی مشخص شد. موارد فوق نشان می‌دهد که به‌منظور دستیابی به توسعه پایدار و درخور بهتر است به‌همراه استفاده از معیارهای اکولوژیک، اقتصادی-اجتماعی و فیزیکی پایدار در یک منطقه از فاکتورهای فیزیکی پویا مانند آلودگی هوا نیز استفاده شود تا نتایج قابل قبول‌تر با کمترین خسارت به محیط‌زیست به‌دست آید.

واژگان کلیدی

مکان‌یابی توسعه صنعتی

آلودگی هوا تصمیم‌گیری چند معیاره

۱. مقدمه

انسان با تهیه تدوین و اجرای طرح‌های بهره‌برداری و بهره‌وری از سرزمین (طرح‌های جنگلداری، پارک داری، شهرسازی و سایر پارامترهای مشابه) پیش از پیدایش دانش آمایش در جهان، سعی در استفاده مطلوب از منابع سرزمین (آب و زمین) برای مصارف عمده انسانی (چوب، تفرج، مسکن و سایر پارامترهای مشابه) داشته است. این‌گونه طرح‌ها به خاطر دخالت ندادن استعدادهای طبیعی (توان اکولوژیک) سرزمین در فرآیند بهره‌برداری اغلب دچار مخمصه شده، درنتیجه به دنبال اجرای این‌گونه طرح‌ها خرابی محیط‌زیست عاید انسان شده است (مخدوم، ۱۳۷۸). بالا رفتن سطح زندگی در قرن حاضر مدیون ایجاد و توسعه سریع کشاورزی و صنعت است. مسئله برخورداری انسان از زندگی و محیط بهتر در آینده ازنظر کمی و کیفی به توسعه اقتصادی و ضرورتاً توجه به انتخاب محل صنایع و گسترش اقتصادی آن بستگی دارد. در حال حاضر بخش مهمی از بررسی‌های جغرافیایی و محیط‌زیستی را موضوعات مربوط به صنایع قابل توجه در زندگی مردم به‌ویژه نواحی تمرکز صنایع تشکیل می‌دهد (هاشمیان و همکاران، ۱۳۹۲).

منابع اکولوژیک و منابع اقتصادی–اجتماعی از اصلی‌ترین منابع انسان و طبیعت محسوب می‌شوند. منابع اکولوژیک همیشه به‌عنوان یک منبع بدون در نظر گرفتن محدودیت‌های آن برای رفع احتیاجات جوامع بشری بوده است؛اما در راستای تحقق توسعه پایدار برای برنامه‌ریزی فضایی هر منطقه با انواع کاربری‌ها باید این دو منبع باتوجه به نیازهای بشری و با در نظر گرفتن توان طبیعی منطقه مورد نظر صورت گیرد (ایران پور، ۱۳۹۲). ازآنجاکه تغییرات کاربری اراضی به‌عنوان تغییرات اساسی تلقی می‌شوند، دسترسی به آمار و اطلاعات به‌روز و به‌هنگام شده و آگاهی از روند این تغییرات از عوامل کلیدی در برنامه‌ریزی‌ها، تصمیم‌گیری‌ها و ابزارهای مدیریت در هر سازمانی است؛ که این امر با کاربرد فرآیند آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی میسر خواهد شد (حمایتی فر، ۱۳۹۵).

ارزیابی توان اکولوژیک سرزمین به‌عنوان یکی از ابزارهای حرکت در راستای توسعه پایدار، به دنبال سنجش موجودی و توان نهفته سرزمین با ملاک‌ها و معیارهای مشخص و از پیش طرح ریزی شده است (نوری و طالبی، ۱۳۹۷). رویکردها به برنامه‌ریزی فضایی همگام با پیچیده‌تر شدن جوامع دگرگون می‌شوند. این‌گونه دگرگونی‌ها، در تنوع‌پذیری روزافزون الگوهای فعالیت و تحرک افراد، خانوار، گروه‌ها، نهادها و سازمان‌ها بازتاب می‌یابد. بدین ترتیب، درحالی‌که بعضی مفاهیم، همچون مسافت و حرکت در جوامع شبکه‌ای توسعه‌یافته اهمیت خود را به‌طور نسبی از دست می‌دهند. مفاهیم تازه‌ای همچون زمان و زمان–فضا اهمیت می‌یابند. واقعیت این است که در اقتصادهای کمتر توسعه‌یافته مسائل مرتبط با برنامه‌ریزی فضایی از سرشتی متفاوت برخوردار هستند. پاسخگویی مناسب به این مسائل، مستلزم گسترش قابلیت برنامه‌ریزی راهبردی سازگار و تحول در شیوه برنامه‌گذاری است (سعیدی، ۱۳۹۱).

مهم‌ترین اصل در ارزیابی توان سرزمین شناسایی منابع اکولوژیک، فیزیکی و اقتصادی–اجتماعی برای کاربری‌های موردنظر کاربر است. سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS[1]) یک نرم‌افزار بسیار قوی در انجام اینگونه مطالعات می‌باشد. در توسعه متوازن و پایدار منطقه‌ای (GIS) و سنجش از دور (RS[2]) می‌توان کمک گرفت (پیکانپور فرد و همکاران، ۱۴۰۳). نرم‌افزار GIS در زمینه تصمیم‌گیری به‌تنهایی کاربرد ندارد و به مدل‌های تصمیم‌گیری مانند روش‌های ارزیابی چند معیار (MCE[3]) وابسته است (الداندای و همکاران[4]، ۲۰۰۵) درنتیجه استفاده هم‌زمان از نرم‌افزار GIS و یکی از روش‌های تصمیم‌گیری برای ارزیابی توان هر نوع کاربری مناسب است (چن و همکاران[5]، ۲۰۰۹).

GIS مجموعه‌ای متشکل از اطلاعات تصویری (نقشه‌ها) و اطلاعات توصیفی و رقومی مربوط به عوارض زمین است. این دو گروه از اطلاعات رابطه منسجمی دارند. در سیستم اطلاعات جغرافیایی، پدیده‌های (عوارض) روی زمین و اطلاعات مربوط به آن پدیده‌ها یکجا و به‌صورتی منسجم جمع شده‌اند. به‌طور خلاصه GIS مجموعه‌ای مرتبط از سخت‌افزارها و روش‌ها است که به

[1] Geographic Information System
[2] Remote Sensing
3 Multi Criteria Evaluation
4 Eldrandaly et al
5 Chen et al

کمک آن می‌توان عمل وارد کردن، ذخیره، تلفیق، تحلیل و بازیابی اطلاعات چند موضوعی جغرافیایی را برای حل مسائل برنامه‌ریزی و مدیریت و ارزیابی‌های محیطزیستی انجام داد (مالکوسکی[1]، ۲۰۰۶).

منابع در دسترس انسان برای بهره‌برداری در کره زمین بسیار محدود است و همین منابع محدود نیز در اثر استفاده بی‌رویه و نادرست در حال نابودی می‌باشند. استفاده غیرمنطقی انسان از سرزمین در بسیاری از نقاط دنیا که منجر به نابودی پتانسیل های طبیعی و منابع موجود در آن شده دیگر جای شکی باقی نمی‌گذارد که نایل شدن به توسعه پایدار، مستلزم اجرای انواع طرح‌های توسعه و بهره‌برداری از منابع طبیعی براساس توان بالقوه منابع و ظرفیت قابل تحمل محیطزیست است. تعیین توان بالقوه و تخصیص کاربری‌های متناسب با توان روشی است که می‌تواند میان توان طبیعی محیط، نیاز جوامع و کاربری‌ها و فعالیت‌های انسان در فضا یک رابطه منطقی و یک سازگاری پایدار به‌وجود آورد. ارزیابی توان ابزاری برای برنامه‌ریزی راهبردی استفاده از سرزمین است که بر دو منبه مهم توان منا بع و اقتصاد استوار است (مخدوم، ۱۳۷۸).

به‌منظور حل مسئله انتخاب، از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود و یکی از روش‌های متداول استفاده از روش MCDM[2] است. MCDM یک روش روش‌شناختی ارائه می‌دهد که به‌طور هم‌زمان از معیارهای تصمیم‌گیری درباره سود و هزینه اطلاعات و نظرات تصمیم‌گیرندگان برای حذف گزینه‌های کم‌اهمیت از لیست گزینه‌های دیگر استفاده می‌کند (ایموون و آقانیورو[3]، ۲۰۲۰).

درواقع توسعه پایدار بدون نگاه به ارزیابی توان و برنامه‌ریزی فضایی غیر قابل دسترسی است (منوری، ۱۳۸۷). امروزه یافتن مکان‌های مناسب برای ایجاد فعالیت در یک حوزه جغرافیایی معین جزء مراحل مهم پروژه‌های اجرایی، به‌ویژه در سطح کلان و ملی، بشمار می‌رود. مکان‌های انتخابی باید در حد امکان شرایط لازم را دارا باشند و عدم بررسی این شرایط قبل از اجرای پروژه‌ها، نتایج نامطلوب فراوانی را به دنبال خواهد داشت. به همین دلیل هدف در این پژوهش جانمایی مناطق صنعتی در شهرستان مبارکه است که از تلفیق معیارهای پویا از جمله آلودگی هوا با معیارهای فیزیکی معمول استفاده شده است.

۲. پیشینه پژوهش:

مطالعه‌ای که در مورد پیش‌بینی مستعدترین پهنه‌های کشاورزی حوضه آبخیز تجن با به کارگیری روش ارزیابی چند معیاره[4] توسط رجائی و همکاران در سال (۱۳۹۵) انجام پذیرفت آنها به این نتیجه رسیده‌اند که در چند دهۀ اخیر تغییر اکثر کاربری‌ها بدون درنظرگرفتن قابلیت‌ها و محدودیت‌های محیط زیستی مشکلات بسیاری مانند تخریب خاک و آلودگی اکوسیستم‌های آبی را به دنبال داشته است. نابراین به تحقیق در مورد بررسی چگونگی کاهش آثار تغییرات کاربری اراضی احتمالی آینده در حوضه آبخیز تجن با بررسی توانایی بالقوه اراضی به‌عنوان راهکاری برای حفاظت از منابع طبیعی پرداخته‌اند. نتایج حاصل از کار آنها نشان داد که در طول دورۀ ۲۰۱۰ تا ۲۰۴۰ کاربری جنگلی ۳۴۷۳۹ هکتار کاهش و کاربری کشاورزی و مرتع به ترتیب ۲۷۰۷۱ و ۷۶۶۸ هکتار افزایش خواهد داشت و نیز ۳۴۷۳ هکتار از مستعدترین مناطق محتمل تغییر از کاربری جنگل به کاربری کشاورزی و مرتع استخراج خواهد شد. بنابراین باتوجه به نتایج حاصل از این مقاله انتظار می‌رود بررسی تغییرات کاربری اراضی آینده براساس قابلیت اکولوژیکی می‌تواند به حفاظت از جنگل‌های هیرکانی برای پیشگیری از تغییرات غیراصولی کاربری اراضی در دورۀ آتی منطقه کمک کند.

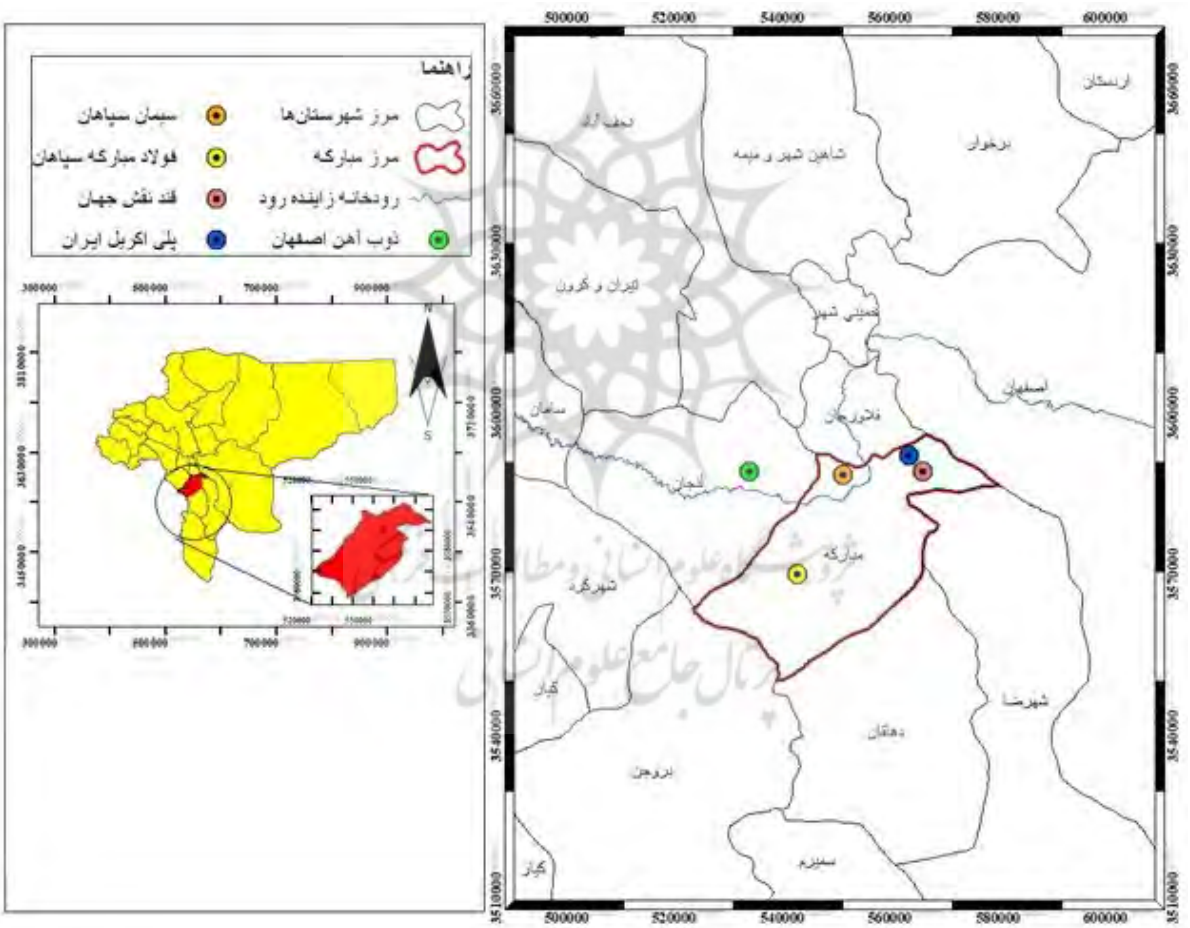
موحد و ناصری در سال (۱۳۹۶) در مقاله‌ای که درباره مکان‌یابی شهرک‌های صنعتی با استفاده از مدل منطق فازی در شهرستان مریوان می‌باشد به این نتیجه رسیده‌اند که امروزه استفاده از داده‌های مکانی و تحلیل فضایی درست آن‌ها برای بهره‌گیری در مکان‌یابی مناسب شهرک‌های صنعتی با اهمیت بوده و در تحقیقات از رشد فزاینده‌ای برخوردار شده است. در این پژوهش سعی آنها بر این بوده است که با شناسایی شرایط و فاکتورهای موثر در مکان‌یابی شهرک صنعتی و ارزیابی آن‌ها مکان‌های مناسبی برای شهرک صنعتی مشخص شود. برای این کار ۱۱ شاخص موثر به کار گرفته‌اند که شامل لایه‌های شیب، کاربری راضی، خطوط انتقال نیرو، فاصله از راه‌های ارتباطی، فاصله از سکونتگاه‌ها، فاصله از آبراهه‌ها، سطح آب زیرزمینی، ارتفاع، فاصله از گسل، لیتولوژی

1 Malczewski
2 Multi Criteria Decision Making (MCDM)
3 Emovon & Oghenenyerovwho
4 Multi Criteria Evaluation (MCE)

و خاکشناسی می‌باشد. بمنظور ارزیابی، مدل‌سازی و پیش بینی نواحی مناسب برای شهرک صنعتی از مدل منطق فازی استفاده کرده‌اند. درنهایت آن‌ها نقشه نهایی را به ۵ کلاس تناسب طبقه‌بندی کرده‌اند و مشخص شد که ۱۸/۲۲ درصد از منطقه مورد مطالعه (۳۶/۰۷ کیلومتر مربع) در کلاس با قابلیت تناسب مطلوب و ۶۶/۰۱ درصد از منطقه (۱۳۰/۶۹ کیلومتر مربع) در کلاس تناسب نامطلوب قرار می‌گیرد. نتایج تحقیق این مقاله نشان داد که پهنه‌های مساعد درجهت مکان‌یابی شهرک صنعتی بیشتر در بخش شرقی و جنوب غربی منطقه مورد مطالعه وجود دارند.

۳. منطقه مورد پژوهش:

شهرستان مبارکه در فاصلهٔ ۵۰ کیلومتری جنوب غربی اصفهان واقع شده و در موقعیت ۳۲ درجه و ۲۲ دقیقهٔ عرض شمالی از خط استوا و ۵۱ درجه و ۳۱ دقیقهٔ شرقی از نصف النهار گرینویچ قرار گرفته است. ارتفاع این شهرستان از سطح آبهای آزاد ۱۶۷۰ متر می‌باشد و شیب عمومی زمین منطقه از سمت جنوب به شمال و از غرب به شرق می‌باشد. میانگین دمای این منطقه ۱۲ درجهٔ سانتیگراد است و بادهایی که از سمت جنوب غربی می‌وزد باعث ایجاد تعادل در هوای آن منطقه می‌گردد. محدودهٔ قانونی شهر در طرح جامع شهر مبارکه با در نظر گرفتن محلات اقماری (قهنویه، محمدیه، سرارود، دهنو، شیخ آباد، اسماعیل ترخان و صفاییه) به میزان ۳۲ کیلومتر مربع و محدودهٔ استحفاظی آن نیز ۷۰ کیلومتر مربع می‌باشد (سالنامه آماری ۱۳۹۵ استان اصفهان).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

۴. مواد و روش‌ها

۱.۴. استانداردسازی و وزن‌دهی به زیرمعیارها

پس از انجام عملیات استانداردسازی زیرمعیارها باید به وزن‌دهی آن‌ها پرداخت روشی که در این پژوهش استفاده شد مقایسه زوجی (دوبه‌دو) توسعه‌یافته تحت عنوان فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) هست. روش تحلیل سلسله مراتبی توسط دکتر توماس ال ساعتی۱ (۱۹۹۶) توسعه‌یافته است. این روش شامل یک ماتریس است که در سطر و ستون ماتریس، فاکتورها مورد بررسی قرار می‌گیرند و اهمیت فاکتورها به‌صورت سطر و ستون مورد بررسی قرار گرفته‌اند و اهمیت فاکتور موجود در سطر نسبت به فاکتور موجود در ستون با ارزش‌هایی در محدوده بین ۰/۱۱۱ تا ۹ مشخص می‌شود که هرچه از ۰/۱۱۱ به ۹ نزدیک‌تر می‌شویم اهمیت فاکتور بیشتر می‌شود. در این ماتریس نمایه توافق۲ باید کمتر از ۰/۱ باشد تا AHP مورد قبول واقع شود (وانگ و همکاران[3]، ۲۰۰۹؛ دوسانتوس و همکاران[4]، ۲۰۱۶).

۲.۴. روش تهیه نقشه آلودگی هوا

عمده‌ترین آلاینده‌های هوا شامل NO_X، SO_X، CO، O_3، $PM_{2.5}$ و PM_{10} می‌باشد. منابع آلودگی هوا به‌صورت متحرک و غیر متحرک، انسانی و غیرانسانی، خطی، نقطه‌ای، پلی‌گونی و حجمی یا سطحی می‌باشد. AERMOD به‌صورت غیر متحرک، انسانی، نقطه‌ای و حجمی و همچنین جز مدل‌های پراکندگی می‌باشد. داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل اطلاعات دودکش‌های فولاد مبارکه سپاهان و ذوب‌آهن اصفهان برای آلاینده‌های PM_{10} و NO_X می‌باشد که در جدول ۳-۹ به آن اشاره شده است و همچنین از اطلاعات هواشناسی ایستگاه زرین‌شهر از تاریخ ۲۰۱۷/۰۳/۲۱ تا ۲۰۱۸/۰۳/۲۰ میلادی که معادل ۱۳۹۶/۰۱/۰۱ تا ۱۳۹۶/۱۲/۲۹ شمسی است استفاده شده که شامل فاکتورهایی مختلف هواشناسی ازجمله ابرناکی، جهت باد، سرعت باد، نقطه شبنم، بارندگی یک‌ساعته، رطوبت نسبی و دمای خشک می‌باشد (irimo.ir).

۳.۴. فرآیند مکان‌یابی

۱- فرآیند مکان‌یابی با نرم‌افزار Arc GIS ۱۰/۳ شامل یک‌سری مراحل معین و مشخصی بوده که برای دست‌یابی به نتایج قابل اطمینان اجرای آن‌ها اجتناب ناپذیر می‌باشد. به طور کلی فرآیند مکان‌یابی مبتنی بر پیدا کردن مناطق واجد شرایط برای هر کاربری است که خصوصیات مناسب هر کاربری با استفاده از تعریف معیارها و زیرمعیارها مشخص می‌شود. در این میان مهمترین بخش تعیین معیارهای مناسب است که زیربنای اصلی تمام زیرمعیارها محسوب می‌شود. در این پژوهش معیارها را به چهار دسته اصلی تقسیم شده‌اند که عبارت‌اند از (پیکانپور فرد و همکاران[5]، ۲۰۲۳):

۱) عوامل فیزیکی: مانند فاکتورهای مختلف از جمله آب، خاک و هوا
۲) عوامل بیولوژیکی: حفظ حریم مناطق چهارگانه در پی جلوگیری از وارد شدن آسیب به فون و فلور منطقه.
۳) عوامل اقتصادی و اجتماعی: فاصله از مراکز جمعیتی، دسترسی به نیروی کار مناسب و سایر موارد مشابه.
۴) عوامل زیرساختی: شامل عوامل و فاکتورهای مؤثر جهت تأمین امکانات زیربنایی مانند دسترسی مناسب به مانند جاده، آب، برق و گاز می‌باشد.

۲- راهبرد ترکیب خطی وزن‌دار (WLC[6]) محافظه کارانه با لحاظ کردن اولویت‌های پایین‌تر دیگر نقشه‌های موضوعی شرکت کننده در ارزیابی تناسب مکان‌های واجد تناسب برای کاربری را در درجات تناسب کمتر ارزیابی می‌کند که البته از نظر جمع‌نگری به عوامل به آنچه در طبیعت اتفاق می‌افتد نیز نزدکتر است (رجائی و همکاران ۱۳۹۵).

۱) تهیه ماتریس ارزیابی با بررسی پیشینه تحقیق و نظرات و تجربیات کارشناسان و خبرگان.

---

[1] Thomas L. Saaty
[2] Consistency Ratio
[3] Wang et al
[4] Dos Santos et al
[5] Peykanpour Fard et al
[6] Weighted Linear Combination (WLC)

۲) جمع‌آوری و آماده سازی لایه‌های اطلاعاتی و داده‌های مورد نظر (فرمت مناسب داده‌ها، مدل نمایش داده‌ها، کیفیت داده‌ها، زمان تهیه داده‌ها، مقیاس پروژه، محدوده و مرز منطقه مطالعاتی و...)

۳) استاندارد کردن داده‌ها: به معنای همسان کردن تغییرات داده‌ها بین صفر و یک می‌باشد. عوامل مورد استفاده در ارزیابی چند معیاری غالبا ماهیت متفاوتی دارند بنابراین معیار اندازه‌گیری آن‌ها نیز متفاوت است. جهت استفاده موثر از کلیه عوامل در تجزیه و تحلیل و ارتباط بین آن‌ها و در نهایت دستیابی به مکان‌یابی مناسب یا تناسب اراضی، ارزش‌های مربوط به هر لایه اطلاعتی تحت قاعده خاصی نرمال می‌شود. برای استاندارد کردن داده‌ها از روش‌های فازی استفاده می‌شود. توابع فازی تجزیه و تحلیل فرآیندهایی را که بدلیل تغییرات تدریجی در مکان تعیین مرز مشخص بین کلاس‌های مختلف آن‌ها مشکل است را امکان‌پذیر می‌کند. این توابع می‌توانند خطی، S شکل و یا J شکل باشند که هر سه نوع می‌توانند جز یکی از انواع کاهشی، افزایشی و یا متقارن قرار گیرند.

۴) وزن‌دهی معیارها و زیرمعیارها: معیارهای مکان‌یابی دارای اهمیت متفاوتی در فرآیند ارزیابی هستند و اهمیت و اثرگذاری مختلفی دارند. لذا در فرآیند ارزیابی لازم است اهمیت نسبی هرکدام از معیارها مشخص شود و براساس آن ضرایب ویژه‌ای به عنوان وزن در تجزیه و تحلیل‌ها اعمال گردد. روش‌های مختلفی برای تعیین وزن لایه‌ها یا معیارها وجود دارند که عبارت اند از:

- روش رتبه‌ای
- روش نسبتی
- روش تحلیل توازن
- روش مقایسه دوتایی: این روش بدلیل امکان مقایسه دو به دو معیارها از دقت بیشتری نسبت به سایر روش‌ها برخوادار است. این روش برای اولین بار توسط ال ساعتی در زمینه فرآیند تجزیه و تحلیل سلسله مراتبی ابداع شد که تعداد معیارها در این روش برای جلوگیری از پیچیدگی روابط نباید بیش از ۱۰ عدد باشد. با استفاده از این روش برای هرکدام از متغیرها وزن خاصی تعریف می‌گردد که اساس تعیین وزن در این روش را مقایسه دو به دو معیارها تشکیل می‌دهد. مجموع وزن‌های تعیین شده که اهمیت نسبی معیارها را نشان می‌دهد معادل یک است. در این روش اهمیت نسبی عوامل در یک مقیاس پیوسته به ۵ بخش تقسیم می‌گردد (جدول ۲).

جدول ۲. ضرایب تحلیل سلسله مراتبی

ضرایب	شدت اهمیت
۱	**اهمیت برابر**
۲	**اهمیت متوسط تا برابر**
۳	**اهمیت متوسط**
۴	**اهمیت متوسط تا قوی**
۵	**اهمیت قوی**

۵) تلفیق و تحلیل اطلاعات: لایه‌های وزن‌دهی شده و استاندارد شده تلفیق می‌شوند و سپس طبق مدل مفهومی میزان تناسب را محاسبه خواهیم کرد.

یکی از دلایل کاربرد گسترده این مدل سادگی کاربرد و درک آسان آن برای تصمیم سازان است. این مدل دو مولفه اصلی دارد که شامل وزن فاکتورها و لایه مورد استفاده است. الگوریتم مورد بررسی در این مدل به شرح فرمول ذیل است (مالکوسکی[1]،

[1] Malczewski

:۲۰۰۴)

$$S = \sum_{n}^{i=1} W_i \cdot X_i \times C_j \qquad (۱)$$

- S: تناسب برای هر کاربری؛
- Wi: وزن فاکتور i که با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی تعیین می‌گردد؛
- Xi: فاکتور i شامل فاکتورهای مورد بررسی؛
- Cj: لایه‌های محدودیت که شامل نقشه‌های بولین هستند.

۳- روش رتبه‌بندی براساس تشابه به راه‌حل ایده‌آل یا همان TOPSIS یکی از روش‌های ارزیابی چند معیاره است که توسط هوانگ و یون[1] (۱۹۸۱) ایجاد شد. در این روش گزینه‌ای مناسب است و اولویت بالاتری دارد که حداقل فاصله را نسبت به راه‌حل ایده‌آل مثبت و حداکثر فاصله را نسبت به راه‌حل ایده‌آل منفی داشته باشد (پیکانپور فرد و همکاران، ۱۴۰۰).

۱) تشکیل ماتریس تصمیم: گام اولیه این روش تشکیل ماتریس تصمیم است. ماتریس تصمیم این روش شامل یکسری معیار و گزینه می‌باشد. یک ماتریسی که معیارها در ستون ها قرار می‌گیرند و گزینه ها در سطر هستند و هر سلول ماتریس، ارزیابی هر گزینه نسبت به هر معیار است. بعد از اینکه ماتریس تصمیم تشکیل شود باید توسط نظرات خبرگان تکمیل گردد که این فرایند توسط طیف لیکرت[2] یا ساعتی و یا اعداد واقعی صورت می‌گیرد. در مواقعی که معیار کمی است، عدد واقعی آن برای هر گزینه مورد استفاده قرار می‌گیرد اما در مواردی که معیار کیفی است و عدد کمی برای آن مفهومی ندارد از طیف مورد نظر برای آن استفاده می‌کنیم.

۲) بی‌مقیاس کردن ماتریس تصمیم (نرمال سازی ماتریس تصمیم): بی‌مقیاس کردن در روش TOPSIS با استفاده از روش‌های زیر صورت میگیرد.

- بی‌مقیاس کردن خطی
- بی‌مقیاس کردن فازی
- بی‌مقیاس کردن با استفاده از مجموع نرم: از تقسیم هر سلول بر جذر مجموع مربعات تمام سلول‌های موجود در یک ستون بدست می‌آید.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} x_{ij}^2}} \qquad (۲)$$

۳) تعیین ماتریس بی‌مقیاس وزن‌دار: در این گام باید وزن معیارها که از روش‌های دیگر بدست آمده است را در ماتریس نرمال ضرب کنیم تا ماتریس وزن‌دار حاصل شود (روش TOPSIS به تنهایی قادر به محاسبه وزن معیارها نیست بنابراین باید از روشهای دیگر نظیر فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، آنتروپی و... وزن معیارها را محاسبه کرد و به عنوان ورودی به این روش داد).

۴) یافتن راه‌حل ایده‌آل و ضد ایده‌آل: در این خصوص باید نوع معیارها مشخص شود معیارها یا جنبه مثبت و یا منفی دارند. معیارهای مثبت معیارهایی هستند که افزایش آن‌ها باعث بهبود در سیستم می‌شوند و ضد ایده‌آل که افزایش آن‌ها باعث تضعیف سیستم می‌شوند.

- برای معیارهایی که بار مثبت دارند ایده‌آل مثبت بزرگترین مقدار آن معیار است.

[1] Hwang and Yoon
[2] Likert spectrum

- برای معیارهایی که بار مثبت دارند ایده‌آل منفی کوچکترین مقدار آن معیار است.
- برای معیارهایی که بار منفی دارند ایده‌آل مثبت کوچکترین مقدار آن معیار است.
- برای معیارهایی که بار منفی دارند ایده‌آل منفی بزرگترین مقدار آن معیار است.

۵) محاسبه فاصله از راه‌حل ایده‌ال و ضد ایده‌آل: در این گام براساس روابط زیر فاصله هر گزینه ایده‌ال مثبت و منفی محاسبه می‌شود.

$$d_i^+ = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_j^+)^2} \qquad (۳)$$

$$d_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (v_{ij} - v_j^-)^2} \qquad (۴)$$

۶) محاسبه شاخص شباهت و رتبه بندی گزینه‌ها: شاخص شباهت نشان‌دهنده امتیاز هر گزینه است و براساس رابطه زیر محاسبه می‌شود هرچقدر این شاخص به عدد یک نزدیکتر باشد نشان از برتری آن گزینه است.

$$cl_i = \frac{d_i^-}{d_i^- + a_i^+} \qquad (۵)$$

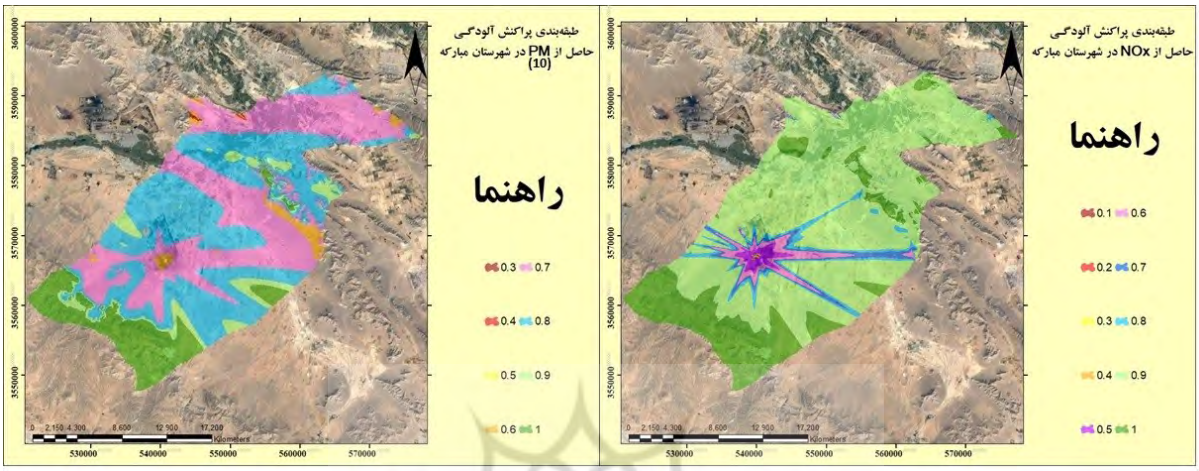
۵. یافته‌های پژوهش

در مقایسه زوجی فاکتورهای مؤثر در مکان‌یابی مناطق صنعتی باتوجه به آلودگی هوا به فاکتور شیب با ۰/۲۴۱ بیشترین وزن نسبی و به فاکتور شوری زمین با ۰/۰۰۶ کمترین وزن تعلق گرفته است. در این مقایسه نرخ ناسازگاری ۰/۰۱ برآورد شده است (جدول ۳). نتایج حاصل از بررسی نرخ انتشار برحسب گرم بر ثانیه با توجه به‌سرعت خروجی آلاینده، دبی خروجی و نوع سوخت واحد مربوطه و همچنین نتایج مدل‌سازی در این فصل ارائه می‌گردد. در این پژوهش، غلظت NOx و PM_{10} در بازه زمانی یک‌ساله و ماهانه شبیه‌سازی شد. تفاوت این بازه‌ها در این است که نرم‌افزار برای شبیه‌سازی غلظت آلاینده‌ها، کل بازه مدل‌سازی را به بازه‌های موردنظر تقسیم کرده و بیشترین غلظت پیش‌بینی شده در یک نقطه معین را در هر بازه به‌عنوان میزان غلظت در آن نقطه برآورد می‌کند. در این پژوهش از نتایج سالانه آلودگی هوا در مکان‌یابی کاربری‌های مختلف استفاده شد که دلیل آن است که تنها با استناد به اینکه یک منطقه مکانی در یک بازه زمانی برای مثال یک ماه یا یک فصل آلوده بوده است نمی‌شود نقشه کاربری برای آن تهیه کرد (شکل ۲).

جدول ۳. وزن‌های زیرمعیارهای پژوهش

فاکتورها	وزن فاکتور (باتوجه به آلودگی)	فاکتورها	وزن فاکتور (باتوجه به آلودگی)
شیب	۰/۲۴۱	مناطق کشاورزی	۰/۰۷۰
گسل	۰/۰۹۸	زمین بایر	۰/۰۰۹
بافت خاک	۰/۰۴۰	شوره زار	۰/۰۰۶
PM	۰/۰۶۰	منطقه حفاظت شده	۰/۰۱۰
NO_x	۰/۰۳۰	راه اصلی	۰/۱۰۶
رودخانه	۰/۱۲۱	راه فرعی	۰/۰۱۳

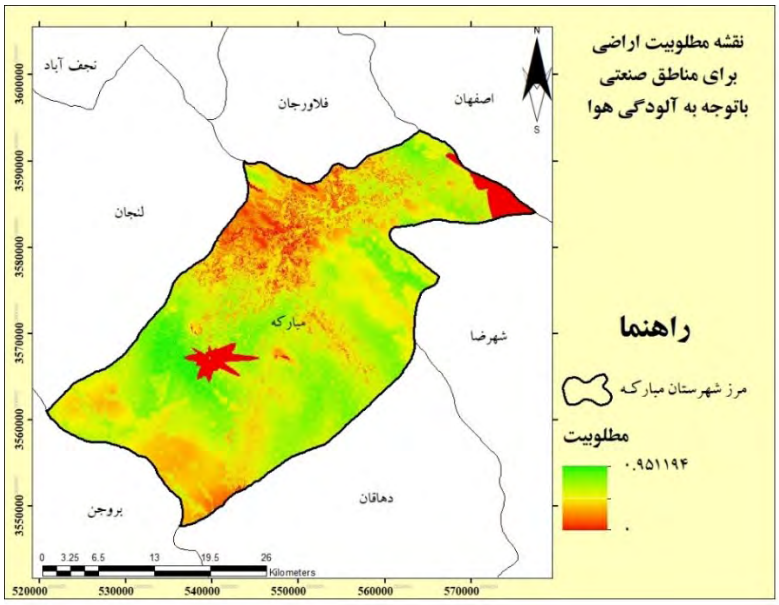
چاه، چشمه و قنات	۰/۰۲۴	راه آهن	۰/۰۲۶
مرتع درجه سه	۰/۰۱۵	شهر	۰/۰۳۵
مرتع درجه دو	۰/۰۲۶	روستا	۰/۰۱۸
مرتع درجه یک	۰/۰۴۳	صنایع و معادن	۰/۰۰۹



شکل ۲. طبقه‌بندی پراکنش آلودگی حاصل از NOx و PM_{10} فولاد مبارکه و ذوب‌آهن در شهرستان مبارکه

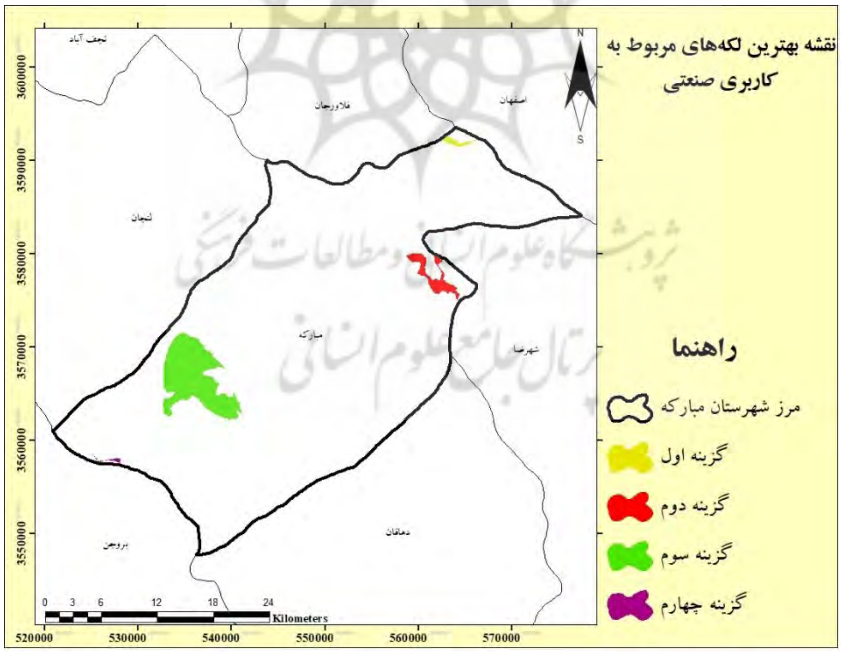
شکل ۳ نقشه مطلوبیت نهایی منطقه برای توسعه مناطق صنعتی را بدون توجه به آلودگی هوا را نشان می‌دهد. در این تصویر میزان مطلوبیت هر پیکسل از منطقه که ۹۰۰ متر می‌باشد با مقداری بین ۰ تا ۱ مشخص شده است. برای به‌دست آوردن ضریب اهمیت هریک از معیارها (افزایش یکپارچگی، گسستردگی وسعت، نزدیکی به منابع آب خطی (کلنال‌ها)، دوری از مناطق مهم زیستی و نزدیکی به پایانه‌های مسافربری) در ارزیابی توان صنعتی از مقایسه زوجی استفاده گردید که در این مقایسه به معیار یکپارچگی بیشترین وزن نسبی و معیار مناطق مهم زیستی کم‌ترین وزن نسبی تعلق گرفت (شکل ۴). در نقشه نهایی اولویت‌بندی گزینه‌های صنعتی باتوجه به آلودگی هوا، ۴ گزینه شناسایی گردید که وزن گزینه اول ۰/۲۴، گزینه دوم ۰/۱۹، گزینه سوم ۰/۴۳ و گزینه چهارم ۰/۱۴ به‌دست آمد و درنتیجه بهترین لکه برای توسعه کاربری صنعتی مشخص شد که در شکل ۵ بر اساس رنگ آن‌ها قابل تشخیص است.

پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۳. نقشه مطلوبیت برای مکان‌یابی مناطق صنعتی باتوجه به آلودگی هوا بر اساس روش WLC

شکل ۴. ضریب اهمیت معیارها برای اولویت‌بندی گزینه‌های صنعتی



شکل ۵. نقشه نهایی حاصل از اولویت‌بندی گزینه‌های صنعتی با استفاده از مدل TOPSIS باتوجه به آلودگی هوا

۶. بحث، نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این تحقیق با ترکیب دو روش پشتیبان تصمیم‌گیری شامل تحلیل سلسله مراتبی و ترکیب خطی وزن‌دار در کنار بهره‌گیری از توابع فازی، مطلوبیت اراضی به‌منظور توسعه کاربری صنعتی نقشه سازی شد. پردازش WLC امکان جایگزینی

کامل بین فاکتورها را فراهم می‌کند؛ اما مقدار جایگزینی هر فاکتور با دیگری بر اســاس وزن فاکتور برآورد می‌گردد. در مورد ریسک نسبی نیز مشاهده شد که تابع AND یک تابع ضد ریسک است، درحالی‌که تابع OR یک تابع ریسک‌پذیر است. این دو مورد، دو حد بالا و پایین ریسک هستند. WLC در وسط این حد قرار دارد؛ بنابراین WLC دارای قابلیت جبران کامل و ریسک میانگین است. در این پژوهش به دلیل همگن بودن فاکتورها در عوض استفاده از روش OWA که به‌غیراز استفاده از وزن هر فاکتور قادر به رتبه‌بندی آن‌ها نیز می‌باشد از روش WLC استفاده شد. البته برای جلوگیری از خطا حاصل از جبران کامل بین فاکتورها در این روش حد پایینی تعیین شده بعضی از فاکتورها برای هر کاربری از قبیل آلودگی هوا و مناطق چهارگانه صفر در نظر گرفته شــد که به هیچ عنوان با فاکتورهای دیگر قابل جبران نباشــند. درنتیجه ریســک WLC در این روش پایین‌تر از حد میانه تخمین زده می‌شود.

تاکنون پژوهش‌های متعددی در رابطه با ارزیابی توان انواع کاربری‌ها و برنامه‌ریزی کاربری اراضــی در مناطق مختلف بدون لحاظ معیار آلودگی هوا انجام شده است. برای نمونه در انتخاب مکان‌های مناسب برای مناطق صنعتی با استفاده از معیارها و زیرمعیارهای ســنتی و بدون در نظر گرفتن تأثیر معیار آلودگی هوا مکان‌یابی این مناطق انجام شــده اســت. به‌عبارتی تعارضــات کاربری صنعتی و آلودگی هوای حاصل از آن با سایر کاربری‌های موجود در منطقه دیده نشده است (کیو و همکاران[1]، ۲۰۱۳؛ خاوران-گرمسیر و رضایی[2]، ۲۰۱۵).

بهبودهای ذکر شــده در این پژوهش ارتباطی به زمان یا مکان معینی ندارد و قابلیت اســتفاده در هر منطقه‌ای از زمین را دارد. باتوجه به پژوهش‌هایی که در این حوزه مورد بررسی قرار گرفته‌اند به نظر می‌رسد این پژوهش یکی از پژوهش‌های پیشگام است که به تلفیق معیار آلودگی برای برنامه‌ریزی کاربری اراضــی و مکان‌یابی کاربری‌های مختلف پرداخته اســت. موارد فوق نشــان می‌دهد که به‌منظور دستیابی به توسعه پایدار و درخور بهتر است به‌همراه استفاده از معیارهای اکولوژیک، اقتصادی-اجتماعی و فیزیکی پایدار در یک منطقه از فاکتورهای فیزیکی پویا مانند آلودگی هوا نیز استفاده شود تا نتایج قابل قبول‌تر با کمترین خسارت به محیط‌زیست به‌دست آید. پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی از فاکتورهای بیشتری (برای مثال SOX) برای لایه آلودگی هوا استفاده شود که نتیجه دقیق‌تری در ارزیابی توان منطقه و مکان‌یابی کاربری‌های مختلف حاصل شود.

۷. منابع

۱. ایران پور، امید. (۱۳۹۲). ارزیابی توان سرزمین به‌منظور کاربری کشاورزی با استفاده از ارزیابی چند معیار. پایان‌نامه کارشناسی ارشد ارزیابی و آمایش سرزمین، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران. ۸۴ ص.

۲. پیکانپور فرد، رضا، لطفی، علی، مرادی، حسین و پورمنافی، سعید. (۱۴۰۰). تخصیص بهینهٔ کاربری‌های اراضی شهرستان مبارکه با استفاده از روش MOLA. برنامه ریزی فضایی ۱۱(۲): ۱۴۳-۱۶۲.

۳. پیکانپور فرد، رضا، سفیانیان، علیرضا، احمدی، محسن و پورمنافی، سعید. (۱۴۰۳). پهنه‌بندی چندهدفه مناطق تحت حفاظت با استفاده از روش‌های MCE و MOLA مطالعه موردی: پناهگاه حیات‌وحش عباس‌آباد، استان اصفهان. جله علمی پژوهشی اکولوژی کاربردی ۱۳(۱): ۴۷-۶۰.

٤. حمایتی فر، فرهاد. (۱۳۹۵). آشکارسازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی شهرستان بهبهان ناشی از احداث سد مارون. پایان‌نامه کارشناسی ارشد ارزیابی و آمایش سرزمین، گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، ایران. ۱۲۳ ص.

٥. رجائی، فاطمه، اسماعیلی ساری، عباس، سلمان ماهینی، عبدالرسول، دلاور، مجید، قلی پور، مصطفی و مساح بوانی، علیرضا. (۱۳۹۵). پیش‌بینی مستعدترین پهنه‌های کشاورزی حوزه آبخیز تجن با استفاده از روش ارزیابی چند معیاره. مجله علمی ۹(۱): ۱۱۱-۱۲۷.

٦. سالنامه آماری شهرستانی استان اصفهان. ۱۳۹۵. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان اصفهان (معاونت آمار و اطلاعات)، اصفهان، ایران. ۴۳۶ ص.

۷. سعیدی، عباس. (۱۳۹۱). پویش ساختاری-کارکردی: رویکردی بدیل در برنامه‌ریزی فضایی. فصلنامه اقتصاد فضا و توسعه

[1] Kuo et al
[2] Khavarian-garmsir and Rezaei

روستایی ۱(۱): ۱۸-۱.
۸. مخدوم، مجید. (۱۳۸۷). شالودهٔ آمایش سرزمین، چاپ سوم، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۲۱ صفحه.
۹. منوری، سید مسعود. (۱۳۸۷). ارزیابی اثرات زیست محیطی، چاپ دوم. انتشارات میترا، تهران، ایران. ۴۶۴ ص.
۱۰. موحد، علی و ناصری، فرزین. (۱۳۹۶). مکان‌یابی شهرک‌های صنعتی با استفاده از مدل منطق فازی (مورد شناسایی: شهرک صنعتی مریوان). فصل نامه جغرافیا و آمایش شهری ۷(۲۳): ۱۹۸-۱۸۳.
۱۱. نوری، زهرا و طالبی، علی. (۱۳۹۷). ارزیابی توان اکولوژیک و آمایش حوزه آبخیز مهرگرد سمیرم اصفهان با هدف دستیابی به توسعه پایدار. همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری و سومین همایش ملی صیانت از منابع طبیعی و محیطزیست، ۱۱-۱۰ مهر ۱۳۹۷، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. ص‌ص. ۶۰۰-۵۹۴.
۱۲. هاشمیان، فرهاد، صمدی خادم، شهرام، حمدی رز، علی و احمدی، نسترن. (۱۳۹۲). ارزیابی توان اکولوژیکی شهرستان اردبیل جهت توسعه صنعتی به روش ارزشیابی چند معیاره مکانمند (SMCE). کنفرانس بین المللی اکولوژی سیمای سرزمین، ۹-۸ آبان ۱۳۹۲، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران. ص‌ص. ۱۸۹۵-۱۸۸۳.
13. Chen, Y., Yu, J., Shahbaz, K., & Xevi, E. (2009, July). A GIS-based sensitivity analysis of multi-criteria weights. In proceedings of the 18th world IMACS/MODSIM congress, Cairns, Australia (pp. 13-17). Citeseer.
14. Dos Santos, A. R., Ribeiro, C. A. A. S., de Oliveira Peluzio, T. M., Peluzio, J. B. E., de Queiroz, V. T., Branco, E. R. F., ... & de Almeida, S. L. H. (2016). Geotechnology and landscape ecology applied to the selection of potential forest fragments for seed harvesting. Journal of environmental management, 183, 1050-1063.
15. Eldrandaly, K. A., Eldin, N., Sui, D. Z., Shouman, M. A., & Nawara, G. (2005). Integrating GIS and MCDM Using COM Technology. Int. Arab J. Inf. Technol., 2(2), 162-167.
16. Emovon, I., & Oghenenyerovwho, O. S. (2020). Application of MCDM method in material selection for optimal design: A review. Results in Materials, 7, 100115.
17. https://data.irimo.ir/
18. Malczewski, J. (2004). GIS-based land-use suitability analysis: a critical overview. Progress in planning, 62(1), 3-65.
19. Malczewski, J. (2006). GIS-based multicriteria decision analysis: a survey of the literature. International journal of geographical information science, 20(7), 703-726.
20. Peykanpour Fard, Reza, Moradi, Hossein, Lotfi, Ali, Pourmanafi, Saeid, & Bihamta Toosi, Neda. (2023). Advancing the mapping of optimal land use structure in industrialized areas: incorporating AERMOD modeling and MCE approach. GeoJournal, 88(2), 1979-1995.
21. Khavarian-Garmsir, A. R., & Rezaei, M. R. (2015). Selection of appropriate locations for industrial areas using GIS-Fuzzy methods. a case study of Yazd Township, Iran. Journal of Settlements and Spatial Planning, 6(1), 19-25.
22. Kuo, Y. C., Lu, S. T., Tzeng, G. H., Lin, Y. C., & Huang, Y. S. (2013). Using fuzzy integral approach to enhance site selection assessment–a case study of the optoelectronics industry. Procedia Computer Science, 17, 306-313.
23. Wang, G., Qin, L., Li, G., & Chen, L. (2009). Landfill site selection using spatial information technologies and AHP: a case study in Beijing, China. Journal of environmental management, 90(8), 2414-2421.