مهندسی جغرافیایی سرزمین
شاپای چاپی ۱۴۹۰-۲۵۳۸
شاپای الکترونیکی ۳۹۲۲-۲۵۳۸
www.jget.ir

دوره ۷، شماره ۴ (پیاپی ۱۸)، زمستان ۱۴۰۲، صص. ۸۱۱-۸۳۰
DOI: 10.22034/JGET.2024.158357
DOR: 20.1001.1.25381490.1402.7.4.5.5

مقاله پژوهشی

اولویت‌بندی شهرستان‌ها و تحلیل مکان‌یابی احداث فرودگاه در استان آذربایجان شرقی

حامد پورعباس [۱]، روح‌اله باقری [۲*]، مجید سبزه پرور [۳]

۱. دانشجوی دکتری مدیریت سیستم، دانشکده مدیریت، واحد تهران مرکز، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
۲. استادیار گروه مدیریت، دانشکده علوم اداری اقتصادی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.
۳. استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، واحدکرج، دانشگاه آزاد اسلامی، کرج، ایران.
* نویسنده مسئول، Email: rbagheri@um.ac.ir

تاریخ دریافت: ۲۲ خرداد ۱۴۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۱ مهر ۱۴۰۱

چکیده

مقدمه: یافتن مکان مناسب برای احداث فرودگاه در استان‌های کشورکه با تکیه بر ویژگی‌های فیزیکی، هوانوردی و جغرافیایی، اقتصادی و عوامل زیست‌محیطی باشد، می‌تواند تأثیرات بسیار مهمی در آن منطقه بگذارد. مطالعات مکان‌یابی فرودگاه‌ها، یکی از مهمترین مباحث در مناطق (استانی، شهری و...) به شمار می‌رود که با توجه به نقش و عملکرد خود، تأثیر بسزایی در جا به جایی افراد و کالا ها دارد لذا بر این اساس مکان‌یابی نادرست فرودگاه‌ها یکی از مهمترین مسایلی است که در برخی فرودگاه‌ها با آن روبه رو هستیم، به گونه‌ای که، بر اثر این اشتباه صدمات جانی و مالی فراوانی به وقوع می‌پیوندد.

هدف: در همین راستا پژوهش حاضر بر آن است تا با ارائه تکنیک فرا ابتکاری، و با شناسایی معیارهای استاندارد، اولویت‌بندی شهرستان‌های آذربایجان شرقی را بمنظور احداث فرودگاه انجام داده و در نهایت نتایج را با مدل سکا و روش کوپراس مقایسه کند.

روش شناسی: این تحقیق از نظر هدف یک تحقیق توسعه‌ای-کاربردی و از نظر روش پژوهش یک تحقیق توصیفی است. در این پژوهش تحلیل مکان‌یابی احداث فرودگاه با توجه به روش‌های تصمیم‌گیری مورد توجه قرار گرفته است.

قلمرو جغرافیایی پژوهش: آذربایجان شرقی که مرکز آن شهر تبریز و دارای ۲۱ شهرستان می‌باشد.

یافته‌ها و بحث: نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که هر سه روش نشان‌دهنده آن است که شهرستان میانه مناسب‌ترین گزینه برای احداث فرودگاه و همچنین ترتیب اولویت گزینه‌ها در هر سه روش یکسان است.

نتیجه‌گیری: باتوجه به مقایسه‌های انجام شده، بکارگیری تکنیک ارائه شده در این پژوهش، برای سازمان‌ها و شرکت‌های مختلف در اتخاذ تصمیمات درست‌تر بسیار راهگشا خواهدبود. همچنین با درنظر گرفتن عملکرد تکنیک در مکان‌یابی فرودگاه، این تکنیک توانایی انتخاب گزینه مناسب و مکانیابی در پروژه‌های مختلف را دارد.

کلیدواژه‌ها: مکان‌یابی فرودگاه، تصمیم‌گیری چند معیاره، تکنیک فرا ابتکاری.

مقدمه

مکان‌یابی را می‌توان با در نظر گرفتن تأثیرات اجتماعی، اقتصادی، فیزیکی و زیست‌محیطی، یکی از فاکتورهای کلیدی در برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای دانست (Ruiz et al, 2007:1). مکان‌یابی، سعی دارد تا با قانونمند کردن شاخص‌ها و عوامل تأثیرگذار در تصمیم‌گیری و ارائه راه کارهای منطقی، تصمیم‌گیران و برنامه‌ریزان را در انتخاب مکان‌های مناسب برای انجام فعالیت‌ها، یاری رساند (Fadda et al, 2021:18). مطالعات مکان‌یابی فرودگاه، یکی از مباحث مهم در مناطق مختلف به شمار می‌رود که با توجه به نقش و عملکرد خود، تاثیر بسزایی در جابجایی افراد و کالاها دارد لذا بر این اساس مکان‌یابی نادرست فرودگاه‌ها یکی از مسایل مهمی است که در برخی فرودگاه‌ها با آن روبه رو هستیم، به گونه‌ای که، در اثر این اشتباه، صدمات جانی و مالی فراوانی به وقوع می‌پیوندند (صفارزاده و همکاران، ۱۳۸۴: ۱۶۱).

زمان پیدایش علم مکان به اوایل قرن هفدهم و مسئله‌ای که توسط فرما[1] مطرح شد برمی‌گردد. محتوای مسئله او بدین صورت بود که سه نقطه در فضا وجود دارد و قرار است نقطه چهارمی نیز به گونه‌ای یافت شود که مجموع فواصل آن با این سه نقطه کمینه باشد. امروزه هدف از مکان‌یابی را انتخاب مکان مناسب، برای استقرار تجهیزات سرویس‌رسان تعریف کرده‌اند، بطوری که بهترین عملکرد با توجه به اهداف مورد نظر پروژه حاصل شود (Krarup & Roos, 2017: 4).

انتخاب مکان بهینه همواره یکی از اصلی‌ترین تصمیماتی است که مدیران با آن مواجه هستند زیرا اخذ تصمیم نادرست در این زمینه در بلند مدت زمینه ساز نابودی سازمان می‌گردد. امروزه ارزش یک مدیر وابسته به تصمیماتی است که می‌گیرد و از طرفی تصمیماتی دارای ارزش است که برگرفته از اطلاعات دقیق باشد. انجام مطالعات مکان‌یابی درست و مناسب، علاوه بر تاثیر اقتصادی بر عملکرد یک بنگاه، اثرات اجتماعی، محیط‌زیستی، فرهنگی و اقتصادی در منطقه محل احداث خود خواهد داشت (موسوی، ۱۳۸۰: ۲۲). ((محل مناسب)) یک تسهیل از جمله عوامل موثر در موفقیت آن واحد است که باید قبل از احداث و راه‌اندازی به آن توجه شود. لذا تعیین محل را یکی از کلیدی‌ترین قدم های تاسیس آن می‌دانند چرا که نتایج این تصمیم در درازمدت اثرات بسزایی از بعد اقتصادی، اجتماعی و ...خواهد داشت (عزیزی،۱۳۸۸: ۳۶). همچنین در راستای تعیین بهترین مکان ممکن برای تسهیلات، انتخاب تکنیکی جامع جهت مکان‌یابی حائز اهمیت زیادی می‌باشد، چراکه فرآیند مکان‌یابی، خود نیازمند صرف هزینه است لذا تعیین مدلی که قادر به استفاده‌ی بلند مدت برای تاسیس شعبات جدید بنگاه بوده و در عین حال، علاوه بر کارایی بالا حداقل هزینه را بر بنگاه تحمیل کند نیز دارای حساسیت و اهمیت بالایی خواهد بود.

اهمیت برقراری ارتباط بین مناطق مختلف، که از نقش‌های مختلفی برخوردار هستند و اشاره‌ای به تاریخچه حمل و نقل در جهان همگی نشان‌دهنده نقش روز افزون حمل و نقل به خصوص حمل و نقل هوایی در عرصه جابه جایی سریع، ایمن وآسان افراد وکالا می‌باشد (رسولی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱). مکان‌یابی در علوم مربوط به زمین، عملیاتی است که طی آن فرد متخصص با ارائه نیازها، اهداف و اطلاعات وضع موجود به دیگر کارشناسان، نظیر ترافیک، اقتصاد، جغرافیا، زمین شناسی، هواشناسی و... با جمع‌بندی آنها در قالب نظرات و اهداف خود در پی دستیابی به بهترین انتخاب از انتخاب‌های موجود برای کاربری مورد نظر است. مکان‌یابی بهینه و مناسب، زمانی امکان‌پذیر است که محقق بتواند ارتباط علمی و منطقی مناسبی میان اطلاعات و داده‌های به دست آمده از کارشناسان مرتبط با موضوع مکان‌یابی با توجه به اولویت‌ها برقرار سازد (رضویان، :۱۳۸۱: ۵۰). مکان‌یابی فرودگاه‌ها به دلیل کارکردهای خاص وگسترده، با مطالعات آمایش سرزمین در سطح ملی در ارتباط است؛ زیرا آمایش سرزمین ابتدا به بررسی و تحلیل امکانات، توان‌ها و نیازهای بالفعل و بالقوه شهرهای بزرگ و نواحی می‌پردازد، سپس راهبرد توسعه بلند مدت را تعیین می‌کند (بحری و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۵۲). در ماده۵ آیین نامه احداث، توسعه، بهره‌برداری و مدیریت فرودگاه‌های غیرنظامی مصوب ۱۳۹۲ مراحل اخذ مجوز احداث فرودگاه به شرح: ارائه طرح امکان‌سنجی و مکان‌یابی توسط متقاضی

[1] Pierre de Fermat

به سازمان شامل نکات فنی، عملیاتی، ارزیابی زیست محیطی، توجیه اقتصادی با رعایت کامل اصول پدافند غیرعامل و کاربری‌های مصوب شورای عالی شهرسازی ومعماری ایران می‌باشد.

فرودگاه‌ها بخش حیاتی و مهمی از سیستم حمل ونقل هوایی را تشکیل می‌دهند و در واقع زیربنایی‌ترین بخش در صنعت حمل و نقل هوایی محسوب می‌شوند و از آنها به عنوان بنادر هوایی و دروازه‌های هوایی ورودی کشورها یاد می‌شود. لذا با توجه به اهمیت فرودگاه‌ها در جابجایی مسافران و درگیر بودن فعالیت‌های اقتصادی، صنعتی،گردشگری و... لازم است مکان‌یابی فرودگاه‌ها براساس شاخص‌های استاندارد سازمان بین‌المللی هواپیمایی انجام شود (سرور و عبدلی، ۱۳۸۹ :۴۱). توسعه حمل و نقل هوایی در دهه اخیر به عنوان یکی از مهمترین محورهای توسعه و رشد کشور مطرح بوده، به گونه‌ای که رشد فعالیت‌های اقتصادی و جابه جایی سریع مردم و کالا، تقاضا روزافزون برای گسترش حمل و نقل هوایی و ایجاد فرودگاه‌های جدید را یک ضرورت اجتناب‌پذیرساخته است (ضرابی وهمکاران، ۱۳۸۵: ۲۳). امروزه فرودگاه‌ها مجموعه‌ای همانند پایانه‌های مسافربری و ایستگاه‌های بزرگ راه آهن نیستند که در یک طرف آن خودروها و مسافرین و در طرف دیگر هواپیماها قرار بگیرند، بلکه فرودگاه‌ها وجودی چند منظوره پیدا کرده‌اند. هم اکنون با افزایش ظرفیت و کارایی فرودگاه‌ها و توجه به مسائلی همچون توسعه پایدار و حفاظت محیط‌زیست در مکان-یابی فرودگاه‌ها اهمیت زیادی داده می‌شود (Saghaei, 2019: 160). پروژه احداث فرودگاه جزء پروژه‌های بزرگ در بین مطالعات حمل ونقل هوایی محسوب می‌شود که فضای قابل‌توجهی را در مجاورت یک شهر نیاز دارد و مستلزم سرمایه‌گذاری ویژه‌ای با لحاظ نمودن کارکردهای اقتصادی، اجتماعی، سیاسی و زیست‌محیطی است (حقیقی‌راد و سجادپور، ۱۳۹۵: ۱۷).

هدف اصلی مقاله، آن است که به کمک آن طراحان و کارشناسان فرودگاه‌ها بتوانند با درنظر گرفتن لزوم بکارگیری روش‌های جدید بهره‌برداری از بروز عوارض نامطلوب در اثر انتخاب محل نادرست فرودگاه پیشگیری کنند و از طرفی بدلیل تعدد روش‌های تصمیم‌گیری و سردرگمی تصمیم‌گیرندگان در انتخاب روش تصمیم‌گیری، این امکان وجود دارد که با پیشرفت تکنیک فرا ابتکاری، بتوانیم به گزینه مناسب، سطح اطمینان بدهیم، تا بدین صورت، گزینه‌ای با درصد اطمینان مناسب را انتخاب کنیم.

در خصوص مکان‌یابی و انتخاب بهترین مکان‌ها برای منظورهای مختلف، و میزان بهینه بودن مکان، همچنین استفاده از مدل‌های مکان‌یابی مانند مدل‌های تحلیل سلسله مراتبی[1]، بولین[2] و تلفیق آن با سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS[3]) نیز تاکنون تحقیقات و پژوهش‌های نسبتا قابل توجهی درسطح بین‌المللی و ایران انجام پذیرفته و مطالعاتی صورت گرفته که در ادامه به چند نمونه اشاره می‌کنیم. در مقاله‌ای با عنوان: مکان‌یابی اماکن تفریحی و اقامتی استان زنجان(مطالعه موردی: محور گردشگری سلطانیه-کتله خور): نتایج تحقیق نشان می‌دهد که مکان‌هایی برای استقرار اماکن تفریحی و اقامتی مناسب هستند که به ترتیب بیشترین دسترسی را به مراکز گردشگری، دسترسی به شبکه ارتباطی و دسترسی به مراکز جمعیتی دارا باشند، که بدین منظور توجه به زیر ساخت‌های خدماتی و فرهنگی اهمیت بسزایی دارد (چراغی و ذولفی،۱۳۹۶:۹۰). در مقاله‌ای با عنوان: ارزیابی و مکان‌یابی بهینه کاربری آموزش عالی در راستای توسعه پایدار (مطالعه موردی: دانشگاه آزاد واحد شهر ساری): مکان‌های انتخابی، طبق اهمیت معیارهای مورد نظر، تحت بررسی قرار گرفته‌اند و در ابتدا ماتریس گزینه‌ها نسبت به زیرمعیارها تشکیل و وزن آنها به دست آمده است. سپس زمینی که بیشترین سازگاری را با معیارهایمان داشته است، به عنوان گزینه مناسب انتخاب گردید. نتایج تحلیل FAHP در ارتباط با مکان کاربری آموزشی در شهر ساری مشخص نموده است که زمین B بیشترین سازگاری را با معیارهای مورد نظر پژوهش داشته و نسبت به گزینه‌های دیگر، بالاترین اولویت را به خود اختصاص داده است (تیلکی و همکاران،۱۴۰۰:۱). در مقاله‌ای با عنوان:ارزیابی استراتژیک زیست‌محیطی پسماندهای ناشی از کشتارگاه صنعتی شهر سبزوار: در این پژوهش جهت مکان‌یابی مجدد و انتقال کشتارگاه صنعتی به دلیل فاصله نامناسب با فرودگاه جهت

[1] Analytical Hierarchy Process
[2] Boolean
[3] Geographic Information System

زدودن بوی استشمام شده در این فرودگاه و همچنین جهت تقلیل تهدیدهای ناشی از اقدامات این کشتارگاه‌ها، اقدامات مثبتی مانند نظارت یکپارچه زیست‌محیطی و بهداشتی شکل گرفته است (عنابستانی و علیزاده، ۱۳۹۹: ۴۰۲). در مقاله ای با عنوان یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری برای بازاریابی جغرافیایی مبتنی بر وب برای انتخاب زمین(مطالعه موردی: تهران، ایران) محققان دریافتند که، دراین پژوهش، جایی که صاحبان زمین (فروشندگان) می-توانند زمین‌های شخصی خود را تعریف کنند و سیستم آن‌ها به راحتی قادر به انتخاب بهترین زمین برای خریداران با توجه به ترجیحات آن‌ها است. ایده اصلی در استفاده از تکنیک‌های MCDA[4] درGIS این است که قابلیت‌های MCDA می‌توانند، ابزار GIS را در طی مراحل انتخاب زمین تکمیل کنند. استفاده از GIS برای ذخیره، مدیریت، تجزیه و تحلیل، بازیابی و تجسم داده‌های مکانی، توانایی تکنیک‌ها و روش‌های کارآمد، مدل‌سازی مشکلات تصمیم-گیری خرید زمین را فراهم می‌کند. علاوه بر این، مطالعات در آینده این امکان را فراهم می‌سازد، تا این روش با توسعه یک نسخه از سیستم در تلفن همراه موجود باشد. زیرا استفاده از دستگاه‌های تلفن‌های هوشمند مجهز به سیستم موقعیت‌یابی جهانی (GPS[5]) به طور قابل توجهی افزایش یافته و به یک بستر محبوب برای برنامه‌های املاک و مستغلات تبدیل شده است (Omidipoor et al 2019: 180). در مقاله‌ای با عنوان مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی کاربرمحور برای تصمیم‌گیری مشارکتی مبتنی بر هستی شناسی تلاش شده است با ادغام ابزارهایی مانند GIS و MCDA در بستر مشارکتی وب، روشی مؤثر برای مشارکت عموم مردم یا گروهی از افراد در تصمیم گیری مکانی مشترک و پر کردن شکاف بین عموم مردم و متخصصان ارایه دهند (Malczewski & Jelokhani, 2012: 13). در پژوهشی با عنوان: بررسی مکان‌یابی فرودگاه امام خمینی(ره) باتوجه به مطالعات اقلیمی، بر اساس فرایند تحلیلی سلسله مراتبی، انجام شد. نتایج حاصل از بررسی میانگین حداقل دما نشان داد که۷۹/۲۱ درصد از مساحت منطقه دارای شرایط کاملاً مطلوبی جهت احداث فرودگاه می‌باشد. این نواحی که نیمه غربی و جنوبی منطقه را در بر میگیرند فرودگاه امام خمینی را نیز شامل می‌شوند. به این ترتیب فرودگاه مورد بحث به لحاظ دمایی در شرایطی کاملاً مطلوب، جای دارد(مهناز پروازی،۱۳۹۸: ۵۶).

انتخاب یک محل مناسب برای فرودگاه، بستگی به طبقه‌بندی فرودگاه تحت مطالعه دارد. شخص یا گروهی که عهده دار انتخاب محل مناسب برای فرودگاه‌های جدید هستند باید نخست، شاخص‌های اصلی را تعیین کنند تا بر اساس آن محل مناسبی با ابعاد و مشخصات موردنظر انتخاب شود، غالباً این معیارها برای توسعه فرودگاه‌های موجود نیز کاربرد دارند بنا به نتایج مطالعات انجام شده در زمینهٔ مکان‌یابی فرودگاه، توسط سازمان بین‌المللی هواپیمایی غیر نظامی(ایکائو[1])، معیارهای تأثیرگذار در مکان‌یابی مناسب فرودگاه‌ها را می‌توان به ۴ دسته کلی به شرح جدول۱ تقسیم‌بندی کرد (ICAO, 1997: part2).

جدول ۱. *معیارهای تأثیرگذار در مکان‌یابی فرودگاه*

معیارهای اصلی	مشخصه‌ها
عوامل فیزیکی	وجود زمین برای توسعه آتی-دسترسی به سیستم حمل ونقل - مورداستفاده فرودگاه(نظامی،تجاری)و...
عوامل هوانوردی وجغرافیایی	شرایط جوی و آب و هوایی-موقعیت فرودگاه های اطراف- موقعیت موانع موجود در اطراف توپوگرافی و...
عوامل اقتصادی	ارزیابی سود و هزینه-تحلیل هزینه های اداری و نگهداری و سوخت و....
عوامل زیست محیطی	اثرات زیست محیطی و آلودگی صوتی- سازگاری با برنامه‌ریزی گسترده منطقه و...

برگرفته از: ICAO, 1997

[4] Multi-Criteria Decision Analysis
[5] Global Positioning System
[1] International Civil Aviation Organization

روش‌شناسی

روش پژوهش بکار رفته در این پژوهش از نظر هدف یک پژوهش توسعه‌ای-کاربردی و از نوع توصیفی-پیمایشی می‌باشد و از لحاظ نوع روش پیمایشی که در آن بکار گرفته شده است، یک پژوهش پیمایشی از نوع دلفی[2]می باشد. جامعهٔ پژوهش شامل کلیهٔ مدیران، سرپرستان و کارشناسان شرکت فرودگاه‌ها و ناوبری هوایی که بر اساس معیارهای سطح تجربه، میزان تحصیلات، سوابق کاری است، می‌باشد. تعداد افراد مذکور در سال ۱۴۰۰ برابر با ۶۸ نفر و حجم نمونهٔ پژوهش شامل ۶۲ نفر می‌باشد که با روش نمونه‌گیری منظم به تفکیک حوزه‌های مختلف انتخاب شده‌اند. این پژوهش طی یک فرآیند دو مرحله‌ای به سنجش بلوغ همراستایی عملیاتی پرداخته است. در مرحلهٔ اول، پس از شناسایی شاخص‌های موثر بر انتخاب فرودگاه به کمک روش دلفی، از ۳۰ شاخص شناسایی شده از پیشینه پژوهش، تعداد ۱۰ شاخص برای محاسبات استفاده شده است؛ سپس، در مرحلهٔ دوم بر اساس نتایج حاصل از روش دلفی با اجرای تکنیک فرا ابتکاری و مقایسه نتایج حاصل از این روش با روش کوپراس و مدل سکا انجام شد. لازم به ذکر است که ۱۰ شاخص عبارتند از: متوسط درآمد خانوار درسال(برحسب هزار ریال) (مرکز آمار ایران، ۱۸:۱۳۹۵). جمعیت(مرکز آمار ایران، ۱۴۰:۱۳۹۵). گسترش آینده، فاصله از نزدیکترین فرودگاه، ترافیک هوایی، مورداستفاده فرودگاه(تجاری، نظامی...)، ایمنی ورعایت استانداردها، توپوگرافی، ارزش اقتصادی، میزان جذب مسافر(تعداد مسافر داخلی در سال، برحسب هزارنفر) (مرکز آمار ایران ، ۴۸۰:۱۳۹۵).

در این پژوهش از سه روش تصمیم‌گیری چند شاخصه به منظور اولویت‌بندی گزینه‌های مد نظر در پژوهش استفاده شده است، از تکنیک فرا ابتکاری و روش کوپراس برای اولویت‌بندی گزینه‌ها و از مدل سکا علاوه بر اولویت-بندی، برای وزن‌دهی به شاخص‌ها نیز بهره بردیم.

تکنیک فرا ابتکاری

تکنیک فرا ابتکاری جزء روش‌های جبرانی در تصمیم‌گیری چند شاخصه و در زیر گروه سازشی قرار دارد. اساس روش مذکور بر روی میانگین می‌باشد، این روش نیازی به محاسبات پیچیده و سختی ندارد. درصورت اضافه شدن سطح اطمینان، به روش، یک رویه وحدتی بین تصمیم گیرندگان بوجود خواهد امد.

گام‌های روش تکنیک فرا ابتکاری

فرض می‌کنیم M گزینه وN شاخص داریم. گزینه‌های مختلف i بعنوان xij مشخص شده‌اند. همچنین شاخص-های مختلفj، بعنوان xj مشخص شده است. xij ارزش ومقدار رتبهiآم و شاخصjآم است. با محاسبه اوزان شاخص‌ها، می‌توان به راحتی از این روش استفاده نمود. برای استفاده از این روش مراحل زیر ضرورت دارد.

گام ۱- تشکیل ماتریس تصمیم گیری

با توجه به تعداد گزینه‌ها و معیارها و ارزیابی همه گزینه‌ها، برای معیارهای مختلف، ماتریس تصمیم گیری بصورت زیر تشکیل می‌شود.

جدول ۲. *ماتریس تصمیم گیری*

$$X = \begin{bmatrix} x11 & \cdots & x1n \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ xm1 & \cdots & xmn \end{bmatrix}$$

[2] Delphi

گام ۲- مقیاس اندازه گیری شاخص‌ها و اندازه‌گیری یک شاخص کیفی بصورت کمی(مقیاس مقایسه‌های زوجی)

یک گزینه (Ai)در MADM ممکن است توسط دو نوع شاخص(xj)توصیف شود: شاخص‌های کمی(مانند هزینه، ظرفیت، و...) و شاخص‌های کیفی (مانند راحتی، زیبایی، و...)(استفاده از طیف لیکرت۵تایی).

گام ۳- استفاده از تکنیک آنتروپی برای ارزیابی اوزان شاخص‌ها

روش آنتروپی یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره برای محاسبه وزن معیارها می‌باشد. این روش نیازمند به ماتریس معیار-گزینه می‌باشد.

$$Ej=-k\sum_{i=1}^{m}[pij\ln pij]\ (j=1,2,n)\ k=\frac{1}{\ln m}\ dj=1-Ej,\forall j$$

$$Wj=\frac{dj}{\sum_{j=1}^{n}dj}\ ,\forall j \qquad Pij=\frac{Xij}{\sum_{i=1}^{m}xij}\ ,\forall i,j \qquad (1)$$

گام ۴- بی مقیاس کردن ماتریس تصمیم

روش‌های مختلفی برای بی واحد کردن وجود دارد اما معمولادر MADM از روش نرم استفاده می‌شود.

$$Rij=xij/\sqrt{\sum_{i=1}^{m}xij2} \qquad (۲)$$

گام ۵- تعیین ماتریس تصمیم وزن دار نرمال شده

در این گام باید وزن معیارها که از روش‌های آنتروپی بدست آمده است را در ماتریس نرمال ضرب کنیم تا ماتریس وزن دار حاصل شود.

$$V=R*W \qquad (۳)$$

گام ۶- محاسبه مجموع مربعات گزینه ها ومیانگین مربعات گزینه ها

برای محاسبه مجموع و میانگین مربعات گزینه‌ها (با توجه به ماتریس بی مقیاس شده وزین)از روابط ۴و۵ استفاده می‌کنیم.

$$SSA=\sum_{i=1}^{m}\frac{vi.^2}{n}-\frac{v..^2}{mn} \qquad (۴)$$

$$MSA=\frac{SSA}{2mn^4} \qquad (۵)$$

جدول ۳. *متغیرهای تکنیک فرا ابتکاری*

گزینه	m
شاخص	n
مجموع هر گزینه	vi.
جمع کل داده های ماتریس تصمیم وزن دار نرمال شده	v..
اهمیت هرگزینه	Ci
میانگین هر گزینه	$\bar{vi}$.
مجموع مربعات گزینه ها	SSA
میانگین مربعات گزینه ها	MSA

گام۷- اهمیت هرگزینه

با استفاده از میانگین مربعات گزینه‌ها و میانگین هر سطح از ماتریس بی مقیاس وزین شده، به اهمیت هر سطح می‌رسیم. با توجه به اینکه مجموع Ci ها برابر یک می‌باشد، هرکدام که مقدارش بیشتر باشد ملاک برای انتخاب ما می‌باشد.

$$Ci=\frac{\bar{V}L^{MSA}}{M} \quad (۶)$$

$$\sum_{i=1}^{m} ci=1 \quad (۷)$$

مدل سکا [1]

مدل سکا توسط (Keshavarz et al, 2018: 265) طی مقاله‌ای با عنوان" ارزیابی همزمان معیارها وگزینه‌ها در تصمیم‌گیری چند معیاره" ارایه شد. هدف از این روش، تعیین امتیاز کل گزینه‌ها و وزن معیارها به طور همزمان است.

گام‌های مدل سکا

گام ۱- تشکیل ماتریس تصمیم گیری

ماتریس تصمیم یک ماتریس سطری-ستونی می‌باشد که ستون‌ها، معیارهای تصمیم‌گیری و سطرها، گزینه‌های مساله می‌باشد.

گام ۲- نرمال سازی

دررابطه ۸، BC شامل معیارهای هستند که جنبه سود (یا معیار مثبت) دارند ودر رابطه۹ NC شامل معیارهایی هستند که جنبه هزینه (یا منفی) دارند.

$$X_{ij}^{N}=\begin{cases}\dfrac{X_{ij}}{max_k X_{kj}} & if \quad j\in BC,\\ \dfrac{min_k X_{kj}}{X_{ij}} & if \quad j\in NC,\end{cases} \quad (۸)\ (۹)$$

گام۳-تشکیل مدل بهینه‌سازی

انحراف معیار عناصر هر بردار می‌تواند اطلاعات متغیر درونی معیار را بدست آورد. برای دستیابی به اطلاعات متغیر بین معیار از ماتریس تصمیم‌گیری، باید همبستگی بین هر جفت از بردارهای معیارها را محاسبه کنیم. سپس رابطه زیر می‌تواند درجه اختلاف بین معیار j ام و معیارهای دیگر را نشان دهد.

$$\pi j=\sum_{l=1}^{m}(1-r_{jl}) \quad (۱۰)$$

افزایش تغییرپذیری در بردار یک معیار (σ_j)، و همچنین افزایش میزان درجه اختلاف میان معیار j و معیارهای دیگر (π_j)، اهمیت (وزن) معیار را افزایش می دهد. بر این اساس، مقادیر نرمال شده (σ_j) و (π_j) به عنوان نقاط مرجع برای وزن معیارها تعریف می‌شود. این مقادیر را می توان به صورت روابط ۱۱ و ۱۲محاسبه کرد.

$$\sigma j^{N}=\frac{\sigma_j}{\sum_{l=1}^{m}\sigma_l} \quad (۱۱)$$

$$\pi j^{N}=\frac{\pi_j}{\sum_{l=1}^{m}\pi_l} \quad (۱۲)$$

[1] Simultaneous Evaluation of Criteria and Alternatives (SECA) for Multi-Criteria Decision-Making

بر اساس توضیحاتی که در بالا گفته شد یک مدل برنامه‌ریزی چند هدفه غیرخطی حاصل می‌شود که در زیر آورده شده است.

$$\text{Max } Si=\sum_{j=1}^{m} WjXij^{N} \qquad \forall_i \in \{1,2,\dots n\} \tag{۱۳}$$

$$\text{Min}\lambda_b=\sum_{j=1}^{m}(W_j-\sigma_j^N)^2 \tag{۱۴}$$

$$\text{Min}\lambda_c=\sum_{j=1}^{m}(W_j-\pi_j^N)^2 \tag{۱۵}$$

$$\text{s.t.}\sum_{j=1}^{m} W_j=1 \tag{۱۶}$$

$$W_j \le 1 \ , \forall_j \in \{1,2,\dots,m\} \tag{۱۷}$$

$$W_j \ge \varepsilon \ , \forall_j \in \{1,2,\dots,m\} \tag{۱۸}$$

در رابطه (۱۳)، عملکرد کلی هر گزینه را افزایش می-دهد و روابط ۱۴ و ۱۵، انحراف معیارهای وزن را از نقاط مرجع برای هر معیار به حداقل می‌رساند. رابطه (۱۶) تضمین می‌کند که مجموع وزن ها برابر با ۱ است. روابط (۱۷) و (۱۸) وزن معیارها را برای برخی مقادیر در فاصله [ε ،۱] تعیین می‌کنند. لازم به ذکر است که ε یک پارامتر مثبت کوچک در نظر گرفته شده به عنوان معیار پایینی برای وزن معیار است. در این روش، مقدار این پارامتر برابر با ۰/۰۰۱ قرار داده شده است. برای بهینه سازی رابطه (۱۳)، می توانیم از تکنیک تابع هدف به محدودیت استفاده کنیم. و یک رابطه تک هدفه ایجاد کنیم که در رابطه ۱۹ بیان شده است.

$$Max\ Z = \lambda_a - \beta(\lambda_b + \lambda_c) \tag{۱۹}$$

$$\text{s.t.}\ \ \lambda a \le S_i \qquad \forall_i \in \{1,2,\dots n\} \tag{۲۰}$$

$$Si=\sum_{j=1}^{m} WjXij^{N} \qquad \forall_i \in \{1,2,\dots n\} \tag{۲۱}$$

$$\lambda b=\sum_{j=1}^{M}(W_j-\sigma_j^N)^2 \tag{۲۲}$$

$$\lambda c=\sum_{j=1}^{m}(W_j-\pi_j^N)^2 \tag{۲۳}$$

$$\sum_{j=1}^{m} W_j=1 \tag{۲۴}$$

$$W_j \le 1, \forall_j \in \{1,2,\dots,m\} \tag{۲۵}$$

$$W_j \ge \varepsilon, \forall_j \in \{1,2,\dots,m\} \tag{۲۶}$$

مدل چند هدفه بالا را می‌توان به مدل تک هدفه تبدیل کرد با توجه به عملکرد هدف مدل بر اساس رابطه ۱۹ حداقل امتیاز کلی عملکرد گزینه‌ها به حداکثر می‌رسد. از آنجا که انحراف از نقاط مرجع باید حداقل باشد، آن‌ها از عملکرد هدف با ضریب β تفریق می‌شوند. این ضریب بر اهمیت دستیابی به نقاط مرجع معیارهای وزن تاثیر می‌گذارد. رابطه ۲۰ یک مقدار حداقل از نمره عملکرد کلی هر گزینه (Si) را مشخص می‌کند. رابطه ۲۱ مجموع ضرب وزن هر معیار را در درایه ماتریس نرمال محاسبه می‌کند. روابط ۲۲ و ۲۳ مجموع انحراف معیارهای وزن را از نقاط مرجع (انحراف معیار و همبستگی) برای هر معیار را بدست می‌آورد. رابطه ۲۴ مشخص می‌کند که جمع وزن‌ها برابر با ۱ باشد. و روابط۲۵ و ۲۶ مشخص می‌کند که وزن بدست آمده باید بین صفر و یک باشد.

کوپراس[1]

کوپراس یکی از روش‌های تصمیم گیری است و برای اولویت‌بندی یا رتبه‌بندی گزینه‌های گوناگون به کار می‌رود و برای این کار از وزن معیارها استفاده می‌کند. اولین بار این روش را برای تعیین اولویت و درجهٔ مؤثر بودن گزینه‌ها توسعه دادند. این روش، برای ارزیابی ارزش هردو معیار کمینه و بیشینه به کار می‌رود و تأثیر معیارهای کمینه و

[1] Complex Proportional Assessment

بیشینه روی ارزیابی نتایج، به صورت جداگانه درنظر گرفته می‌شود. در عین سادگی روش، برای محاسبهٔ آن نیازی به عملیات پیچیده ریاضی نیست (Zavadskas et al, (195:2008.

گام‌های روش کوپراس

گام ۱- تشکیل ماتریس تصمیم کوپراس

نخستین گام در این تکنیک، تشکیل ماتریس تصمیم است. ماتریس تصمیم‌گیری، یک ماتریس برای ارزیابی تعدادی گزینه بر اساس تعدادی معیار است. یعنی ماتریسی که در آن هر گزینه بر اساس تعدادی معیار امتیاز دهی شده است.

گام ۲- محاسبه وزن معیارها

جهت تعیین میزان اهمیت هر معیار نسبت به معیارهای دیگر، باید وزن‌دهی به معیارها صورت گیرد. دراین گام باید وزن معیارها را با یکی از روش‌های محاسبه وزن از جمله روش آنتروپی بدست آورد.

گام ۳- تعیین معیارهای مثبت و منفی

معیارهای مثبت معیارهایی‌اند که افزایش آن باعث بهتر شدن شرایط، و معیارهای منفی معیارهایی هستند که کاهش آن باعث بهتر شدن شرایط می‌شود.

گام ۴- نرمال سازی ماتریس تصمیم

در این مرحله، ماتریس تصمیم‌گیری را نرمال می‌کنیم تا بعد و مقیاس مقادیر ماتریس تصمیم ازبین برود.

$$dij = \frac{qi\ xij}{\sum_{j=1}^{n} xij} \qquad (۲۷)$$

گام ۵- محاسبه مجموع مقادیر نرمال شده

در این گام باید مجموع مقادیر نرمال معیارهای مثبت را جدا و معیارهای منفی را، جدا برای هرگزینه محاسبه کرد.

$$sj^{+} = \sum zi = +dij \qquad (۲۸)$$

$$sj^{-} = \sum zi = -dij \qquad (۲۹)$$

گام ۶- اولویت‌بندی نهایی گزینه‌ها

در این گام با توجه به رابطه زیر، که محاسبه شاخص کوپراس است گزینه‌ها را اولویت‌بندی می-نماییم. هر چه مقدار Qj بزرگتر باشد نشان-دهنده اولویت بهتر آن گزینه در اولویت‌بندی است. گزینه‌ای که بیشترین مقدار را دارد گزینه ایده آل است.

$$Qj = sj^{+} + \frac{s^{-}\min \sum_{j}^{n} = 1 s_j^{-} x}{s_j^{-} \sum_{j}^{n} = 1 s^{-} \min / s_j^{-}} \qquad (۳۰)$$

گام ۷- درجه اهمیت

مرحله نهایی مشخص کردن گزینه‌ای است که بهترین وضعیت را در بین معیارها دارد.

$$Nj = \frac{Qj}{Q\ max} \times 100 \qquad (۳۱)$$

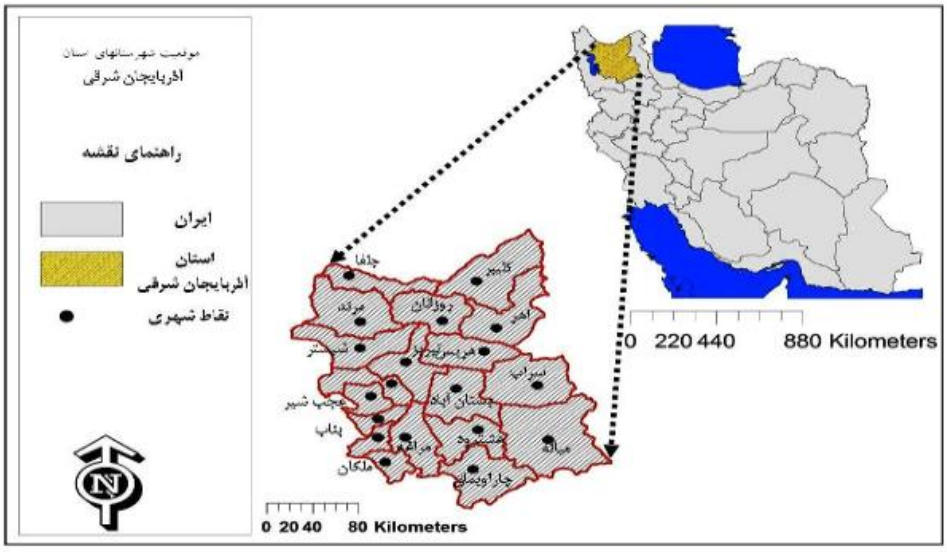
که در این رابطه Q max بزرگترین مقدار اهمیت نسبی می‌باشد و مقدار سودمندی گزینه‌ها همواره بین ۰تا۱۰۰٪می-باشد.

قلمرو جغرافیایی پژوهش

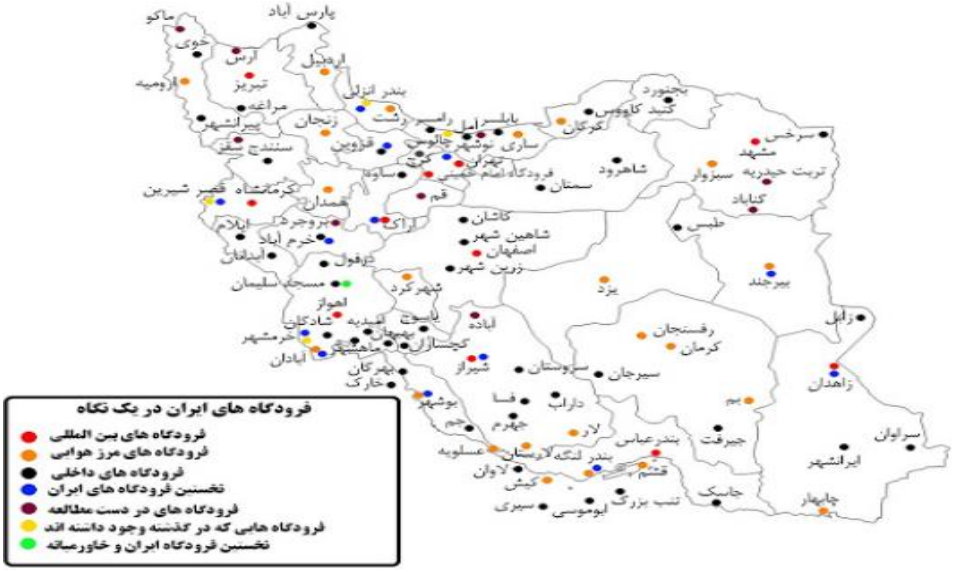
استان آذربایجان شرقی یکی از استان های ایران است که در گوشه شمال غربی کشور واقع شده است. مساحت این استان ۴۵۴۹۱ کیلومتر مربع است که حدود ۲/۸ درصد از مساحت کل کشور را در بر می گیرد. این استان از نظر موقعیت طبیعی در محل تلاقی رشته کوه‌های البرز و زاگرس در گوشه شمال غربی فلات ایران قرار دارد. استان آذربایجان شرقی از شمال با جمهوری آذربایجان، ارمنستان و جمهوری خودمختار نخجوان (وابسته به آذربایجان) به طول ۲۳۵ کیلومتر خط مرزی دارد که رودخانه ارس مرز بین استان و کشورهای فوق را تشکیل می‌دهد. این استان از غرب و جنوب غربی با آذربایجان غربی همسایه است. از جنوب با استان زنجان و از شرق با استان اردبیل، حدود ۴۰۰ کیلومتر مرز مشترک دارد. این استان دارای ۳۱ شهرستان، ۱۲ شهر و ۳۰ بخش و ۳۲۸۲ روستا می باشد. آب و هوای آذربایجان شرقی عموماً سرد و خشک است، اما به دلیل تنوع توپوگرافی، آب و هوای سرد و کوهستانی دارد و در عباراتی از تقسیمات اقلیمی به عنوان یک منطقه نیمه خشک به شمار می‌رود و میانگین بارندگی سالانه آن ۲۵۰ تا ۳۰۰ میلی متر است.

دلیل احداث فرودگاه پیشرفته و مطابق با استانداردهای جهانی در شان آذربایجان از آنجا مهم است که بر اساس سند چشم انداز توسعه استان آذربایجان شرقی، این استان باید به دروازه اصلی تجارت و حمل ونقل از جنوب و شرق آسیا و اروپا و توسعه گردشگری تبدیل شود.

با توجه به ۹ شهرستان این استان و ۱۰ شاخص مکان‌یابی، یک ماتریس۱۰در۹ خواهیم داشت. ولی استان آذربایجان شرقی را به ۴ قسمت تقسیم می‌کنیم، تا محاسبات ساده‌تر گردد. به همین دلیل یک ماتریس ۴ در ۹ خواهیم داشت. (شهرستان‌های شمال شرق: اهر-خداآفرین-کلیبر)(شهرستان‌های شمال غرب: جلفا)(شهرستان‌های جنوب غرب: ملکان – بناب)(شهرستان‌های جنوب شرق: میانه-هشترود- چاراویماق)، ما بقی شهرستان‌ها بدلیل فاصله کم از نزدیکترین فرودگاه حذف شده‌اند.



شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی استان آذربایجان شرقی



شکل ۲. فرودگاه های کشور (CM۱:۲۵۰۰۰۰۰)

یافته‌ها و بحث

در این پژوهش، نتیجه طراحی یک تکنیک فرا ابتکاری بمنظور استفاده در سامانه‌های اطلاعات مکانی با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره می‌باشد، بنابراین ارزیابی در این پژوهش، بررسی کارایی تکنیک فرا ابتکاری برای یک موضوع خاص نظیر اولویت‌بندی گزینه‌ها برای انتخاب نهایی گزینه مناسب است که نتایج ارزیابی این موضوع در این بخش از تحقیق بیان شده است.

ضریب کندال

یکی از ضریب همبستگی‌ها به نام ضریب همبستگی کندال می‌باشد، برای استفاده از این ضریب به مقدارهای نسبی از داده‌ها نیاز است (عساکره، ۱۳۹۰: ۱۷۹). این ضریب برای سنجش میزان تناظر یا مطابقت بین دو مجموعه و تحلیل معنی‌داری از این تناظر استفاده می‌شود. این ضریب همواره بین ۱- و ۱+ در نوسان می‌باشد. اگر بین دو مجموعه، توافق کامل باشد، مقدار ضریب برابر ۱+ خواهد بود. اگر بین دو مجموعه عدم توافق کامل وجود داسته باشد، مقدار این ضریب برابر ۱- خواهد بود. ولی در حالتی که مجموعه‌ها مستقل از هم باشند و افزایش و یا کاهش در یکی با افزایش و یا کاهش دیگری مرتبط نباشد، مقدار ضریب بطور متوسط برابر با صفر خواهد بود (مهدوی و همکاران، ۱۳۸۴: ۱۶۵).

جدول ۴. *ضریب کندال*

Correlations

			A	B
Kendall's tau_b	A	Correlation Coefficient	1.000	.708*
		Sig. (2-tailed)	.	.016
		N	10	10
	B	Correlation Coefficient	.708*	1.000
		Sig. (2-tailed)	.016	.
		N	10	10

*. Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

همانطور که مشاهده می‌شود مقدار ضریب همبستگی برابر با ۰,۷۰۸ بدست آمده است که سطح معنی‌داری آن با توجه به این که کمتر از ۰,۰۵ است نشان از معنی‌داری این ضریب می‌باشد.

تکنیک فرا ابتکاری

گام۱- تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری

نخستین گام در تمامی تکنیک‌های تصمیم گیری چندمعیاره که هدف انتخاب گزینه بهینه است، تشکیل ماتریس تصمیم است. ماتریس تصمیم گیری یک ماتریس برای ارزیابی تعدادی گزینه براساس تعدادی معیار است. یعنی ماتریسی که در آن هر گزینه براساس تعدادی معیار امتیازدهی شده است.

جدول ۵. *ماتریس تصمیم گیری*

شاخص / گزینه	درآمد	جمعیت	گسترش آینده	فاصله از نزدیکترین فرودگاه	ترافیک هوایی	مورد استفاده	ایمنی	توپوگرافی	ارزش اقتصادی	تعداد مسافر
شمال شرق	۴۵۳۲۳۰	۲۳۳۳۷۵	زیاد	زیاد	کم	خیلی زیاد	خیلی زیاد	کم	کم	۸۹
شمال غرب	۴۵۳۲۳۰	۶۷۵۵۰	کم	متوسط	کم	خیلی زیاد	خیلی زیاد	کم	خیلی کم	۲۶
جنوب غرب	۴۵۳۲۳۰	۲۵۶۵۰۹	کم	متوسط	متوسط	خیلی زیاد	خیلی زیاد	زیاد	متوسط	۹۸
جنوب شرق	۴۵۳۲۳۰	۲۶۳۵۸۳	زیاد	زیاد	متوسط	خیلی زیاد	خیلی زیاد	کم	متوسط	۱۰۱

گام۲- تعیین ماتریس تصمیم وزن دار نرمال شده

در این گام، باید ماتریس تصمیم نرمال ایجاد شده، موزون شود. برای این منظور، وزن هر معیار در تمامی درایه‌های زیر همان معیار ضرب می‌شود. وزن معیارها باید از قبل مشخص شود. دراین روش برای محاسبه وزن معیارها از تکنیک آنتروپی، استفاده شده است.

جدول ۶. *ماتریس تصمیم وزن دار شده*

شاخص / گزینه	درآمد	جمعیت	گسترش آینده	فاصله از نزدیکترین فرودگاه	ترافیک هوایی	مورد استفاده	ایمنی	توپوگرافی	ارزش اقتصادی	تعداد مسافر
شمال شرق	۰/۱	۰/۰۸	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۷	۰/۱	۰/۱	۰/۰۴	۰/۰۶	۰/۰۸
شمال غرب	۰/۱	۰/۰۲	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۱	۰/۱	۰/۰۴	۰/۰۳	۰/۰۲
جنوب غرب	۰/۱	۰/۰۹	۰/۰۴	۰/۰۷	۰/۰۹	۰/۱	۰/۱	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹
جنوب شرق	۰/۱	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۰۹	۰/۱	۰/۱	۰/۰۴	۰/۰۹	۰/۰۹

گام ۳ - محاسبه مجموع مربعات گزینه ها و میانگین مربعات گزینه ها

باتوجه به روابط ۴ و ۵ به مجموع مربعات گزینه‌ها و میانگین مربعات گزینه‌ها می‌رسیم. همانطور که هم از پیش گفته شده بود اساس کار روش، بر روی میانگین گزینه‌ها می‌باشد. بدین ترتیب مجموع مربعات گزینه ها برابر ۰/۲۰۶ و میانگین مربعات گزینه‌ها برابر با $۲/۲۲\times۱۰^{-۶}$ می-باشد.

$$SSA=\sum_{i=1}^{m}\frac{vi.^2}{n}-\frac{v..^2}{mn}=۰/۲۰۶$$
$$MSA=\frac{SSA}{2mn^4}=۲/۵۷\times۱۰^{-۶}$$

گام ۴ – اهمیت هر گزینه

دراین مرحله با توجه به رابطه ۶ به اهمیت هر گزینه براساس ماتریس بی مقیاس وزین شده، می‌رسیم، مجموع تمام اهمیت گزینه ها برابر با ۱ می‌باشد و هرگزینه‌ای که مقدار بیشتری داشته باشد، ملاک انتخاب ما می‌باشد.

C1=۰/۲۴۹۹۹۸۴۲۶ C1=۰/۲۴۹۹۹۸۲۲۴ C1=۰/۲۴۹۹۹۸۴۶۳ C1=۰/۲۴۹۹۹۸۴۸۴

با توجه به قسمت گام ۴ می‌توان نتیجه گرفت که گزینه چهارم یعنی جنوب شرق در اولویت نخست، جنوب غرب در اولویت دوم، شمال شرق اولویت سوم، شمال غرب در اولویت چهارم قرار می‌گیرد. پس می‌توان نتیجه گرفت که C4>C3>C1>C2.

مدل سکا

در این ماتریس تصمیم، معیارهای C5 و C8 ماهیت منفی دارند. دو معیار C1, C6 و C7 به علت اعداد یکسان نسبت به گزینه‌ها حذف می‌شوند زیرا گزینه‌ها در این معیارها رقابتی با هم ندارند.

گام ۱– تعیین مقادیر نرمال σ_j و π_j

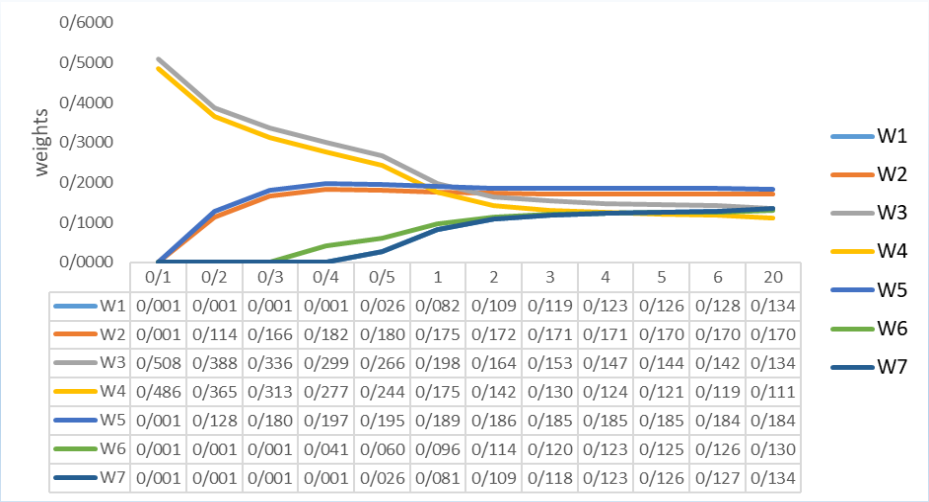
در این بخش با استفاده از روابط ۱۱ و ۱۲ مقادیر نرمال σ_j و π_j محاسبه می‌شود. برای نرمال‌سازی آن باید هر π_j را بر جمع کل π_j ها تقسیم کرد تا مقادیر نرمال حاصل شود. برای مقدار نرمال σ_j نیز باید ابتدا مقدار σ_j که همان انحراف معیار می‌شود محاسبه کرد، جهت نرمال سازی آن هر σ_j را بر جمع کل σ_j ها تقسیم می‌شود، نتایج در جدول ۷ آورده شده است.

جدول ۷. مقادیر نرمال σ_j و π_j

شاخص	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7
πj	۰/۰۸	۰/۱۸	۰/۱۸	۰/۱۳	۰/۲۳	۰/۰۹	۰/۰۸
σj	۰/۱۹	۰/۱۵	۰/۰۷	۰/۰۷	۰/۱۳	۰/۱۷	۰/۱۸

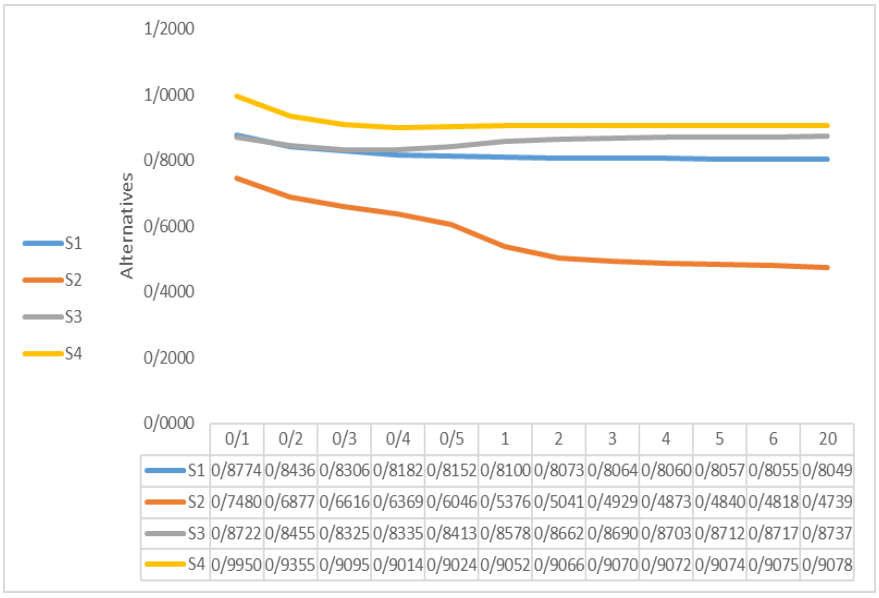
گام ۲ – تشکیل مدل بهینه‌سازی و حل آن

در این بخش با استفاده از روابط ۱۹تا۲۶، در واقع یک مدل بهینه‌سازی غیرخطی تشکیل و توسط نرم‌افزار Lingo حل می‌گردد. در این مدل به ازای مقادیر β از ۰/۱تا ۲۰ مدل اجرا شده است و در هربار اجرا وزن معیارها و امتیاز گزینه‌ها حاصل شده است. که مقادیر وزن معیارها (W) و امتیاز گزینه (A) در شکل‌های ۳ و ۴، به ازای مقادیر مختلف β آورده شده است.



	0/1	0/2	0/3	0/4	0/5	1	2	3	4	5	6	20
W1	0/001	0/001	0/001	0/001	0/026	0/082	0/109	0/119	0/123	0/126	0/128	0/134
W2	0/001	0/114	0/166	0/182	0/180	0/175	0/172	0/171	0/171	0/170	0/170	0/170
W3	0/508	0/388	0/336	0/299	0/266	0/198	0/164	0/153	0/147	0/144	0/142	0/134
W4	0/486	0/365	0/313	0/277	0/244	0/175	0/142	0/130	0/124	0/121	0/119	0/111
W5	0/001	0/128	0/180	0/197	0/195	0/189	0/186	0/185	0/185	0/185	0/184	0/184
W6	0/001	0/001	0/001	0/041	0/060	0/096	0/114	0/120	0/123	0/125	0/126	0/130
W7	0/001	0/001	0/001	0/001	0/026	0/081	0/109	0/118	0/123	0/126	0/127	0/134

شکل ۳. تغییرات وزن معیارها به ازای مقادیر مختلف β



	0/1	0/2	0/3	0/4	0/5	1	2	3	4	5	6	20
S1	0/8774	0/8436	0/8306	0/8182	0/8152	0/8100	0/8073	0/8064	0/8060	0/8057	0/8055	0/8049
S2	0/7480	0/6877	0/6616	0/6369	0/6046	0/5376	0/5041	0/4929	0/4873	0/4840	0/4818	0/4739
S3	0/8722	0/8455	0/8325	0/8335	0/8413	0/8578	0/8662	0/8690	0/8703	0/8712	0/8717	0/8737
S4	0/9950	0/9355	0/9095	0/9014	0/9024	0/9052	0/9066	0/9070	0/9072	0/9074	0/9075	0/9078

شکل۴. تغییرات امتیاز گزینه‌ها به ازای مقادیر مختلف β

جمع‌بندی نتایج سکا

با توجه به همگرایی $\beta > 0/1$ می‌توان نتیجه گرفت که گزینه چهارم یعنی جنوب شرق با امتیاز ۰/۹۳۵ در اولویت اول، جنوب غرب با امتیاز ۰/۸۴۵ دراولویت دوم، شمال شرق ۰/۸۴۳در اولویت سوم، شمال غـرب بـا امتیـاز ۰/۶۸۷ در اولویت آخر قرار دارد، پس می‌توان نتیجه گرفت که$A4>A3>A1>A2$.

روش کوپراس

۱- وزن و تعیین معیارهای مثبت و منفی

شاخص‌های توپوگرافی و ترافیک هوایی جزء شاخص‌های منفی می‌باشند، به این معنی که کاهش آن‌ها باعث بهتر شدن شرایط می‌شوند و مابقی شاخص‌ها جزء شاخص‌های مثبت می‌باشند، به این معنی که افزایش آن‌ها باعث بهتر شدن شرایط می‌شوند. وزن هر شاخص نیز از طریق روش آنتروپی محاسبه گردیده است.

۲- محاسبه اولویت بندی و درجه اهمیت گزینه‌ها

در این گام با توجه به رابطه ۳۰ که محاسبه شاخص کوپراس است گزینه‌ها را اولویت‌بندی می‌نماییم. هر چه مقدار Qj بزرگتر باشد نشان‌دهنده اولویت بهتر آن گزینه در اولویت‌بندی است.

جدول۸. *اولویت‌بندی و درجه اهمیت گزینه‌ها*

Qj(اولویت بندی گزینه ها)	۰/۵۸۴Q1=	۰/۵۱۲Q2=	۰/۷۹۹Q3=	۰/۶۵۸Q4=
Nj (درجه اهمیت گزینه ها)	۰/۷۳۰N1=	۰/۶۴۰N2=	۱N3=	۰/۸۲۳N4=

با توجه به جدول شماره ۸ می‌توان نتیجه گرفت که گزینه سوم یعنی جنوب غرب در اولویت نخست، جنوب شرق در اولویت دوم، شمال شرق در اولویت سوم، و شمال غرب در اولویت آخر قرار می‌گیرد. پس می‌توان نتیجه گرفت که N4>N4>N1>N2.

مقایسه روش‌های بکار برده شده در پژوهش

تصمیم‌گیری چندمعیاره رویکردی در مدیریت است که امکان انتخاب بهترین راهکار را براساس معیارهای متعدد و گاهاً متضاد را فراهم می‌آورد. این روش‌ها معمولاً با دو هدف تعیین وزن معیارها یا انتخاب بهترین گزینه مورد استفاده قرار می‌گیرند. در مطالعه انجام شده از ترکیبی از سه روش تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده شده است و این در جذابیت حل مساله بسیار موثر است. با توجه به نتایج بدست آمده، مشخص شد که در تکنیک فرا ابتکاری و مدل سکا، جنوب شرق استان آذربایجان شرقی به عنوان گزینه مناسب در اولویت اول، اما در روش کوپراس جنوب غرب استان آذربایجان شرقی در اولویت اول می‌باشد. همچنین در ترتیب اولویت‌بندی، بین تکنیک ارائه شده و مدل سکا هیچ تفاوتی مشاهده نشد.

جدول ۹. *مقایسه روش‌ها*

اولویت	سکا	کوپراس	تکنیک فرا ابتکاری
۱	جنوب شرق	جنوب غرب	جنوب شرق
۲	جنوب غرب	جنوب شرق	جنوب غرب
۳	شمال شرق	شمال شرق	شمال شرق
۴	شمال غرب	شمال غرب	شمال غرب

اولویت‌بندی شهرستان‌های جنوب شرق آذربایجان شرقی

بدلیل اینکه در جدول شماره ۹، دو روش از سه روش، جنوب شرق را اولویت اول قرار داده‌اند، به همین منظور مکان یابی، در جنوب شرق استان انجام می‌شود(شهرستان‌های جنوب شرق: میانه-هشترود- چاراویماق).

۱-تشکیل ماتریس تصمیم‌گیری

برای تشکیل ماتریس تصمیم گیری مراحل زیر باید پیاده شوند: شناسایی گزینه‌ها- شناسایی شاخص‌ها- تعیین نوع شاخص‌ها (مثبت و منفی)- ارزیابی هر گزینه بر اساس هر شاخص- تبدیل ارزیابی‌های کیفی و زبانی به کمی- تکمیل و نهایی‌سازی ماتریس تصمیم‌گیری.

جدول ۱۰. *ماتریس تصمیم*

شاخص / گزینه	درآمد	جمعیت	گسترش آینده	فاصله از نزدیکترین فرودگاه	ترافیک هوایی	مورد استفاده	ایمنی	توپوگرافی	ارزش اقتصادی	تعداد مسافر
چاراویماق	۴۵۳۲۳۰	۲۹۳۹۷	۱	۳	۳	۵	۵	۳	۲	۱۱
هشترود	۴۵۳۲۳۰	۵۳۵۷۶	۱	۲	۳	۵	۵	۲	۲	۲۱
میانه	۴۵۳۲۳۰	۱۸۰۶۱۰	۳	۳	۳	۵	۵	۲	۳	۶۹

۲-مقادیر نهایی سه روش استفاده شده در پژوهش

در این مرحله با توجه به روش‌های استفاده شده در پژوهش، درجه اهمیت هر گزینه را حساب کرده و نتیجه هر روش، بصورت خلاصه در جدول ۱۱ نمایش داده شده است.

جدول ۱۱. *مقادیر نهایی گزینه‌ها*

گزینه	تکنیک فرا ابتکاری	کوپراس	سکا
چاراویماق	۰,۳۳۳۳۳۲۵۱	۰,۶۶۲۳۸۱۴۱۹	۰,۵۹۱۹
هشترود	۰,۳۳۳۳۳۲۵۳	۰,۷۹۱۱۱۱۹۱۵	۰,۶۰۵۰
میانه	۰,۳۳۳۳۳۲۶۳	۱	۱

مقایسه روش‌ها

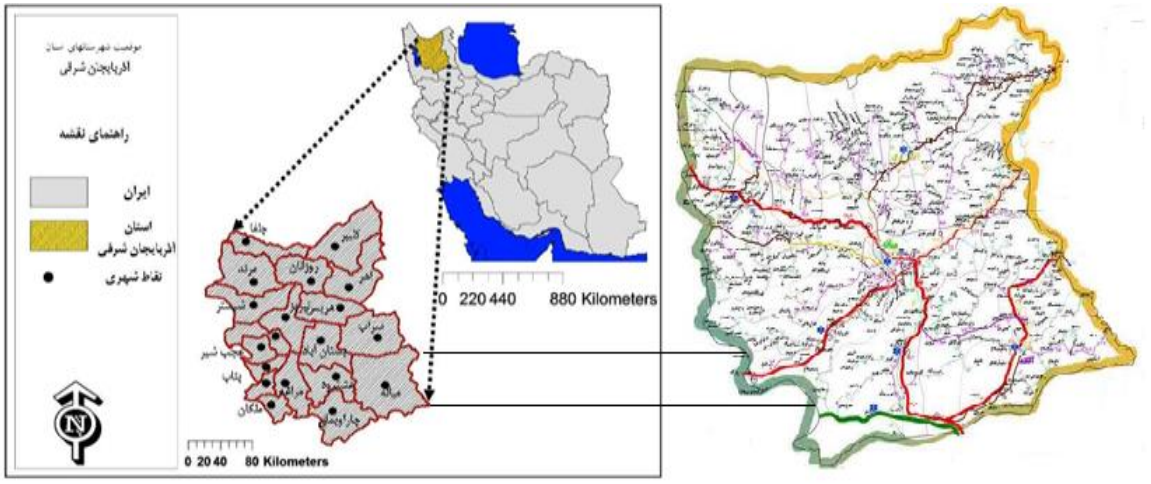
با توجه به نتایج بدست آمده، مشخص شد که هر سه روش گویای این مطلب بود که شهرستان میانه، به عنوان گزینه مناسب در اولویت اول می‌باشد. هم چنین در ترتیب رتبه‌بندی بین تکنیک ارائه شده، روش کوپراس و مدل سکا هیچ تفاوتی دیده نشد، نتایج در جدول۱۲ نمایش داده شده است.

جدول۱۲. *مقایسه روش‌ها*

اولویت‌بندی	تکنیک فرا ابتکاری	کوپراس	سکا
چاراویماق	۳	۳	۳
هشترود	۲	۲	۲
میانه	۱	۱	۱

گزینه نهایی

با توجه به جدول شماره ۱۲ نتیجه می‌یریم که شهرستان میانه در اولویت نخست می‌باشد. این جدول بیانگر مقایسه روش‌های استفاده شده در پژوهش می‌باشد. هر سه روش گویای این مطلب می‌باشد که شهرستان میانه نسبت به دو شهرستان دیگر از اولویت مناسب‌تری برخوردار است، همچنین بین ترتیب اولویت‌ها در هر سه روش هیچ اختلافی مشاهده نمی‌شود.



شکل ۵. استان آذربایجان شرقی و شهرستان میانه

نتیجه‌گیری

روش‌های مختلف تصمیم‌گیری چند شاخصه برای یک مسأله خاص جواب‌های گوناگون و متفاوتی ارایه می‌کنند، سردرگمی کاربران از این نقطه آغاز می‌شود که جواب کدامین روش را به عنوان جواب مناسب بپذیرند. با مقایسه نتایج روش تکنیک فرا ابتکاری و روش‌های دیگر، نقاط قوت این تکنیک روشن شد. از جمله نقاط قوت این تکنیک می‌توان به سادگی، دقت در محاسبات، عدم محدودیت درگزینه‌ها و شاخص‌ها، قابلیت تعمیم به سایر مکان‌ها، و هزینه کم آن اشاره کرد. باتوجه به مقایسه‌های انجام شده، بکارگیری تکنیک ارائه شده در این پژوهش، برای سازمان‌ها و شرکت‌های مختلف در اتخاذ تصمیمات درست تر بسیار راهگشا خواهد بود. همچنین با درنظر گرفتن عملکرد تکنیک در مکان‌یابی فرودگاه، این تکنیک توانایی انتخاب گزینه مناسب و مکانیابی در پروژه‌های مختلف را دارد. نتایج حاصل از بررسی نشان دهنده آن است که بین روش‌های ارائه شده در پژوهش در انتخاب گزینه اختلافاتی مشاهده شد. و دو روش گویای آن می‌باشد که جنوب شرق آذربایجان شرقی با توجه به شاخص‌های مطرح شده مناسب‌ترین گزینه، در حالیکه در روش کوپراس جنوب غرب، مناسب‌ترین گزینه می‌باشد. در حقیقت این اختلاف بین گزینه‌ها، همان مطلوب مورد نظر ما می‌باشد، چرا که با توسعه تکنیک فرا ابتکاری می‌توان به گزینه‌ها سطح اطمینان داد، و با درصد اطمینان مشخصی گزینه مورد نظر را انتخاب کنیم.

- ✓ در این تحقیق از سه روش تصمیم گیری برای اولویت‌بندی گزینه‌ها استفاده شد، پیشنهاد می‌شود از دیگر روش‌های تصمیم گیری در انتخاب گزینه مناسب استفاده شود؛
- ✓ این پژوهش در شرکت فرودگاه‌ها و ناوبری هوایی ایران اجرا شد، پیشنهاد می‌شود از تکنیک فرا ابتکاری در دیگر نهادها و موسسات، برای مسائل مختلف نیز استفاده شود؛ و
- ✓ با توجه به نتایج به دست آمده در این پژوهش، پیشنهاد می‌شود در آینده پژوهش‌هایی مبنی بر ارزیابی دقیق شهرستان میانه و اینکه در کدام قسمت، مکان دقیق فرودگاه انتخاب شود انجام گیرد.

منابع

صفارزاده، محمود. ژولیده، هیوا و بروجردیان،امین میرزا. (۱۳۸۴). مدل مکانیابی فرودگاه به روش جایگشت. *پژوهشنامه حمل و نقل*. دوره ۲: شماره ۳: ۱۷۰-۱۶۱.

موسوی، ناصر. (۱۳۸۰). اولویت بندی و انتخاب مکان مناسب برای شعب بانک کشاورزی با استفاده از تکنیک تحلیل سلسله مراتبی (AHP). پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

عزیزی، علیرضا. (۱۳۸۸). امکان‌سنجی و اولویت بندی استقرار شعب در صنعت بانکداری از طریق تحلیل سلسله مراتبی AHP. پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس.

رسولی، حسن. قرنجیک، عبدالرشید و قرنجیک، عبدالغفار.(۱۳۹۴). بررسی و ارزیابی حمل ونقل شهری بر توسعه پایدار شهری. *دومین کنفرانس بین المللی پژوهش های نوین در عمران*، معماری و شهر سازی.صص ۱-۲۴.

رضویان، پودینه و حسنعلی، محمد تقی(۱۳۸۱). برنامه ریزی کاربری اراضی شهری نشر منشی. تهران.

بحری، سیاوش هارون. دریاباری، سید جمال الدین. خانجان زاده کاکرودی ، شقایق. حاجی محمد لو، محمد و پزشکی، مهدی. (۱۳۹۶). آمایش سرزمینی و توسعه سواحل مکران با تأکید بر مکان یابی و احداث شبکه های حمل ونقل در راستای ارتقای موقعیت ژئوپلیتیک و ژئواکونومیک. *فصل نامه پژوهش نگرش های نو در جغرافیای انسانی*، سال دهم، شماره دوم، صص۱۵۲-۱۷۲.

سرور، رحیم. عبدلی، محمدرضا. (۱۳۸۹). ارزیابی مکان یابی جغرافیایی فرودگاه های کشور براساس مؤلفه های اقلیم و توپوگرافی. *فصل نامه اطلاعات جغرافیایی*. دوره ۱۹، شماره ۷۶، صص۳۹-۴۴.

ضرابی، اصغر. محمدی، جمال وسقایی، محسن.(۱۳۸۵). چالش های صنعت حمل ونقل هوایی در ایران. جغرافیا و برنامه ریزی محیطی. سال بیستم. شماره۲۳,۲۳-۴۲.

حقیقی راد، فرزاد. سجادپور، فاطمه .(۱۳۹۵). *مکانیابی پویای فرودگاه آبادان در حالت تعدد ذینفعان*. پایان نامه کارشناسی ارشد. سازمان مدیریت صنعتی.۱-۲۱۰.

چراغی، مهدی. ذوالفی، علی. (۱۳۹۶). مکان یابی اماکن تفریحی و اقامتی استان زنجان(مطالعه موردی: محور گردشگری سلطانیه-کتله خور). *مهندسی جعرافیایی سرزمین*، دوره اول، شماره۲،صص۷۳-۹۹.

شفیعی تیلکی، محمد. متولی، صدرالدین. و جانباز قبادی، غلامرضا.(۱۴۰۰). ارزیابی و مکان یابی بهینه کاربری آموزش عالی در راستای توسعه پایدار (مطالعه موردی: دانشگاه آزاد واحد شهر ساری). *مهندسی جعرافیایی سرزمین*.

عنابستانی، علی اکبر. علیزاده، لیدا.(۱۴۰۰).ارزیابی استراتژیک زیست محیطی پسماندهای ناشی از کشتارگاه صنعتی شهر سبزوار. *مهندسی جعرافیایی سرزمین*. دوره چهارم، شماره ۸. صص۳۹۱-۴۰۳.

پروازی، مهناز.(۱۳۹۸). بررسی مکان یابی فرودگاه امام خمینی(ره) با توجه به مطالعات اقلیمی براساس فرایند تحلیلی سلسله مراتبیAHP . *مجله علوم جغرافیایی*، شماره ۳ :۳۳-۵۹.

چکیده نتایج طرح آمارگیری هزینه و درآمد خانوار شهری و روستایی.(۱۳۹۵). مرکز آمار ایران.۱۸.

سال نامه آمار ایران. (۱۳۹۵). سازمان برنامه و بودجه. مرکز آمار ایران. ۱۴۰.

سال نامه آمار ایران. (۱۳۹۵). سازمان برنامه و بودجه. مرکز آمار ایران. ۴۷۶-۴۸۳.

عساکره، حسین. (۱۳۹۰). مبانی اقلیم شناسی آماری، انتشارات دانشگاه زنجان، چاپ اول، زنجان

مهدوی، مسعود. طاهر خانی، مهدی. (۱۳۸۴). کاربرد آمار در جغرافیا، نشر قومس، چاپ اول، تهران.

Ruiz Puente, C., Diego, M., Ortiz, J., Hernando, M., Hernaez, P.(2007). The Development of a New Methodology Based on GIS and Fuzzy Logic to Locate Sustainable Industrial Areas. 10th AGILE International Conference on Geographic Information Science. Aalborg University. Denmark.

Fadda, E. Manerba, D. Cabodi, G. Camurati, P. Tadei, R. (2021). "Comparative analysis of models and performance indicators for optimal service facility location." Journal of Transportation Research Part E, 1-34.

Krarup, J. Roos, C. (2017). "On the Fermat point of a triangle. " Research Gate, 1-8.

Saghaee, M. (2019). An Analysis of The Problems Governing Iran's Airports From a Spatial Perspective. *Journal of Transportation*, vol 58. 151-167. (In Persian).

Omidipoor, M., Jelokhani-niaraki, M., & Samany, N. N. (2019). A Web-Based Geo-Marketing Decision Support System for Land Selection: A Case Study of Tehran, Iran. *Annals of GIS*, 25(2), 179-193. (In Persian).

Jelokhani-niaraki, M., & Malczewski, J. (2012). A User-Centered Multicriteria Spatial Decision Analysis Model for Participatory Decision Making: An Ontology-Based Approach. *Proceedings of GSDI*, 13. . (In Persian).

International Civil Aviation Organization.(1997). Airport Planning Manual, Part1: Master Planning.2nd Edition, *International Civil Aviation Organization*, Montreal, Canada.

Keshavarz-ghorabaee,M.(2018). Simultaneous Evaluation of Criteria and Alternatives (SECA) for Multi-Criteria Decision-Making .*Vilnius University informatica*. Vol 29, No. 2, 265–280.

Zavadskas,E. K. Kaklauskas,A. Peldschus, F. Turskis, Z. (2008). Multi-Attribute Assessment of Road Design Solutions by Using the Copras Method. *Baltic Journal of Road Bridge Engineering*, Vol II, No4.195-203.