سنجش از دور
و
GIS ایران

سنجش از دور و GIS ایران سال نهم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۶
Iranian Remote Sensing & GIS Vol.9, No. 4, Winter 2018

۲۳-۳۶

ارزیابی موقعیت انبارهای توزیع
با استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ مکانی به‌روش تلفیقی ANP-OWA

حامد حبیبی [۱]، محمد طالعی [۲*]، قاسم جوادی [۳]

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم اطلاعات مکانی، دانشکدهٔ مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک
دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۲. دانشیار دانشکدهٔ مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

۳. عضو هیئت علمی گروه مهندسی عمران- نقشه‌برداری، دانشکدهٔ فنی و مهندسی، دانشگاه بجنورد

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۵/۷ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۸/۲۲

چکیده

انبارهای توزیع در اقتصاد کشور اهمیت فراوانی دارند و درصد معتنابهی از دارایی‌ها در انبارها انباشته شده است. انتخاب بهترین مکان تأثیر مهمی در عملکرد و بازدهی اقتصادی انبارها و کاهش هزینهٔ زنجیرهٔ تأمین دارد. ارزیابی موقعیت انبارها مسئلهٔ تصمیم‌گیری چندمعیاره، شامل معیارهای کمی و کیفی است. در این پژوهش، یک مدل تصمیم‌گیری مبتنی‌بر سیستم اطلاعات مکانی، برای ارزیابی موقعیت‌های بالقوه مناسب جهت جانمایی انبارهای توزیع محصولات در سطح استان تهران، مطرح شده است. فرایند ارائه‌شده شامل چهار مرحلهٔ اصلی است. در مرحلهٔ اول، معیارهای گوناگون استخراج و داده‌های مورد نیاز در بستر GIS جمع‌آوری شد. در گام دوم، کارشناسان و متخصصان مورد نظر شاخص‌های ارزیابی را مشخص و با استفاده از روش فرایند تحلیل شبکه (ANP)، آنها را وزن‌دهی و تلفیق کردند. سومین مرحله اجرای مدل و نیز تعریف سناریوهای متفاوت مبتنی‌بر روش میانگین وزن‌دار ترتیبی (OWA) برای لحاظ‌کردن میزان ریسک و جبران‌شدگی در فرایند تصمیم‌سازی است. درنهایت، با استفاده از داده‌های استان تهران، کارآیی مدل ارزیابی و نتایج تحلیل شد. در پایان، ازطریق تلفیق خروجی حاصل از سناریوهای گوناگون، مکان‌هایی که در بیشتر سناریوها به‌منزلهٔ گزینهٔ خوب تعیین شده بودند، گزینه‌های مناسب با پایداری در نتایج تصمیم در نظر گرفته شدند. استفاده از روش تلفیقی ANP-OWA در تولید و ارزیابی سناریوهای متفاوت مبتنی‌بر میزان ریسک در تصمیم‌گیری و تحلیل حساسیت، در قالب تولید نقشهٔ جدید حاصل از تلفیق سناریوهای گوناگون، ازجمله نوآوری‌های این تحقیق است که به بهبود انجامیده است.

کلیدواژه‌ها: انبار توزیع، GIS، تصمیم‌گیری چندمعیاره، ANP-OWA.

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: تهران، خیابان ولیعصر (عج)، تقاطع میرداماد، دانشکدهٔ مهندسی نقشه‌برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی. تلفن: ۸۸۷۷۰۲۱۸.
Email: taleai@kntu.ac.ir

۱- مقدمه

انبارهای توزیع ازجمله مراکز اقتصادی است که فعالیت‌های مرتبط با حمل‌ونقل، توزیع کالا و نگهداری تدارکات تجاری در آنها انجام می‌شود. انتخاب مکان بهینه برای انبار توزیع فعالیتی مهم در فرایند بهینه‌سازی سیستم‌های ترابری و لجستیک است. جابه‌جایی کارآمد و مؤثر کالاها از انبارهای توزیع به مراکز توزیع، مراکز عمدهٔ فروش، و رساندن آنها به خرده فروشان و مشتریان در محیط رقابتی امروز بسیار مهم است. امروزه انبارهای ذخیره‌سازی از جنبه‌های کلیدی زنجیرهٔ تأمین محسوب می‌شوند که نقشی حیاتی در موفقیت یا شکست کسب‌وکار ایفا می‌کنند (Frazelle, 2017)؛ به‌طوری‌که در نظریهٔ مکان، که وبر[1] در ۱۹۸۹ برای اولین‌بار آن را معرفی کرد، تعیین محل انبار به‌منظور به‌حداقل‌رساندن فاصلهٔ سفر بین انبار و مجموعه‌ای از مشتریان توزیع‌شده در مکان در نظر گرفته شد.

فرایند تصمیم‌گیری شامل شناسایی، تحلیل، ارزیابی و انتخاب میان گزینه هاست. انتخاب محل انبار از میان مکان‌های جایگزین مسئله‌ای در زمینهٔ تصمیم‌گیری چندمعیاره، شامل هر دو شرایط کمی و کیفی، محسوب می‌شود. روند کلی تصمیم‌گیری مکانی معمولاً شامل تصمیم گیری درمورد معیارهای لازم برای ارزیابی گزینه‌ها، تعیین اهمیت معیارها، توسعهٔ گزینه‌های مناسب، ارزیابی گزینه‌ها و درنهایت، تصمیم‌گیری است (Ertugrul, 2008). در حل مسائل مکانی، سیستم اطلاعات مکانی (GIS) می تواند نقش مهمی در گردآوری اطلاعات مرتبط داشته باشد. از سوی دیگر، تصمیم‌گیری چندمعیاره (MCDM) مجموعه‌ای غنی از مدل‌ها و روش‌ها برای ساماندهی فرایند تصمیم‌گیری، ارزیابی و اولویت‌بندی گزینه‌ها را در اختیار قرار می‌دهد (Malczewski, 2006*a*).

در مطالعات زنجیرهٔ تأمین، مقالات بسیاری در زمینهٔ مکان یابی محل انبار مراکز تأمین کالا منتشر شده است. دوئیری و همکاران[2] (۲۰۱۶)، برای انتخاب عرضه‌کننده براساس فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)[3]، یک مدل حامی تصمیم‌گیری در کشور پاکستان پیشنهاد دادند. در تحقیق آنان، معیارهای اصلی براساس مطالعات گذشته تعیین و طبق دیدگاه‌های کارشناسان، با استفاده از روش AHP، اولویت بندی شد. در مرحلهٔ دوم، زیرمعیارها براساس معیارهای اصلی وزن دهی شد و درنهایت، برای تعیین استحکام مدل تصمیم، با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice، تحلیل حساسیت صورت گرفت. قاسمیان و همکاران (۱۳۹۵) مدلی برای انتخاب مکان بهینهٔ انبار برپایهٔ روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ فازی مطرح کردند. معیارهای ارزیابی و مکان‌های بالقوهٔ انبار شناسایی و با کمک کارشناسان و روش دیمتل فازی[4]، این معیارها وزن‌دهی شد. سپس به‌کمک روش ویکور و تاپسیس فازی، رتبه‌بندی گزینه‌ها صورت گرفت. عبداللهی و همکاران[5] (۲۰۱۵) روش تحلیل شبکه را، برای تعیین وزن معیارها، و روش تحلیل پوششی داده[6] را، برای رتبه‌بندی گزینه‌ها، استفاده کرده‌اند. ولاکوپولو[7]، در ۲۰۰۱، یک سیستم پشتیبانی تصمیم گیری مکانی برای فرایند انتخاب محل انبار توسعه داد. فریمن و چن[8] (۲۰۱۵) یک مدل انتخاب تأمین‌کننده براساس ترکیبی از منابع سنتی و معیارهای محیط زیستی توسعه دادند. ایشان پس از تعیین معیارهای ارزیابی، پرسشنامه ای در دو بخش تهیه کردند. در بخش نخست آن، داده‌های لازم برای تحلیل AHP و در بخش دوم، اطلاعات مورد نیاز برای تجزیه و تحلیل وزن آنتروپی جمع‌آوری شد. در مرحلهٔ بعد، با ترکیب این وزن‌ها، رتبه‌بندی به‌روش TOPSIS صورت گرفت. همچنین، کالزن[9] (۲۰۰۴) یک

1. Weber
2. Dweiri
3. Analytic Hierarchy Process (AHP)
4. Fuzzy Dematel
5. Abdollahi et al.
6. Data Envelopment Analysis (DEA)
7. Vlachopoulou
8. Freeman & Chen
9. Colson

سیستم پشتیبان برای انتخاب محل انبار عمومی (PWSS)[1] ایجاد کرد. درزنر[2] (۲۰۰۳) انتخاب محل بهینه برای انبار مرکزی را بررسی کرد. آنها مسئله را به‌صورت چندمرحله‌ای حل کردند و کل موجودی و هزینه‌های حمل‌ونقل را به‌منزلهٔ تابعی از محل انبار مرکزی بیان کردند. پرتوی[3] (۲۰۰۶) نیز یک مدل مکان یابی براساس مدل فرایند تحلیل شبکه (ANP)[4] را، برای تعیین بهترین محل انبار، پیشنهاد داد.

در پژوهش‌های مورد اشاره در زمینهٔ مکان‌یابی انبارهای توزیع، تمرکز اصلی بیشتر معطوف به انتخاب معیارهای ارزیابی، نحوهٔ وزن دهی و درنهایت، رتبه بندی گزینه ها براساس تلفیق معیارها بوده است. اما در مقالهٔ حاضر، با استفاده از روش تلفیقی ANP-OWA[5] در محیط سامانهٔ اطلاعات مکانی، امکان تولید و ارزیابی سناریوهای متفاوت مبتنی بر میزان ریسک پذیری در تصمیم‌گیری فراهم شده است. همچنین، تحلیل حساسیت[6] در قالب تلفیق سناریوهای گوناگون و تولید نقشهٔ جدید مبتنی بر آن، در تحقیقات قبلی، به‌ندرت مورد توجه محققان قرار گرفته است. درحالی‌که به‌کارگیری مدل تلفیقی ANP-OWA امکان کنترل میزان ریسک را میسر می‌کند و درنهایت، تلفیق نتایج سناریوهای گوناگون و طرح آن در قالب سناریویی ترکیبی می‌تواند میزان اعتماد به نتایج تصمیم‌گیری و درنتیجه، گزینهٔ منتخب را افزایش دهد.

۲- مواد و روش‌ها

برای بررسی و شناخت مسئله، باید مفاهیم و مبانی کلی مسئلهٔ تصمیم‌گیری، روش‌های مورد استفاده در انتخاب گزینه‌های مناسب و رتبه‌بندی معیارها فراگرفته شود. تصمیم‌گیری فرایندی است شامل ارزیابی و مقایسهٔ نتایج راه‌حل‌های موجود و انتخاب یک راه‌حل، براساس معیارهای گوناگون، برای رسیدن به هدف مطلوب. در فرایند تصمیم گیری چندمعیاره، روش ها و فنون گوناگونی توسعه یافته که لازم است، براساس ماهیت مسئلهٔ تصمیم‌گیری، روش مناسب انتخاب و به‌کار گرفته شود.

در این تحقیق، از روش‌های ANP و OWA استفاده شده است. روش ANP ازجمله روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به‌شمار می‌رود که ارتباطات درونی معیارها و زیرمعیارها را تحلیل می‌کند و ساختار شبکه‌ای آن، برای مسائلی در آنها که ارتباطات پیچیده و چندسطحی بین معیارها وجود دارد، مناسب است. روش OWA و عملگرهای گوناگون آن به‌صورت یک روش تلفیق در فرایند تصمیم‌گیری چندمعیاره مطرح شده است و قابلیت درنظرگرفتن اولویت‌ها و ارزیابی‌های ذهنی تصمیم‌گیرنده را دارد. همچنین، با انتخاب استراتژی‌های گوناگون تصمیم‌گیری امکان دخالت دادن میزان ریسک‌پذیری/ ریسک گریزی افراد را، در انتخاب گزینهٔ نهایی تصمیم، فراهم می‌آورد.

۲-۱- فرایند تحلیل شبکه (ANP)

ANP یکی از فنون تصمیم‌گیری چندمعیاره است. در بسیاری از مسائل تصمیم‌گیری، نمی‌توان عناصر تصمیم را به‌صورت سلسله‌مراتبی و مستقل از یکدیگر مدل‌سازی کرد. ازاین‌رو، برای حل چنین موضوعی، عناصر گوناگون را به یکدیگر وابسته می‌سازند. ال ساتی[7] نیز، در سال ۱۹۸۰، پیشنهاد کرد از تکنیک فرایند تحلیل شبکه‌ای استفاده شود.

فرایند تحلیل شبکهٔ هر مسئله‌ای تصمیم‌گیری را به‌مثابهٔ شبکه‌ای از معیارها، زیرمعیارها و گزینه‌ها (همهٔ اینها عناصر نامیده می‌شوند) در نظر می‌گیرد که با یکدیگر در خوشه‌هایی دسته‌بندی شده‌اند. تمامی عناصر در شبکه می‌توانند با یکدیگر ارتباط داشته باشند. به‌عبارت دیگر، در هر شبکه، بازخورد و ارتباط

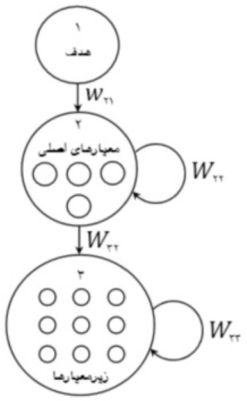
1. Public Warehouses Selection Support System
2. Drezner
3. Partovi
4. Analytic Network Process
5. Ordered Weighted Average (OWA)
6. Sensitive Analysis
7. Saaty

متقابل بین عناصر هر خوشه و میان خوشه‌های متفاوت امکان‌پذیر است (Garcia-Melon, 2008). ANP قادر است همبستگی‌ها و بازخوردهای موجود بین عناصر مؤثر در تصمیم‌گیری‌ها را مدل‌سازی و تأثیرات درونی اجزای مؤثر در تصمیم‌گیری را منظور کند. مراحل اجرای روش ANP در شکل ۱ ارائه شده است.

شکل ۱. گام‌های اجرای روش ANP

در فرایند تصمیم‌گیری مبتنی‌بر روش تحلیل شبکه‌ای، پس از طراحی شبکهٔ خوشه‌ها و عناصر هر خوشه، اهمیت نسبی عناصر به‌صورت مقایسهٔ زوجی میان عناصر تعیین می‌شود و خوشه‌ها نیز، با توجه به تأثیرشان در هدف نهایی، به‌صورت زوجی با هم مقایسه می‌شوند. در شکل ۲، نمونه‌ای از شبکه و عناصر آن و ارتباطات داخلی عناصر یک خوشه و ارتباط میان خوشه‌های متفاوت نمایش داده شده است. عناصر درون خوشه ممکن است با یکی از عناصر یا تمامی عناصر خوشه‌های دیگر ارتباط داشته باشند. این ارتباط‌ها (وابستگی بیرونی) با پیکان نشان داده می‌شوند. همچنین، ممکن است عناصر درون یک خوشه بین خودشان ارتباط متقابل داشته باشند (وابستگی درونی) که این‌گونه ارتباط‌ها با کمانی متصل به آن خوشه نشان داده می‌شود.

در گام دوم، در قالب مجموعه‌ای از مقایسات زوجی، از تصمیم‌گیرندگان پرسیده می‌شود که دو عنصر یا دو خوشهٔ مرتبط، در مقایسه با هم و براساس تحقق معیارهای بالادستی خود، چه تأثیر/ اهمیت نسبی‌ای دارند. تأثیر هر عنصر در عنصر دیگر را می‌توان ازطریق بردار ویژه نشان داد. اهمیت نسبی براساس مقیاس نُه‌کمیتی ساعتی سنجیده می‌شود (زبردست، ۱۳۸۹). در گام سوم، برای دستیابی به اولویت‌های کلی



شکل ۲. ارتباط و وابستگی‌های درونی و بیرونی بین معیارها، زیرمعیارها و خوشه‌ها

در سیستمی با تأثیرات متقابل، بردار اولویت‌ها/ وزن داخلی (wها) محاسبه می‌شود و سوپرماتریس اولیه‌ای که هر بخش آن ارتباط بین عناصر و خوشه‌ها در یک سیستم را نشان می‌دهد به‌دست می‌آید. در گام بعد، سوپرماتریس موزون[1] ازطریق نرمال‌سازی مقادیر سوپرماتریس اولیه محاسبه می‌شود؛ به‌طوری‌که در ماتریس جدید، جمع هریک از ستون‌ها برابر با عدد یک خواهد بود. در گام پنجم، سوپرماتریس وزنی به توان حدی می‌رسد تا عناصر ماتریس همگرا و مقادیر سطری آن با هم برابر شوند. براساس ماتریس به‌دست‌آمده، بردار وزن کلی مشخص می‌شود. در آخرین مرحله، با توجه به وزن خوشه‌ها و سوپرماتریس حدی، وزن نهایی معیارها محاسبه می‌شود.

۲-۲- روش متوسط وزنی مرتب (OWA)

روش‌های ارزیابی چندمعیاره در GIS معمولاً شامل

1. Weighted Super Matrix

مجموعه‌ای از معیارهای ارزیابی مکانی در قالب نقشه‌ها و لایه‌هاست. اما مسئله‌ای که اغلب در تصمیم‌گیری مکانی به‌وجود می‌آید چگونگی ترکیب نقشه‌های معیار با مجموعه‌ای از مقادیر وزن‌ها و نیز اولویت‌های تصمیم‌گیرندگان است (رجبی و همکاران، ۱۳۹۰). OWA روش تصمیم‌گیری چندمعیاره‌ای است که امکان کنترل جبران‌پذیری و ریسک تصمیم‌گیری را، در مرحلهٔ تلفیق از فرایند تصمیم‌گیری چندمعیاره، فراهم می‌کند. مسئلهٔ ارزیابی چندمعیاره شامل مجموعه‌ای از اولویت‌ها در جایگاه وزن‌های معیار است. با داشتن معیارها و وزن‌های مورد نظر، عملگر ترکیبی OWA به محل سلول i مجموعه‌ای از وزن‌های ترتیبی $V = v1, v2, \ldots, vn$ را اختصاص می‌دهد؛ به‌گونه‌ای‌که برای هر j= 1, 2, …, n داشته باشیم: j∈v[0 1] و $\sum_{j=1}^{n} vj = 1$. عملگر تلفیق OWA به‌صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود.

رابطه (۱) $$\boldsymbol{OWA} = \sum_{j=1}^{n} \left(\frac{uj * vj}{\sum_{j=1}^{n} uj * vj} \right) \boldsymbol{Zij}$$

که در آن $Zin \geq \cdots \geq Zi2 \geq Zi1$، با مرتب‌کردن مقادیر توصیفی $ai1.ai2.\ldots.ain$ به‌دست می‌آید و u_j همان وزن معیار است که براساس ترتیب z_{ij} ها مرتب‌سازی شده است. همان‌طورکه ملاحظه می‌شود، در این روش، دو نوع وزن به‌کار می‌رود. وزن‌های معیار نشان‌دهنده‌ی اهمیت نسبی هریک از معیارهای ارزیابی‌اند. اما وزن‌های ترتیبی براساس موقعیت مکانی سلول‌های نقشه‌معیار اختصاص می‌یابند؛ بدین‌معنا که تمامی سلول‌هایی که در یک موقعیت در چند نقشهٔ معیار قرار گرفته‌اند وزن‌های ترتیبی یکسانی خواهند داشت. بنابراین، در یک نقشه، همهٔ سلول‌ها دارای وزن معیار مشترکی خواهند بود اما وزن ترتیبی آنها متفاوت است.

مالچوسکی[1] ($2006b$) از تلفیق کمیت‌سنج مفهومی فازی و OWA برای ارزیابی چندمعیارهٔ تناسب کاربری‌های اراضی در محیط GIS استفاده کرد. کمیت‌های فازی با تابع Q بیان می‌شوند که در رابطه (۲) قابل مشاهده است. با تغییر مشخصهٔ α می‌توان کمیت‌سنج‌های گوناگونی را به‌دست آورد. هر کمیت‌سنج مفهومی فازی و مبین یک سناریوی مکان‌یابی است که با تغییر مشخصهٔ α، نتایج آن متفاوت می‌شود. برای تعریف این کمیت‌سنج‌ها، رابطه (۲) به‌کار می‌رود. جدول ۱ انواع کمیت‌سنج‌های مفهومی فازی و عبارت‌های معادلشان را نشان می‌دهد.

رابطه (۲) $$\boldsymbol{Q(p) = p^{\propto}}$$

۲-۳- معیارهای ارزیابی

انتخاب معیارهای این تحقیق مبتنی‌بر مطالعات کتابخانه‌ای و استخراج معیارها و شاخص‌های مورد استفاده در دیگر تحقیقات، جمع‌بندی و نهایی‌کردن آنها، براساس دیدگاه‌های کارشناسی است. بر این اساس در این مطالعه، نُه معیار اصلی و یک قید برای انتخاب محل انبار مطرح شده است. این معیارها از مطالعات و

جدول ۱. مقادیر متفاوت α، کمیت مفهومی فازی و میزان ریسک و جبران‌شدگی متناظر هریک

α	Quantifier (Q)	OWA weights (Vj)	ORness	Tradeoff
α → ۰	At least one	V1=1; Vj=0	۱	۰
α → ۰.۱	At least a few	–	–	–
α → ۰.۵	A few	–	–	–
α → ۱	Half (identify)	Vj=1/n for all j	۰.۵	**۱**
α → ۲	Most	–	–	–
α → ۱۰	Almost all	–	–	–
α → ∞	All	Vn=1; Vj =0	۰	۰

1. Malczewski

پژوهش‌های قبلی به‌دست آمده و در ادامه، دلایل انتخاب هریک بیان شده است. افزون‌بر این، برای تعیین این معیارها و سلسله‌مراتبشان، از دیدگاه‌های کارشناسان نیز استفاده شده است. تعریف معیارها و قید به شرح زیر است:

- نزدیکی به سیستم راه‌آهن موجود: قطار ارزان‌ترین و ایمن‌ترین سیستم حمل‌ونقل به‌شمار می‌رود. بنابراین، مکان بهینهٔ انبار باید در نزدیکی خطوط ریلی باشد.
- نزدیکی به سیستم حمل‌ونقل بزرگراه‌ها: مزیت اصلی حمل‌ونقل ازطریق بزرگراه‌ها دسترسی به نقاط متعدد است. بنابراین، نزدیکی به این سیستم حمل‌ونقل از معیارهای اصلی است.
- نزدیکی به فرودگاه: مشابه سیستم راه آهن، هر انباری با موقعیت عالی باید سکوی مناسبی ایجاد کند که در آن شرکت‌ها بتوانند کالاهای خود را به‌شیوه‌ای سریع عرضه و توزیع کنند. بنابراین نزدیکی به فرودگاه، از نظر پتانسیل حمل‌ونقل هوایی، نقش مهمی در تصمیم‌گیری محل انبار ایفا می‌کند.
- نزدیکی به مناطق صنعتی: هم تقاضاکنندگان و هم تأمین‌کنندگان با انبارها سروکار دارند. به‌منظور جذب و حفظ منابع شرکت‌ها، تصمیم‌گیران باید به مناطق صنعتی توجه داشته باشند.
- فاصله از مناطق جمعیتی: به‌طورکلی، بیشتر انبارها دارای مواد خطرناکی‌اند که چه بسا برای سلامت مردم مضر باشد؛ بنابراین، باید از مراکز شهرها و یا مناطق دارای تراکم جمعیتی بالا دور باشند.
- فاصله از مناطق طبیعی و فضای سبز: به‌علت احتمال زیان‌رسانی مواد قابل اشتعال و خطرناک موجود در انبار، از دیدگاه محیطی، ترجیح بر این است که فاصلهٔ انبارها تا فضای سبز و جنگل‌ها حفظ شود.
- فاصله از رودخانه: دوربودن انبار از رودخانه باعث کاهش پتانسیل آلودگی محیطی می‌شود. هر انفجار احتمالی سبب آلودگی منابع آب و به‌خطرافتادن سلامت انسان می‌شود.
- فاصله از خطوط زمین‌لغزه: زمین‌لرزه می‌تواند در زندگی آسیب، مرگ، جراحت و اختلال ایجاد کند. همچنین، به‌سبب تخریب منطقه‌ای کاری، سبب بیکاری افراد بسیاری شود. بنابراین، انبارها نباید در مناطق کانون زلزله واقع شوند.
- شیب زمین: شیب یک سایت به درجهٔ انحراف[1] زمین اشاره دارد. اگر شیب زمینی که در آن انبار ساخته خواهد شد کم باشد، باعث افزایش کارآیی و استحکام ساخت‌وساز می‌شود (Ballis, 2007). در مقابل، شیب بالا می‌تواند مشکلاتی ایجاد کند. بنابراین، شیب زمین عامل مهمی در ایجاد زیرساخت انبار به‌شمار می‌رود.
- کاربری زمین: افزون‌بر معیارهای مطرح‌شده، نیاز است کاربری‌های مناسب با قابلیت بالقوهٔ انتخاب برای محل انبار در نظر گرفته شود. بنابراین، مناطقی با کاربری نامتناسب باید، به‌صورت قید، از فهرست مناطق پیشنهادی حذف شوند.

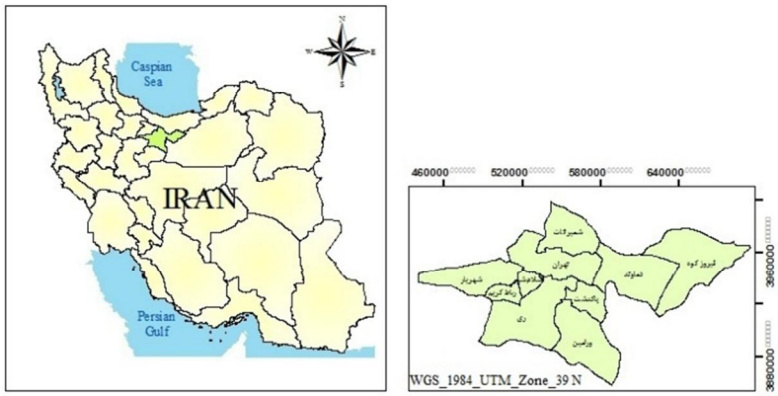
۳- منطقهٔ مورد مطالعه

استان تهران، به مرکزیت شهر تهران (شکل ۳)، با وسعتی حدود ۱۲،۹۸۱ کیلومتر مربع، بین ۳۴ تا ۳۶،۵ درجهٔ عرض شمالی و ۵۰ تا ۵۳ درجهٔ طول شرقی واقع شده که به‌منزلهٔ منطقهٔ مطالعهٔ موردی انتخاب شده است. این استان از شمال به استان مازندران، از جنوب به استان قم، از جنوب‌غرب به استان مرکزی، از غرب به استان البرز و از شرق به استان سمنان محدود است. این استان ۱۷.۵٪ جمعیت کل کشور را در خود جای داده و جمعیت آن، در سال ۱۳۹۵، ۱۲،۸۲۵،۰۰۰ نفر بوده است. ۶۳.۶٪ از جمعیت شهری استان تهران در شهر تهران و مابقی در ۴۴ شهر دیگر استان ساکن‌اند.

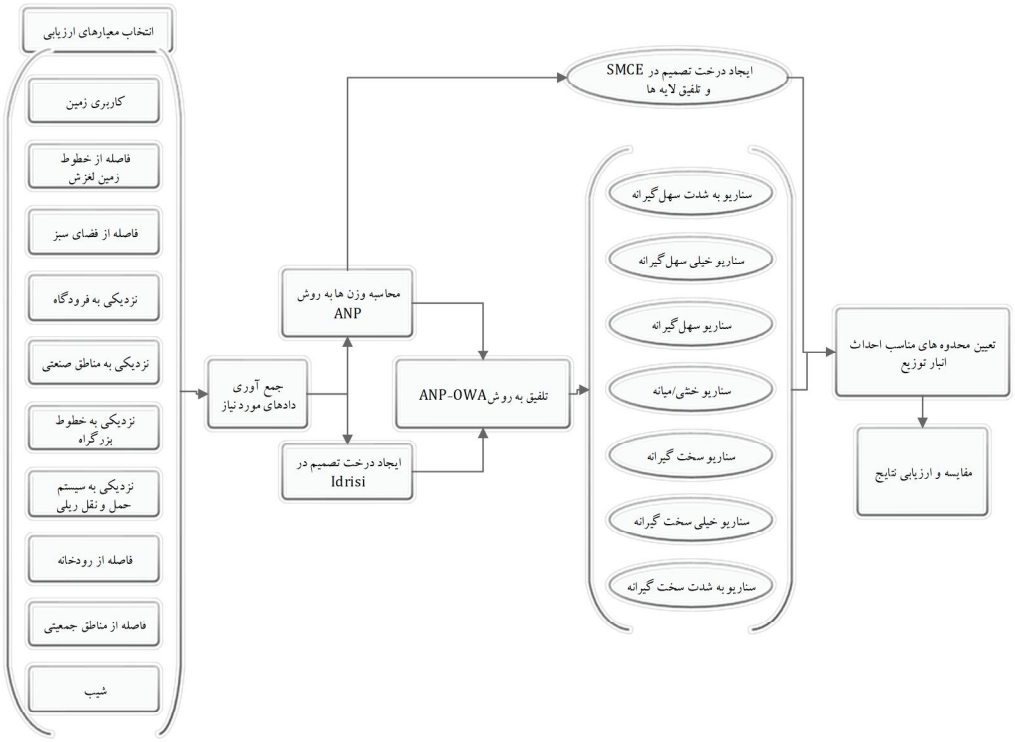
۴- اجرا و نتایج

مراحل کلی روش کار در شکل ۴ ارائه داده شده است.

1. inclination



شکل ۳. منطقهٔ مورد مطالعه

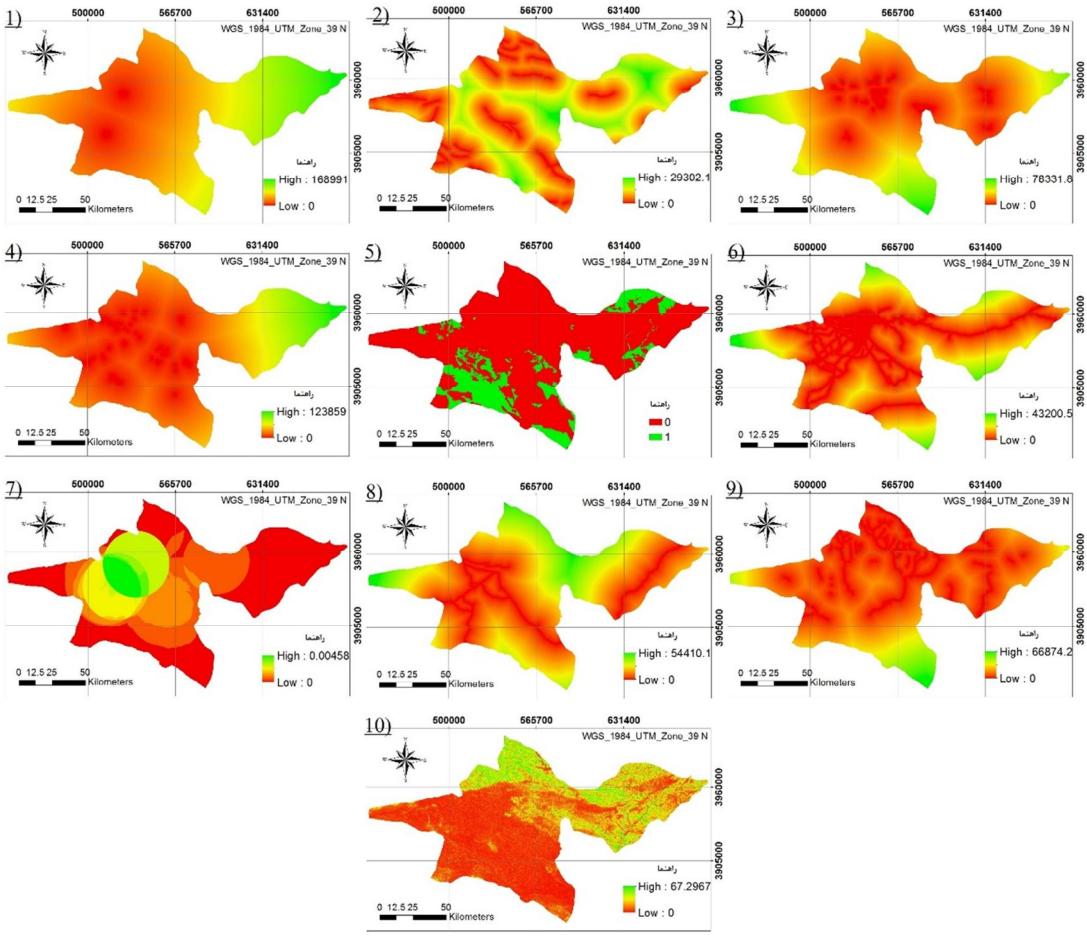


شکل ۴. مراحل و روش تحقیق

۴-۱- آماده‌سازی لایه‌ها

در این مرحله، نقشه‌های فاکتور تهیه شد. برای معیارهای ۱ تا ۸، نقشهٔ رستری فاصله؛ برای معیار شیب، با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی، نقشهٔ شیب و برای لایهٔ کاربری زمین، نقشهٔ باینری، شامل مناطق مناسب و نامناسب، تهیه شد. برای ایجاد امکان تلفیق و همخوان‌کردن[1] لایه‌ها، معیارها براساس تأثیر مثبت یا منفی در هدف نهایی، به دو گروه سود[2] و هزینه[3] دسته‌بندی و در مرحلهٔ آماده‌سازی، هم‌خوان شدند. در مرحلهٔ بعد، لایه‌ها به‌منظور قابل مقایسه و تلفیق‌شدن نقشه‌های فاکتور، نرمال‌سازی شدند. شکل ۵ لایه‌های اطلاعاتی پس از فرایند یادشده را نشان می‌دهد.

1. commensurate 2. benefit 3. cost



شکل ۵. آماده‌سازی نقشه‌های GIS؛ ۱. فاصله از فرودگاه؛ ۲. فاصله از خطوط زمین‌لغزش؛ ۳. فاصله از فضای سبز؛ ۴. فاصله از مناطق صنعتی؛ ۵. کاربری زمین؛ ۶. فاصله از بزرگراه؛ ۷. فاصله از مناطق جمعیتی؛ ۸. فاصله از راه‌آهن؛ ۹. فاصله از رودخانه؛ ۱۰. شیب

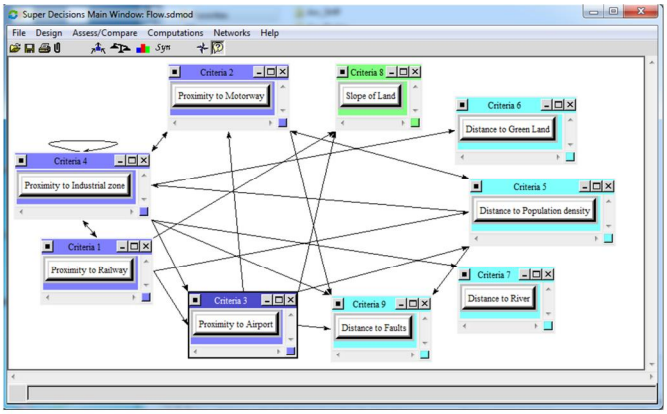
۴-۲- تصمیم سازی و انتخاب مکان مناسب انبار به‌روش ANP

همان طورکه گفته شد، روش ANP امکان برقراری روابط متقابل پیچیده در میان معیارها را، با استفاده از مقایسات زوجی برای تعیین وزن، فراهم می سازد. برای ارزیابی ارجحیت معیارها، با استفاده از نرم‌افزار Super Decision فرایند وزن‌دهی صورت گرفت. معیارها و ارتباطات درونی و بیرونی آنها در شکل ۶ مشاهده می‌شود.

با برقراری ارتباط‌ها، مقایسهٔ زوجی معیارهای گوناگون در راستای هدف بالادستی صورت گرفت و براساس مقیاس نُه‌کمیتی ساعتی، پس از تشکیل سوپرماتریس موزون و حدی، وزن هر معیار مطابق جدول ۲ به‌دست آمد.

همان‌گونه‌که ملاحظه شد، معیارهای مؤثر در جانمایی مکان انبار توزیع و تعیین شد و نقشه‌ها و اطلاعات موردنیاز گرد آمد. سپس، با روش ANP، ارزش‌گذاری معیارها انجام شد. در این مرحله، برای دستیابی به هدف نهایی، معیارها تلفیق می‌شوند. بدین‌منظور، لایه‌های مکانی فراهم‌شده به نرم‌افزار ILWIS وارد شد و با استفاده از ابزار SMCE [1] موجود در این نرم‌افزار، مطابق شکل ۷، درخت تصمیم‌گیری تعریف شد.

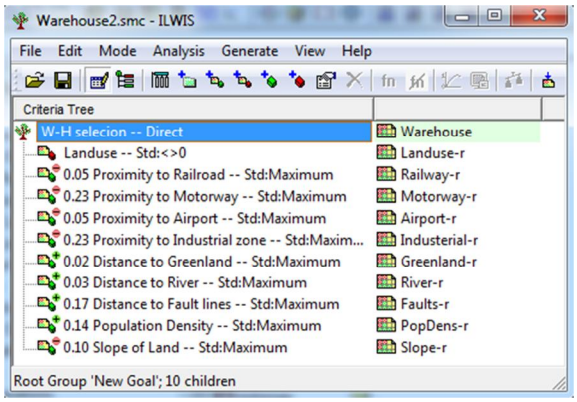
1. Spatial Multi-Criteria Evaluation



شکل ۶. ساختار حل مسئله به‌روش تحلیل شبکه (ANP)

جدول ۲. وزن معیارها که به‌روش ANP تعیین شده است

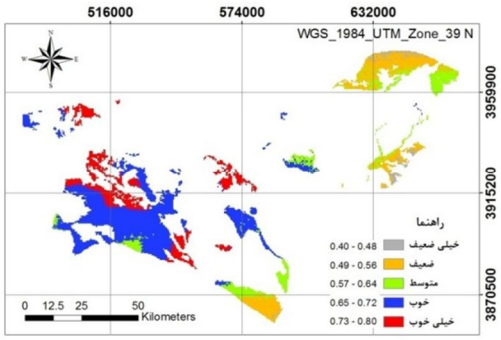
فاصله از خطوط زمین‌لغزه	فاصله از مناطق طبیعی و فضای سبز	فاصله از مناطق جمعیتی	فاصله از رودخانه	نزدیکی به فرودگاه	نزدیکی به مناطق صنعتی	نزدیکی به بزرگراه	نزدیکی به راه‌آهن	شیب زمین
۰.۱۶۹۲۰	۰.۰۱۸۵۸	۰.۱۳۸۴۶	۰.۰۲۴۵۶	۰.۰۴۷۰۹	۰.۲۲۶۷۲	۰.۲۳۰۱۷	۰.۰۴۸۰۶	۰.۰۹۷۱۶



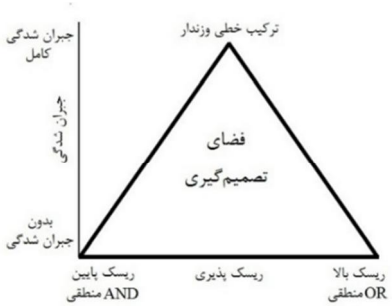
شکل ۷. تشکیل درخت تصمیم در SMCE

پس از تشکیل درخت تصمیم و استانداردسازی لایه‌ها، وزن‌های حاصل از ANP به لایه‌ها اعمال شد و نقشهٔ اولویت‌بندی مناطق به‌دست آمد. شکل ۸ نقشهٔ حاصل از تلفیق لایه‌ها را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود مناطق قرمزرنگ مناسب‌ترین مناطق برای مطالعات تکمیلی با هدف احداث انبار است. برای بصری‌سازی نتایج ارزیابی، این نقشه در پنج کلاس، به‌روش هم‌فاصله[1]، طبقه‌بندی شده است.

1. equal interval



شکل ۸. نقشهٔ اولویت‌بندی مناطق مناسب برای احداث انبار به‌روش ANP



شکل ۹. مثلث استراتژی تصمیم‌گیری

۴-۳- تصمیم‌سازی و انتخاب محدودهٔ مناسب برای احداث انبار به‌روش ANP-OWA

در این مرحله، مطابق با وزن‌های محاسبه‌شده به‌روش ANP در مرحلهٔ قبل، وزن‌دهی معیارها وارد فرایند تلفیق می‌شود. تلفیق براساس روش OWA و مبتنی‌بر سناریوهای گوناگون سهل/ سختگیرانه صورت می‌گیرد. در مرحلهٔ مبتنی‌بر تلفیق نقشه‌های معیارها به‌روش OWA، مسئلهٔ حائز اهمیت محاسبهٔ وزن‌های ترتیبی است. در محاسبهٔ وزن‌های ترتیبی، استراتژی‌های گوناگون تصمیم‌گیری دخیل‌اند و به‌عبارت دیگر، استراتژی‌های متفاوت در تصمیم‌گیری منجر به محاسبهٔ وزن‌های ترتیبی متفاوتی خواهد شد. استراتژی‌های گوناگون تصمیم‌گیری، در فضای مثلث تصمیم، در شکل ۹ ارائه شده است.

استراتژی سختگیرانه معادل عملگر منطقی AND است که منجر به تصمیم‌گیری با ریسک پایین خواهد شد. استراتژی سهل‌گیرانه نیز معادل با عملگر منطقی ORاست و کمیت مفهومی فازی معادل آن عبارت «حداقل یکی از معیارها» است که تصمیم‌گیری با ریسک زیاد را به‌همراه خواهد داشت. برای اتخاذ دیگر استراتژی‌های تصمیم‌گیری، با مشخص‌شدن کمیت‌سنج مفهومی فازی مدنظر، مقدار α متناظر از جدول ۳ به‌دست می‌آید و وزن ترتیبی محاسبه می‌شود.

پس از محاسبهٔ وزن‌های ترتیبی مطابق جدول ۳ و وزن‌های به‌دست‌آمده از روش ANP، با استفاده از نرم‌افزار Idrisi Andeus فرایند تصمیم‌گیری و ارزیابی صورت می‌گیرد. براساس استراتژی‌های تصمیم‌گیری گوناگون که در فضای مثلث تصمیم قرار می‌گیرند،

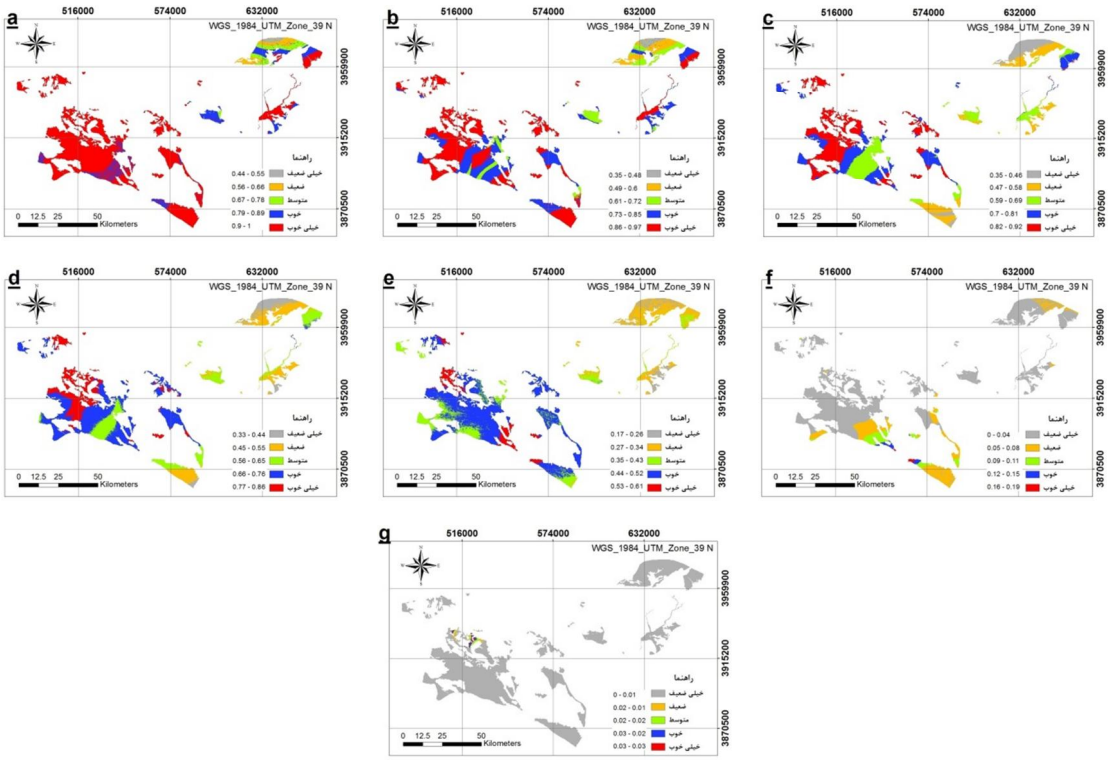
جدول ۳. وزن ترتیبی برای نُه معیار در استراتژی‌های تصمیم‌گیری گوناگون

α = 0	α = 0.1	α = 0.5	α = 1	α = 2	α = 10	α = ∞	
At least one	At least a few	A few	Half (identify)	Most	Almost all	**All**	
۱	۰.۸۰۲۷	۰.۳۳۳	۰.۱۱۱۱	۰.۰۱۲۳	۰	۰	
۰	۰.۰۵۷۶	۰.۱۳۸۱	۰.۱۱۱۱	۰.۰۳۷۰	۰	۰	
۰	۰.۰۳۵۶	۰.۱۰۶۰	۰.۱۱۱۱	۰.۰۶۱۷	۰	۰	
۰	۰.۰۲۶۲	۰.۰۸۹۳	۰.۱۱۱۱	۰.۰۷۶۴	۰.۰۰۰۳	۰	
۰	۰.۰۲۰۸	۰.۰۷۶۷	۰.۱۱۱۲	۰.۱۱۲	۰.۰۰۲۵	۰	
۰	۰.۰۱۷۳	۰.۰۷۱۱	۰.۱۱۱۱	۰.۱۳۵۸	۰.۰۱۴۵	۰	
۰	۰.۰۱۴۹	۰.۰۶۵۴	۰.۱۱۱۱	۰.۱۶۰۵	۰.۰۶۳۷	۰	
۰	۰.۰۱۳۲	۰.۰۶۰۹	۰.۱۱۱۱	۰.۱۸۵۲	۰.۲۲۶۹	۰	
۰	۰.۰۱۱۷	۰.۰۵۷۲	۰.۱۱۱۱	۰.۲۰۹۹	۰.۶۹۲۱	**۱**	
ORness	۱	۰.۹۱۸۴	۰.۶۷۸۵	۰.۵	۰.۳۱۴۸	۰.۰۵۱۲	۰

وزن‌های ترتیبی اعمال شد و نتایج هریک از این استراتژی ها، مطابق شکل ۱۰ به‌دست آمد. برای بصری‌سازی نتایج ارزیابی، این نقشه در پنج کلاس، براساس روش هم‌فاصله[1]، طبقه‌بندی شده است.

همان‌طورکه از مقایسهٔ شکل‌های ۸ و ۱۰ مشاهده می‌شود، خروجی روش ANP و استراتژی حدوسط[2] بسیار نزدیک به هم است. با توجه به اینکه استراتژی OR ریسک زیادی دارد، پیسکل‌هایی با بیشترین وزن در میان معیارها، وزن ترتیبی یک خواهند گرفت و ارزش هر پیکسل تنها متأثر از بالاترین معیار است. در نقطهٔ مقابل، استراتژی سختگیرانه یا AND کمترین میزان ریسک را داراست و جبران‌شدگی پایینی دارد. بنابراین، انتظار می‌رود خروجی به‌شدت تحت تأثیر وزن معیارها و ارزش پیکسل‌ها باشد. با افزایش مقدار ORness، تعداد پیکسل‌های کلاس افزایش خوبی می‌یابد؛ بنابراین، استراتژی‌هایی که ریسک بیشتری دارند مناطق بیشتری را برای انبار مناسب دانسته‌اند. شکل ۱۱ مقایسهٔ درصد پیکسل های اختصاص یافته به پنج کلاس تعریف‌شده، در هریک از نقشه‌های حاصل از روش‌های تشریحی، را نشان می‌دهد.

ملاحظه می‌شود که با انتخاب مقادیر متفاوت جبران‌شدگی و ریسک‌پذیری در مثلث تصمیم‌گیری شکل ۹ و اتخاذ استراتژی‌های گوناگون مطابق جدول ۳، می‌توان به نتایج متمایزی دست یافت. بر این اساس، با افزایش میزان ریسک، تأثیر وزن‌های پایین کاهش می‌یابد و مناطق مناسب بیشتری به‌منزلهٔ خروجی در نظر گرفته می‌شود. در حالت کلی، با انتخاب مقادیر متفاوت α و محاسبهٔ وزن‌های ترتیبی، طبق نظر کارشناسان، باید بهترین استراتژی انتخاب شود.

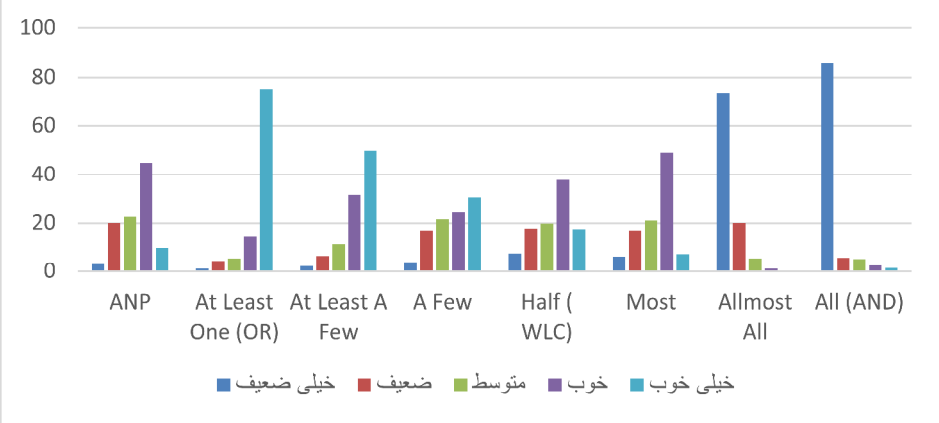


شکل ۱۰. نتایج حاصل از استراتژی‌های تصمیم‌گیری گوناگون
a) At least one; b) At least a few; c) A few; d) Half; e) Most; f) All most all; g) All

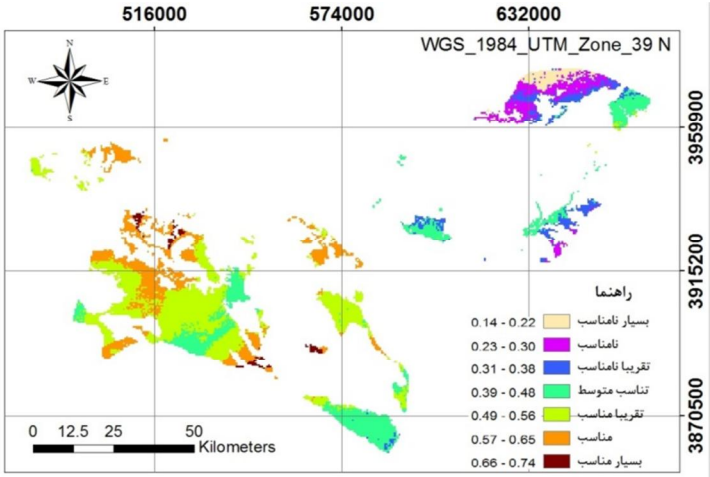
1. equal interval
2. half

همان‌طورکه ملاحظه شد، خروجی‌های حاصل از سناریوهای متفاوت به‌قصد تعیین مکان مناسب برای استقرار انبار توزیع در شکل‌های ۹ و ۱۰ نمایش داده شده است. بدین‌منظور، نیاز است رویکردی مطرح شود تا مناطق، مطابق این نتایج گوناگون، اولویت‌بندی شوند. لذا با برهم‌نهی و تلفیق نتایج حاصل از روش‌های اجراشده و براساس اینکه هر پیکسل تصویری در چه کلاسی از این نقشه‌ها طبقه‌بندی شده است، امکان مقایسه و برآورد مکان انبار فراهم می‌آید. شکل ۱۲ حاصل تلفیق نتایج سناریوهای متفاوت تصمیم‌گیری و ریسک را نشان می‌دهد.

با توجه به شکل ۱۲ که حاصل از تلفیق هشت لایه، شامل خروجی نقشهٔ ANP و استراتژی‌های هفتگانهٔ OWA است، می‌توان نتیجه گرفت مناطقی که، در بیشتر سناریوها، به کلاس بسیار خوب اختصاص داده شده‌اند اولویت بیشتری از مناطق دیگر دارند. بنابراین، مناطق نشان‌داده‌شده در کلاس بسیار مناسب دارای بیشترین تناسب برای استقرار انبارند.



شکل ۱۱. درصد پیکسل‌های هر کلاس به‌ازای نتایج حاصل از سناریوهای متفاوت



شکل ۱۲. نتیجهٔ برهم‌نهی خروجی استراتژی‌های متفاوت تصمیم‌سازی

۵- ارزیابی و نتیجه‌گیری

ارزیابی موقعیت انبار مسئلهٔ تصمیم‌گیری چندمعیاره، شامل معیارهای کمی و کیفی گوناگون است. در این پژوهش، یک مدل تصمیم‌گیری مبتنی‌بر سیستم اطلاعات مکانی برای ارزیابی موقعیت‌های بالقوه، با هدف جانمایی انبارهای توزیع اصلی در سطح استان تهران، ارائه شد. پس از تعیین معیارها و جمع‌آوری پایگاه داده در GIS، درخت تصمیم مدل ANP ایجاد شد و وزن‌دهی و تلفیق لایه‌ها صورت گرفت. همچنین، با درنظرگرفتن استراتژی‌های گوناگون مطابق با مثلث تصمیم‌گیری در روش OWA و انتخاب مقادیر متفاوت جبران‌شدگی و ریسک، هفت سناریو تعریف شد. با مقایسهٔ نتایج حاصل از این سناریوها و روش ANP، مشخص شد استراتژی خنثی (WLC) بیشترین انطباق را با خروجی روش ANP دارد. ضمن اینکه تعیین مناسب‌ترین مقدار α و ایجاد موازنه بین ریسک و جبران‌شدگی بسیار اهمیت دارد و باید طبق کاربرد و هدف مسئله تعیین شود. به‌منظور رتبه‌بندی مناطق و تعیین مناسب‌ترین منطقه برای احداث انبار، نقشه‌های خروجی تلفیق و براساس آن، مناطقی که در سناریوهای گوناگون در کلاس بسیارخوب کلاسه بندی شده بودند پیشنهاد شد.

در روش ANP، ساختار شبکه بسیار پیچیده است و روابط داخلی و احتمالاً دوسویه میان معیارها و گزینه ها (عناصر تصمیم) باید به‌دقت شناسایی و لحاظ شود؛ بنابراین، طراحی شبکه ارتباط فراوانی به تجربه و شناخت طراح و آگاهی از جوانب مسئله دارد. از دیگرسو، به این علت که در روش OWA تصمیم‌گیرندگان متفاوت سلیقهٔ متفاوت دارند و ریسک‌پذیری آنها نیز فرق می‌کند، تعادل میان ریسک و جبران‌پذیری هر معیار بسیار اهمیت دارد. بنابراین، به‌نظر می‌رسد استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری گروهی برای لحاظ‌کردن دیدگاه‌های متخصصان گوناگون، ازجمله روش تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی گروهی با توجه به قابلیت تلفیق آرای فردی برای حل مسئلهٔ تصمیم‌گیری، به قصد بهبود نتایج مدل سازی توصیه می‌شود. براساس روش اجراشده، به‌نظر می‌رسد هزینهٔ زمین، که یکی از معیارهای مهم در بحث هزینهٔ نهایی پروژه است، باید در آنالیزهای اقتصادی به‌دقت بررسی شود. به‌دلیل محدودیت‌های داده‌ای، امکان لحاظ‌کردن این معیار وجود نداشت. پیشنهاد می‌شود، در تحقیقات آینده، قیمت زمین یکی از شاخص‌های ارزیابی در نظر گرفته شود. افزون بر آن، درنظرگرفتن معیارهای ارزیابی بیشتر و استفاده از روش‌ها و مدل‌های به‌روزتر توصیه می‌شود.

۶- منابع

رجبی، م.، منصوریان، ع.، طالعی، م.، ۱۳۹۰، **مقایسهٔ روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیارهٔ AHP، AHP_OWA و Fuzzey AHP_OWA برای مکان‌یابی مجتمع‌های مسکونی در شهر تبریز**، محیط‌شناسی، دوره ۳۷، شماره ۵۷، بهار ۱۳۹۰، صص. ۹۲- ۷۷.

زبردست، ا.، ۱۳۸۹، **کاربرد فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) در برنامه ریزی شهری و منطقه ای**، نشریهٔ هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی، دورهٔ ۲، شمارهٔ ۴۱، بهار، صص. ۹۰-۷۹.

قاسمیان صاحبی، ا.، عرب، ع.، چراغعلی‌پور، آ.، ۱۳۹۵، **تدوین رویکرد چندگانهٔ فازی به منظور انتخاب بهینه ترین مکان انبار کمک های امدادی در زنجیرهٔ تأمین امداد. مطالعهٔ موردی: استان تهران**، نخستین کنفرانس بین‌المللی پارادایم‌های نوین مدیریت هوشمندی تجاری و سازمانی.

Abdollahi, M., Arvan, M. & Jafar, R., 2015, **An Integrated Approach for Supplier Portfolio Selection: Lean or Agile?**, Expert Systems with Applications, Vol. 42, PP. 679-690.

Ballis, A., 2007, **Freight Village Design Using the Multi-Criteria Method PROMETHEE**, International Journal of Operational Research, Vol. 7, P. 213.

Colson, G., 2004, **A Public Warehouses Selection Support System**, European Journal of Operational Research, Vol. 153, Issue 2, PP. 332-349.

Drezner, Z.S., 2003, **The Central Warehouse Location Problem Revisited**, IMA Journal of Management Mathematics, Vol. 14, Issue 4, PP. 321-336.

Dweiri, F., Kumar, S., Ahmed Khan, S. & Jain, V., 2016, **Designing an Integrated AHP Based Decision Support System for Supplier Selection in the Automotive Industry**, Expert Systems With Applications, Vol. 62, Issue C., PP. 273-283.

Ertugrul, İ., 2008, **Comparison of Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS Methods for Facility Location Selection**, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 39, Issue 7-8, PP. 783-795.

Frazelle, E., 2017, **Supply Chain Strategy: The Logistics of Supply Chain Management**, 1st Edition.

Freeman, J. & Chen, T., 2015, **Green Supplier Selection Using an AHP-Entropy-TOPSIS Framework**, Supply Chain Management: An International Journal, Vol. 20, Issue 3, PP. 327-340.

Garcia-Melon, M.J.-O.-B.-B., 2008, **Farmland Appraisal Based on the Analytic Network Process**, Journal of Global Optimization, Vol. 42, Issue 2, PP. 143-155.

Malczewski, J., 2006*a*, **GIS-Based Multicriteria Decision Analysis: a Survey of the Literature**, International Journal of Geographical Information Science, Vol. 20, Issue 7, PP. 703-726.

Malczewski, J., 2006*b*, **Ordered Weighted Averaging with Fuzzy Quantifiers: GIS-Based Multicriteria Evaluation for Land-Use Suitability Analysis**, International Journal of Applied Earth Observations and Geoinformation, Vol. 8, Issue 4, PP. 270-277.

Malpica, J.A., Alonso, M.C. & Sanz, M.A., 2007, **Dempster–Shafer Theory in Geographic Information Systems: A Survey**, Expert Systems with Applications, Vol. 32, Issue 1, PP. 47-55.

Ozcan, T., Celebi, N. & Ensaf, S., 2011, **Comparative Analysis of Multi-Criteria Decision-Making Methodologies and Implementation of a Warehouse Location Selection Problem**, Expert Systems with Applications, Vol. 38, Issue 8, PP. 9773-9779.

Ozceylan, E., Erbas, M., Tolon, M., Kabak, M. & Durgut, T., 2015, **Evaluation of Freight Villages: A GIS-Based Multi-Criteria Decision Analysis**, Computers in Industry, Vol. 76, PP. 38-52.

Partovi, F.Y., 2006, **An Analytic Model for Locating Facilities Strategically, Omega**, The International Journal of Management Science, Vol. 34, Issue 1, PP. 41-55.

Saaty, T. L., 1980, **The Analytic Hierarchy Process**, McGraw-Hill, NewYork.

Thill, J.-C., 2003, **Geographic Information Systems for Transportation in Perspective**, Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 8, PP. 3-12.

Vlachopoulou, M.S., 2001, **Geographic Information Systems in Warehouse Site Selection Decisions**, International Journal of Production Economics, Vol. 71, PP. 205-212.

Weber, A., 1929, **Alfred Weber's theory of the location of industries, the university of chicago, press in chicago**.