



## ارزیابی موقعیت انبارهای توزیع

### با استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی به روش تلفیقی ANP-OWA

حامد حبیبی<sup>۱</sup>، محمد طالعی<sup>۲\*</sup>، قاسم جوادی<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد سیستم اطلاعات مکانی، دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۲. دانشیار دانشکده مهندسی ژئودزی و ژئوماتیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
۳. عضو هیئت علمی گروه مهندسی عمران - نقشه‌برداری، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه بجنورد

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۶/۸/۲۲

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۵/۷

#### 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 هزینه‌های زنجیره تأمین دارد. ارزیابی موقعیت انبارها مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره، شامل معیارهای کمی و کیفی است. در این پژوهش، یک مدل تصمیم‌گیری مبتنی بر سیستم اطلاعات مکانی، برای ارزیابی موقعیت‌های بالقوه مناسب جهت جانمایی انبارهای توزیع محصولات در سطح استان تهران، مطرح شده است. فرایند ارائه شده شامل چهار مرحله اصلی است. در مرحله 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 مبتنی بر روش میانگین وزن‌دار ترتیبی (OWA) برای لحاظ‌کردن میزان ریسک و جبران‌شدگی در فرایند تصمیم‌سازی است. در نهایت، با استفاده از داده‌های استان تهران، کارایی مدل ارزیابی و نتایج تحلیل شد. در پایان، از طریق تلفیق خروجی حاصل از سناریوهای گوناگون، مکان‌هایی که در بیشتر سناریوها به‌منزله گزینه 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 مبتنی بر میزان ریسک در تصمیم‌گیری و تحلیل حساسیت، در قالب تولید نقشه جدید حاصل از تلفیق سناریوهای گوناگون، از جمله 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، دانشکده مهندسی نقشه‌برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی. تلفن: ۰۲۱۸۷۷۷۰۸۸۷۷

## ۱- مقدمه

انبارهای توزیع از جمله 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 عمده فروش، و رساندن آنها به خرده‌فروشان و مشتریان در محیط رقابتی امروز بسیار مهم است. امروزه انبارهای ذخیره‌سازی از جنبه‌های کلیدی زنجیره تأمین محسوب می‌شوند که نقشی حیاتی در موفقیت یا شکست کسب‌وکار ایفا می‌کنند (Frazelle, 2017); به طوری که در نظریه مکان، که وبر<sup>۱</sup> در ۱۹۸۹ برای اولین بار آن را معرفی کرد، تعیین محل انبار به منظور به حداقل رساندن فاصله سفر بین انبار و مجموعه‌ای از مشتریان توزیع شده 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 زمینه تصمیم‌گیری چندمعیاره، شامل هر دو شرایط کمی و کیفی، محسوب می‌شود. روند کلی تصمیم‌گیری مکانی معمولاً شامل تصمیم‌گیری در مورد معیارهای لازم برای ارزیابی گزینه‌ها، تعیین اهمیت معیارها، توسعه گزینه‌های مناسب، ارزیابی گزینه‌ها و درنهایت، تصمیم‌گیری است (Ertugrul, 2008). در حل مسائل مکانی، سیستم اطلاعات مکانی (GIS) می‌تواند 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, 2006a).

در مطالعات زنجیره تأمین، مقالات بسیاری در زمینه مکان‌یابی محل انبار مراکز تأمین کالا منتشر شده است. دوئیری و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۶)، برای انتخاب

عرضه‌کننده براساس فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)<sup>۳</sup>، 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 مرحله 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 بهینه انبار برپایه روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی مطرح کردند. معیارهای ارزیابی و مکان‌های بالقوه انبار شناسایی و با کمک کارشناسان و روش دیمتل فازی<sup>۴</sup>، این معیارها وزن دهی شد. سپس به کمک روش ویکور و تاپسیس فازی، رتبه‌بندی گزینه‌ها صورت گرفت. عبداللهی و همکاران<sup>۵</sup> (۲۰۱۵) روش تحلیل شبکه را، برای تعیین وزن معیارها، و روش تحلیل پوششی داده<sup>۶</sup> را، برای رتبه‌بندی گزینه‌ها، استفاده کرده‌اند. ولاکوپولو<sup>۷</sup>، در ۲۰۰۱، یک سیستم پشتیبانی تصمیم‌گیری مکانی برای فرایند انتخاب محل انبار توسعه داد. فریمن و چن<sup>۸</sup> (۲۰۱۵) یک مدل انتخاب تأمین‌کننده براساس ترکیبی از منابع سنتی و معیارهای محیط زیستی توسعه دادند. ایشان پس از تعیین معیارهای ارزیابی، پرسشنامه‌ای 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 مرحله بعد، با ترکیب این وزن‌ها، رتبه‌بندی به روش TOPSIS صورت گرفت. همچنین، کالزن<sup>۹</sup> (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

در این تحقیق، از روش‌های ANP و OWA استفاده شده است. روش ANP از جمله 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 در نظر گرفتن اولویت‌ها و ارزیابی‌های ذهنی تصمیم‌گیرنده را دارد. همچنین، با انتخاب استراتژی‌های گوناگون تصمیم‌گیری امکان دخالت دادن میزان ریسک‌پذیری/ریسک‌گریزی افراد را، در انتخاب گزینه 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. از این‌رو، برای حل چنین موضوعی، عناصر گوناگون را به یکدیگر وابسته می‌سازند. ال ساتی<sup>۷</sup> نیز، در سال ۱۹۸۰، پیشنهاد کرد از تکنیک فرایند تحلیل شبکه‌ای استفاده شود.

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

سیستم پشتیبان برای انتخاب محل انبار عمومی (PWSS)<sup>۱</sup> ایجاد کرد. در زرنر<sup>۲</sup> (۲۰۰۳) انتخاب محل بهینه برای انبار مرکزی را بررسی کرد. آنها مسئله را به‌صورت چندمرحله‌ای حل کردند و کل موجودی و هزینه‌های حمل‌ونقل را به‌منزله تابعی از محل انبار مرکزی بیان کردند. پرتوی<sup>۳</sup> (۲۰۰۶) نیز یک مدل مکان‌یابی براساس مدل فرایند تحلیل شبکه (ANP)<sup>۴</sup> را، برای تعیین بهترین محل انبار، پیشنهاد داد.

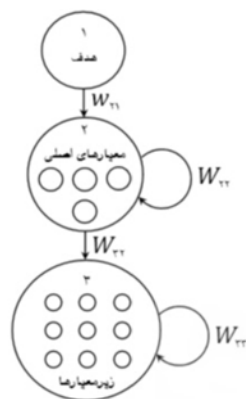
در پژوهش‌های مورد اشاره در زمینه مکان‌یابی انبارهای توزیع، تمرکز اصلی بیشتر معطوف به انتخاب معیارهای ارزیابی، نحوه وزن دهی و درنهایت، رتبه‌بندی گزینه‌ها براساس تلفیق معیارها بوده است. اما در مقاله حاضر، با استفاده از روش تلفیقی ANP-OWA<sup>۵</sup> در محیط سامانه اطلاعات مکانی، امکان تولید و ارزیابی سناریوهای متفاوت مبتنی بر میزان ریسک‌پذیری در تصمیم‌گیری فراهم شده است. همچنین، تحلیل حساسیت<sup>۶</sup> در قالب تلفیق سناریوهای گوناگون و تولید نقشه جدید مبتنی بر آن، در تحقیقات قبلی، به‌ندرت مورد توجه محققان قرار گرفته است. در حالی‌که 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 در نتیجه، گزینه منتخب را افزایش دهد.

## ۲- مواد و روش‌ها

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

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

معیارهای بالادستی خود، چه تأثیر/ اهمیت نسبی ای دارند. تأثیر هر عنصر در عنصر دیگر را می توان از طریق بردار ویژه نشان داد. اهمیت نسبی براساس مقیاس نه کمیته ساعتی سنجیده می شود (زبردست، ۱۳۸۹). در گام سوم، برای دستیابی به اولویت های کلی



شکل ۲. ارتباط و وابستگی های درونی و بیرونی بین معیارها، زیرمعیارها و خوشه ها

متقابل بین عناصر هر خوشه و میان خوشه های متفاوت امکان پذیر است (Garcia-Melon, 2008). ANP قادر است همبستگی ها و بازخوردهای موجود بین عناصر مؤثر در تصمیم گیری ها را مدل سازی و تأثیرات درونی اجزای مؤثر در تصمیم گیری را منظور کند. مراحل اجرای روش ANP در شکل ۱ ارائه شده است.

گام اول، پایه ریزی مدل و ساختار مسئله
گام دوم، ماتریس مقایسات زوجی و برآورد اهمیت نسبی
گام سوم، تشکیل سوپرماتریس اولیه
گام چهارم، تشکیل سوپرماتریس وزنی
گام پنجم، محاسبه بردار وزن کلی
گام ششم، محاسبه وزن نهایی معیارها

شکل ۱. گام های اجرای روش ANP

در سیستمی با تأثیرات متقابل، بردار اولویت ها/ وزن داخلی (ها) محاسبه می شود و سوپرماتریس اولیه ای که هر بخش آن ارتباط بین عناصر و خوشه ها در یک سیستم را نشان می دهد به دست می آید. در گام بعد، سوپرماتریس موزون از طریق نرمال سازی مقادیر سوپرماتریس اولیه محاسبه می شود؛ به طوری که در ماتریس جدید، جمع هر یک از ستون ها برابر با عدد یک خواهد بود. در گام پنجم، سوپرماتریس وزنی به توان حدی می رسد تا عناصر ماتریس همگرا و مقادیر سطری آن با هم برابر شوند. براساس ماتریس به دست آمده، بردار وزن کلی مشخص می شود. در آخرین مرحله، با توجه به وزن خوشه ها و سوپرماتریس حدی، وزن نهایی معیارها محاسبه می شود.

## ۲-۲- روش متوسط وزنی مرتب (OWA)

روش های ارزیابی چندمعیاره در GIS معمولاً شامل

### 1. Weighted Super Matrix

در فرایند تصمیم گیری مبتنی بر روش تحلیل شبکه ای، پس از طراحی شبکه خوشه ها و عناصر هر خوشه، اهمیت نسبی عناصر به صورت مقایسه زوجی میان عناصر تعیین می شود و خوشه ها نیز، با توجه به تأثیرشان در هدف نهایی، به صورت زوجی با هم مقایسه می شوند. در شکل ۲، نمونه ای از شبکه و عناصر آن و ارتباطات داخلی عناصر یک خوشه و ارتباط میان خوشه های متفاوت نمایش داده شده است. عناصر درون خوشه ممکن است با یکی از عناصر یا تمامی عناصر خوشه های دیگر ارتباط داشته باشند. این ارتباطها (وابستگی بیرونی) با پیکان نشان داده می شوند. همچنین، ممکن است عناصر درون یک خوشه بین خودشان ارتباط متقابل داشته باشند (وابستگی درونی) که این گونه ارتباطها با کماتی متصل به آن خوشه نشان داده می شود.

در گام دوم، در قالب مجموعه ای از مقایسات زوجی، از تصمیم گیرندگان پرسیده می شود که دو عنصر یا دو خوشه مرتبط، در مقایسه با هم و براساس تحقق

بدین معنا که تمامی سلول‌هایی که در یک موقعیت در چند نقشه معیار قرار گرفته‌اند وزن‌های ترتیبی یکسانی خواهند داشت. بنابراین، در یک نقشه، همه سلول‌ها دارای وزن معیار مشترکی خواهند بود اما وزن ترتیبی آنها متفاوت است.

مالچوسکی<sup>۱</sup> (2006b) از تلفیق کمیت‌سنج مفهومی فازی و OWA برای ارزیابی چندمعیاره تناسب کاربری‌های اراضی در محیط GIS استفاده کرد. کمیت‌های فازی با تابع  $Q$  بیان می‌شوند که در رابطه (۲) قابل مشاهده است. با تغییر مشخصه  $\alpha$  می‌توان کمیت‌سنج‌های گوناگونی را به دست آورد. هر کمیت‌سنج مفهومی فازی و مبین یک سناریوی مکان‌یابی است که با تغییر مشخصه  $\alpha$ ، نتایج آن متفاوت می‌شود. برای تعریف این کمیت‌سنج‌ها، رابطه (۲) به کار می‌رود. جدول ۱ انواع کمیت‌سنج‌های مفهومی فازی و عبارات‌های معادلشان را نشان می‌دهد.

$$Q(p) = p^\alpha \quad \text{رابطه (۲)}$$

### ۲-۳- معیارهای ارزیابی

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

مجموعه‌ای از معیارهای ارزیابی مکانی در قالب نقشه‌ها و لایه‌هاست. اما مسئله‌ای که اغلب در تصمیم‌گیری مکانی به وجود می‌آید چگونگی ترکیب نقشه‌های معیار با مجموعه‌ای از مقادیر وزن‌ها و نیز اولویت‌های تصمیم‌گیرندگان است (رجبی و همکاران، ۱۳۹۰). روش OWA تصمیم‌گیری چندمعیاره‌ای است که امکان کنترل جبران‌پذیری و ریسک تصمیم‌گیری را، در مرحله تلفیق از فرایند تصمیم‌گیری چندمعیاره، فراهم می‌کند. مسئله 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  $V = v_1, v_2, \dots, v_n$  را اختصاص می‌دهد؛ به گونه‌ای که برای هر  $j = 1, 2, \dots, n$  داشته باشیم:  $z_j \in [0, 1]$  و  $\sum_{j=1}^n v_j z_j = 1$  عملگر تلفیق OWA به صورت رابطه (۱) تعریف می‌شود.

$$OWA = \sum_{j=1}^n \left( \frac{u_j * v_j}{\sum_{j=1}^n u_j * v_j} \right) Z_{ij} \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن  $Z_{in} \geq \dots \geq Z_{i2} \geq Z_{i1}$ ، با مرتب کردن مقادیر توصیفی  $ai_1, ai_2, \dots, ai_n$  به دست می‌آید و  $u_j$  همان وزن معیار است که براساس ترتیب  $Z_{ij}$  ها مرتب‌سازی شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در این روش، دو نوع وزن به کار می‌رود. وزن‌های معیار نشان‌دهنده اهمیت نسبی هر یک از معیارهای ارزیابی‌اند. اما وزن‌های ترتیبی براساس موقعیت مکانی سلول‌های نقشه معیار اختصاص می‌یابند؛

جدول ۱. مقادیر متفاوت  $\alpha$ ، کمیت مفهومی فازی و میزان ریسک و جبران‌شدگی متناظر هر یک

$\alpha$	Quantifier (Q)	OWA weights (Vj)	ORness	Tradeoff
$\alpha \rightarrow 0$	At least one	$V_1=1; V_j=0$	۱	۰
$\alpha \rightarrow 0.1$	At least a few	-	-	-
$\alpha \rightarrow 0.5$	A few	-	-	-
$\alpha \rightarrow 1$	Half (identify)	$V_j=1/n$ for all j	۰.۵	۱
$\alpha \rightarrow 2$	Most	-	-	-
$\alpha \rightarrow 10$	Almost all	-	-	-
$\alpha \rightarrow \infty$	All	$V_n=1; V_j=0$	۰	۰

- فاصله از خطوط زمین لغزه: زمین لرزه می تواند در زندگی آسیب، مرگ، جراحت و اختلال ایجاد کند. همچنین، به سبب تخریب منطقه ای کاری، سبب بیکاری افراد بسیاری شود. بنابراین، انبارها نباید در مناطق کانون زلزله واقع شوند.

- شیب زمین: شیب یک سایت به درجه انحراف<sup>۱</sup> زمین اشاره دارد. اگر شیب زمینی که در آن انبار ساخته خواهد شد کم باشد، باعث افزایش کارایی و استحکام ساخت و ساز می شود (Ballis, 2007). در مقابل، شیب بالا می تواند مشکلاتی ایجاد کند. بنابراین، شیب زمین عامل مهمی در ایجاد زیرساخت انبار به شمار می رود.

- کاربری زمین: افزون بر معیارهای مطرح شده، نیاز است کاربری های مناسب با قابلیت بالقوه انتخاب برای محل انبار در نظر گرفته شود. بنابراین، مناطقی با کاربری نامتناسب باید، به صورت قید، از فهرست مناطق پیشنهادی حذف شوند.

### ۳- منطقه مورد مطالعه

استان تهران، به مرکزیت شهر تهران (شکل ۳)، با وسعتی حدود ۱۲،۹۸۱ کیلومتر مربع، بین ۳۴ تا ۳۶،۰۵ درجه عرض شمالی و ۵۰ تا ۵۳ درجه طول شرقی واقع شده که به منزله منطقه مطالعه موردی انتخاب شده است. این استان از شمال به استان مازندران، از جنوب به استان قم، از جنوب غرب 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 ساکن اند.

### ۴- اجرا و نتایج

مراحل کلی روش کار در شکل ۴ ارائه شده است.

پژوهش های قبلی به دست آمده و در ادامه، دلایل انتخاب هر یک بیان شده است. افزون بر این، برای تعیین این معیارها و سلسله مراتبشان، از دیدگاه های کارشناسان نیز استفاده شده است. تعریف معیارها و قید به شرح زیر است:

- نزدیکی به سیستم راه آهن موجود: قطار ارزان ترین و ایمن ترین سیستم حمل و نقل به شمار می رود. بنابراین، مکان بهینه انبار باید در نزدیکی خطوط ریلی باشد.

- نزدیکی به سیستم حمل و نقل بزرگراه ها: مزیت اصلی حمل و نقل از طریق بزرگراه ها دسترسی به نقاط متعدد است. بنابراین، نزدیکی به این سیستم حمل و نقل از معیارهای اصلی است.

- نزدیکی به فرودگاه: مشابه سیستم راه آهن، هر انباری با موقعیت عالی باید سکوی مناسبی ایجاد کند که در آن شرکت ها بتوانند کالاهای خود را به شیوه ای سریع عرضه و توزیع کنند. بنابراین نزدیکی به فرودگاه، از نظر پتانسیل حمل و نقل هوایی، نقش مهمی در تصمیم گیری محل انبار ایفا می کند.

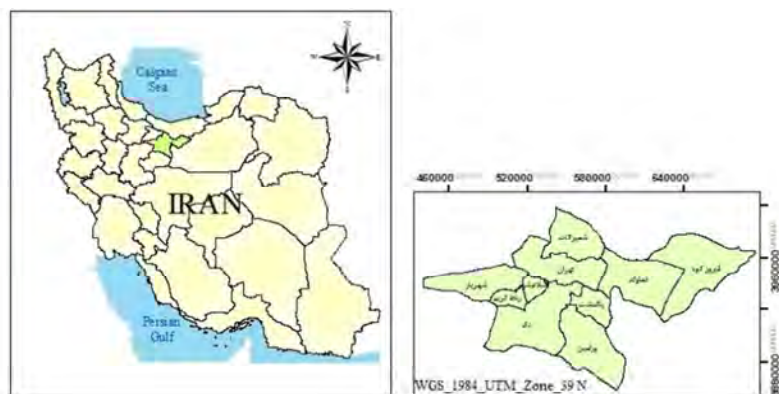
- نزدیکی به مناطق صنعتی: هم تقاضاکنندگان و هم تأمین کنندگان با انبارها سروکار دارند. به منظور جذب و حفظ منابع شرکت ها، تصمیم گیران باید به مناطق صنعتی توجه داشته باشند.

- فاصله از مناطق جمعیتی: به طور کلی، بیشتر انبارها دارای مواد خطرناکی اند که چه بسا برای سلامت مردم مضر باشد؛ بنابراین، باید از مراکز شهرها و یا مناطق دارای تراکم جمعیتی بالا دور باشند.

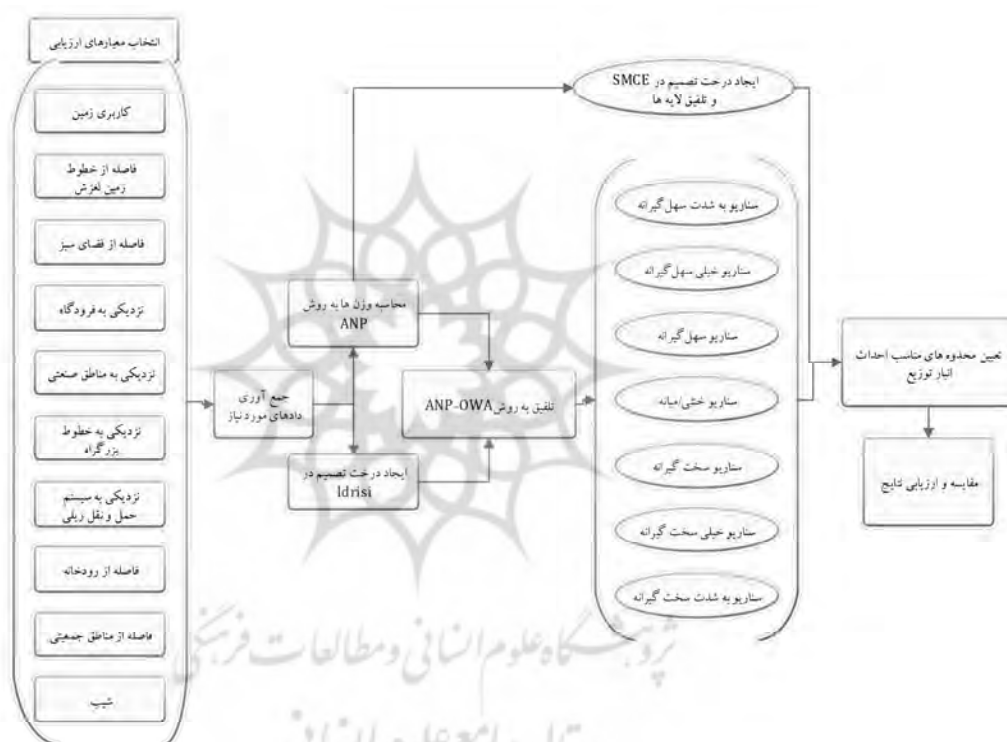
- فاصله از مناطق طبیعی و فضای سبز: به علت احتمال زیان رسانی مواد قابل اشتعال و خطرناک موجود در انبار، از دیدگاه محیطی، ترجیح بر این است که فاصله انبارها تا فضای سبز و جنگل ها حفظ شود.

- فاصله از رودخانه: دور بودن انبار از رودخانه باعث کاهش پتانسیل آلودگی محیطی می شود. هر انفجار احتمالی سبب آلودگی منابع آب و به خطر افتادن سلامت انسان می شود.

1. inclination



شکل ۳. منطقه مورد مطالعه



شکل ۴. مراحل و روش تحقیق

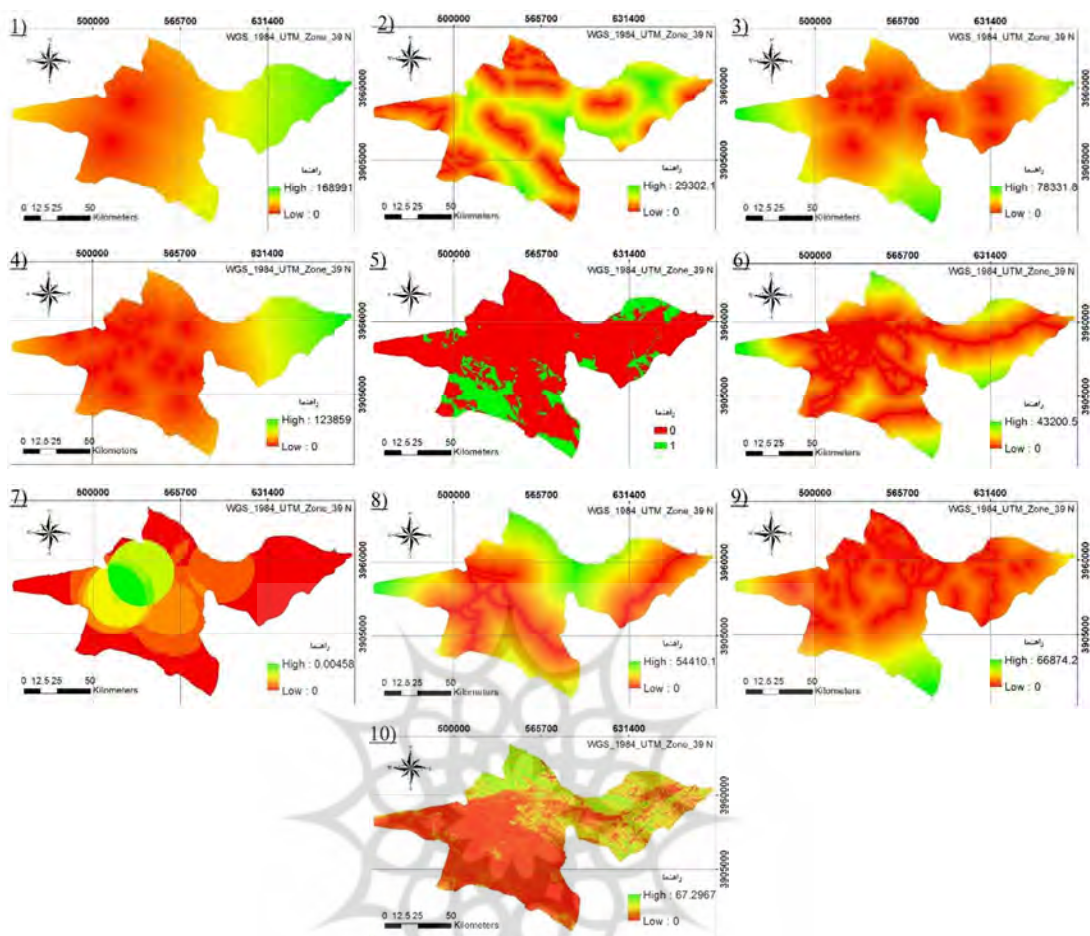
#### ۴-۱- آماده سازی لایه ها

در این مرحله، نقشه های فاکتور تهیه شد. برای معیارهای ۱ تا ۸، نقشه رستری فاصله؛ برای معیار شیب، با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی، نقشه شیب و برای لایه کاربری زمین، نقشه باینری، شامل مناطق مناسب و نامناسب، تهیه شد. برای ایجاد امکان تلفیق و

همخوان کردن<sup>۱</sup> لایه ها، معیارها براساس تأثیر مثبت یا منفی در هدف نهایی، به دو گروه سود<sup>۲</sup> و هزینه<sup>۳</sup> دسته بندی و در مرحله آماده سازی، همخوان شدند. در مرحله بعد، لایه ها به منظور قابل مقایسه و تلفیق شدن نقشه های فاکتور، نرمال سازی شدند. شکل ۵ لایه های اطلاعاتی پس از فرایند یاد شده را نشان می دهد.

1. commensurate      2. benefit      3. cost

## ارزیابی موقعیت انبارهای توزیع ...



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- تصمیم‌سازی و انتخاب مکان مناسب انبار  
 سوپر ماتریس موزون و حدی، وزن هر معیار مطابق جدول ۲ به دست آمد.

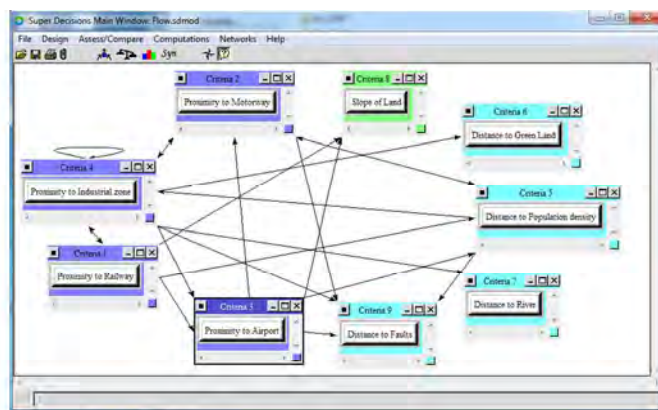
همان‌گونه که ملاحظه شد، معیارهای مؤثر در جانمایی مکان انبار توزیع و تعیین شد و نقشه‌ها و اطلاعات مورد نیاز گرد آمد. سپس، با روش ANP، ارزش‌گذاری معیارها انجام شد. در این مرحله، برای دستیابی به هدف نهایی، معیارها تلفیق می‌شوند. بدین منظور، لایه‌های مکانی فراهم‌شده به نرم‌افزار ILWIS وارد شد و با استفاده از ابزار SMCE<sup>۱</sup> موجود در این نرم‌افزار، مطابق شکل ۷، درخت تصمیم‌گیری تعریف شد.

همان‌طور که گفته شد، روش ANP امکان برقراری روابط متقابل پیچیده در میان معیارها را، با استفاده از مقایسات زوجی برای تعیین وزن، فراهم می‌سازد. 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، مقایسه زوجی معیارهای گوناگون در راستای هدف بالادستی صورت گرفت و براساس مقیاس نُه‌کمیتی ساعتی، پس از تشکیل

1. Spatial Multi-Criteria Evaluation

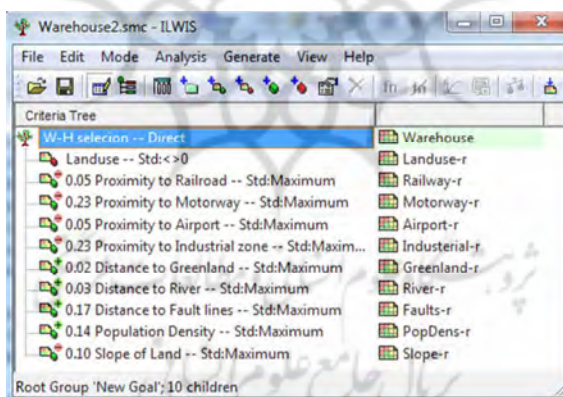




شکل ۶. ساختار حل مسئله به روش تحلیل شبکه (ANP)

جدول ۲. وزن معیارها که به روش ANP تعیین شده است

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



شکل ۷. تشکیل درخت تصمیم در SMCE

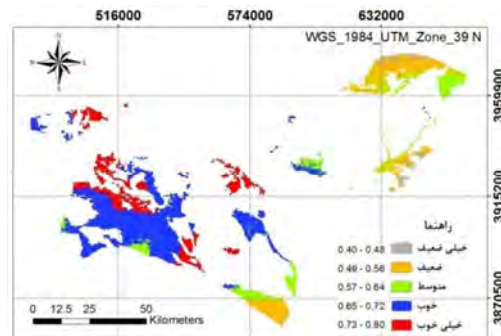
می شود مناطق قرمز رنگ مناسب ترین مناطق برای مطالعات تکمیلی با هدف احداث انبار است. برای بصری سازی نتایج ارزیابی، این نقشه در پنج کلاس، به روش هم فاصله<sup>۱</sup>، طبقه بندی شده است.

پس از تشکیل درخت تصمیم و استاندارد سازی لایه ها، وزن های حاصل از ANP به لایه ها اعمال شد و نقشه اولویت بندی مناطق به دست آمد. شکل ۸ نقشه حاصل از تلفیق لایه ها را نشان می دهد. ملاحظه

1. equal interval



شکل ۹. مثلث استراتژی تصمیم گیری



شکل ۸. نقشه اولویت بندی مناطق مناسب برای احداث انبار به روش ANP

استراتژی سختگیرانه معادل عملگر منطقی AND است که منجر به تصمیم گیری با ریسک پایین خواهد شد. استراتژی سهل گیرانه نیز معادل با عملگر منطقی OR است و کمیت مفهومی فازی معادل آن عبارت «حداقل یکی از معیارها» است که تصمیم گیری با ریسک زیاد را به همراه خواهد داشت. برای اتخاذ دیگر استراتژی های تصمیم گیری، با مشخص شدن کمیت سنج مفهومی فازی مدنظر، مقدار  $\alpha$  متناظر از جدول ۳ به دست می آید و وزن ترتیبی محاسبه می شود. پس از محاسبه وزن های ترتیبی مطابق جدول ۳ و وزن های به دست آمده از روش ANP، با استفاده از نرم افزار Idrisi Andeus فرایند تصمیم گیری و ارزیابی صورت می گیرد. براساس استراتژی های تصمیم گیری گوناگون که در فضای مثلث تصمیم قرار می گیرند،

### ۳-۴- تصمیم سازی و انتخاب محدوده مناسب

#### برای احداث انبار به روش ANP-OWA

در این مرحله، مطابق با وزن های محاسبه شده به روش ANP در مرحله قبل، وزن دهی معیارها وارد فرایند تلفیق می شود. تلفیق براساس روش OWA و مبتنی بر سناریوهای گوناگون سهل / سختگیرانه صورت می گیرد. در مرحله مبتنی بر تلفیق نقشه های معیارها به روش OWA، مسئله حائز اهمیت محاسبه وزن های ترتیبی است. در محاسبه وزن های ترتیبی، استراتژی های گوناگون تصمیم گیری دخیل اند و به عبارت دیگر، استراتژی های متفاوت در تصمیم گیری منجر به محاسبه وزن های ترتیبی متفاوتی خواهد شد. استراتژی های گوناگون تصمیم گیری، در فضای مثلث تصمیم، در شکل ۹ ارائه شده است.

جدول ۳. وزن ترتیبی برای نه معیار در استراتژی های تصمیم گیری گوناگون

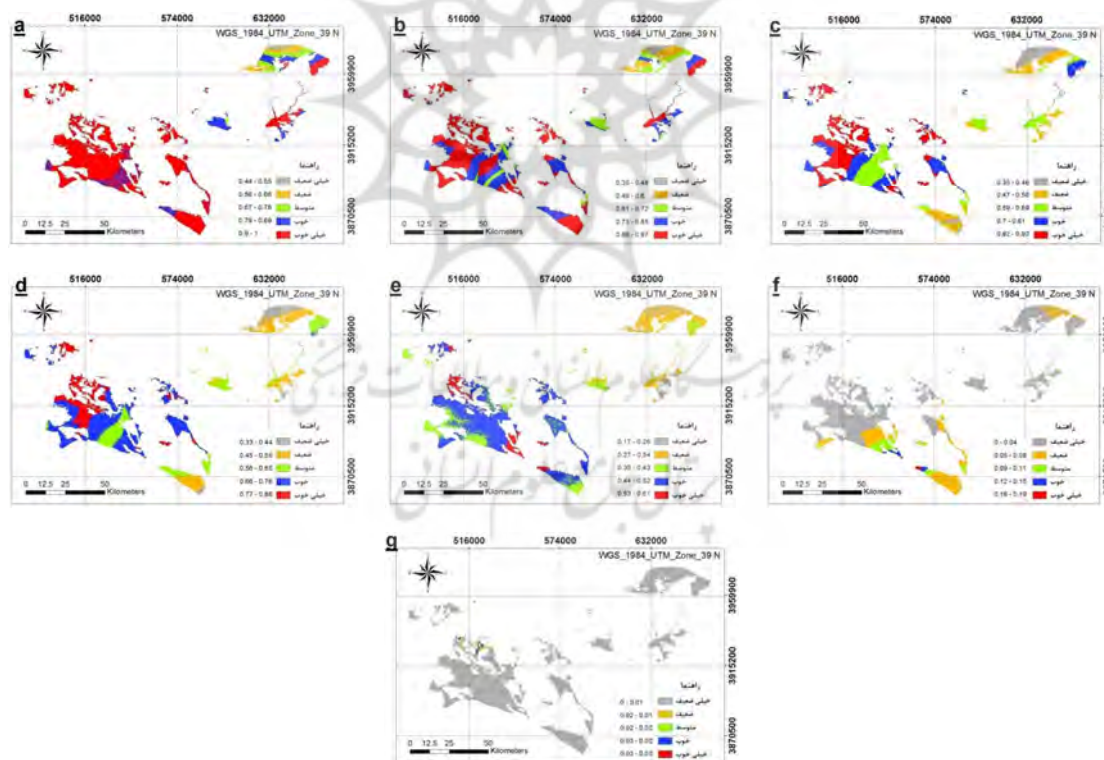
	$\alpha = 0$	$\alpha = 0.1$	$\alpha = 0.5$	$\alpha = 1$	$\alpha = 2$	$\alpha = 10$	$\alpha = \infty$
At least one		At least a few	A few	Half (identify)	Most	Almost all	All
	۱	۰.۸۰۲۷	۰.۳۳۳	۰.۱۱۱۱	۰.۰۱۲۳	.	.
	.	۰.۰۵۷۶	۰.۱۳۸۱	۰.۱۱۱۱	۰.۰۳۷۰	.	.
	.	۰.۰۳۵۶	۰.۱۰۶۰	۰.۱۱۱۱	۰.۰۶۱۷	.	.
	.	۰.۰۲۶۲	۰.۰۸۹۳	۰.۱۱۱۱	۰.۰۷۶۴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

تعداد پیکسل‌های کلاس افزایش خوبی می‌یابد؛ بنابراین، استراتژی‌هایی که ریسک بیشتری دارند مناطق بیشتری را برای انبار مناسب دانسته‌اند. شکل ۱۱ مقایسه درصد پیکسل‌های اختصاص یافته به پنج کلاس تعریف‌شده، در هریک از نقشه‌های حاصل از روش‌های تشریحی، را نشان می‌دهد.

ملاحظه می‌شود که با انتخاب مقادیر متفاوت جبران شدگی و ریسک پذیری 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 به منزله خروجی در نظر گرفته می‌شود. در حالت کلی، با انتخاب مقادیر متفاوت  $\alpha$  و محاسبه وزن‌های ترتیبی، طبق نظر کارشناسان، باید بهترین استراتژی انتخاب شود.

وزن‌های ترتیبی اعمال شد و نتایج هریک از این استراتژی‌ها، مطابق شکل ۱۰ به دست آمد. برای بصری‌سازی نتایج ارزیابی، این نقشه در پنج کلاس، بر اساس روش هم‌فاصله<sup>۱</sup>، طبقه‌بندی شده است.

همان‌طور که از مقایسه شکل‌های ۸ و ۱۰ مشاهده می‌شود، خروجی روش ANP و استراتژی حدوسط<sup>۲</sup> بسیار نزدیک به هم است. با توجه به اینکه استراتژی OR ریسک زیادی دارد، پیکسل‌هایی با بیشترین وزن در میان معیارها، وزن ترتیبی یک خواهند گرفت و ارزش هر پیکسل تنها متأثر از بالاترین معیار است. در نقطه مقابل، استراتژی سختگیرانه یا AND کمترین میزان ریسک را داراست و جبران‌شدگی پایینی دارد. بنابراین، انتظار می‌رود خروجی به شدت تحت تأثیر وزن معیارها و ارزش پیکسل‌ها باشد. با افزایش مقدار ORness،



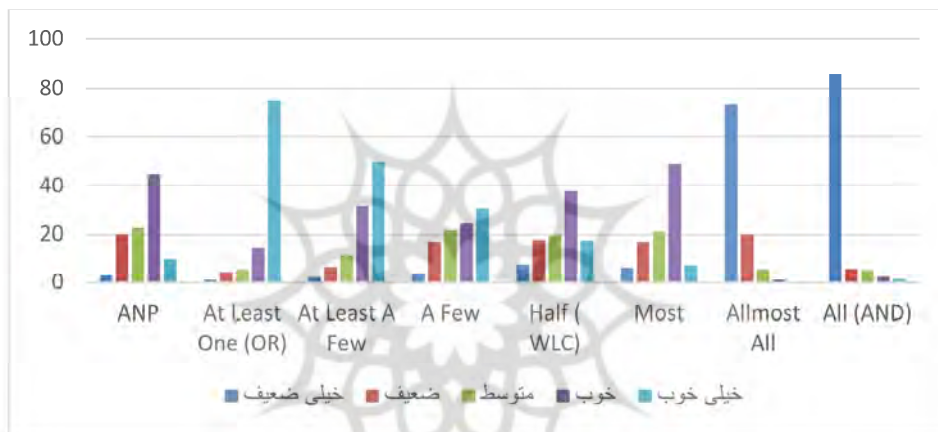
شکل ۱۰. نتایج حاصل از استراتژی‌های تصمیم‌گیری گوناگون

a) At least one; b) At least a few; c) A few; d) Half; e) Most; f) All most all; g) All

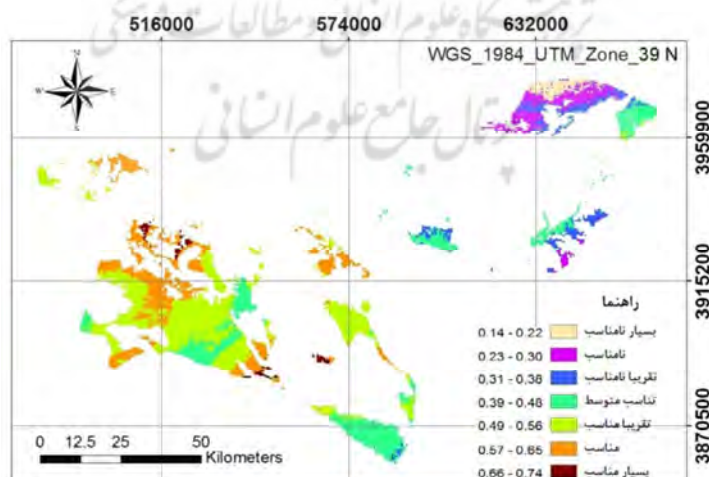
1. equal interval
2. half

حاصل تلفیق نتایج سناریوهای متفاوت تصمیم‌گیری و ریسک را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۱۲ که حاصل از تلفیق هشت لایه، شامل خروجی نقشه ANP و استراتژی‌های هفتگانه 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 نشان داده‌شده در کلاس بسیار مناسب دارای بیشترین تناسب برای استقرار انبارند.

همان‌طور که 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



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



شکل ۱۲. نتیجه برهم‌نهی خروجی استراتژی‌های متفاوت تصمیم‌سازی

## ۵- ارزیابی و نتیجه‌گیری

ارزیابی موقعیت انبار مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره، شامل معیارهای کمی و کیفی گوناگون است. در این پژوهش، یک مدل تصمیم‌گیری مبتنی بر 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 در نظر گرفتن استراتژی‌های گوناگون مطابق با مثلث تصمیم‌گیری در روش OWA و انتخاب مقادیر متفاوت جبران‌شدگی و ریسک، هفت سناریو تعریف شد. با مقایسه 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  $\alpha$  و ایجاد موازنه بین ریسک و جبران‌شدگی بسیار اهمیت دارد و باید طبق کاربرد و هدف مسئله تعیین شود. به منظور رتبه‌بندی مناطق و تعیین مناسب‌ترین منطقه برای احداث انبار، نقشه‌های خروجی تلفیق و براساس آن، مناطقی که در سناریوهای گوناگون در کلاس بسیار خوب کلاسه‌بندی شده بودند پیشنهاد شد.

در روش ANP، ساختار شبکه بسیار پیچیده است و روابط داخلی و احتمالاً دوسویه میان معیارها و گزینه‌ها (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 دیگر سو، به این علت که در روش OWA تصمیم‌گیرندگان متفاوت سلیقه متفاوت دارند و ریسک‌پذیری آنها نیز فرق می‌کند، تعادل میان ریسک و جبران‌پذیری هر معیار بسیار اهمیت دارد. بنابراین، به نظر می‌رسد استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری گروهی برای لحاظ کردن دیدگاه‌های متخصصان گوناگون، از جمله روش تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی گروهی با توجه به قابلیت تلفیق آرای فردی برای حل

مسئله تصمیم‌گیری، به قصد بهبود نتایج مدل‌سازی توصیه می‌شود. براساس روش اجرا شده، به نظر می‌رسد هزینه زمین، که یکی از معیارهای مهم در بحث هزینه نهایی پروژه است، باید در آنالیزهای اقتصادی به‌دقت بررسی شود. به دلیل محدودیت‌های داده‌ای، امکان لحاظ کردن این معیار وجود نداشت. پیشنهاد می‌شود، در تحقیقات آینده، قیمت زمین یکی از شاخص‌های ارزیابی در نظر گرفته شود. افزون بر آن، در نظر گرفتن معیارهای ارزیابی بیشتر و استفاده از روش‌ها و مدل‌های به‌روزتر توصیه می‌شود.

## ۶- منابع

رجیبی، م.، منصوریان، ع.، طالعی، م.، ۱۳۹۰. مقایسه روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره 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 برنامه‌ریزی شهری و منطقه‌ای، نشریه هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی، دوره ۲، شماره ۴۱، بهار، صص. ۹۰-۷۹.

قاسمیان صاحبی، ا.، عرب، ع.، چراغعلی‌پور، آ.، ۱۳۹۵. تدوین رویکرد چندگانه فازی به منظور انتخاب بهینه‌ترین مکان انبار کمک‌های امدادی در زنجیره تأمین امداد. مطالعه 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., 2006a, **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., 2006b, **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, New York.
- 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.