مهندسی فناوری اطلاعات مکانی

سال یکم، شماره دوم، زمستان ۱۳۹۲
Vol.1, No.3, Winter 2014

اولویت‌بندی مخازن ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز طبیعی با استفاده از سیستم‌های اطلاعات مکانی و فن رتبه‌بندی براساس تشابه با حالت آرمانی

مهدی زنگنه[۱]*، محمودرضا دلاور[۲]، بهزاد مشیری[۳]، سعید قوام‌پور[۴]، میثم عفتی[۵]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد GIS، گروه مهندسی نقشه‌برداری، پردیس دانشکده‌های فنی، دانشگاه تهران
۲- دانشیار، قطب علمی مهندسی نقشه‌برداری و مقابله با سوانح طبیعی، گروه مهندسی نقشه‌برداری، پردیس دانشکده‌های فنی تهران
۳- استاد، قطب علمی کنترل سیستم‌های هوشمند، دانشکده مهندسی برق و کامپیوتر، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران
۴- استادیار گروه مهندسی صنایع، دانشگاه کار قزوین
۵- دانشجوی دکتری GIS، گروه مهندسی نقشه‌برداری، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۱/۱۲/۱ تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۲/۲۱

چکیده

در این تحقیق روشی مناسب و منطبق بر اصول علمی برای اولویت‌بندی ذخیره‌سازی گاز طبیعی در مخازن زیرزمینی موجود ارائه گردیده، و با استفاده از دانش کارشناسی و تلفیق سیستم‌های اطلاعات مکانی با تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی به اولویت‌بندی این مخازن پرداخته شده است. روش پیشنهادی برمبنای فن رتبه‌بندی براساس تشابه به حالت آرمانی و مجموع وزین و رده‌بندی شده است. به منظور بررسی کامل گزینه‌های تحقیق، مهم‌ترین معیارهای ممکن ـ شامل خصوصیات مخزن، فاصله از مراکز ثقل مصرف، فاصله از مراکز تولید، فاصله از شبکه راه‌های کشور، دمای مناطق اطراف مخزن، ویژگی‌های زیست‌محیطی مخزن، گاز مورد استفاده مناطق اطراف مخزن، تراکم جمعیتی مناطق اطراف مخزن و تعداد مراکز صنعتی مهم تحت پوشش هر یک از مخازن ـ در نظر گرفته شده‌اند. برای ارزیابی نتایج تحقیق، پاسخ‌های روش‌های پیاده‌سازی شده با یکدیگر مقایسه گردیدند و با توجه به ارزیابی چندین کارشناس از پاسخ‌های به‌دست آمده، اولویت‌بندی نهایی مخازن صورت پذیرفت. نتایج به‌دست آمده حاکی از خطای بسیار اندک فن رتبه‌بندی براساس تشابه به حالت آرمانی و تطابق کلی نتایج این روش با دیدگاه‌های کارشناسان در زمینه رتبه‌بندی مخازن ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز است.

کلیدواژه‌ها: سیستم‌های اطلاعات مکانی، تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی، ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز طبیعی، روش مجموع وزین و رده‌بندی شده، فن رتبه‌بندی براساس تشابه به حالت آرمانی.

* نویسنده مکاتبه‌کننده: تهران، خیابان کارگر شمالی، گروه مهندسی نقشه‌برداری، پردیس دانشکده‌های فنی دانشگاه تهران. تلفن: ۰۹۱۲۳۳۸۸۹۴۱
Email: m.zangeneh@ut.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.29252/jgit.1.2.51]

۱- مقدمه

با توجه به گسترش فزاینده استفاده کمّی و تنوع مصرف گاز طبیعی به عنوان یکی از حاملان فراوان و ارزان انرژی و همچنین نامتعادل بودن عرضه و تقاضای گاز طبیعی در فصول سرد، برنامه‌ریزی برای ایجاد توازن تولید و مصرف در آن، امری ضروری به نظر می‌رسد [۱]. برای ایجاد توازن بین تولید و مصرف می‌توان توان تولید گاز طبیعی را بالا برد، که البته به‌رغم تمام تلاش‌های صورت گرفته در این بخش، به نظر می‌رسد که این تلاش‌ها برای تأمین منابع گاز کافی نیستند. البته ناگفته نماند که از جمله راهکارهای عملی در این زمینه نیز ذخیره‌سازی مازاد بر مصرف گاز طبیعی در فصول گرم سال، و استفاده از گاز ذخیره شده در فصول سرد سال است.

به‌طور کلی روش‌های متفاوتی برای ذخیره‌سازی گاز طبیعی وجود دارد که از مهم‌ترین آنها ذخیره‌سازی زیرزمینی است [۱، ۲]. برای این کار، به‌طور معمول از مخازن تخلیه شده نفت و گاز[1]، سفره‌های آب زیرزمینی[2] و گنبدهای نمکی[3] استفاده می‌شود [۲] که هر کدام از آنها مشخصه‌های ویژه‌ای دارند. به‌علاوه، گفتنی است با توجه به اینکه سالانه تعدادی مخزن زیرزمینی گاز در کشور شناسایی می‌شود و امکان سرمایه‌گذاری در تمام این مخازن وجود ندارد، بنابراین ایجاد سیستمی که از طریق آن بتوان کارایی مخازن مختلف را با یکدیگر مقایسه کرد، ضروری می‌نماید.

بدین ترتیب هدف کلی این تحقیق در واقع ایجاد سیستمی است که براساس آن بتوان بازده مخازن مختلف را با هم مقایسه کرد. می‌توان گفت بعد از اینکه چند مخزن به لحاظ زمین‌شناختی و مسائل فنی مورد تأیید قرار گرفتند، کارایی‌شان باید با استفاده از سیستم اطلاعات مکانی[4] (GIS) و برمبنای خصوصیات مخازن و مهم‌ترین معیارهای ممکن مورد ارزیابی قرار گیرد. در نهایت نیز می‌بایست مطلوبیت اختصاص یافته به هر یک از مخازن بررسی گردد، و رتبه‌بندی میان آنها صورت پذیرد تا مخازنی که دارای اولویت و کارایی بالاتری هستند مشخص شود و سرمایه‌گذاری صرفاً در آنها انجام گیرد.

از آنجا که در مسئله مورد نظر مجموعه‌ای از گزینه‌های تعریف شده از نظر مکانی وجود دارد (مخازن) که این گزینه‌ها براساس تعدادی شاخص مورد ارزیابی قرار می‌گیرند، لذا مسئله مورد نظر در زمرهٔ مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی[5] است. در این مسائل به قابلیت‌های سیستم‌های اطلاعات مکانی در زمینهٔ دریافت، ذخیره‌سازی، بازیابی و پردازش داده‌ها نیاز است. افزون بر آن، نیاز به توانایی‌های مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره نیز برای کنار هم قرار دادن داده‌های مکان‌مرجع شده و اولویت‌بندی‌های تصمیم‌گیرنده، به چشم می‌خورد [۳].

به‌طور کلی سیستم اطلاعات مکانی و تصمیم‌گیری چندمعیاره[6] (MCDM) به شکل وسیعی در حوزه نفت و گاز، مورد استفاده قرار گرفته است. Grataloupa به مکان‌یابی برای ذخیره‌سازی زیرزمینی دی‌اکسید کربن در سفره‌های آبی شور اعماق زمین پرداخته است [۴]، وی برمبنای برخی از معیارهای خطرناک (مناطقی که روی گسل قرار دارند، مناطق حفاظت‌شده و جز اینها)، ابتدا قسمتی از مناطق را کاملاً کنار گذاشت و بعد برمبنای معیارهای احراز صلاحیت (فاصله تا مرکز تولید CO_2، فاصله از مراکز شهری، ضخامت سازند آهکی و جز اینها) با استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره در محیط GIS یک مکان را در حوزه پاریس مشخص ساخت.

Yami برای مکان‌یابی چاه‌های نفت و گاز، استفاده از تصمیم‌گیری چندمعیاره را برگزید [۵]. وی به بررسی نحوه مجوز دادنِ شرکت Aramco برای بهره‌برداری از

1. Depleted Reservoirs Storage
2. Aquifer Storge
3. Salt Cavern Storage
4. Geospatial Information System
5. Spatial Multi Criteria Decision Making
6. Multi Criteria Decision Making

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.29252/jgit.1.2.51]

چاه‌های نفت و گاز در عربستان پرداخت و با استفاده از مدل ارتفاعی رقومی منطقه و تصاویر ماهواره‌ای و براساس میزان H_2S موجود در منطقه و نوع عوارض انسان‌ساخت یا مصنوع موجود در منطقه (مانند بیمارستان، هتل، ساختمان، جاده و نظایر اینها)، چاه بررسی‌شده برای بهره‌برداری را ارزیابی کرد و بدین منظور تصمیم‌گیری چندمعیاره در محیط GIS را به کار گرفت. شرکت روسی ساخالین انرژی[1] مکان‌یابی را برای برپایی تأسیسات مورد نیاز گاز طبیعی مایع‌شده (LNG)[2] و ذخیره‌سازی آن انجام داد [۶]. این شرکت در میان ۹ مکان بررسی شده، تنها یک مکان را برمبنای معیارهای فنی و عملیاتی و اقتصادی برگزید. مهم‌ترین معیارهای عملیاتی عبارت بوده‌اند از: عمق آب، مشکلات یخ و باد، شرایط موج و گسل‌ها، نزدیک بودن به مراکز شهری، ایمنی مکان، و کمترین امکان وقوع حادثه و اختلال در وضعیت ساکنان و مانند اینها. دیگر اینکه شرکت امریکایی PB-KBB برای ذخیره‌سازی LNG در گنبدهای نمکی به مکان‌یابی پرداخت [۷]. این شرکت با در نظر گرفتن برخی از ویژگی‌ها برای مخازن ـ مانند نزدیکی به سیستم حمل و نقل، مراکز مصرف منابع آب و برق ـ و نیز با نگاه ویژه و متمرکز بر اصول زمین‌شناسی و توجه به نوع پوشش سنگی و میزان شکستگی مخازن (به‌منظور بررسی امکان نشت گاز از درون مخازن و میزان استحکام مخازن) از میان ۵ مکان بررسی شده، ۳ مکان را با ایجاد تابع هزینه انتخاب کرد.

صمدی و اقبالی برای احداث نیروگاه حرارتی با کمک GIS و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP)[3] اقدام به مکان‌یابی کردند [۸]. آنها ابتدا برخی از مناطق را به دلیل مسائل امنیتی و فنی و زیست‌محیطی حذف کردند و سپس با استفاده از مجموعه‌ای از معیارها ـ که مهم‌ترین آنها مناسبت فیزیکی مکان (ارتفاع، شیب و جز آن) و دسترسی به منابع آب و تجهیزات انتقال است ـ به مکان‌یابی پرداختند. آنها برای وزن‌دهی به معیارها از نظر ۱۷ کارشناس استفاده کردند و با مقایسه دوتایی، وزن‌دهی را انجام دادند و برای ترکیب وزن‌های تعیین شده به‌وسیله افراد مختلف، میانگین‌گیری را به کار بردند و در نهایت با کمک GIS و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، به مکان‌یابی نیروگاه حرارتی در سطح استان سیستان و بلوچستان اقدام کردند. نصیری به تلفیق روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره با GIS برای تعیین کاربری اراضی شهری پرداخته است [۹]. وی با استفاده از روش‌های وزن‌دهی ساده تجمعی[4] (SAW)، روش رتبه‌بندی براساس تشابه با حالت آرمانی[5](TOPSIS)، روش حذف و انتخاب سازگار با واقعیت[6] (ELECTRE) و روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و با در نظر گرفتن معیارهایی چون شیب، ارتفاع، خاک، منابع آب، اقلیم و جز اینها، کاربری اراضی شهری را مشخص ساخت. بصیری و شکور شهابی با استفاده از فن رتبه‌بندی براساس تشابه با حالت آرمانی، دست به رتبه‌بندی مواد معدنی کشور زدند. آنها رتبه‌بندی مواد معدنی را با استفاده از ۲۹ معیار انجام دادند [۱۰].

برمبنای مطالعات و بررسی‌های به عمل آمده، چنین به نظر می‌رسد که رتبه‌بندی چندان مشخصی میان مخازن ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز در کشور گزارش نشده باشد. بنابراین، در این تحقیق با تکیه بر دیدگاه‌های افراد کارشناس و خبره و با استفاده از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره مکانی، روشی مناسب و مبتنی بر اصول علمی برای رتبه‌بندی مخازن ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز موجود ارائه شد. روش پیشنهادی، بر فن رتبه‌بندی براساس تشابه با حالت آرمانی و مجموع وزین و رده‌بندی شده[7]، مبتنی است. به‌منظور بررسی

1. Sakhalin Energy
2. Liquid Natural Gas
3. Analytical Hierarchical Process
4. Simple Additive Weighting Method
5. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution
6. Elimination et Choice Translating Reality
7. Hierarchiecal Additive Weighting-Method

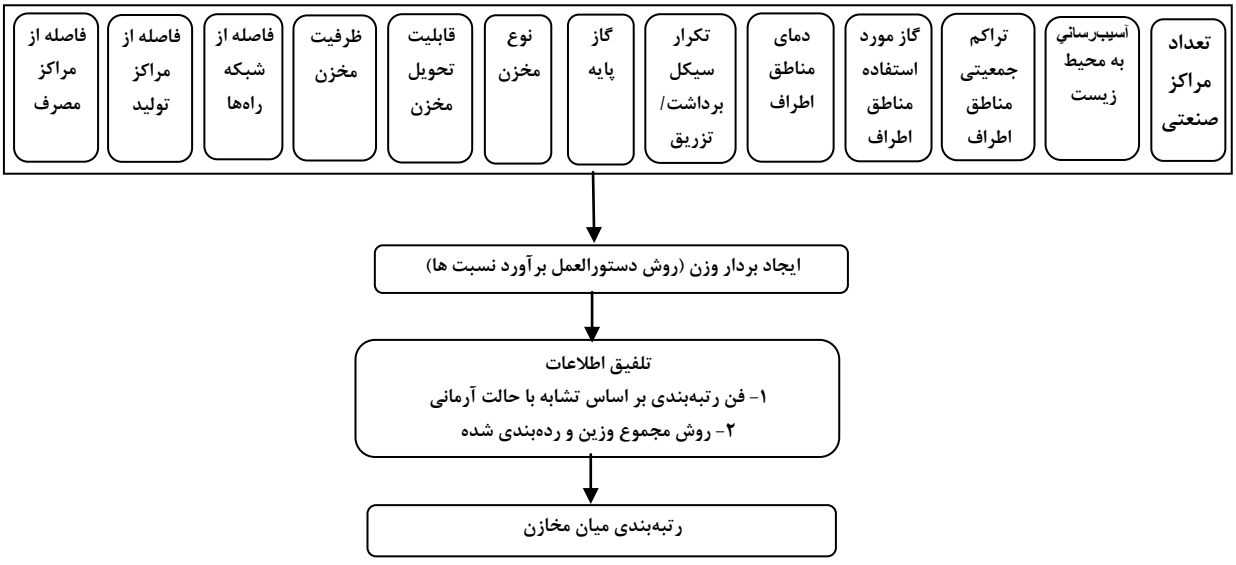
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.29252/jgit.1.2.51]

کامل گزینه‌های تحقیق، مهم‌ترین معیارهای ممکن مدّ نظر قرار گرفت که اینها بوده‌اند: خصوصیات مخزن (ظرفیت مخزن، نوع مخزن، گاز پایه مورد نیاز مخزن[1]، قابلیت تحویل مخزن[2] و قابلیت تکرار سیکل برداشت / تزریق) و فاصله از مراکز ثقل مصرف، فاصله از مراکز تولید، فاصله از شبکه راه‌های کشور، دمای مناطق اطراف مخزن، ویژگی‌های زیست‌محیطی مخزن، گاز مورد استفاده مناطق اطراف مخزن، تراکم جمعیتی مناطق اطراف مخزن، و تعداد مراکز صنعتی مهم تحت پوشش هر یک از مخازن. در نهایت برای ارزیابی نتایج تحقیق، پاسخ روش‌های مختلف با یکدیگر مقایسه شد و با توجه به دیدگاه‌های کارشناسان و پاسخ‌های به‌دست آمده، رتبه‌بندی میان مخازن مختلف صورت پذیرفت.

در ادامه، در بخش ۲، جزئیات روش پیشنهادی ارائه می‌گردد. در بخش‌های ۳ و ۴ به پیاده‌سازی روش پیشنهادی و ارزیابی نتایج آن پرداخته می‌شود، و بخش ۵ نیز به نتیجه‌گیری اختصاص دارد.

۲- مواد و روش‌ها

برای رتبه‌بندی مخازن ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز، به‌کارگیری فنون حل مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره، مورد نیاز و ضروری‌اند. بدین ترتیب بعد از آماده‌سازی لایه‌های اطلاعاتی مختلف و بردار وزن، با استفاده از روش‌های رتبه‌بندی براساس تشابه با حالت آرمانی و روش مجموع وزین و رده‌بندی شده، اطلاعات تلفیق شدند و سرانجام رتبه‌بندی بین مخازن مختلف صورت پذیرفت که مراحل انجام تحقیق در شکل ۱ نمایش داده شده است.



شکل ۱. مراحل روش پیشنهادی

1. Base Gas
2. Deliverability

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.29252/jgit.1.2.51]

همان‌طور که اشاره شد، روش‌های رتبه‌بندی براساس تشابه با حالت آرمانی و روش مجموع وزین و رده‌بندی شده برای تلفیق اطلاعات به کار رفتند. علت‌های انتخاب روش رتبه‌بندی براساس تشابه با حالت آرمانی اینها هستند [۱۱]:

- وجود استدلالی معتبر؛
- محاسبه ارزش عددی برای بهترین و بدترین گزینه‌ها؛
- دارا بودن فرایند محاسباتی ساده؛ و
- عملکرد چندوجهی گزینه‌ها در معیارها.

همچنین با توجه به اینکه روش مجموع وزین و رده‌بندی شده، روش کاربردی است که گزینه‌ها را با توجه به مقادیر داده‌های‌شان در هر معیار و وزن معیارها مورد مقایسه قرار می‌دهد و همچنین معیارها در این روش عملکرد چندوجهی دارند، برای رتبه‌بندی مخازن نیز از همن روش استفاده شد. در ادامه جزئیات مربوط به روش پیشنهادی و مبانی نظری آن ارائه می‌گردد.

۲-۱- روش رتبه‌بندی براساس تشابه با حالت آرمانی

این روش را نخستین بار هوانگ و یون در سال ۱۹۸۱ شکل دادند. در این روش می‌توان از معیارهای کمّی و کیفی به صورت توأمان استفاده کرد [۱۲، ۱۳]. معیارهایی که در این روش به کار می‌روند، به دو دسته معیارهای سود (دارای مطلوبیت یکنواخت افزایشی) و معیارهای هزینه (دارای مطلوبیت یکنواخت کاهشی) تقسیم‌بندی می‌شوند. براساس این روش بهترین گزینه با راه‌حل آرمانی مثبت، نزدیک‌ترین فاصله را دارد؛ لیکن دارای دورترین فاصله از راه‌حل آرمانی منفی است. پاسخ آرمانی مثبت، آنی است که بیشترین سود و کمترین هزینه را در پی داشته باشد؛ و پاسخ آرمانی منفی همانی است که کمترین سود و بیشترین هزینه را در پی داشته باشد [۱۲، ۱۳، ۱۴]. برای اعمال این روش ابتدا باید ماتریس تصمیم (D) را ایجاد کرد، که خود دربردارندهٔ m گزینه و n معیار است. این ماتریس متشکل از مجموعه‌ای است از معیارهای ارزیابی (A_i) و مجموعه‌ای از گزینه‌ها (X_j) و همچنین خروجی‌های تصمیم‌گیری (X_{ij})، که در نهایت نیز تصمیم براساس این ماتریس گرفته می‌شود. ماتریس تصمیم بدین صورت فرموله می‌گردد.

$$D = \begin{array}{c} \\ A_1 \\ \vdots \\ A_i \\ \vdots \\ A_m \end{array} \begin{array}{c} \begin{array}{cccccc} X_1 & \cdots & X_j & \cdots & X_n \end{array} \\ \begin{bmatrix} X_{11} & \cdots & X_{1j} & \cdots & X_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{i1} & \cdots & X_{ij} & \cdots & X_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ X_{m1} & \cdots & X_{mj} & \cdots & X_{mn} \end{bmatrix} \end{array}$$

به‌طور کلی این روش مشتمل بر ۶ مرحله، به شرحی است که در پی می‌آیند:

۱) نرمالیزه کردن ماتریس تصمیم: مقدار نرمالایز شده r_{ij} مطابق با رابطه (۱) محاسبه می‌شود [۱۲، ۱۳].

$$r_{ij} = \frac{X_{ij}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{m} X_{ij}^2}} \qquad \text{رابطه (۱)}$$

۲) وزن‌دهی به ماتریس نرمالیزه شده: ماتریس تصمیم نرمالیزه شده وزن‌دار (V) از ضرب کردن مجموعه‌ای از وزن‌های معیارهای مختلف $W = (W_1, \cdots, W_j \cdots, W_n)$، که $(\sum W_j = 1)$ است، در ماتریس تصمیم نرمالیزه شده به‌دست می‌آید. نمونه‌ای از این ماتریس بدین صورت ارائه شده است [۱۲، ۱۳].

$$V = \begin{bmatrix} W_1 r_{11} & \cdots & W_j r_{1j} & \cdots & W_n r_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ W_1 r_{i1} & \cdots & W_j r_{ij} & \cdots & W_n r_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ W_1 r_{m1} & \cdots & W_j r_{mj} & \cdots & W_n r_{mn} \end{bmatrix} =$$

$$\begin{bmatrix} V_{11} & \cdots & V_{1j} & \cdots & V_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ V_{i1} & \cdots & V_{ij} & \cdots & V_{in} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ V_{m1} & \cdots & V_{mj} & \cdots & V_{mn} \end{bmatrix}$$

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.29252/jgit.1.2.51]

۳) تعیین راه‌حل آرمانی مثبت و منفی: دو گزینه مجازی راه‌حل آرمانی مثبت (A^*) و راه‌حل آرمانی منفی (A^-) با استفاده از روابط (۲) و (۳) ایجاد می‌شوند [۱۲، ۱۳].

رابطه (۲)

$$A^* = \{(\max_i V_{ij} \mid j \in J), (\min_i V_{ij} \mid j \in J') \mid i = 1,2,...,m\} = \{V_1^*,...,V_j^*,...,V_n^*\}$$

رابطه (۳)

$$A^- = \{(\min_i V_{ij} \mid j \in J), (\max_i V_{ij} \mid j \in J') \mid i = 1,2,...,m\} = \{V_1^-,...,V_j^-,...,V_n^-\}$$

۴) محاسبه فاصله: فاصله هر گزینه nبُعدی را می‌توان به روش اقلیدسی سنجید. فاصله گزینه iام از راه‌حل آرمانی مثبت با رابطه (۴) و از راه‌حل آرمانی منفی با رابطه (۵) محاسبه می‌شود [۱۲، ۱۳].

رابطه (۴)

$$S_i^* = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (V_{ij} - V_j^*)^2}$$

رابطه (۵)

$$S_i^- = \sqrt{\sum_{j=1}^{n} (V_{ij} - V_j^-)^2}$$

۵) محاسبه نزدیکی نسبی هر گزینه از راه‌حل آرمانی: برای یافتن نزدیکی نسبی هر گزینه از راه‌حل آرمانی، همزمان از رابطه (۶) نیز استفاده می‌شود [۱۲، ۱۳].

رابطه (۶)

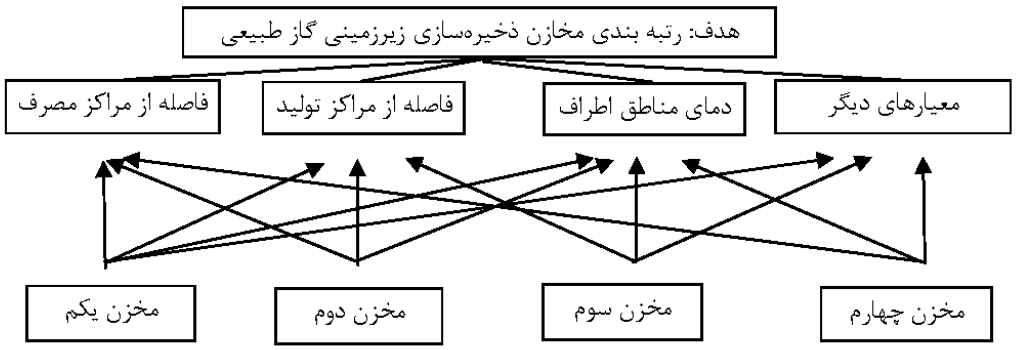
$$C_i^* = \frac{S_i^-}{S_i^- + S_i^*}$$

که در آن C_i^* نشان‌دهنده نزدیکی نسبی هر گزینه به راه‌حل آرمانی، و $0 < C_i^* < 1$ است؛ و هر چه فاصله گزینه iام از راه‌حل آرمانی منفی بیشتر باشد و به راه‌حل آرمانی مثبت کمتر، C_i^* به یک نزدیک‌تر خواهد بود.

۶) رتبه‌بندی گزینه‌ها: در این مرحله گزینه‌ها بر مبنای C_i^* به‌طور صعودی یا نزولی رتبه‌بندی خواهند شد [۱۲، ۱۳].

۲-۲- روش مجموع وزین و رده‌بندی شده

عوامل و فاکتورهای مؤثر در تصمیم‌گیری را می‌توان به صورت رده‌ای و در سطوح مختلف نشان داد، به‌طوری که هر سطح شامل فاکتورهای متأثر از متغیر یا متغیرهای موجود در سطح بلافصل پیشین است. به عنوان مثال، سطوح تشکیل‌دهنده رتبه‌بندی مخازن را می‌توان در شکل ۲ مشاهده کرد.



شکل ۲. سطوح فرایند رتبه‌بندی مخازن زیرزمینی گاز

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.29252/jgit.1.2.51]

نخستین سطح شامل هدف تصمیم‌گیری (رتبه‌بندی مخازن ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز طبیعی) با ارجحیت واحد (یک) است. دومین سطح از تصمیم‌گیری رده‌ای، دربرگیرندهٔ معیارهای موردنظر و متأثر از هدف تصمیم‌گیری است که بردار ارجحیت (بردار وزن معیارها یا W^2) برای آنها مطابق با نظر کارشناسان ایجاد می‌شود. سومین سطح شامل گزینه‌های مورد نظر مسئله (مخازن) است که هر کدام تحت تأثیر هر یک از شاخص‌های موجود در سطح دوم‌اند، و ماتریس ارجحیت آنها (W^3) به ازای هر یک از شاخص‌های موجود در سطح دوم نیز باید محاسبه گردد. آن‌گاه بردار ارجحیت برای پایین‌ترین سطح نسبت به کل سیستم از طریق رابطه (۷) به‌دست می‌آید [۱۴].

$$W_{B=} W^3 * W^2 * 1 \qquad \text{رابطه (۷)}$$

در این روش معیارها به دو دسته معیارهای سود و هزینه تقسیم می‌شوند و زمانی‌که کلیه عناصر ماتریس (ماتریس دربردارندهٔ مقدار شاخص‌های مختلف برای گزینه‌های مختلف) مشخص باشند، برای محاسبه اوزان گزینه‌ها به ازای هر شاخص می‌توان مستقیماً از نرمالیزه کردن ارقام هر ستون استفاده کرد. مقدار نرمالیزه برای ستون‌های هزینه با رابطه (۸) محاسبه می‌شود، ولی این محاسبه برای ستون‌های سود از طریق رابطه (۹) است [۱۴].

$$C_j = \frac{\frac{1}{r_{ij}}}{\sum_{i=1}^{m} \frac{1}{r_{ij}}} \qquad j = 1,\dots,g \qquad \text{رابطه (۸)}$$

$$C_j = \frac{r_{ij}}{\sum_{i=1}^{m} r_{ij}} \qquad j = g+1,\dots,n \qquad \text{رابطه (۹)}$$

در این روابط، m تعداد گزینه‌هاست، n تعداد معیارها، و g نشان‌دهنده شماره سطر آخرین معیار هزینه است به‌شرطی که ابتدا معیارهای هزینه و سپس معیارهای سود در ماتریس تصمیم قرار بگیرند [۱۴].

۲-۳- وزن‌دهی به معیارها

برای انجام محاسبات در این تحقیق، به بردار وزن معیارها نیاز است. به‌طور کلی منظور از وزن‌دهی به معیارها، اختصاص یک عدد به هر معیار برای بیان اهمیت نسبی آن در مقایسه با دیگر معیارهاست [۳]. برای انجام این کار، سه دیدگاه بدین شرح وجود دارند [۱۵]:

الف) استفاده از دانش کارشناسی[1]: در این روش با استفاده از تجزیه و تحلیل دانش کارشناسان در زمینه کاربرد مورد نظر و با توجه به خصوصیات محدوده مطالعاتی، فاکتورهای مناسب تعیین و وزن‌دهی می‌شوند [۱۵].

ب) استفاده از دانش داده‌ای[2]: دانش داده‌ای متکی بر داده‌ها یا اطلاعات موجود در مورد جواب مسئله است. مطابق با این دیدگاه با استفاده از پاسخ‌های موجود در مسئله و محاسبه میزان وابستگی هر یک از فاکتورها به جواب، می‌توان وزن مربوط به هر فاکتور را تعیین کرد [۱۵].

ج) استفاده از دانش کارشناسی و داده‌ای به صورت توأمان: در این روش با توجه به نتایج حاصل از دانش و تجربیات کارشناسان و استفاده از اطلاعات موجود، به هر یک از فاکتورها وزن تعلق می‌گیرد [۱۵].

از آنجا که هیچ رویکرد علمی برای رتبه‌بندی مخازن ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز در کشور موجود نیست، دیدگاه دانش کارشناسی به کار گرفته شد و وزن‌دهی به معیارها طبق نظر افراد متخصص انجام گرفت. برای وزن‌دهی به معیارها برمبنای دانش کارشناسی، روش‌های متفاوتی وجود دارد. در اینجا، با توجه به جامعیت یا سادگی و قابل فهم بودن روش طبقه‌بندی[3]، حالت دستورالعمل برآورد نسبت‌ها[4]، همین روش برای وزن‌دهی به معیارها به کار گرفته شد که در ادامه به توضیح این روش پرداخته می‌شود.

1. Knowledge Driven
2. Data Driven
3. Rating Method
4. Ratio Estimation Procedure

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.29252/jgit.1.2.51]

۲-۳-۱- دستورالعمل برآورد نسبت‌ها

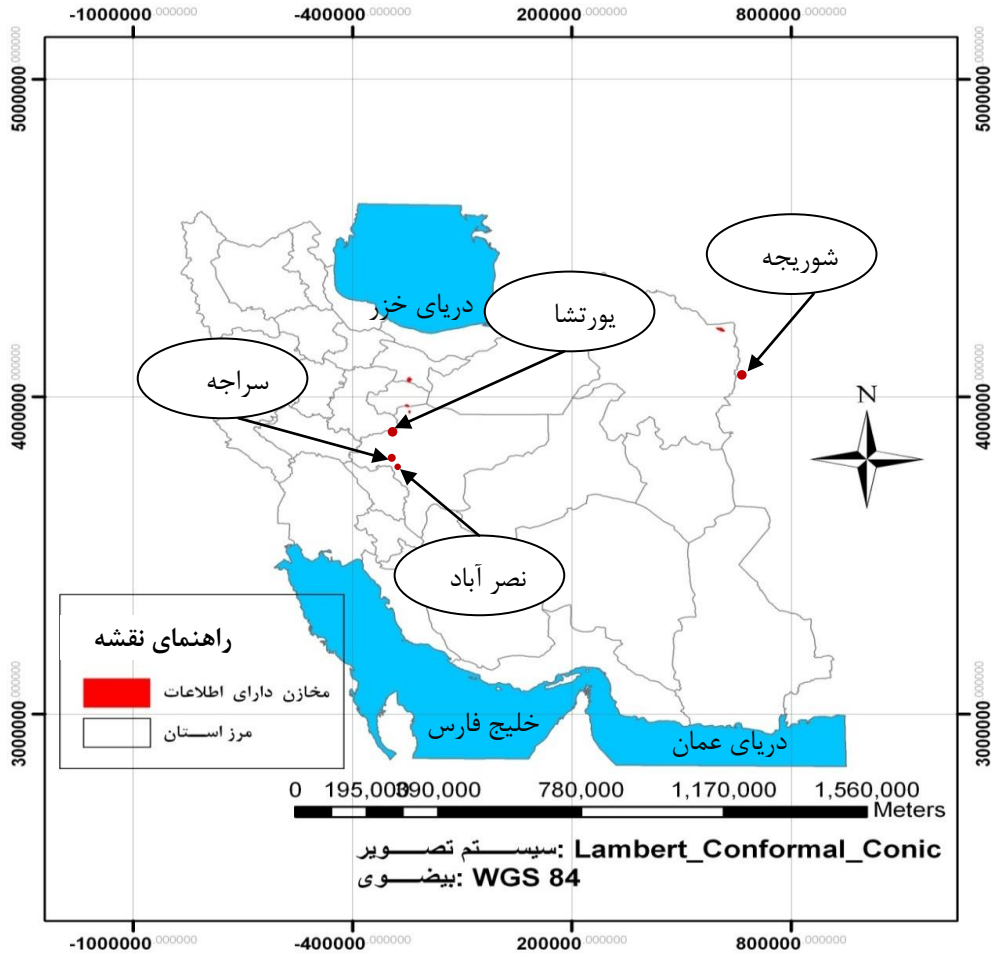
در این روش یک امتیاز دلخواه (مثلاً امتیاز ۲۰) به مهم‌ترین معیار اختصاص داده می‌شود و این امتیازدهی به همین ترتیب برای معیارهای کم‌اهمیت‌تر نیز انجام می‌گیرد، تا برسد به کم‌اهمیت‌ترین معیار. سپس امتیاز هر یک از معیارها بر امتیاز کم‌اهمیت‌ترین معیار تقسیم می‌گردد، و به ازای هر معیار نسبتی ایجاد می‌شود که مشخص‌کننده میزان اهمیت هر معیار در مقایسه با کم‌اهمیت‌ترین آنهاست. سپس این نسبت‌ها نرمال می‌شوند، و عدد به دست آمده نشان دهنده وزن هر معیار، و مجموع وزن‌ها برابر با یک است [۳].

۳- پیاده‌سازی تحقیق

برای پیاده‌سازی تحقیق، ابتدا اطلاعات مربوط به مخازن تهیه شد و سپس مطابق با نظر کارشناسان، وزنی به هر یک از معیارها اختصاص یافت؛ و در نهایت با استفاده از فن رتبه‌بندی براساس تشابه با حالت آرمانی، روش مجموع وزین و رده‌بندی شده و رتبه‌بندی‌ای که کارشناسان انجام دادند، به ارزیابی گزینه‌های تحقیق پرداخته شد.

۳-۱- گزینه‌های تحقیق (مخازن)

در زمان حاضر ۱۱ پروژه و طرح در ایران برای ذخیره‌سازی گاز طبیعی در دست اقدام‌اند که در این بین، تنها اطلاعات ۴ مخزن ـ که در شکل ۳ نشان داده شده‌اند ـ موجود و در دسترس‌اند.



شکل ۳. موقعیت مخازنی که قابلیت ذخیره‌سازی دارند

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.29252/jgit.1.2.51]

البته باید اشاره کرد که مطالعات درباره گنبد نمکی نصرآباد همچنان ادامه دارد و در این تحقیق از آخرین اطلاعات موجود درباره این مخزن استفاده شده است.

۳-۲- معیارهای مورد استفاده و وزن‌دهی به آنها

برای مقایسه مخازن ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز، معیارهای متفاوتی وجود دارند که با توجه به میزان اهمیت معیارها و موجود یا در دسترس بودن داده‌های مورد نیاز برای تعریف معیارها، از مهم‌ترین شاخص‌های ممکن استفاده شد. برای وزن‌دهی به معیارها نیز دیدگاه‌های تعدادی کارشناس به کار گرفته شدند و با استفاده از دستورالعمل برآورد نسبت‌ها، وزن معیارهای مختلف محاسبه گردید که نتایج آن را می‌توان در جدول ۱ مشاهده کرد. گفتنی است که چهار معیار مندرج در انتهای جدول ۱، معیارهای اضافه شده به مرحله پیشین تحقیق حاضر [۱۶] است.

در ادامه، به توضیح و تشریح جدول ۱ پرداخته می‌شود:

- **نوع مخزن**: مخازن ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز، سه نوع‌اند که طبق نظر کارشناسان از لحاظ هزینه، مطالعات مورد نیاز قبل از انجام ذخیره‌سازی و سادگی کار، مخازن تخلیه شده نفت و گاز کارآمدترین نوع مخزن به شمار می‌آیند. گنبدهای نمکی و سفره‌های آب زیرزمینی، بعد از آن در رتبه‌های بعدی جای می‌گیرند. از آنجا که معیار مذکور معیاری کیفی است، لذا برای اعمال آن در تحقیق، بازه‌ای عددی بین صفر تا ۱۰ در نظر گرفته شد که ۱۰ نشان‌دهنده بهترین حالت بوده است، و صفر بدترین حالت [۱۴]. سرانجام برمبنای مطالعات صورت پذیرفته و طبق نظر کارشناسان عدد ۹ به مخازن تخلیه‌شده نفت و گاز، عدد ۷ به گنبدهای نمکی، و عدد ۵ به سفره‌های آب زیرزمینی اختصاص یافت.

جدول ۱. معیارهای ارزیابی و وزن آنها

نام معیار		میانگین نمره تعلق‌یافته	وزن نهایی
نوع مخزن		۲۰	۰/۰۹
ظرفیت مخزن		۱۸/۵	۰/۰۸۴
گاز پایه مورد نیاز مخزن		۱۲/۵	۰/۰۵۶
قابلیت تحویل مخزن		۱۶	۰/۰۷۲
قابلیت تکرار سیکل برداشت/ تزریق		۱۵	۰/۰۶۷
فاصله از مراکز ثقل مصرف	صنعتی	۱۳/۵	۰/۰۶۱
	غیر صنعتی	۱۷	۰/۰۷۶
فاصله از مراکز تولید	پالایشگاه	۱۱	۰/۰۴۹
	خطوط لوله	۱۳/۵	۰/۰۶۱
فاصله از شبکه راه‌های اصلی		۱۱/۵	۰/۰۵۲
دمای مناطق اطراف مخزن		۱۴/۵	۰/۰۶۵
تراکم جمعیتی مناطق اطراف مخزن		۱۴	۰/۰۶۳
گاز مورد استفاده مناطق		۱۰	۰/۰۴۵
آسیب‌رسانی مخزن به محیط زیست		۱۷	۰/۰۷۷
تعداد مراکز صنعتی مهم تحت پوشش مخزن		۱۸	۰/۰۸۱

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.29252/jgit.1.2.51]

- **ظرفیت مخزن:** ظرفیت مخزن به معنای کل گازی است که می‌توان در آن ذخیره کرد. معمولاً مخازن تخلیه شده نفت و گاز حجم ذخیره‌سازی بیشتری در اختیار دارند [۱۷].
- **گاز پایه مورد نیاز مخزن:** به میزان گازی که می‌بایست برای ایجاد فشار کافی در مخزن به‌منظور تضمین قابلیت تحویل گازی که در دوره برداشت می‌توان فروخت وجود داشته باشد، گاز پایه گفته می‌شود. گنبدهای نمکی به درصد پایینی از گاز پایه، مخازن تخلیه شده به درصدی بیشتر، سفره‌های آب زیرزمینی به درصد بالایی از گاز پایه نیاز دارند [۱۷].
- **قابلیت تحویل مخزن:** به میزان گازی گفته می‌شود که منبع ذخیره‌سازی، توان تولید روزانهٔ آن را برای فروش داشته باشد. گنبدهای نمکی معمولاً بیشترین میزان تحویل را به ازای حجم ذخیره دارند [۱۸].
- **قابلیت تکرار سیکل برداشت / تزریق:** به امکان یا قابلیت تکرار کردن فرایند ذخیره‌سازی گاز در مخزن و برداشت گاز از آن، گفته می‌شود. در مخازن تخلیه شده، معمولاً این سیکل یک بار در سال امکان‌پذیر است، و در سفره‌های آب زیرزمینی سیکل برداشت / تزریق بیش از یک بار، و در گنبدهای نمکی تا بیش از ۵ بار در سال ممکن است [۱۷، ۱۸].
- **فاصله از مراکز ثقل مصرف:** برای اعمال این معیار، مراکز مصرف به دو دسته تقسیم‌بندی شدند: مراکز صنعتی و مراکز غیرصنعتی.
  - **مراکز ثقل مصرف صنعتی:** در این قسمت فاصله مخازن از مراکز بسیار پرمصرف صنعتی ـ مانند پتروشیمی‌ها، پالایشگاه‌ها، نیروگاه‌های گازی و کارخانجات پرمصرف ـ مورد ارزیابی قرار گرفت.
  - **مراکز ثقل مصرف غیرصنعتی:** برطبق نظر کارشناسان، مراکز ثقل مصرف غیرصنعتی شامل ۱۹ شهر پرمصرف و پرجمعیت کشورند: تهران، مشهد، اصفهان، کرج، تبریز، شیراز، اراک، ارومیه، کرمانشاه، رشت، اردبیل، شهریار، کرمان، خرم‌آباد، بجنورد، همدان، ساری و سنندج. آنچه محاسبه شد، حداقل فاصله مخازن از این شهرها بوده است.
- **فاصله از مراکز تولید:** برای محاسبه این معیار، مراکز تولید به دو دسته تقسیم شدند: خطوط لوله گاز سراسری و پالایشگاه‌ها.
  - **خطوط لوله گاز سراسری کشور:** در این قسمت فاصله مخازن از خطوط لوله گاز سراسری محاسبه شد.
  - **پالایشگاه‌ها:** در این بخش فاصله مخازن از پالایشگاه‌های کشور محاسبه شد. لذا بر مبنای نظر کارشناسان، پالایشگاه‌ها به سه کلاس ـ بسیار مهم، مهم و معمولی ــ دسته‌بندی شدند. در این میان پالایشگاه‌های پارس جنوبی، فجر و پارسیان در کلاس «بسیار مهم» قرار گرفتند. این پالایشگاه‌ها توان تولید بسیار بالایی دارند و می‌توانند تمام کشور را پوشش دهند. پالایشگاه‌های خانگیران و بیدبلند و سرخون که توان تولید بالایی دارند و حداکثر می‌توانند تا فاصله ۵۰۰ کیلومتری را پوشش دهند، درکلاس «مهم» جای گرفتند. سرانجام پالایشگاه‌های ایلام و مسجد سلیمان، که توان تولید پایینی دارند و فاصله حداکثر ۲۰۰ کیلومتری را پوشش می‌دهند، در کلاس «معمولی» قرار گرفتند. در نهایت برای اعمال کردن این معیار (با در نظر گرفتن قابلیت تولید و محدوده تحت پوشش هر یک از پالایشگاه‌ها) حداقل فاصله هر یک از مخازن با نزدیک‌ترین پالایشگاهی که توانایی گازرسانی به مخزن مورد نظر را داشته باشد، محاسبه شدند.

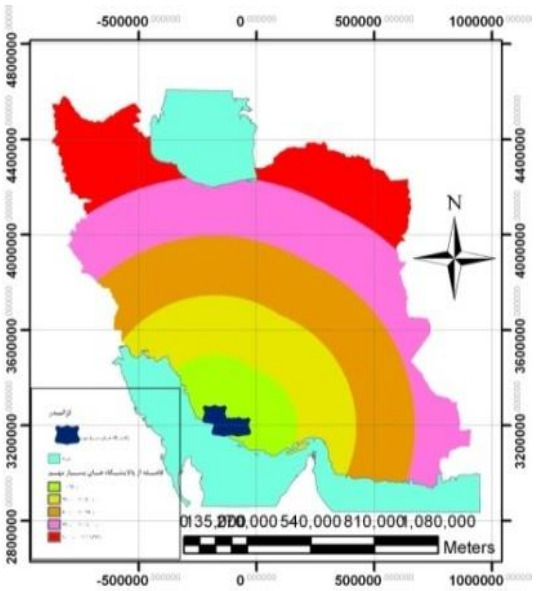
[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.29252/jgit.1.2.51]

- **فاصله از شبکه راه‌های اصلی کشور**: در این بخش فاصله مخازن از شبکه راه‌های اصلی کشور محاسبه گردید.
- **دمای مناطق اطراف مخازن**: برای محاسبه این معیار، متوسط دمای ۴ ماه آخر سال‌های ۱۳۵۵ تا ۱۳۸۰ در ۱۲۰ ایستگاه هواشناسی دریافت گردید و سپس با استفاده از روش فاصله معکوس وزن‌دار (IDW)[1]، درون‌یابی صورت پذیرفت و به هر نقطه از کشور عددی به‌عنوان دما تعلق یافت.
- **تراکم جمعیت**: برای محاسبه این معیار، جمعیت شهرهای کشور در سال ۱۳۸۹ و همچنین مساحت شهرها در نظر گرفته شد، و تراکم جمعیتی مناطق مختلف به‌دست آمد و در نهایت، درون‌یابی با استفاده از روش فاصله معکوس وزن‌دار صورت پذیرفت و عددی به عنوان تراکم جمعیتی، به هر منطقه اختصاص یافت.
- **گاز مصرفی**: با توجه به در دسترس نبودن اطلاعات کافی در مورد میزان گاز مصرفی شهرهای مختلف، در این تحقیق توزیع گاز مصرفی استان‌ها به شکل نرمال در نظر گرفته شد (با توجه به وجود صنایع مختلف و انواع نیروگاه‌های گازی، کارخانه‌های فولاد و جز اینها در مناطق مختلف استان‌ها)، در این زمینه ابتدا میزان گاز مصرفی هر استان در سال ۱۳۸۸ به دست آمد، سپس این مقدار تقسیم بر مساحت آن استان شد و این میزان گاز به مرکز آن استان تعلق گرفت. در نهایت با استفاده از روش فاصله معکوس وزن‌دار بین میزان گاز مصرفی تعلق یافته به مراکز استان‌ها، درون‌یابی انجام شد.
- **آسیب‌رسانی مخزن به محیط زیست**: برای محاسبه این معیار میزان آسیب‌رسانی هر یک از انواع مخازن به محیط مورد محاسبه قرار گرفت. با توجه به اینکه در ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز در سفره‌های آب زیرزمینی امکان نشت گاز از درون مخزن به محیط اطراف و آلوده‌سازی محیط اطراف به سمت مصرف زیاد گاز است، لذا این نوع از مخازن از نظر آسیب‌رسانی به محیط زیست با ریسک بالایی همراه است. در واقع در مورد قابلیت این مخازن برای نگهداری گاز تزریق‌شده و عدم آلوده‌سازی محیط زیست، تردید وجود دارد. به علاوه، به منظور ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز در گنبدهای نمکی به‌دلیل عملیات تزریق آب به مخزن و شست‌وشوی نمک در مخزن و دفع آب نمک ایجاد شده، به محیط زیست آسیب می‌رسد. البته در ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز در مخازن تخلیه شده گاز و نفت، به‌دلیل اینکه میدان سابقاً دارای مواد هیدروکربوری بوده است، خطر نشت گاز ذخیره شده درون مخزن به اطراف و آلوده‌سازی محیط زیست، به حداقل می‌رسد. در نهایت با توجه به اینکه معیار مذکور معیاری کیفی است، لذا برای اعمال آن در تحقیق یک بازه عددی بین صفر تا ۱۰ در نظر گرفته شد که عدد ۱۰ نشان‌دهنده بیشترین میزان آسیب‌رسانی به محیط زیست و صفر نشان‌دهنده کمترین میزان آسیب‌رسانی به محیط زیست است [۱۴]. در نهایت، برمبنای مطالعات صورت پذیرفته و طبق نظر کارشناسان عدد ۲ به مخازن تخلیه شده نفت و گاز، عدد ۵ به گنبدهای نمکی و عدد ۷ به سفره‌های آب زیرزمینی اختصاص یافت.
- **تعداد مراکز صنعتی مهم تحت پوشش مخزن**: برای یافتن تعداد مراکز پراهمیت و پرمصرف صنعتی تحت پوشش هر مخزن، مطابق با نظر کارشناسان برمبنای حجم هر یک از مخازن، قابلیت تحویل آنها، میزان مصرف غیرصنعتی مناطق اطراف‌شان، وجود خطوط لوله گاز سراسری کشور و جهت خطوط لوله انتقال گاز، منطقه تحت پوشش هر یک از مخازن مشخص شد و تعداد کارخانجات پرمصرف، نیروگاه‌های گازی، پتروشیمی و جز اینها در منطقه مورد نظر محاسبه شد.

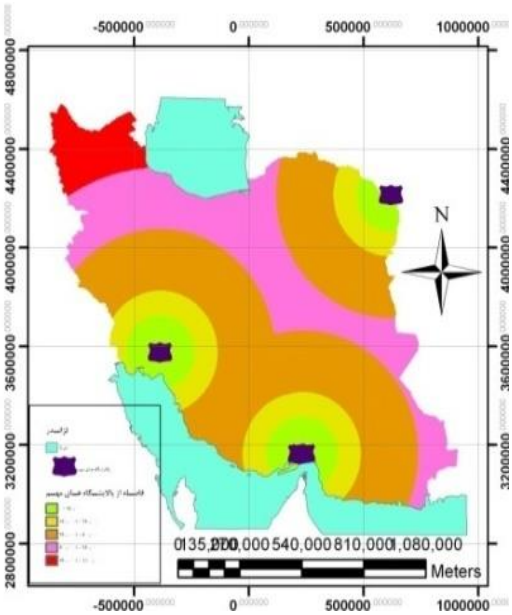
در شکل‌های ۴ و ۵ برخی از معیارهای مهم تحقیق نمایش داده شده‌اند.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-09]

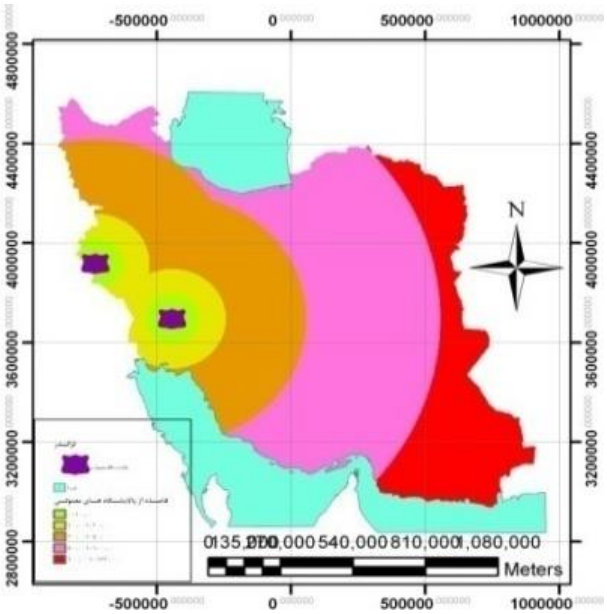
[DOI: 10.29252/jgit.1.2.51]



الف) فاصله از پالایشگاه‌های بسیار مهم



ب) فاصله از پالایشگاه‌های مهم

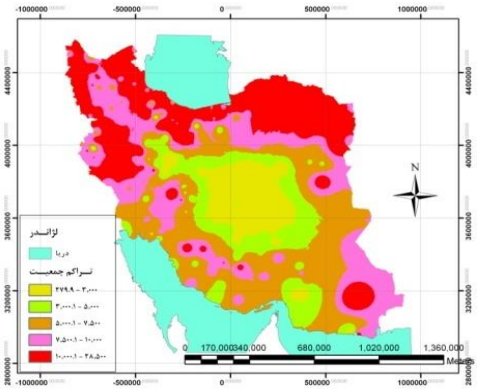


ج) فاصله از پالایشگاه‌های معمولی

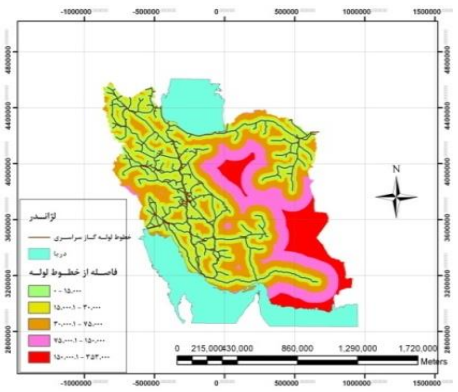
شکل۴. فاصله از پالایشگاه‌ها (متر)

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-09]

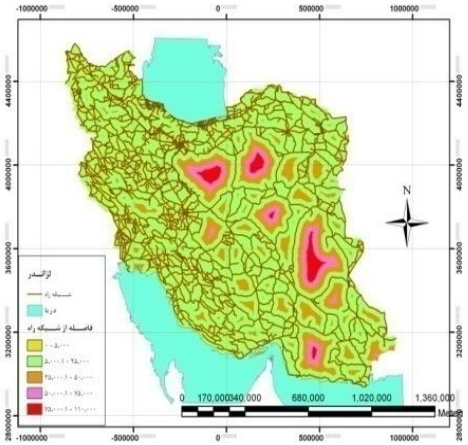
[DOI: 10.29252/jgit.1.2.51]



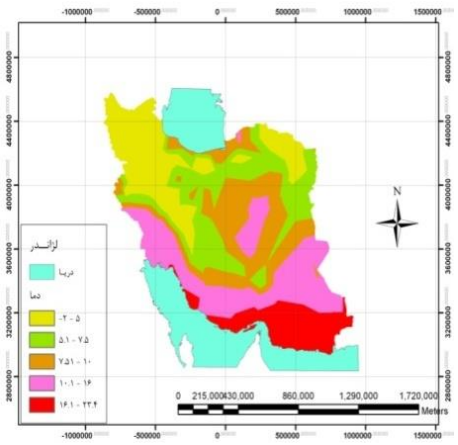
الف) تراکم جمعیتی



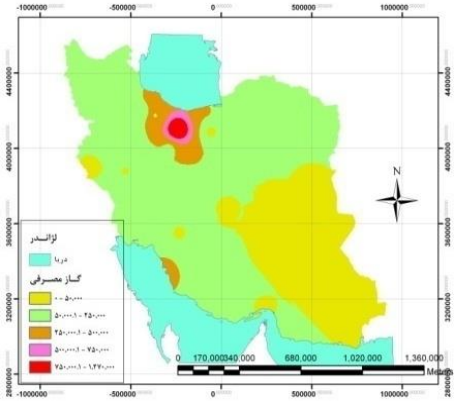
ب) فاصله از خطوط لوله گاز



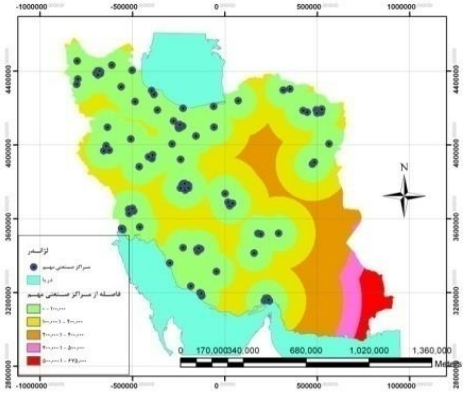
ج) فاصله از شبکه راه‌ها



د) دما



هـ) گاز مصرفی



و) فاصله تا مراکز مهم صنعتی

شکل ۵. نقشه معیارهای استفاده شده برای اولویت‌بندی مخازن در محیط GIS. الف- تراکم جمعیتی (نفر بر کیلومترمربع)، ب- فاصله از خطوط لوله گاز (متر)، ج- فاصله از شبکه راه ها (متر)، د-دما (سانتی گراد)، هـ- گاز مصرفی (مترمکعب بر کیلومترمربع)، و ـ فاصله تا مراکز صنعتی مهم (متر).

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.29252/jgit.1.2.51]

۳-۳- ترکیب اطلاعات هر مکان و رتبه‌بندی مکان‌ها

ابتدا مطابق با نظر کارشناسان، معیارها به دو دسته سود و هزینه تقسیم‌بندی شدند. معیارهای سود (این معیارها دارای مطلوبیت یکنواخت افزایشی‌اند، یعنی هر چه مقدار آنها افزایش یابد، شرایط گزینه متناظر بهبود می‌یابد) شاخص‌های نوع مخزن، حجم مخزن، قابلیت تحویل مخزن، قابلیت تکرار سیکل برداشت / تزریق، تراکم جمعیت، گاز مورد استفاده مناطق اطراف و تعداد مراکز صنعتی مهم تحت پوشش مخزن‌اند؛ و معیارهای هزینه (این معیارها دارای مطلوبیت یکنواخت کاهشی‌اند، یعنی هر چه مقدار آنها افزایش یابد، شرایط گزینه متناظر بدتر می‌شود)؛ و شاخص‌های فاصله از مراکز تولید، فاصله از شبکه راه‌های اصلی کشور، میزان گاز پایه مورد نیاز مخزن، فاصله از مناطق ثقل مصرف، دمای مناطق اطراف مخزن و آسیب‌رسانی مخزن به محیط زیست‌اند.

سپس با استفاده از هر یک از روش‌های رتبه‌بندی براساس تشابه با حالت آرمانی و مجموع وزین و رده‌بندی شده، رتبه‌بندی مخازن صورت پذیرفت که در ادامه به تشریح آن پرداخته می‌شود.

۳-۳-۱- رتبه‌بندی مخازن از طریق روش رتبه‌بندی براساس تشابه با حالت آرمانی

با توجه به این امر که فرض اساسی موجود در روش رتبه‌بندی براساس تشابه با حالت آرمانی (معیارهای سود دارای مطلوبیت یکنواخت افزایشی‌اند، و معیارهای هزینه مطلوبیت یکنواخت کاهشی دارند) در این تحقیق برقرار است، لذا به‌منظور رتبه‌بندی مخازن از طریق این روش، ابتدا ماتریس تصمیم ایجاد شد و سپس این ماتریس نرمال گردید و با استفاده از بردار وزن معیارها ماتریس تصمیم نرمالایز شده وزن‌دار، ایجاد شد. در گام بعد راه‌حل‌های آرمانی مثبت و منفی ایجاد شدند. سپس فاصله هر گزینه از راه‌حل‌های آرمانی مثبت و منفی محاسبه گردید. در مرحله بعد نزدیکی نسبی هر گزینه از راه‌حل‌های آرمانی مثبت و منفی به‌طور توأمان محاسبه شد و در نهایت به رتبه‌بندی نتایج به دست آمده پرداخته شد که فاصله هر یک از گزینه‌ها نسبت به راه‌حل‌های آرمانی مثبت و منفی و میزان مطلوبیت هر یک از آنها را می‌توان در جدول ۲ مشاهده کرد.

۳-۳-۲- رتبه‌بندی مخازن از طریق روش مجموع وزین و رده‌بندی شده

برای اعمال این روش، ابتدا ماتریس تصمیم تشکیل گردید و بعد برمبنای روابط (۸) و (۹)، اوزان گزینه‌ها به ازای شاخص‌ها محاسبه شد، و سپس با در نظر گرفتن بردار وزن معیارها و از طریق رابطه (۷) بردار ارجحیت از پایین‌ترین سطح محاسبه گردید که نتایج آن در جدول ۳ ارائه شده است.

۴- ارزیابی نتایج تحقیق

برای ارزیابی نتایج به‌دست آمده، پاسخ روش‌های مختلف با یکدیگر مقایسه شد و مطابق با ارزیابی چندین کارشناس از پاسخ‌های به‌دست آمده، رتبه‌بندی میان مخازن مختلف صورت پذیرفت. نتایج به‌دست آمده از مخازن بررسی شده در شکل ۶ درج گردیده است.

با توجه به شکل ۶ مشخص می‌شود که نتایج رتبه‌بندی حاصل از فن رتبه‌بندی براساس تشابه با حالت آرمانی، انطباق زیادی با رتبه‌بندی کارشناسان دارد؛ و این امر به دلیل استدلال منطقی موجود در این روش است (در این روش، فن رتبه‌بندی براساس تشابه به حالت آرمانی فاصله هر یک از گزینه‌ها با حالت آرمانی مثبت و منفی همزمان مورد ارزیابی قرار می‌گیرد).

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-09]

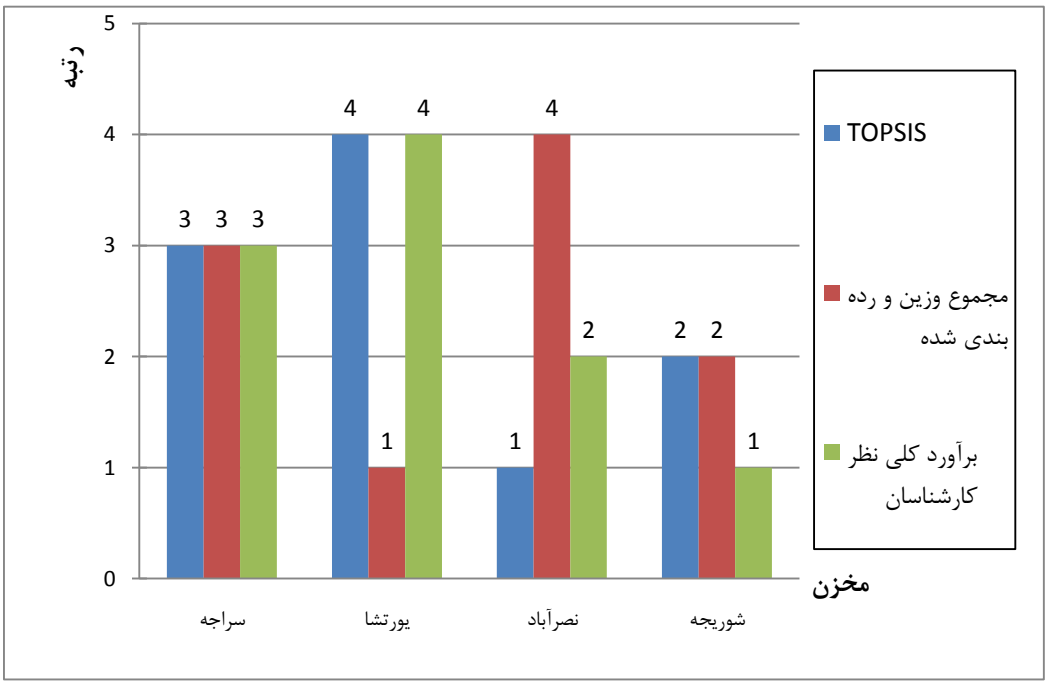
[DOI: 10.29252/jgit.1.2.51]

جدول ۲. نتایج روش فن رتبه‌بندی براساس تشابه به حالت آرمانی

نام مخزن	فاصله از راه‌حل آرمانی مثبت	فاصله از راه‌حل آرمانی منفی	فن رتبه‌بندی بر اساس تشابه به حالت آرمانی
سراجه	۱/۷۳۹۷	۱/۷۴۲۸	۰/۵۰۰۴
شوریجه	۱/۸۱۵۱	۱/۸۲۷۳	۰/۵۰۱۷
نصرآباد	۱/۶۲۶۷	۱/۶۳۹۷	۰/۵۰۲۰
یورتشا	۱/۶۲۹۰	۱/۵۶۷۷	۰/۴۹۰۴

جدول ۳. نتایج روش مجموع وزین و رده‌بندی شده

نام مخزن	روش مجموع وزین و رده بندی شده
سراجه	۰/۲۲۵۸
شوریجه	۰/۲۷۹۶۰
نصرآباد	۰/۲۲۲۱
یورتشا	۰/۲۷۱۵



شکل ۶. رتبه‌های اختصاص یافته به مخازن

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-09]
[DOI: 10.29252/jgit.1.2.51]

همچنین با توجه به برایند نتایج به دست آمده از روش مجموع وزین و رده‌بندی شده، فن رتبه‌بندی براساس تشابه با حالت آرمانی، و در نظر گرفتن دیدگاه‌های کارشناسان، می‌توان بیان داشت که مخزن شوریجه کارآمدترین مخزن ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز طبیعی در کشور به شمار می‌آید؛ و بعد از آن به ترتیب گنبد نمکی نصرآباد، مخزن سراجه و مخزن یورتشا، در رتبه‌های بعدی جای می‌گیرند.

البته براساس نتایج به دست آمده از تحقیق، می‌توان بیان داشت که فن رتبه‌بندی براساس تشابه با حالت آرمانی، خطای بسیار ناچیزی در رتبه‌بندی مخازن ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز دارد و در مقایسه با روش مجموع وزین و رده‌بندی شده، دارای کارایی بیشتر و مطلوب‌تری است.

۵- نتیجه‌گیری

با افزایش مصرف گاز طبیعی در کشور و همچنین عدم تعادل تولید و مصرف گاز در فصول سرد سال، ذخیره‌سازی گاز می‌بایست مشخصاً مورد توجهی ویژه قرار گیرد. با در نظر گرفتن شرایط خاص کشور، ذخیره‌سازی زیرزمینی در زمرهٔ بهترین روش‌ها برای ذخیره ساختن گاز به شمار می‌آید. برای ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز طبیعی، نخستین گام همانا یافتن مخزن مناسب برای این کار است تا هزینه گازرسانی به مراکز ثقل مصرف کاهش یابد و گازرسانی به این مناطق تسهیل و تسریع گردد.

به منظور یافتن مخزن مناسب برای ذخیره‌سازی نیز می‌بایست از روش‌های کاربردی و منطبق بر اصول علمی استفاده شود. در این تحقیق، با استفاده از روش‌های رتبه‌بندی براساس تشابه با حالت آرمانی، مجموع وزین و رده‌بندی شده و با توجه به نظر کارشناسان، مخازن ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز رتبه‌بندی شدند و در نهایت مشخص شد که مخزن شوریجه (در اطراف شهر سرخس) بهترین مخزن برای ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز طبیعی در کشور به شمار می‌آید؛ و بعد از آن گنبد نمکی نصرآباد (در حوالی شهر کاشان) و مخازن سراجه (در حوالی شهر قم) و یورتشا (در اطراف شهر ورامین) در رتبه‌های بعدی جای می‌گیرند.

افزون بر اینها، براساس نتایج روش‌های مختلف و نیز دیدگاه‌های کارشناسان، مشخص شد که فن رتبه‌بندی براساس تشابه با حالت آرمانی، بیشترین تشابه را با نظر کارشناسان دارد؛ و تنها تفاوتی که در نتایج حاصل از آن با دیدگاه‌های کارشناسان به چشم می‌خورد، تفاوت در رتبه‌بندی مخزن شوریجه و گنبد نمکی نصرآباد به‌عنوان مخازن رتبه نخست و دوم است. در واقع می‌توان گفت که این روش برای محاسبه رتبه هر یک از گزینه‌ها فاصله هر یک از آنها را با بهترین و بدترین حالت ممکن در نظر می‌گیرد و با دیدگاهی منطقی به رتبه‌بندی مخازن ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز می‌پردازد؛ و بدین ترتیب در قیاس با روش مجموع وزین و رده‌بندی شده، کارآیی بالاتر و خطای کمتری در زمینه رتبه‌بندی مخازن ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز طبیعی دارد.

۶- منابع

[1] Azin, R., 2009. Natural Gas Storage in Depleted Oil and Gas Underground Reservoirs. *Journal of Chemical Engineering of Iran*, 40, 45-52.

[2] USA: Federal Energy Regulatory Commission. 2004. *Current State of and Issues Concerning Underground Natural Gas Storage*. Docket No Ado4- 11- 000. pp. 1- 33.

[3] Malczewski, J., 1999. *GIS and Multi-Criteria Decision Analysis*. New york: John Wiley & Sons, 177- 194.

[4] Grataloupa, D. B., 2009. A Site Selection Methodology for CO2 Underground Storage in Deep. *Science Direct*, 10(2), 2930- 2936.

[5] Yami, B.A., 2009, Optimum Location of Wells using Multi-Criteria Analysis and Satellite Imagery. *In: 4th National GIS symposium In Saudi Arabia, Dhahran*.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.29252/jgit.1.2.51]

[6] Company Sakhalin Energy, 2003. *Liquefied Natural Gas Plant, Oil Export Terminal Site Selection Report.*

[7] PB-KBB., 1998. *Advanced Under Ground Gas Storage Concepts*. PB-KBB Energy Company Report.

[8] Samadi, R. and Eghbali, S., 2008. *Site* Selection for the Construction of Thermal Power Plants to Help GIS and AHP. In: *The First Conference of GIS Applications in Planning, Designing and Monitoring Iimproved Management and Operation of Electricity Networks.* Regional Electric Company, Mazandaran and Golestan.

[9] Nassiri, A., 2009. Application of Multi Criteria Decision Making Techniques Integrated with GIS in Urban Land Use. In: *Geomatics 88 Conference*. NCC, Tehran, Iran, April 2010. pp. 1-8.

[10] Basiri, M. and Shakur Shahabi, R., 2007. Ranking Countries by Way of Minerals Similar to the Ideal Decision. *Mining Journal Research*. 2(4), 1-10.

[11] Sabeti Saleh, E., 2009. Multi Criteria Decision Model for Ranking Fuzzy Applicant Bank Financing. In: *The Second International Conference on Development of supply of Financing System in Iran*, Tehran, Iran.

[12] Opricovic, S., Tzeng, G., 2002. Compromise Solution by MCDM Methods: A Comparative Analysis of VIKOR and TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 156, 444- 454.

[13] Shih, H.S., 2008. Incremental Analysis for MCDM with an Application to Group TOPSIS. *European Journal of Operational Research*, 186, 720–734.

[14] Asgharpour, M.J., 2009. *Multi Criteria Decision Making*. Iran: University of Tehran, press.

[15] Kiavarz Moghaddam, H., 2005. *Optimal Routing of Oil and Gas Pipelines to Assist Geospatial Information Systems*. M.Sc. Thesis, College of Engineering. University of Tehran.

[16] Zangeneh, M., Delavar, M.R. Moshiri, B. and Ghavampour, S., 2011. Rating Underground Storage Tanks of Natural Gas Based on Multi Criteria Decision Making Integrated Spatial and Geospatial Information Systems. In: *GIS & SDI 89 Conference*. NCC, Tehran, Iran, 1-14.

[17] Dietert, J.A. and D.A. Pursell, 2000. Underground Natural Gas Storage. *Simmons & Company International*, 1-14.

[18] http://www.eia.doe.gov/pub/oil_gas/natural_gas/analysis_publications/storagebasics/storagebasics.htm 1.

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.29252/jgit.1.2.51]

[DOI: 10.29252/jgit.1.2.51] [Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-09]

K. N. TOOSI UNIVERSITY OF TECHNOLOGY
FACULTY OF GEODESY AND GEOMATICS ENGINEERING

Journal of Geospatial Information Technology
Vol.1, No.2, Winter 2014
51-68

Prioritizing Underground Storage Tanks of Natural Gas Using GIS and TOPSIS

Zangeneh M. *[1], Delavar M.R.[2], Moshiri B.[3], Ghavampour S[4]., Effati M.[5]

1- M.Sc. Student GIS Division, Dep. of Surveying and Geomatic Eng., College of Eng., University of Tehran
2- Associate Prof. Center of Excellence in Geomatic Eng. and Disaster Management, Dep. of Surveying and Geomatic Eng., University of Tehran
3- Prof. in Control & Intelligent Processing, Center of Excellence, School of Electrical and Computer Eng., University of Tehran
4- Assistant Prof., Dep. of Industry Eng., Ghazvin University of Work
5- Ph.D. Candidate GIS Division, Dep. of Surveying and Geomatic Eng., College of Eng., University of Tehran

Abstract

In this study, an efficient approach is suggested to prioritize the natural gas storage in existing underground reservoirs. The paper uses expert knowledge and integrates the Geospatial Information System (GIS) with spatial multi criteria decision making .The proposed method is based on TOPSIS as well as Hierarchical Additive Weighting Method. In order to consider different options, the most important possible criteria have been considered in this study, including: reservoir characteristics, distance from the center of gravity taking, distance from production centers, distance from the country's road network, the temperature around the reservoir areas, environmental characteristics of the reservoir, consumption gas in areas around the reservoir, population density, and the number of important industrial centers covered by each of the reservoirs. To evaluate the results of research, results of implemented methods were compared with each others and according to evaluation obtained from several experts; the final prioritization of different reservoirs due to their performances has been done. The results indicate that TOPSIS is more precise than Hierarchical Additive Weighting Method, and conform to experts opinions about prioritization of natural gas storage in underground reservoirs.

.

Keywords: Geospatial Information Systems, Spatial Multi Criteria Decision Making, Underground Storage of Natural Gas, Hierarchical Additive Weighting Method, TOPSIS.

* Correspondence Address: Geospatial Information System Group, Dep. of Geomatics, College of Engineering, University of Tehran. Tel: 09123388941.
Email: m. zangeneh@ut.ac.ir

[Downloaded from jgit.kntu.ac.ir on 2026-11-09]

[DOI: 10.29252/jgit.1.2.51]