A Meta-Synthesis Approach for the Strategic Decision: Site Selection for Underground Natural Gas Storage

Azadeh Dabbaghi[1]

Abstract

The underground gas storage, with more than a hundred years of experience, is considered as a global solution to regulate supply and demand in the natural gas transmission system. Due to the importance of selecting suitable underground structures for natural gas storage, as well as the necessity of considering various geological, economic and environmental criteria with uncertainties, site selection has gained increasing attention as a strategic decision in the literature. This research was conducted using the metha-synthesis method with reference to 58390 articles published in trusted scientific databases in English and Persian, which were screened using PRISMA method. The findings show that in order to achieve decision maturity, site selection as a strategic decision can be adopted in three stages of screening, ranking and optimization respectively. The purpose of decision-making, the required data and the methods used in each step are categorized. Finally, focusing on optimization studies is suggested as the direction of future studies in this field.

Keywords

Meta-Synthesis, Underground gas storage, Site Selection, Strategic decision.

[Downloaded from iieshrm.ir on 2026-07-11]

1. Assistant professor, Research Institute of Petroleum Industry, Tehran, Iran. Corresponding Autho. Dabbaghi@ut.ac.ir

مقاله علمی ـ پژوهشی

تاریخ دریافت ۱۴۰۳/۰۸/۱۲ **تاریخ پذیرش ۱۰/۰۳/ ۱۴۰۳**

فراترکیب تصمیم راهبردی: مکان‌یابی ذخیره‌سازی زیرزمینی گازطبیعی

آزاده دباغی[۱]

چکیده

ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز با بیش از یک قرن قدمت، به‌عنوان راهکاری جهانی برای تنظیم عرضه و تقاضا در سیستم انتقال گازطبیعی در نظر گرفته می‌شود. لزوم توجه به معیارهای متعدد ژئولوژیکی، اقتصادی و زیست‌محیطی از یک‌سو و از سوی دیگر عدم‌قطعیت‌های فراوان در این زمینه و نیز اهمیت انتخاب ساختارهای مناسب زیرزمینی برای ذخیره‌سازی گازطبیعی آن را به مسئله‌ای راهبردی تبدیل نموده که در ادبیات موضوع بیش‌ازپیش موردتوجه قرار گرفته است. با توجه به وجود شکاف مطالعاتی در خصوص احصاء رویکردهای ارزیابی و مکان‌یابی، پژوهش حاضر با رویکرد کیفی و استفاده از روش فراترکیب، امکان ارائه نگرش سیستماتیک به موضوع مکان‌یابی و ارائه ترکیب تفسیری از یافته‌های مطالعات پیشین در این زمینه را فراهم نموده است. این پژوهش با رجوع به ۵۸۳۹۰ مقاله از منابع معتبر داخلی و خارجی منتشرشده در پایگاه‌های اطلاعات علمی به زبان انگلیسی و فارسی صورت گرفت که با استفاده از روش پریسما غربال شدند. یافته‌ها نشان می‌دهد که به‌منظور دستیابی به بلوغ تصمیم، مکان‌یابی به‌عنوان تصمیمی راهبردی را می‌توان به‌ترتیب در سه مرحله «غربالگری»، «رتبه‌بندی» و «بهینه‌سازی» اتخاذ نمود. هدف از تصمیم‌گیری، داده‌های موردنیاز و روش‌های مورداستفاده در هر مرحله مشخص شده است. در پایان تمرکز بر مطالعات «بهینه‌سازی» به‌عنوان جهت‌گیری مطالعات آتی در این زمینه پیشنهاد شده است.

واژگان کلیدی: فراترکیب، ذخیره‌سازی گاز، مکان‌یابی، گازطبیعی، تصمیم راهبردی

۱. استادیار، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران. (نویسنده مسئول). Dabbaghi@ut.ac.ir

[Downloaded from iieshrm.ir on 2026-07-11]

مقدمه

طراحی خطوط انتقال گازطبیعی به لحاظ فنی دارای ظرفیت مشخص بوده و به لحاظ اقتصادی زمانی توجیه‌پذیر است که بتواند تقاضای معینی را به مدت طولانی تأمین نماید (Flanigan,1995). با توجه به وجود تغییرات در تقاضای گاز (مانند نوسانات فصلی) ایجاد خطوط انتقال اضافی جهت تأمین ظرفیت مازاد در زمان‌های اوج مصرف اقدامی پرهزینه است. ذخیره‌سازی زیرزمینی گازطبیعی مازاد و بازیافت آن در زمان کمبود راهکاری جهانی برای این موضوع بوده و به‌عنوان جزئی مهم از سیستم انتقال گازطبیعی در کشورهای توسعه‌یافته صنعتی مدنظر قرار می‌گیرد (Bujok et.al, 2019).

نگاهی به ترازنامه هیدروکربوری کشور نشان می‌دهد که بالغ بر ۷۹ درصد از بخش صنعتی، ۱۳ درصد از بخش حمل‌ونقل و ۳۲ درصد از بخش کشاورزی کشور وابستگی مستقیم به مصرف گاز دارد (مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی، ۱۳۹۸)؛ با احتساب اثرگذاری غیرمستقیم گاز در تأمین برق برای بخش‌های مختلف مصرفی به‌طورکلی می‌توان ۷۰ درصد از بخش مصرفی کشور را وابسته به گاز قلمداد نمود. ادامه روند افزایشی مصرف در بخش‌های مختلف کشور باعث می‌شود بروز هرگونه ناترازی در عرضه و تقاضای گازطبیعی در کشور به موضوعی جدی در هریک از بخش‌های مصرف و به‌تبع آن چالش تأمین پایدار انرژی در کشور منجر شود. ادامه این روند در سمت تقاضا به‌ویژه در ماه‌های سرد سال، روند تراز منفی گاز را افزایش داده و نه‌تنها در کوتاه‌مدت کشور را برای تأمین نیازهای داخلی و انجام تعهدات صادراتی به کشورهای همسایه با مشکلاتی روبرو خواهد کرد بلکه ایران را برای رفع ناترازی در فصول سرد به اتخاذ سیاست‌هایی در جانب عرضه مانند تبدیل‌شدن به واردکننده گاز وادار می‌نماید (صابری و دیگران، ۱۴۰۲). در کنار راهکارهایی مانند پیاده‌سازی طرح‌های افزایش تولید و بهینه‌سازی مصرف، بسیاری از کشورها نسبت به توسعه ذخایر گازطبیعی اقدام نموده‌اند به‌گونه‌ای که متوسط ظرفیت ذخیره‌سازی گاز در دنیا ۱۱ درصد از کل مصرف گاز است و این رقم در کشورهای اروپایی به ۲۳ درصد می‌رسد. این در حالی است که در کشور ما علی‌رغم وجود منابع عظیم گازی و همچنین ساختارهای زیرزمینی مناسب برای ذخیره‌سازی گاز (مانند مخازن هیدروکربوری تخلیه‌شده) میزان ظرفیت ذخیره‌سازی حدود یک درصد از کل مصرف گازطبیعی در کشور است (حسینی و یونس‌آرا، ۱۳۹۲). ازاین‌رو با هدف تنظیم عرضه و تقاضا (تأمین گاز مصرفی در نقاط مختلف کشور در زمان افزایش تقاضا در فصول سرد سال و پایداری صادرات گاز و تأمین خوراک

[Downloaded from iieshrm.ir on 2026-07-11]

واحدهای پتروشیمی) و همچنین به‌منظور تضمین امنیت عرضه (تعادل شبکه گازرسانی در بروز حوادث غیرقابل‌پیش‌بینی) و نیز با هدف تداوم تأمین گاز موردنیاز تزریق به مخازن نفتی با هدف ازدیاد برداشت، ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز به‌عنوان یکی از موضوعات راهبردی در بخش انرژی کشور مطرح است (صابری و دیگران، ۱۴۰۲). انتقال گاز از مخازن مشترک به مخازن مستقل و همچنین کاهش انتشار آلاینده‌های ناشی از سوخت جایگزین در نیروگاه‌ها نیز می‌تواند به‌عنوان اهداف ذخیره‌سازی زیرزمینی گازطبیعی در کشور مطرح شود.

ذخیره‌سازی گازطبیعی به روش‌های مختلفی مانند LNG[1]، CNG، GTL نیز انجام می‌پذیرد (Khamehchi et. al., 2013) لیکن برای ذخیره‌سازی در احجام بزرگ روش‌های زیرزمینی ذخیره‌سازی گازطبیعی از مزیت بیشتری نسبت به سایر روش‌ها برخوردار است (دوراندیش و چاکری، ۱۳۹۲) از اولین تجربه جهانی ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز در سال ۱۹۱۵ میلادی در میدان گازی ولند[2] در کانادا (Al-Shafi et.al.,2023)، براساس آخرین آمار پایگاه داده اتحادیه بین‌المللی گاز تا سال ۲۰۲۱ تعداد بیش از ۹۳۶ تأسیسات ذخیره‌سازی زیرزمینی با حجم گاز عملیاتی[3] بالغ بر bcm ۴۱۶ ساخته شده است. اصولاً فرایند تزریق گازطبیعی تولید شده به سه دسته از ساختارهای زیرزمینی صورت می‌پذیرد: ۱. مخازن هیدروکربوری تخلیه‌شده ۲. مغارهای نمکی[4] و ۳. آبخوان‌ها[5] که در این میان مخازن هیدروکربوری و به‌ویژه مخازن گازی تخلیه‌شده با توجه به مزایای عملیاتی و اقتصادی بیشترین سهم (شکل ۱) را دارا هستند.

بررسی پژوهش‌ها در حوزه طرح‌های ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز نشان می‌دهد که با توجه به گسترش نیاز جهانی به پیک‌سایی[6] گازطبیعی، توجه فزاینده‌ای به مطالعات مکان‌یابی شده است (Guo et.al., 2022). با عنایت به اینکه انتخاب مکان هدف برای ذخیره‌سازی گاز به‌جز در نظر گرفتن معیارهای زمین‌شناسی مانند مشخصات مخزن و پوش‌سنگ[7]، ریسک‌های ناشی از وجود شکاف و... مستلزم در نظر گرفتن ملاحظات مختلف اقتصادی و زیست‌محیطی نیز است (Peng et.al., 2024)؛ این برآوردها دارای عدم‌قطعیت‌های فراوان بوده و نه‌تنها مربوط به پیش از زمان احداث یک

1. Liquified Natural Gas
2. Welland
3. working gas volume
4. Salt caverns
5. Aquifers
6. Peak shaving
7. Caprock properties

[Downloaded from iieshrm.ir on 2026-07-11]

شکل ۱. سهم انواع مختلف مخازن ذخیره‌سازی از ظرفیت ذخیره‌سازی گاز تا سال ۲۰۲۱

منبع: پایگاه داده اتحادیه بین‌المللی گاز

سیستم تزریق و بازیافت گاز بلکه مستلزم برآوردهایی تا پایان اجرای پروژه ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز است که مستلزم در نظر گرفتن مشخصات سطح‌الارضی مانند مشخصات هیدرولیکی سیستم تزریق و بازیافت گاز، کمپرسورها، فاصله از مراکز مصرف و مراکز تأمین گاز و... می‌باشد (He et.al., 2024; Guo et. al., 2022)؛ ازاین‌رو یافتن مکان مناسب و بهینه برای ذخیره‌سازی زیرزمینی گازطبیعی به‌عنوان تصمیمی پیچیده و راهبردی، با توجه به عدم احصاء چارچوب‌های جامع ارزیابی همچنان به‌عنوان یک چالش بزرگ در ادبیات جهانی موضوع باقی مانده است (He et.al., 2024). در راستای این شکاف مطالعاتی، هدف اصلی این پژوهش فراهم کردن نگرش سیستماتیک برای ارائه ترکیب تفسیری از یافته‌های پژوهش‌های پیشین با استفاده از روش فراترکیب (Erwin et. al., 2011) است. شایان‌ذکر است که فراترکیب، فرایندی پیچیده و آگاهانه است که با مرور ادبیات متفاوت است زیرا بر تحلیل و تفسیر یافته‌های سایر مطالعات کیفی تمرکز دارد (میقانی‌نژاد و دیگران، ۱۴۰۰).

با توجه به موارد اشاره شده ابتدا روش فراترکیب و چگونگی به‌کارگیری آن در بخش روش‌شناسی آمده است. با توجه به مراحل روش فراترکیب، یافته‌های هر مرحله در بخش یافته‌ها ارائه شده است. ارائه ترکیبی تفسیری از یافته‌ها و پیشنهادهایی برای

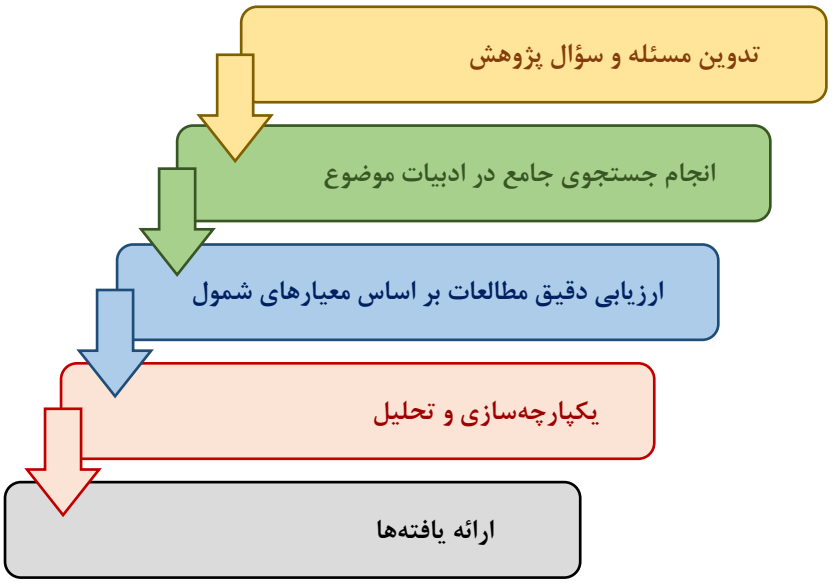
[Downloaded from iieshrm.ir on 2026-07-11]

جهت‌گیری پژوهش‌های آتی در این زمینه در بخش بحث و نتیجه‌گیری آمده است.

روش‌شناسی

این پژوهش از منظر جهت‌گیری پژوهش،کاربردی؛ از لحاظ اهداف پژوهش، توصیفی؛ از نظر شیوه گردآوری اطلاعات، تحلیل اسناد؛ و از لحاظ نوع پژوهش کیفی است (دانایی‌فرد، الوانی و آذر، ۱۳۹۶) و با استفاده از روش فراترکیب به انجام رسیده است. در روش فراترکیب محقق به‌صورت سیستماتیک، یافته‌های حاصل از تحقیقات پیشین را بررسی و به‌صورت تفسیری ادغام می‌کند و چیزی بیش از مجموع اجزای تحقیقات یعنی تفسیر جدیدی از یافته‌ها را ارائه می‌کند (Sandelowski & Barroso, 2007) و از این حیث با مقالات مروری متفاوت است. ازاین‌رو در این پژوهش از روش فراترکیب برای ترکیب تحقیقات پیشین استفاده شده است. فرایند پژوهش در قالب مراحل شکل ۲ نمایش داده شده است.

شکل ۲. متدلوژی فراترکیب (برگرفته از Erwin et. al., 2011)



فراترکیب با وجود یک مسئله یا سؤال پژوهش آغاز می‌شود. مسئله اصلی در این پژوهش ذخیره زیرزمینی گازطبیعی است. از میان موضوعات مختلف مطرح در این خصوص، سؤال اصلی پژوهش غربالگری و انتخاب مکان مناسب برای ذخیره‌سازی است.

[Downloaded from iieshrm.ir on 2026-07-11]

در گام بعدی و به‌منظور جستجوی ادبیات موضوع، پایگاه داده Scopus (مشتمل بر پایگاه داده‌های Sciencedirect، Web of Science، Springer، SPE و Proquest)، SID و Magiran به‌عنوان جامعه آماری موردبررسی قرار گرفت. پارامترهای جستجوی نظام‌مند ادبیات موضوع در جدول ۱ نمایش داده شده است.

جدول ۱. پارامترهای جستجو

پایگاه داده	SCOPUS، SID و Magiran
فیلدهای جستجو	عنوان چکیده واژگان کلیدی
کلید واژه	ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز
معیارهای شمول	زمان: بدون محدودیت نوع مستند: مقاله مجله و مقاله کنفرانس زبان: انگلیسی و فارسی نوع منبع: مجله و کتابچه کنفرانس

در مرحله بعدی مطالعات جمع‌آوری‌شده براساس معیارهای شمول مندرج در جدول ۱، موردارزیابی قرار گرفت. بدین‌منظور و برای کاهش تعداد مطالعات از روش غربال پریسما[1] (Page et. al., 2021) مطابق شکل ۳ استفاده شده است. بدین‌ترتیب ابتدا براساس معیارهای شمول اولیه (جدول ۱) تعداد کثیری از مطالعات حذف شد. پس‌ازآن با توجه به سؤال اصلی پژوهش غربال موضوعی با هدف مکان‌یابی ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز مدنظر قرار گرفت. ازاین‌رو تمرکز اصلی بر مطالعاتی بوده که به‌نوعی مرتبط با انتخاب ساختارهای زیرزمینی، اولویت‌بندی نقاط هدف، رتبه‌بندی و غربال مکان‌های کاندید بوده است. با توجه به اینکه در برخی مقالات ذخیره‌سازی زیرزمینی سایر گازها از جمله دی‌اکسیدکربن و هیدروژن نیز مدنظر بوده است، از مقالاتی که تمرکز صرف آن‌ها بر گازهایی به‌جز گازطبیعی بوده است صرف‌نظر شده است.

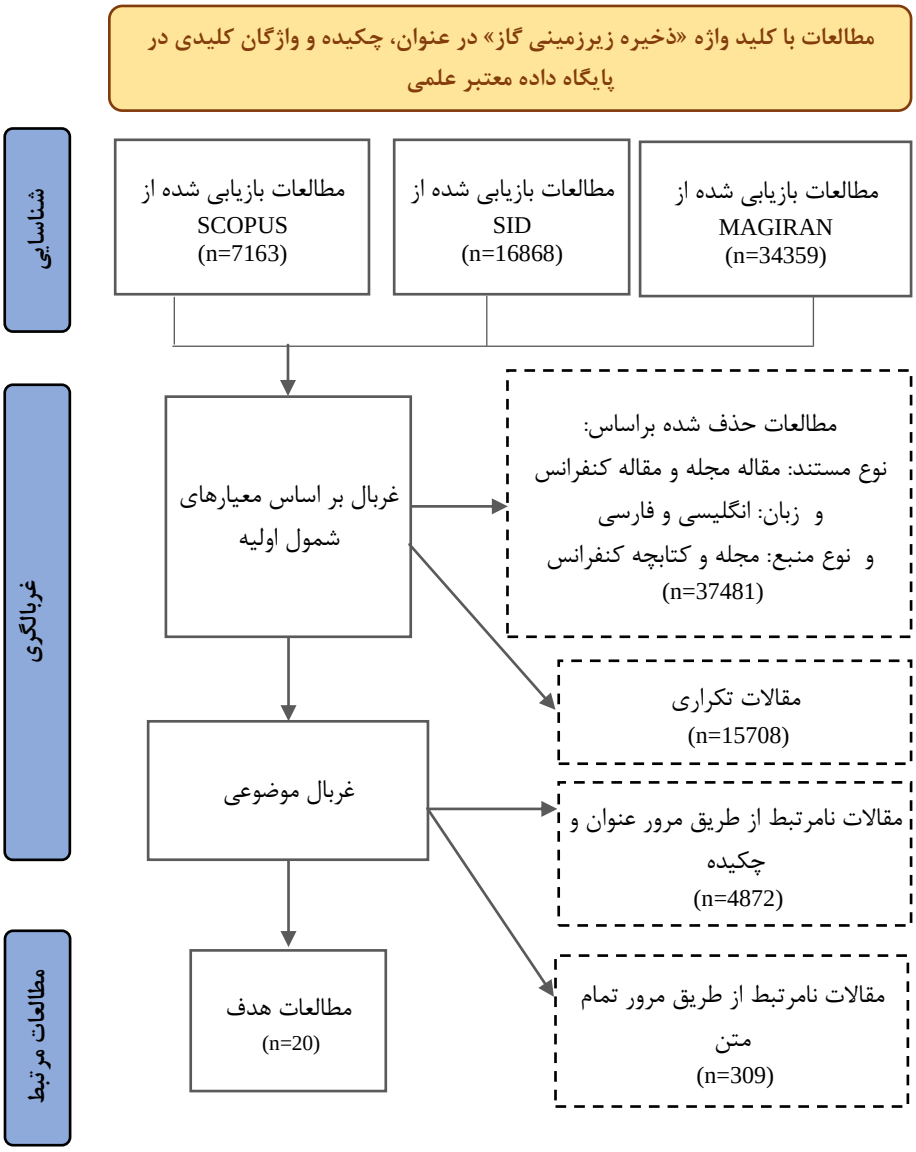
به لحاظ توصیفی، با بررسی مقالات جستجو شده در طول سال‌های مختلف روند تعداد مقالات در شکل ۴ نمایش داده شده است. از نظر ارتباطات استنادی بررسی مطالعات نشان می‌دهد مهمترین نشریاتی که به این حوزه موضوعی پرداخته‌اند به‌ترتیب International Journal Of Hydrogen Energy، International Journal Of

1. PRISMA

[Downloaded from iieshrm.ir on 2026-07-11]

Greenhouse Gas Control و Energy Procedia بوده‌اند. همچنین در شکل ۵ سهم ۱۵ کشور برتر به لحاظ تعداد پژوهش‌ها در این حوزه به نمایش درآمده است.

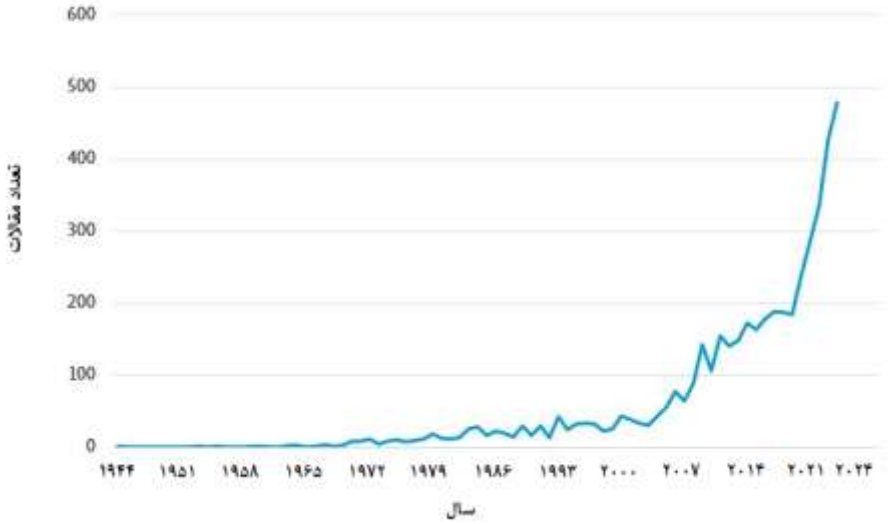
شکل ۳. نمودار غربال مطالعات براساس الگوی پریسما



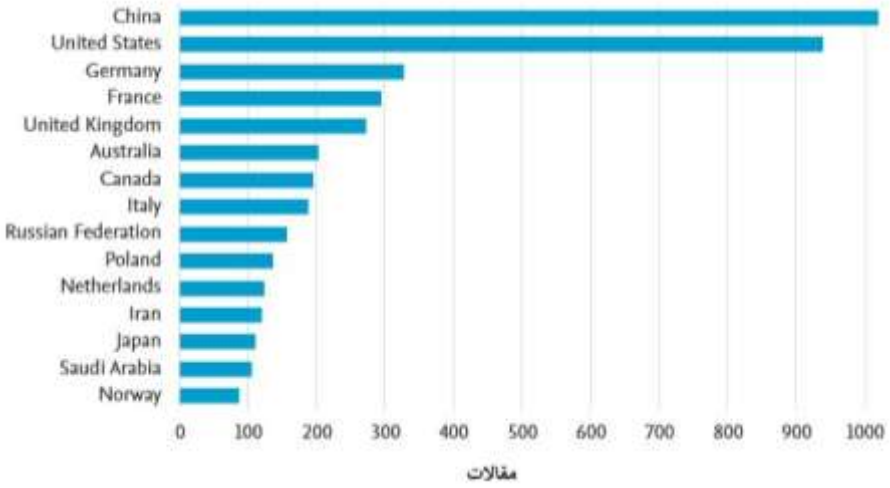
منبع: Page et. al., 2021

[Downloaded from iieshrm.ir on 2026-07-11]

شکل ۴. روند چاپ مقالات



شکل ۵. سهم کشورها



یافته‌ها

با توجه به مراحل روش فراترکیب و غربال صورت پذیرفته شکل ۳، تعداد ۲۰ مقاله به‌عنوان مطالعات هدف استخراج گردید که در جدول ۲ مشخصات کلی آن‌ها درج شده است. در فاز یکپارچه‌سازی و تحلیل، مقالات مذکور موردمطالعه و بررسی قرار گرفت و یافته‌های آن در این بخش ارائه می‌شود.

[Downloaded from iieshrm.ir on 2026-07-11]

با رویکرد اهداف تصمیم‌گیری، بسیاری از پژوهش‌ها در حوزه مکان‌یابی به‌منظور غربالگری و رتبه‌بندی انجام شده‌اند؛ این دسته از پژوهش‌ها تمرکز بیشتری بر معیارهای فنی دارند و هدف اصلی آن‌ها غربال اولیه و در نظر گرفتن مکان‌هایی است که حائز پارامترهای فنی/ ژئولوژیکی لازم هستند. با توجه به اینکه مشخصات گاز موردنیاز، منابع گازی و فواصل آن و نیز پارامترهایی مانند فشار و جریان نمی‌تواند (به لحاظ روش‌شناختی) در این دسته از پژوهش‌ها تعیین شود، برآورد معیارهای غیرفنی با ابهامات و مفروضات متعددی صورت می‌پذیرد. در این دسته از مطالعات در صورت نیاز به امکان‌سنجی‌های اقتصادی به سناریوهای سطح‌الارضی مفروض بسنده شده و براساس آن برآورد معیارهای اقتصادی با عدم‌قطعیت بالا انجام می‌شود. به‌عنوان نمونه زنگنه و دیگران (۱۳۹۲) فاصله از مراکز ثقل مصرف را به‌عنوان معیاری برای اولویت‌بندی مخازن در نظر گرفته‌اند لیکن با توجه به اینکه در این مرحله از تصمیم‌گیری اینکه از کدام منبع تولید می‌توان گاز را تأمین و به چه بخش‌هایی از مصرف تخصیص داد مشخص نیست، «حداقل فاصله مخزن تا ۱۹ شهر پرمصرف کشور[۱]» به‌عنوان معیار نزدیکی به مصرف در نظر گرفته شده است که با عدم‌قطعیت فراوانی مواجه است. خامه‌چی و دیگران (۲۰۱۳) برای محاسبه هزینه‌های سرمایه‌ای[۲] و عملیاتی[۳] و نیز عسکری و دیگران (۲۰۲۰) برای محاسبه ارزش فعلی خالص[۴] سناریوهای مختلفی در شرایط با/ بدون ژنراتور و با ظرفیت‌های مختلف کمپرسور برای برآورد هزینه تأسیسات سطح‌الارضی مفروض داشتند. در مقابل، دسته دیگری از پژوهش‌ها با هدف بهینه‌سازی تصمیم در این حوزه به انجام رسیده‌اند. این پژوهش‌ها، با توجه به قابلیت‌های تکنیک‌های مدل‌سازی ریاضی و تحقیق در عملیات که در آن‌ها به‌کار گرفته می‌شوند، امکان در نظر گرفتن پارامترهای مختلف سطح‌الارضی مانند فواصل و ظرفیت را دارا بوده و چنین داده‌هایی در فرایند انتخاب بهترین مکان‌های ذخیره‌سازی و تخصیص منابع گازی مازاد به مکان‌های ذخیره‌سازی دخیل شده‌اند.

در روش‌های غربالگری و رتبه‌بندی به لحاظ ماهیت روش‌های تصمیم‌گیری امکان در نظر گرفتن چند هدف وجود ندارد؛ مثلاً نمی‌توان پتانسیل‌های زیرزمینی ذخیره‌سازی را به‌گونه‌ای رتبه‌بندی کرد که پیک‌سایی به‌عنوان هدف در نظر گرفته شود

۱. شهرهای: تهران، مشهد، اصفهان، کرج، تبریز، شیراز، اراک، ارومیه، کرمانشاه، رشت، اردبیل، شهریار، کرمان، خرم‌آباد، بجنورد، همدان، ساری، سنندج

2. CAPEX
3. OPEX
4. NPV

[Downloaded from iieshrm.ir on 2026-07-11]

و درعین‌حال هدف صادراتی نیز در اولویت قرار گیرد؛ چرا که هرکدام از این دو هدف مبنا قرار گیرد اولویت‌بندی کاندیداها تغییر می‌کند. لیکن امکان در نظر داشتن بیش از یک هدف در روش‌های بهینه‌سازی وجود دارد (مانند Chen et. al., 2021).

برخی از پژوهش‌ها از سیستم اطلاعات جغرافیایی[1] برای رتبه‌بندی مکان‌های ذخیره‌سازی زیرزمینی استفاده نموده‌اند. مزیت به‌کارگیری این سیستم برای رتبه‌بندی آن است که امکان غربالگری اولیه را نیز با استفاده از تلفیق لایه‌های اطلاعاتی در نقشه‌های جغرافیایی فراهم می‌نماید (مانند زنگنه و دیگران، ۱۳۹۲؛ Sabzevari & Delavar, 2017).

جدول ۲. خلاصه مشخصات مطالعات برگزیده

منبع	هدف مطالعه	کیس پیاده‌سازی
زنگنه و دیگران، ۱۳۹۲	چهار مخزن کاندید با در نظر گرفتن پانزده معیار و یا جمع‌آوری نظرات خبرگان رتبه‌بندی شدند.	چهار ساختار ذخیره‌سازی زیرزمینی (سراجه قم، یورتشای ورامین، شوریجه خراسان و گنبد نمکی نصرآباد کاشان) ـ ایران
رسول‌نژاد و غیاثی، ۱۳۹۶	با در نظر گرفتن میزان تولید و واردات گازطبیعی، مصارف بخش‌های مختلف اعم از خانگی، صنعت، حمل‌ونقل و... مدلی برای تخصیص گاز با هدف ماکزیمم نمودن مجموع گازطبیعی ذخیره شده ارائه شد.	چهار ساختار ذخیره‌سازی زیرزمینی (سراجه قم، یورتشای ورامین، شوریجه خراسان و گنبد نمکی نصرآباد کاشان) ـ ایران
Kravanja & Zlender, 2010	مدلی با هدف مینیمم‌سازی هزینه ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز با در نظر گرفتن مشخصات طراحی و ژئومکانیکی توسعه داده شد.	اسلوونی
Khamehchi et. al., 2013	ذخیره‌سازی زیرزمینی گازطبیعی و دیگر روش‌های ذخیره‌سازی سطحی مانند LNG رتبه‌بندی شدند.	ـ
Sabzevari & Delavar, 2017	مکان مناسب برای ذخیره‌سازی گازطبیعی با استفاده از معیارهای شناسایی شده و نظرات خبرگان انتخاب شد.	ایران
Demirel et. al., 2017	با استفاده از معیارهایی مانند هزینه، زمان،	تعداد چهار کاندید برای

1. Geographic Information System(GIS)

[Downloaded from iieshrm.ir on 2026-07-11]

منبع	هدف مطالعه	کیس پیاده‌سازی
	ریسک و برخی فاکتورهای اجتماعی و زیست‌محیطی (۲۰ معیار در قالب شش دسته معیار اصلی) انتخاب مکان مناسب ذخیره‌سازی صورت پذیرفت.	ذخیره‌سازی زیرزمینی ـ ترکیه
Matos et. al., 2019	تکنولوژی‌های مختلف ذخیره‌سازی زیرزمینی انرژی در مقیاس وسیع مانند ذخیره‌سازی هوای فشرده، انرژی حرارتی، گازطبیعی و هیدروژن در این مقاله موردبررسی قرار گرفت.	-
Osieczko et. al, 2019	ساختارهای زیرزمینی کاندید براساس معیارهای پنج‌گانه تعیین شده در پژوهش، رتبه‌بندی شدند.	تعداد نه ساختار زیرزمینی کاندید ـ لهستان
Zheng et. al., 2020	تعدادی معادن نمکی به لحاظ ژئولوژیکی و سطح‌الارضی با هدف ذخیره‌سازی زیرزمینی گازطبیعی ارزیابی شدند.	معادن نمکی در سه ناحیه (به‌عنوان بازار مصرف عمده گاز) ـ چین
Askari et. al., 2020	شبیه‌سازی دینامیک مخزنی برای ساختارهای زیرزمینی کاندید در طول یک‌سیکل کامل تزریق و استخراج گاز انجام و سپس رتبه‌بندی شدند.	چهار ساختار زیرزمینی کاندید ـ ایران
Zhou et. al., 2020	با در نظر گرفتن مشخصات فنی، اقتصادی و هیدرولیکی و با هدف کاهش هزینه سرمایه‌گذاری مشخصات و شبکه خط لوله موردنیاز برای تزریق و استحصال گاز ذخیره و جریان و فشار بهینه برآورد شد.	دو کیس واقعی ـ چین
Chen et. al., 2021	باتوجه به عدم‌قطعیت تقاضا در شبکه گاز، مدل تصمیم‌گیری ریاضی با توجه به پیک‌سایی گاز توسعه داده شده است. معادلات جریان گاز، کمپرسورها و روابط ترمودینامیک مربوط به‌مشخصات گاز در این مدل در نظر گرفته شد.	کیس واقعی
Resende et.al., 2021	مدلی برای برنامه‌ریزی بلند/ میان‌مدت ذخیره‌سازی گاز و تعیین بهینه سیاست عرضه و ذخیره‌سازی گاز ارائه شد. عدم‌قطعیت تصادفی در تقاضا و قیمت عرضه در این مدل در نظر گرفته شد.	برزیل
Zhou et. al., 2021	مدلی برای تخصیص در شبکه گاز با در نظر	دو کیس واقعی چین

[Downloaded from iieshrm.ir on 2026-07-11]

منبع	هدف مطالعه	کیس پیاده‌سازی
	گرفتن نقاط ذخیره‌سازی زیرزمینی و طراحی سطح‌الارضی با هدف مینیمم‌سازی هزینه ارائه شد.	
Zhou et. al., 2021	با هدف مینیمم‌سازی هزینه سرمایه‌گذاری خط لوله، نرخ بهینه جریان گاز و مشخصات خطوط لوله موردنیاز تعیین شد.	چین
Guo et. al., 2022	با در نظر گرفتن مشخصات ژئولوژیکی و طرح تزریق و استخراج گاز در طول دوره عملیاتی موردنظر و نیز با لحاظ محدودیت‌های تزریق، نرخ جریان گاز، فشار و... بهترین مکان‌های ذخیره‌سازی به‌گونه‌ای انتخاب شده است که جمع سود حاصله ماکزیمم شود.	چین
He et. al, 2024	۴۴ غیرمعیار در شش دسته معیار اصلی برای ارزیابی و رتبه‌بندی بلوک‌های کاندید مورداستفاده قرار گرفتند.	تعداد پنج بلوک مختلف از چهار حوضه مختلف ـ چین
Lewandowska-Śmierzchalska et. al.,2024	مکان‌های بالقوه ذخیره‌سازی گازطبیعی با در نظر گرفتن امکان ذخیره‌سازی زیرزمینی همزمان دی‌اکسیدکربن به‌عنوان گاز پایه با در نظر گرفتن یازده معیار ژئولوژیکی موردارزیابی و رتبه‌بندی قرار گرفت.	شش ساختار زیرزمینی ـ لهستان
Peng et. al., 2024	زنجیره تأمین گازطبیعی با در نظر گرفتن ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز بهینه‌سازی شده و نرخ بهینه جریان گاز، انتخاب یا عدم‌انتخاب مراکز ذخیره‌سازی و ظرفیت آن‌ها و نیز تعداد و فشار ورودی و خروجی کمپرسورها تعیین می‌شود. هدف کاهش مجموع هزینه‌های انتقال، ذخیره‌سازی، انتشار کربن و کمبود گاز شبکه در نظر گرفته شد.	مثالی از ادبیات موضوع ـ چین
Li et. al., 2024	تخصیص بهینه حجم تزریق به نقاط ذخیره‌سازی با هدف مینیمم‌سازی اختلاف فشار مخزن و مینیمم‌سازی کل مصرف انرژی کمپرسورها در نظر گرفته شد.	مخزن گازی تخلیه‌شده ـ چین

[Downloaded from iieshrm.ir on 2026-07-11]

در پژوهش‌هایی که با هدف رتبه‌بندی به انجام رسیده‌اند ظرفیت مکان‌های ذخیره‌سازی عموماً به‌عنوان شاخص مثبت در نظر گرفته شده است (خامه‌چی و دیگران، ۲۰۱۳؛ Lewandowska-Śmierzchalska et. al., 2024) به‌عبارت بهتر هرچقدر یک ساختار زیرزمینی ظرفیت بیشتری برای نگهداری گاز داشته باشد، دارای امتیاز بالاتر قلمداد شده است (Demirel et. al., 2017؛ زنگنه و دیگران، ۱۳۹۲). این در حالی است که به‌صورت عملیاتی ممکن است یک ساختار زیرزمینی با ظرفیت کوچکتر برای ناحیه‌ای با تقاضای پایین‌تر یا دسترسی به منبع گازی کوچکتر یا نیاز به چرخه کوتاه‌مدت‌تری از تزریق ـ برداشت به مراتب انتخاب مناسب‌تری باشد. لذا در مرحله رتبه‌بندی بهتر است صرفاً رتبه‌بندی اولیه فنی صورت پذیرد و در این مرحله مکان‌های بالقوه به‌دلیل ملاحظات ظرفیت یا اقتصادی حذف نگردند و در مرحله بهینه‌سازی تخصیص بهینه ظرفیت برای مکان‌های بالقوه صورت پذیرد.

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به جستجوی جامع انجام شده در ادبیات موضوع، یافته‌های حاصل از مطالعات پیشین موردتحلیل قرار گرفت. به‌منظور ارائه ترکیب تفسیری از یافته‌ها در این بخش پژوهش‌های غربال شده در حوزه مکان‌یابی برای ذخیره‌سازی زیرزمینی گازطبیعی در سه مرحله اصلی تصمیم‌گیری مطابق جدول ۳ دسته‌بندی شدند. شایسته است که برای دستیابی به تصمیم راهبردی در خصوص انتخاب بهینه مکان ذخیره‌سازی مراحل غربال، رتبه‌بندی و بهینه‌سازی طی شود (شکل ۶). برای دستیابی به بلوغ تصمیم، انجام مراحل قبلی و جمع‌آوری داده‌های موردنیاز برای ورود به مرحله بعدی تصمیم‌گیری ضروری است. بدیهی است میزان داده‌های موردنیاز و پیچیدگی تصمیم‌گیری در مراحل بالاتر افزایش می‌یابد؛ گرچه در برخی پژوهش‌ها ممکن است مراحل قبلی تصمیم‌گیری به‌صورت مستقیم در متن پژوهش گزارش نگردد. به‌عنوان نمونه در پژوهشی آبخوان‌های مزوزوئیک واقع در شمال غربی لهستان با عمق کمتر از دو هزار متر به‌عنوان پیش‌فرض غربال شده و در متن پژوهش به‌عنوان گزینه‌های تصمیم‌گیری مورد رتبه‌بندی قرار گرفته‌اند (Lewandowska-Śmierzchalska et. al., 2024). به الگوی کلی مراحل سه‌گانه تصمیم‌گیری پیش‌تر نیز برای انتخاب مکان مناسب ذخیره‌سازی زیرزمینی هیدروژن (Safari et. al., 2023) و دی‌اکسیدکربن (Callas et.al., 2022) اشاره شده است.

[Downloaded from iieshrm.ir on 2026-07-11]

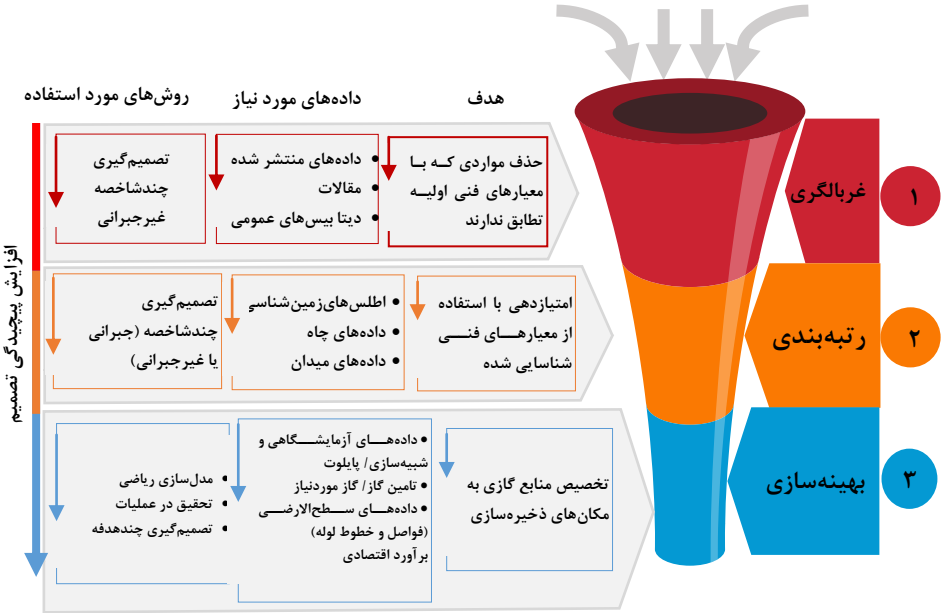
جدول ۳. دسته‌بندی مراحل تصمیم‌گیری برای مکان‌یابی ذخیره‌سازی زیرزمینی گازطبیعی

مرحله تصمیم‌گیری		منبع	روش
۱	غربالگری	Matos et. al., 2019	پارامترهای غربالگری (تصمیم‌گیری غیرجبرانی) برای انواع ساختارهای زیرزمینی موردبحث قرار گرفته است.
۲	رتبه‌بندی	زنگنه و دیگران، ۱۳۹۲	تصمیم‌گیری چندشاخصه جبرانی ـ تاپسیس[1] ـ پیاده‌سازی شده در سیستم اطلاعات جغرافیایی
		Khamehchi et. al., 2013	تصمیم‌گیری چند شاخصه جبرانی ـ تاپسیس
		Sabzevari & Delavar, 2017	تصمیم‌گیری چند شاخصه جبرانی AHP[2] فازی و OWA[3] ـ پیاده‌سازی شده در سیستم اطلاعات جغرافیایی
		Askari et. al., 2020	محاسبه ارزش فعلی خالص
		Zheng et. al., 2020	-
		He et. al, 2024	تصمیم‌گیری چندشاخصه جبرانی ـ AHP و FCE[4]
		Osieczko et. al, 2019	تصمیم‌گیری چندشاخصه جبرانی ـ SAW[5]
		Lewandowska-Śmierzchalska et. al., 2024	تصمیم‌گیری چندشاخصه جبرانی ـ AHP
		Demirel et. al., 2017	تصمیم‌گیری چندشاخصه جبرانی ـ انتگرال چوکوئت[6]
۳	بهینه‌سازی	رسول‌نژاد و غیاثی، ۱۳۹۶	برنامه‌ریزی خطی ـ حل با نرم‌افزار لینگو
		Peng et. al., 2024	مدل MINLP[7] ـ حل با نرم‌افزار GAMS
		Zhou et. al., 2021	مدل MINLP ـ حل با نرم‌افزار GAMS
		Zhou et. al., 2020	مدل MINLP ـ الگوریتم ژنتیک
		Li et. al., 2024	مدل دولایه‌ای چندهدفه ـ الگوریتم ژنتیک
		Guo et. al., 2022	مدل MILP[8]
		Chen et. al., 2021	مدل‌سازی چندهدفه غیرخطی تصادفی
		Resende et.al., 2021	تحقیق در عملیات (برنامه‌ریزی پویا)
		Zhou et. al., 2021	مدل MINLP ـ حل GAMS/IPOPT
		Kravanja & Zlender, 2010	مدل‌سازی ریاضی غیرخطی

1. TOPSIS
2. Analytic hierarchy process (فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی)
3. Ordered Weighted Average
4. Fuzzy Comprehensive Evaluation
5. Simple Additive Weighting (مجموع ساده وزنی)
6. Choquet Integral (CI)
7. Mixed Integer NonLinear Programming (مدل‌سازی غیر خطی مختلط عددصحیح)
8. Mixed Integer Linear Programming

[Downloaded from iieshrm.ir on 2026-07-11]

شکل ۶. مراحل انتخاب بهینه مکان ذخیره‌سازی زیرزمینی گازطبیعی به‌عنوان تصمیم راهبردی



با عنایت به ضرورت و اهمیت ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز در کشور مطالعات مختلفی با هدف غربالگری و رتبه‌بندی (مرحله اول و دوم) برای انتخاب ساختارهای زیرزمینی مناسب صورت پذیرفته است. لیکن استفاده از روش‌های تحقیق در عملیات، مدل‌سازی ریاضی و بهینه‌سازی چندهدفه در مطالعات داخلی به‌جز پژوهش انجام شده توسط رسول‌نژاد و غیاثی (۱۳۹۶) موردتوجه قرار نگرفته است. با توجه به شکاف مطالعاتی موجود به‌عنوان جهت‌گیری مطالعات آتی در این زمینه پیشنهاد می‌شود آنچه در این پژوهش به‌عنوان مرحله سوم تصمیم‌گیری با هدف بهینه‌سازی و تخصیص منابع گازی به مکان‌های ذخیره‌سازی تبیین شده است موضوع پژوهش‌های آتی در صنعت نفت و گاز کشور قرار گیرد.

منابع

اتحادیه بین‌المللی گاز، پایگاه داده (http://ugs.igu.org/index.php/ugs_list)

حسینی، میراحمد؛ یونس‌آرا، عبداله (۱۳۹۲) چالش‌ها و راهکارهای پیشبرد پروژه‌های ذخیره‌سازی گاز طبیعی در کشور، *اکتشاف و تولید نفت و گاز*، شماره ۱۰۸.

دانایی‌فرد، حسن؛ الوانی، سیدمهدی؛ آذر، عادل (۱۳۹۶) روش‌شناسی پژوهش کمی در

[Downloaded from iieshrm.ir on 2026-07-11]

مدیریت: رویکردی جامع، نشر اشراقی صفار چاپ ۱۲.

دوراندیش، محسن؛ چاکری، محمدحسین (۱۳۹۲) استراتژی توسعه ذخیره‌سازی گاز طبیعی در ایران، *اکتشاف و تولید نفت و گاز*، شماره ۱۰۸.

رسول‌نژاد، علیرضا و غیاثی مجتبی (۱۳۹۶). بهینه‌سازی حجم ذخیره‌سازی گاز طبیعی ایران با رویکرد برنامه‌ریزی خطی، *پژوهش‌های سیاست‌گذاری و برنامه‌ریزی انرژی*، سال ۳، شماره ۷، صص ۷۹-۱۰۴.

زنگنه، مهدی؛ دلاور، محمودرضا؛ مشیری، بهزاد؛ قوام‌پور، سعید و عفتی، میثم (۱۳۹۲). اولویت‌بندی مخازن ذخیره‌سازی زیرزمینی گازطبیعی با استفاده از سیستم‌های اطلاعات مکانی و فن رتبه‌بندی براساس تشابه با حالت آرمانی، *مهندسی فناوری اطلاعات مکانی*، سال ۱، شماره ۲.

صابری، علی؛ ظفریان، حبیب‌اله؛ رحیمی‌نژاد، صادق (۱۴۰۲) مسائل راهبردی بخش انرژی در برنامه هفتم توسعه ـ ذخیره‌سازی گازطبیعی، دفتر مطالعات انرژی صنعت و معدن مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی.

مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی (۱۳۹۸) ترازنامه هیدروکربوری کشور.

میقانی‌نژاد، علیرضا؛ تسلیمی محمدسعید؛ محمدی، مهدی؛ الیاسی، مهدی (۱۴۰۰) مرزگستری در پروژه‌های کلان پژوهشی شرکت ملی نفت: فراترکیب ادبیات موضوعی و ارائه جهت‌گیری تحقیقات آتی، *مطالعات راهبردی در صنعت نفت و انرژی*، سال ۱۳، شماره ۵۰، ۲۳-۴۲.

Al-Shafi, M., Massarweh, O., Abushaikha, A. S., & Bicer, Y. (2023). A review on underground gas storage systems: Natural gas, hydrogen and carbon sequestration. *Energy Reports*, 9, 6251-6266.

Askari, A. A., Behrouz, T., & Motahhari, S. M. (2020). Ranking of Candidates for Underground Gas Storage Structures under Uncertainties Using Flow Simulation: West of Iran as a Case study. *Journal of Petroleum Science and Technology*, 10(1), 37-45.

Bujok, P., Klempa, M., Kunz, A., Porzer, M., Rado, R., Roček, E., & Ryba, J. (2019). Ways of increasing natural gas storage capacity in underground gas storages in the Czech Republic. *AGH Drilling, Oil, Gas*, 36(1), 113-123.

Callas, C., Saltzer, S. D., Davis, J. S., Hashemi, S. S., Kovscek, A. R., Okoroafor, E. R., ... & Benson, S. M. (2022). Criteria and workflow for selecting depleted hydrocarbon reservoirs for carbon storage. *Applied Energy*, 324, 119668.

Chen, Q., Wu, C., Zuo, L., Mehrtash, M., Wang, Y., Bu, Y., ... & Cao, Y. (2021). Multi-objective transient peak shaving optimization of a gas

[Downloaded from iieshrm.ir on 2026-07-11]

pipeline system under demand uncertainty. *Computers & Chemical Engineering*, *147*, 107260.

Demirel, N. Ç., Demirel, T., Deveci, M., & Vardar, G. (2017). Location selection for underground natural gas storage using Choquet integral. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, *45*, 368-379.

Erwin, E. J., Brotherson, M. J., & Summers, J. A. (2011). Understanding qualitative metasynthesis: Issues and opportunities in early childhood intervention research. *Journal of Early Intervention*, *33*(3), 186-200.

Flanigan, O. (1995). *Underground gas storage facilities: Design and implementation*. Elsevier.

Guo, W., Zhang, B., Liang, Y., Qiu, R., Wei, X., Niu, P., ... & Li, Z. (2022). Improved method and practice for site selection of underground gas storage under complex geological conditions. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, *108*, 104813.

He, Y., Zhao, G., Tang, Y., Song, J., & Chen, Y. (2024). Available target evaluation of underground gas storage based on AHP-FCE methods. *Geoenergy Science and Engineering*, *242*, 213255.

Khamehchi, E., Yousefi, S. H., & Sanaei, A. (2013). Selection of the best efficient method for natural gas storage at high capacities using TOPSIS method. *Gas Processing Journal*, 1(1), 9-18.

Kravanja, S., & Žlender, B. (2010). Optimal design of underground gas storage. *WIT Transactions on The Built Environment*, *112*, 389-399.

Lewandowska-Śmierzchalska, J., Nagy, S., & Uliasz-Misiak, B. (2024). Screening of sites for advanced natural gas and carbon dioxide storage in deep aquifers. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, *132*, 104078.

Li, Z., Li, C., Jia, W., Chen, Y., Zhang, C., Xiao, H., & Pu, Z. (2024). Co-optimization method for injection strategy of underground natural gas storage integrating aboveground and underground parts. *Gas Science and Engineering*, 205376.

Matos, C. R., Carneiro, J. F., & Silva, P. P. (2019). Overview of large-scale underground energy storage technologies for integration of renewable energies and criteria for reservoir identification. *Journal of Energy Storage*, *21*, 241-258.

Osieczko, K., Gazda, A., & Malindžák, D. (2019). Factors determining the construction and location of underground gas storage facilities. *Acta Montanistica Slovaca*, 24(3).

Page, M. J., McKenzie, J. E., Bossuyt, P. M., Boutron, I., Hoffmann, T. C., Mulrow, C. D., ... & Moher, D. (2021). The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *bmj*, 372. doi: 10.1136/bmj. n71

Peng, J., Zhou, J., Liang, G., Li, C., & Qin, C. (2024). Multi-period integrated scheduling optimization of complex natural gas pipeline network system with underground gas storage to ensure economic and

[Downloaded from iieshrm.ir on 2026-07-11]

environmental benefits. *Energy*, 131837.
Resende, L. D. O., Valladão, D., Bezerra, B. V., & Cyrillo, Y. M. (2021). Assessing the value of natural gas underground storage in the Brazilian system via stochastic dual dynamic programming. Top, 29(1), 106-124.
Sabzevari, A. R., & Delavar, M. R. (2017). Gis-based site selection for underground natural resources using fuzzy ahp-owa. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42, 463-468.
Safari, A., Sugai, Y., Sarmadivaleh, M., & Imai, M. (2023). Screening and ranking Japanese gas fields for underground H2 storage potential: Impact of the reservoir drive mechanism. *Journal of Energy Storage*, *70*, 107679.
Sandelowski M, Barroso J. (2007) Handbook for Synthesizing Qualitative Research. New York: Springer Publishing Company.
Zheng, Y., Wanyan, Q., Qiu, X., Kou, Y., Ran, L., Lai, X., & Wu, S. (2020). New technologies for site selection and evaluation of salt-cavern underground gas storages. *Natural Gas Industry B*, *7*(1), 40-48.
Zhou, J., Zhou, X., Liang, G., & Peng, J. (2020). An MINLP model for network layout of underground natural gas storage. *Journal of Intelligent & Fuzzy Systems*, *38*(4), 4619-4642.
Zhou, J., Zhou, L., Liang, G., Wang, S., Fu, T., Zhou, X., & Peng, J. (2021). Optimal design of the gas storage surface pipeline system with injection and withdrawal conditions. *Petroleum*, *7*(1), 102-116.
Zhou, J., Fu, T., Chen, Y., Xiao, Y., Peng, J., & Liang, G. (2021). A mixed integer nonlinear programming model for optimal design of natural gas storage surface double-pipe network. *Journal of Energy Storage*, *44*, 103379.

[Downloaded from iieshrm.ir on 2026-07-11]

A Meta-Synthesis Approach for the Strategic Decision: Site Selection for Underground Natural Gas Storage

Azadeh Dabbaghi[1]

The underground gas storage, with more than a hundred years of experience, is considered as a global solution to regulate supply and demand in the natural gas transmission system. Due to the importance of selecting suitable underground structures for natural gas storage, as well as the necessity of considering various geological, economic and environmental criteria with uncertainties, site selection has gained increasing attention as a strategic decision in the literature. This research was conducted using the metha-synthesis method with reference to 58390 articles published in trusted scientific databases in English and Persian, which were screened using PRISMA method. The findings show that in order to achieve decision maturity, site selection as a strategic decision can be adopted in three stages of screening, ranking and optimization respectively. The purpose of decision-making, the required data and the methods used in each step are categorized. Finally, focusing on optimization studies is suggested as the direction of future studies in this field.

Keywords: Meta-Synthesis, Underground gas storage, Site Selection, Strategic decision.

1. Assistant professor, Research Institute of Petroleum Industry, Tehran, Iran.
Email: Dabbaghi@ut.ac.ir, Corresponding Author

[Downloaded from iieshrm.ir on 2026-07-11]