

IJGE



نشریه مهندسی گاز ایران

سال نهم / جلد شانزدهم / شماره دوم

زمستان ۱۴۰۱

EISSN:25885-5251



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

صاحب امتیاز: انجمن مهندسی گاز ایران
مدیر مسئول: دکتر محمدرضا امیدخواه
سر دبیر: دکتر رضا مسیبی بهبهانی
دبیر تخصصی: دکتر مرتضی زیودار
ویراستاری: تاهید امینی
صفحه آرایی: مهندس حمیدرضا کریمی
شماره شاپا: ۵۲۵۸۸-۵۲۵۸۱



هیأت تحریریه:

دکتر علی وطنی (دانشگاه تهران)
دکتر مرتضی زیودار (دانشگاه سیستان و بلوچستان)
دکتر وحید نقی خانی (دانشگاه صنعتی شریف)
دکتر سید علیرضا طباطبائی نژاد (دانشگاه صنعتی سهند)
دکتر رهبر رحیمی (دانشگاه سیستان و بلوچستان)
دکتر سید حسام نجیبی (دانشگاه صنعت نفت)
دکتر ابوالقاسم امام زاده (دانشگاه آزاد - واحد علوم تحقیقات تهران)
دکتر مسعود آفاجانی (دانشگاه صنعت نفت)
دکتر محمدرضا احسانی (دانشگاه صنعتی اصفهان)
دکتر علیمیراد رشیدی (پژوهشگاه صنعت نفت)
دکتر سید رضا شادی زاده (دانشگاه صنعت نفت)
دکتر محسن مسیحی (دانشگاه صنعتی شریف)
دکتر منصور فرزام (دانشگاه صنعت نفت)
دکتر محمدرضا خسروی نیکو (دانشگاه صنعت نفت)
دکتر عبدالنہی هاشمی (دانشگاه صنعت نفت)
دکتر هوشنگ جزایری راد (دانشگاه صنعت نفت)

نشانی انجمن مهندسی گاز ایران

تهران/ خیابان سپهبد قرنی/ نبش خیابان سپند/ پلاک ۱۹۶
کدپستی: ۱۵۹۸۹-۹۵۷۱۲

پست الکترونیکی نشریه

ijge@irangi.org

برای ارسال مقالات به سایت نشریه مهندسی گاز ایران
به نشانی (www.ijge.irangi.org) مراجعه فرمایید.



اعضاء هیئت داوران نشریه شماره ۱۵

دکتر علی وطنی (دانشگاه تهران)

دکتر بهمن زارع نژاد (دانشگاه سمنان)

دکتر مسعود آقاجانی (دانشگاه صنعت نفت)

دکتر سیدحسام نجیبی (دانشگاه صنعت نفت)

دکتر رهبر رحیمی (دانشگاه سیستان و بلوچستان)

دکتر محمدرضا احسانی (دانشگاه صنعتی اصفهان)

دکتر محمد رضا امیدخواه (دانشگاه تربیت مدرس)

دکتر مرتضی زیودار (دانشگاه سیستان و بلوچستان)

دکتر مجتبی ساعدی مقدم (دانشگاه صنعتی قوچان)

دکتر وجیهه یوسفی (دانشگاه سیستان و بلوچستان)

دکتر حمید مقدم دیمه (دانشگاه سیستان و بلوچستان)

دکتر اصغر گندمکار (دانشگاه آزاد اسلامی واحد شیراز)

دکتر حسین زهدی فسایی (دانشگاه سیستان و بلوچستان)

دکتر مستانه حاجی پور (دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات)

دکتر میرمحمد خلیلی پور لنگرودی (دانشگاه سیستان و بلوچستان)

دکتر محمد رضا سردشتی بیرجندی (دانشگاه سیستان و بلوچستان)

دکتر زهره خلیفات

فهرست مطالب

◀ سرمقاله

- هوش مصنوعی: ابزاری در خدمت آموزش ۶

◀ مقالات

- مکان‌یابی مخازن استراتژیک نفت و گاز با تلفیق تکنیک تصمیم‌گیری گروهی و برنامه‌ریزی خط
بهرنگ لطیفی، محمدابراهیم طیبی عراقی، حسین عموزادخلیلی ۸

- کشش تقاضای گاز در گروه کشورهای منتخب ۲۹
سمیرا یساول، پروانه سلاطین

- طراحی مدل رویگردانی مصرف‌کنندگان گاز طبیعی (مطالعه موردی: شرکت گاز استان
مازندران) ۴۷
ابوذر پوریانی، هرمز مهرانی، روح اله سمیعی، سامره شجاعی، محمدرضا امیدخواه نسرین

- گوگردزدایی اکسایشی نفتای سبک در حضور کاتالیست اکسید روی بر پایه زئولیت
زهرا مباشری، سید حسین زهدی فسایی ۵۹

- بررسی عملکرد فلر پر فشار پالایشگاه پنجم پارس جنوبی و عوامل مؤثر بر عملکرد آن با
استفاده از شبیه‌سازی CFD ۶۹
محمد ایرانی، یعقوب بهجت

- قرارداد خدمات ذخیره‌سازی گاز ۸۳
دل‌آرا حیدری، مجید قربانی لاچوانی، رضا مسیبی بهبهانی

- راهنمای نگارش مقالات در مجله علمی / ترویجی مهندسی گاز ایران ۹۳



سرمقاله



دکتر مرتضی زیودار
عضو هیئت علمی و دبیر تخصصی نشریه

هوش مصنوعی: ابزاری در خدمت آموزش

اخیراً در شماره آخر مجله مهندسی شیمی (The Chemical Engineer) مقاله‌ای در رابطه با استفاده از هوش مصنوعی در امر آموزش مهندسی آورده شده است. نظر به اهمیت موضوع، در این سرمقاله نکات مهمی از مطالب ارائه شده جهت بهره‌برداری علاقه‌مندان آورده می‌شود.

در این مقاله، درباره توانایی فوق‌العاده یادگیری از نظر هوش مصنوعی به شکلی تولیدی در حوزه آموزش صحبت شده است. هوش مصنوعی تولیدی^۱ به مدل‌های هوش مصنوعی اشاره دارد که قادر به تولید داده‌ها مانند متن، تصویر یا موسیقی بر اساس یک پیشنهاد داده شده هستند. این مدل‌ها بر روی مجموعه داده‌های بزرگ آموزش دیده شده‌اند تا الگوها و ارتباطات را شناسایی کنند و امکان تولید خروجی‌های منحصر به فرد و مرتبط با محتوا را فراهم کنند. هوش مصنوعی تولیدی به مدل‌های هوش مصنوعی اشاره دارد که می‌توانند بر اساس یک «پرامپت»^۲ داده‌ها را تولید کنند، مانند متن، تصاویر یا موسیقی. این مدل‌ها با استفاده از مجموعه‌های داده بزرگ آموزش می‌بینند تا الگوها و روابط را شناسایی کنند و قادر به تولید خروجی‌های مناسب و منحصر به فردی باشند که با ورودی هماهنگی دارد.

در زمینه آموزش، هوش مصنوعی تولیدی سه کاربرد خاص دارد: کمک به ایده‌پردازی^۳، بازبینی کد^۴ و روش سقراطی تطبیق یافته^۵.

کمک به ایده‌پردازی: هوش مصنوعی تولیدی می‌تواند به عنوان یک کمک در فرآیند تولید ایده مورد استفاده قرار گیرد. تولید ایده مرحله‌ای اساسی در فرآیند طراحی است، اما دانشجویان اغلب با چالش‌هایی مانند تمرکز بر ایده اولیه یا عدم تمایل به اشتراک‌گذاری ایده‌ها روبرو می‌شوند. ابزارهای هوش مصنوعی تولیدی مانند ChatGPT می‌توانند به سرعت ایده‌های جایگزینی را تولید کرده و در کارهای مفهومی، بازاریابی و توسعه استراتژی کمک کنند. دانشجویان می‌توانند از هوش مصنوعی برای تولید یک لیست از راه‌حل‌های ممکن برای یک مسئله مهندسی استفاده کنند، ایده‌های تولید شده را در یک گروه بررسی کرده و بهترین ایده خود را به کلاس ارائه دهند. این فرآیند، آشنایی دانشجویان با هوش مصنوعی تولیدی را ارتقا می‌دهد، مهارت‌های ایده‌پردازی آن‌ها را تقویت می‌کند و

بازبینی کد: کاربرد دیگری که مورد بحث قرار می‌گیرد، بازبینی کد با کمک ChatGPT است. بازبینی همتای کد در محیط‌های باز و صنعتی یک روش مفید است، اما در محیط‌های آکادمیک ممکن است زمان‌بر باشد و با چالش‌هایی روبرو شود. با یکپارچه‌سازی ChatGPT در فرآیند بازبینی کد، دانشجویان در دانشگاه ملبورن توانستند کدهای خود را بر اساس یک لیست بازبینی کد بر اساس تحقیقات ارزیابی کنند و کیفیت طراحی و قابلیت نگهداری نرم‌افزار را بهبود بخشند، آموزش هوش مصنوعی را در بین دانشجویان مهندسی ارتقا دهند و چالش‌های مرتبط با اتخاذ فرآیند بازبینی کد در محیط آکادمیک را به حداقل برسانند.

روش سقراطی تطبیق یافته: مقاله همچنین یک روش سقراطی تطبیق یافته را معرفی می‌کند که شامل حضور هوش مصنوعی تولیدی به عنوان یک شرکت‌کننده در بحث‌ها است. دانشجویان در یک بحث همکاری مشغول به پرسش و پاسخ با هوش مصنوعی درباره یک موضوع خاص می‌شوند تا زمانی که خطاهایی در پاسخ‌های آن را شناسایی کنند. این فعالیت به دانشجویان در فهم محتوا از طریق بحث و گفتگو کمک می‌کند و توانایی آن‌ها در استفاده از ابزار هوش مصنوعی را با درک محدودیت‌های آن بهبود می‌بخشد. این روش تفکر انتقادی و ارزیابی خروجی هوش مصنوعی را تشویق می‌کند.

همچنین به مسائل اخلاقی مرتبط با هوش مصنوعی تولیدی، مانند تعصب، مالکیت، دقت و سوءاستفاده اشاره شده است. اساتید می‌توانند به دانشجویان درکی از این مسائل بدهند و آگاهی راجع به استفاده مسئولانه از هوش مصنوعی ایجاد کنند. نتیجه نهایی مقاله تأکید بر قدرت هوش مصنوعی تولیدی در تحول آموزش دارد، از جمله وظایفی مانند نمره‌دهی و ایجاد محتوا. هوش مصنوعی تولیدی می‌تواند پشتیبانی فردی و تطبیقی را فراهم کند، دسترسی به آموزش را از طریق ابزارهایی مانند نرم‌افزار تبدیل متن به گفتار و ترجمه به صورت زنده بهبود بخشد و مدل‌های سنتی آموزش را بهم بریزد.

جهت دسترسی به مقاله فوق، لطفاً به شماره ۹۸۴ مجله، به تاریخ ژوئن ۲۰۲۳ مراجعه شود.

1. Generative AI
2. Prompt
3. Ideation Assistance
4. Code Review
5. Adapted Socratic Method

کسب رتبه یک انجمن مهندسی گاز ایران در بین تمامی گروه‌های شش‌گانه
در ارزیابی سال ۱۴۰۰ کمیسیون انجمن‌های علمی و تقدیر دبیر محترم کمیسیون از انجمن مهندسی گاز ایران

بسمه تعالی

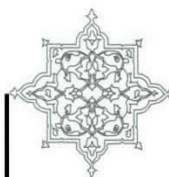
تاریخ: ۱۴۰۱/۱۲/۰۹

شماره: ۳/۳/۳۷۰۵۵۸

پیوست:



جمهوری اسلامی ایران
وزارت علوم، تحقیقات و فناوری



جناب آقای مهندس منصور دفتریان
رئیس محترم انجمن مهندسی گاز ایران

با سلام و احترام

بدینوسیله مراتب سپاس و تقدیر اینجانب از زحمات و تلاشهای ارزشمند حضرتعالی و اعضای محترم هیئت مدیره در کسب رتبه یک آن انجمن در بین تمامی گروه‌های شش‌گانه در ارزیابی سال ۱۴۰۰ کمیسیون انجمن‌های علمی را اعلام می‌دارم.

از درگاه ایزد منان توفیقات روزافزون شما را در سایه توجهات حضرت بقیه الله (عج) و پیروی از منویات حکیمانه رهبر معظم انقلاب اسلامی مسئلت می‌نمایم.

امید است در سایه توجهات ایزد منان و تلاش‌های موجود، طی سالهای آتی نیز شاهد رشد و اعتلاء بیشتر آن انجمن و پیشرفت روزافزون جامعه علمی کشور باشیم.

شماره پیگیری

۱۰۰۰۰۰۷



با آرزوی توفیق الهی

علی ابراهیم‌نشی

دبیر کمیسیون انجمن‌های علمی ایران

نشانی:

تهران شهرک قدس
میدان صنعت، خیابان
خوردین، خیابان هرمزان
نبش خیابان پیروزان جنوبی
کد پستی: ۱۴۶۶۶-۶۴۸۹۱
شماره تلفن: ۸۲۲۳۱۰۰۰
صندوق پستی:
تهران ۱۵۱۳-۱۴۶۶۵
Website: www.msrt.ir
Email: info@msrt.ir



مکان‌یابی مخازن استراتژیک نفت و گاز با تلفیق تکنیک تصمیم‌گیری گروهی و برنامه‌ریزی خطی

بهرنگ لطیفی^۱، محمدابراهیم طیبی عراقی^{۲*}، حسین عموزادخلیلی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، واحد بین‌الملل خرمشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، خرمشهر، ایران

۲. گروه مهندسی صنایع، واحد بین‌المللی خرمشهر، دانشگاه آزاد اسلامی، خرمشهر، ایران

۳. استادیار، گروه مهندسی صنایع، واحد ساری، دانشگاه آزاد اسلامی، ساری، ایران

آدرس پست الکترونیک نویسنده مسئول مکاتبات: tayebi_m@ut.ac.ir

مقاله‌ی علمی- کاربردی

صفحه ۸ - ۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۱۶

چکیده

امکان ذخیره‌سازی کربوهیدرات‌ها برای کشورهای صادرکننده این محصولات سبب می‌شود که بتوانند علاوه بر حفظ روند تولید، در مذاکرات و چانه‌زنی‌های بین‌المللی نیز دست بالا را داشته باشند. از آنجایی که مخازن روستحی دارای محدودیت‌های فراوانی بوده و همچنین از نظر امنیتی قابلیت اطمینان پایینی دارند لذا ضروری است کشورها برای ذخیره‌سازی نفت و گاز به مخازن استراتژیک (زیرسطحی) روی آورند. هدف از این پژوهش اولویت‌بندی مکان‌های موردنظر جهت ساخت مخازن استراتژیک نفت و گاز در ایران می‌باشد. در این پژوهش، شناسایی معیارهای استراتژیک و مهم برای مکان‌یابی مخازن زیرسطحی توسط متخصصین باتجربه و با بهره‌گیری از پرسشنامه‌ی آزاد نخستین ابزار در شناسایی معیارهای مطلوب مکان‌یابی بوده است و نتایج توسط گروه خبرگان غربال گردید. مجموعاً ۲۲ معیار برای اولویت‌بندی مکان موردنظر شناسایی شد و خبرگان (مشمول بر ۱۰ متخصص) ابتدا با بهره‌گیری از روش تحلیل سلسله‌مراتبی به اولویت‌بندی مکان‌ها پرداخته و پس‌از آن با اضافه کردن محدودیت‌ها به نتایج حاصل از تحلیل سلسله‌مراتبی، یک مدل برنامه‌ریزی خطی تعریف نمودند که نتایج حاصل از حل آن نشان می‌دهد که مهم‌ترین معیارها در اولویت‌بندی مخازن محدودیت‌های ژئوتکنیک و مباحث مرتبط با هزینه‌ها می‌باشد. همچنین مشخص گردید مناسب‌ترین مکان‌ها برای ساخت مخازن استراتژیک به ترتیب شهرهای گچساران، چابهار، گناوه، پارسیان و جاسک هستند. نتیجه‌ی مطلوب نهایی این پژوهش انتخاب توأمان شهرهای گچساران، چابهار و گناوه برای ذخیره‌سازی استراتژیک مخازن زیرزمینی بوده است.

کلیدواژه‌ها: مکان‌یابی، تصمیم‌گیری چند معیاره، مخازن نفت و گاز

۱. مقدمه

ایران همواره به دلیل دارا بودن منابع فراوان انرژی در معادلات جهانی اثرگذار بوده و ذخایر نفت و گاز کشورمان به‌عنوان اولویتی استراتژیک در ثبات منطقه و حتی ثبات جهانی بازارها مورد تأکید اغلب تحلیل‌گران بوده است. به همین سبب وجود زیرساخت‌های ذخیره‌سازی مدرن، دست ایران را در معادلات جهانی بالاتر برده و قدرت چانه‌زنی و دیپلماسی کشورمان را در بازار افزایش خواهد داد. شیوه‌ها و راهکارهای ذخیره‌سازی نفت خام به‌عنوان استراتژیکی‌ترین محصول صادراتی کشورهای نفت‌خیز متفاوت



و متنوع است و در این میان ذخیره‌سازی زیرزمینی به دلایلی چون کاهش هزینه‌های ساخت و نگهداری، قابلیت اطمینان بالا، اثر ناچیز بر تغییرات اقلیمی و زیست‌محیطی و همچنین ایمنی بالا، از نظر کارشناسان بسیار مورد تأکید بوده و یکی از روش‌های پرفرمداری است که در جای‌جای جهان مورد استفاده قرار گرفته و در توسعه پایدار صناعی چون نفت و گاز نقش مؤثر و غیرقابل انکاری دارد [۱].

از آنجایی که برای مکان‌یابی بهینه در پروژه‌ها می‌بایست تأثیر عوامل مختلف و همچنین اثر معیارهای متفاوت را بر فرآیند انتخاب مکان مناسب سنجید، لذا لازم است که با استفاده از روش‌های مدرن در تصمیم‌گیری چند معیاره و نیز دستیابی به عوامل اثرگذار بر پروژه، مدیران و تصمیم‌گیران را در انتخاب بهترین مکان قابل انتخاب کمک کرده و برایشان تصمیم‌سازی نمود. با عنایت به لزوم ساخت مخازن زیرزمینی جهت ذخیره‌سازی استراتژیک نفت خام در کشورمان، باید اذعان داشت که خلاء پژوهشی جامع در خصوص مکان‌یابی این دست مخازن ضروری به نظر می‌رسید. در طرح‌های توسعه محور، علی‌الخصوص در صنایع نفت و گاز، انطباق طرح‌ها با مبانی توسعه، ضرورتی انکار نشدنی است. منظور از توسعه یا توسعه‌ی پایدار داشتن نگاهی جامع و مانع نسبت به فرآیندهای اقتصادی، محیط زیستی و اجتماعی است و می‌بایست در تعریف هر یک از سیستم‌های اجرایی، اهداف خاص موردنظر را با اختصاص وزن مناسب به هر موضوع موردعنایت قرارداد. هدف غایی در چنین طرح‌ها و پروژه‌هایی آن است که نهایتاً توسعه متوازن حاصل شده و ماحصل کار از منظر هزینه‌های اجرا قابل توجیه و از منظر مسئولیت اجتماعی و نظام‌های محیط زیستی از سلامت کافی برخوردار باشد [۲].

داشتن مخازن استراتژیک به استمرار و ثبات در عرضه منجر می‌شود و عدم اطمینان و ریسک در بازارهای انرژی را کاهش می‌دهد. حوادث و عواملی مانند جنگ، اختلاف بر سر حوزه‌های مشترک انرژی، تحریم‌ها، عدم توجیه استخراج در شرایط رکودهای اقتصادی، عدم توجیه فروش با توجه به قیمت پایین جهانی و ... در دهه‌های اخیر به تکرار دیده شده‌اند و در عمل تولیدکنندگان برای بقا در بازار ملزم شده‌اند که حجم ذخیره‌سازی را افزایش دهند تا قدرت چانه‌زنی‌شان را در بازار بیشتر کنند و عملاً عدم اطمینان در تأمین انرژی را به کمترین میزان ممکن برسانند. به جز کشورهای تولیدکننده، کشورهای خریدار نفت و گاز هم به همان دلایل مطروحه‌ی فوق نیازمند ذخیره‌سازی بیشتر در شرایطی ایمن‌تر و با احجامی بیش

از نیازشان هستند تا بتوانند وجود انرژی موردنیازشان برای دوره‌های طولانی‌تری را تضمین کنند. از طرفی دیگر، ارائه و فروش نفت در بازارهای بورسی دنیا نیازمند وجود نفت استخراج‌شده و در دسترس و همچنین تناسب نفت خام موجود در انبارهای جهان با حجم معاملات در بازار است. از این منظر نیز ذخیره‌سازی دارای اهمیت ویژه‌ای است. از طرف دیگر کشور ما، حتی در شرایطی که خطر جنگ، تحریم و تهدیدات بین‌المللی از سرش دور باشد، باز هم با چالش بزرگی به نام بازاریابی نفت خام مواجه است. بی‌گمان در صورت عملیاتی شدن و احداث این نوع مخازن در کشور، به احتمال قریب به یقین بسیاری از مشکلات مرتبط با عرضه، تقاضا، بازاریابی و فروش نفت خام مرتفع شده و مسلماً احتمال خسارات ناشی از حمله به مخازن روسطوحی و زیرساخت‌های ذخیره‌سازی کشور توسط دشمنان به حداقل خواهد رسید.

تکنولوژی احداث مخازن زیرسطحی در جهان نسبتاً روشی جدید در ذخیره‌سازی سوخت‌های پایه کربنی است و همان‌گونه که پیش‌تر نیز اشاره شد، تنها کشورهای ژاپن، کره جنوبی، سوئد، نروژ، عربستان چنین مخازنی را ساخته و از آن بهره‌برده‌اند. کنکاش و بررسی جامع انجام‌شده پیرامون مطالعات گذشته در این حوزه نشان دهنده‌ی آن است که تا زمان آغاز این پژوهش، تحقیقی باهدف مشخص نمودن مهم‌ترین و اصلی‌ترین معیارهای مکان‌یابی برای احداث مخازن زیرسطحی انجام نشده است. البته پژوهش‌هایی مشابه برای مکان‌یابی در حوزه‌هایی نظیر احداث ساختمان‌هایی با کاربری خاص، احداث فرودگاه، پتروشیمی، پالایشگاه و ... انجام‌شده و معیارهای انتخاب در آن‌ها عمدتاً بر پایه‌ی ملاک‌های سه‌گانه‌ی زیست‌محیطی، اجتماعی و اقتصادی بوده است و بدیهی است در پروژه‌هایی این چنین اهداف فنی، دست‌کم با اهداف زیست‌محیطی در تعارض بوده و بر همین مبنا معیارهای شناسایی‌شده نیز با یکدیگر در تضاد خواهند بود لذا شرایط به‌گونه‌ای است که برای استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ضرورت وجود دارد و با در نظر گرفتن این تناقضات، این متد می‌تواند یکی از بهترین روش‌های حل مسئله‌ی مطرح‌شده باشد. [۳]

۲. پیشینه تحقیق

در خصوص پیشینه‌ی پژوهش می‌توان گفت پژوهش‌های انجام‌شده عمدتاً بر دو محور استوارند: الف) پژوهش‌های مرتبط با ذخیره‌سازی و مکان‌یابی مخازن نفت و گاز ب) پژوهش‌های مرتبط با روش‌های برنامه‌ریزی و مدل‌سازی مکان‌یابی که به تفکیک آورده شده‌اند:





۱-۲. پژوهش‌های مرتبط با ذخیره‌سازی و مکان‌یابی مخازن نفت و گاز:

بر همین اساس، در پژوهش رابرتز و همکاران (۲۰۱۳)، با موضوع شناسایی مناسب‌ترین مکان‌ها برای ذخایر دریایی، در ابتدای پژوهش و پیش از بررسی مؤلفه‌های مالی و اجتماعی، ارزیابی اولیه مکان‌ها بر اساس معیارهای زیست‌محیطی انجام شده است. مؤلفه‌های محیط زیستی که در این پژوهش مدنظر بوده‌اند عبارتند از: تنوع زیستی موجود و مشکلاتی که می‌تواند به این تنوع زیست‌محیطی آسیب برساند، تهدیدات انسانی مانند کشتیرانی، ماهیگیری و ... میزان ذخیره‌ی موردنظر و اثرش بر محیط‌زیست و بررسی گونه‌های درخطر انقراض در منطقه‌ی مورد مطالعه. پژوهشگران پس از این مرحله چهار مؤلفه‌ی دیگر را نیز بررسی کرده و به پژوهششان افزودند که عبارتند از مؤلفه‌های مالی و اقتصادی، مؤلفه‌های اجتماعی، مؤلفه‌های علمی و نهایتاً امکان‌پذیری اجرای طرح. [۴]

در پژوهشی دیگر که همین پژوهشگران به‌منظور تکمیل مطالعات پژوهش نخست صورت داده‌اند، هفت مکان پیشنهادشده برای ذخیره‌سازی در دریا از منظر ۱۲ معیار محیط زیستی بررسی شده است. هدف پژوهشگران در این مرحله شناسایی مناطقی بود که حداقل ضرورت‌های زیست‌محیطی را دارا بوده تا پس از آن بتوانند در مناطق تأیید شده از حیث زیست‌محیطی سایر مؤلفه‌ها را بررسی و انتخاب نهایی را انجام دهند. [۵]

۲-۲. پژوهش‌های مرتبط با روش‌های برنامه‌ریزی و مدل‌سازی مکان‌یابی:

مسئله مکان‌یابی در پژوهش‌های مرتبط با انرژی بسیار پرکاربرد است و یکی از ارکان اصلی این نوع پژوهش‌ها را تشکیل می‌دهد. برای مثال در پژوهشی که در سال ۲۰۱۶ توسط کایا و کاهران انجام شد انتخاب مناسب‌ترین انرژی تجدیدپذیر برای استفاده در کشور ترکیه (مطالعه موردی شهر استانبول) مورد سؤال قرار گرفت و پژوهشگران در این تحقیق از روش ویکور-ای‌اچ پی^۱ استفاده نمودند. در این روش از ترکیب ماتریس‌های مقایسه‌ای و منطق فازی برای اولویت‌بندی مؤلفه‌های مورد انتظار استفاده شده و نتایج حاصل با تکیه‌بر چهار گروه اصلی از اولویت‌های اقتصادی، زیست‌محیطی، جامعه‌شناختی و فنی و

مهندسی انرژی مطلوب‌تر برای استفاده در این شهر را شناسایی و اولویت‌بندی کرده است. [۶]

رحمان و ترینگ در سال ۲۰۱۱ در پژوهشی باهدف کنترل موقعیت‌های آلوده به نفت در دریا، پژوهشی با استفاده از روش آنالیز تصمیم‌گیری چند معیاره فازی^۲ انجام داده و هشت معیار انتخابی برای ارزیابی گزینه‌های پیشنهادی ارائه داده و به دلیل عدم قطعیت‌های موجود در موقعیت پژوهشی همچنین نظرات متفاوت و گاه متناقض دینفعان ترجیح دادند تا از ریاضیات فازی برای اولویت‌بندی نتایج پژوهششان استفاده کنند. در ادامه پژوهشگران برای ارزیابی کارکرد روش به‌دست‌آمده در پژوهش، مطالعه‌ای موردی در مناطق آلوده‌ی نفتی غرب کانادا ترتیب داده و نتایج را ضمیمه‌ی پژوهش نموده‌اند. [۷]

در پژوهش کاوارولو و سیرائولو (۲۰۱۵)، در خصوص سیاست‌گذاری در حوزه‌ی انرژی و ارزش‌گذاری انرژی‌های تجدیدپذیر از جمله باد نیز از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره استفاده شده است. در این پژوهش، معیارها به سه زیرگروه فنی^۳، زیست‌محیطی و مالی دسته‌بندی شده و نتایج پژوهش بر همین مبنا مشخص گردیده‌اند. [۸]

تعیین مؤلفه‌های توسعه در مباحث انتخاب و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر نیز در پژوهش دیگری در سال ۲۰۰۹ توسط وانگ و همکاران مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این پژوهش کارکرد روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره به‌طور مفصل مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته و نتایج این تحقیق در نهایت بر پایه‌ی چهار زیرمعیار فنی، مالی، اجتماعی و زیست‌محیطی تقسیم و دسته‌بندی شده‌اند. [۹]

در پژوهش انجام‌شده توسط الشارح و همکاران در سال ۲۰۱۵ پژوهشگران به دنبال شناسایی مؤلفه‌ها و ملاک‌های پایداری، برای ایجاد سهولت در تصمیم‌گیری‌های صنعتی بوده و برابر نتایج به‌دست‌آمده از تحقیقاتشان، اثر کیفی بر آب و هوا، شرایط امحاء زباله‌ها، کم کردن آلودگی‌های صوتی، مقابله با گرمایش زمین، اثر طرح بر حفاظت از لایه‌ی ازن، بهره‌وری تصمیمات، رشد همه‌جانبه‌ی اقتصادی و نهایتاً ایمنی و رضایت شغلی را به‌عنوان ملاک‌های اصلی اولویت‌بندی نموده‌اند. [۱۰]

در پژوهش دیگری که سوماتی و همکاران در سال ۲۰۰۸ انجام داده‌اند تلاش شده است تا مناسب‌ترین محل برای دفن ضایعات صنعتی شناسایی شود، در این پژوهش معیارهایی

۱. ویکور یکی از روش‌های MADM و شبیه به تاپسیس است و در این پژوهش محققین این روش را با AHP ترکیب کرده‌اند.

2. Fuzzy Multi Criteria Decision Analysis

3. Technical

مانند سهولت دسترسی به منابع آبی^۱، عمق و کیفیت منابع آبی زیرزمینی^۲، شاخصه‌های زمین بر مبنای اصول و مبانی علم زمین‌شناسی^۳ و همچنین کاربری زمین^۴ به‌عنوان مؤلفه‌های اثرگذار بر این پژوهش شناسایی و اولویت‌بندی شده‌اند. [۱۱]

پژوهش وحیدنیا و همکاران در سال ۲۰۰۹ در خصوص مکان‌یابی در بخش خدمات شهری انجام‌شده است و هدف از آن گزینش مناسب‌ترین مکان برای احداث بیمارستان است. این پژوهش با ترکیبی از روش تصمیم‌گیری سلسله‌مراتبی فازی^۵ و روش جی‌آی‌اس^۶ انجام‌شده است. [۱۲]

یکی از مهم‌ترین مباحث مکان‌یابی در حوزه‌ی محیط‌زیست مکان‌یابی محل مناسب برای دفن زباله‌های شهری و صنعتی است. فرانتیز در سال ۲۰۱۳ در پژوهشی تلاش نموده است تا روشی برای مکان‌یابی سایت برای دفع زباله‌های شهری ارائه‌نماید. در این پژوهش مؤلفه‌های نسبتاً زیادی که عمدتاً بر معیارهای زیست‌محیطی متمرکز هستند به‌عنوان معیارهای اصلی انتخاب در نظر گرفته‌شده است. پژوهشگر در این پروژه ویژگی موجود در محل‌های موردنظر را به اعدادی کمی بدل کرده و نهایتاً مکان‌های پیشنهادی را با یک مکان ایده‌آل مقایسه کرده و نتیجه را گزارش داده است. مطالعه موردی این تحقیق شهر آتن در کشور یونان بوده است. [۱۳]

پژوهش مشابه‌ای نیز در ایران و در سال ۲۰۱۱ توسط حافظی و حاجی‌زاده باهدف مکان‌یابی سایت مناسب برای دفن زباله‌های پرخطر شهری و بیمارستانی در استان خراسان رضوی انجام‌شده است. در این پژوهش نه مکان از پیش تعیین‌شده بر اساس پانزده معیار بررسی‌شده و در پایان چهار منطقه از میان نه مکان معرفی‌شده به‌عنوان مناسب‌ترین محل‌ها شناسایی شده‌اند. [۱۴]

زامورانو و همکاران در سال ۲۰۱۸ پژوهشی برای مکان‌یابی سایت دفن زباله‌های جامد شهری در کشور اسپانیا انجام دادند و در آن از تکنیک GIS استفاده کردند. در این پژوهش نیز ۵ معیار زیست‌محیطی انتخاب شده و با کمک روش سلسله‌مراتبی و ترکیب آن با وزن دهی فازی پژوهششان را به سرانجام رساندند. در پایان نقشه‌ای جامع تهیه کرده و به مناطق بررسی‌شده امتیاز دادند. [۱۵]

مکان‌یابی انبارهای لجستیک کالا به دلیل اثر آن‌ها بر ارزش‌افزوده و هزینه‌ی تمام‌شده‌ی کالاها، همچنین تأثیر آن بر افزایش رضایت‌مندی مشتریان و بهبود عملکرد زنجیره‌ی تأمین، در زمره‌ی مکان‌یابی‌های مهم صنعتی محسوب می‌شود. کورپلا و تومین (۲۰۰۶) پژوهشی را با این موضوع و با در نظر گرفتن مؤلفه‌های کمی و کیفی انجام داده و برای رسیدن به پاسخ از دوازده زیرمعیار منتخب استفاده کرده‌اند. آن‌ها وزن دهی مکان‌ها را با کمک روش AHP انجام داده و درنهایت سه گزینه‌ی مورد بررسی‌شان را بر همین اساس اولویت‌بندی نمودند. [۱۶]

مکان‌یابی احداث کارخانه‌ی فرآوری مواد معدنی پژوهش دیگری است که سفری و همکاران در سال ۲۰۱۰ انجام داده و در آن از روش تاپسیس^۷ فازی استفاده نموده است. در این پژوهش چهارده زیرمعیار در نظر گرفته‌شده و با استفاده از نظرات و تجربیات خبرگان و به هر مؤلفه امتیاز اختصاصی داده‌شده است و در پایان گروه پژوهش بر مبنای روش تحلیلی‌شان بهترین گزینه را معرفی نموده‌اند. [۱۷]

۳. روش تحقیق

به‌منظور جمع‌آوری اطلاعات برای شناسایی مشخصه‌های انتخاب مکان مناسب در فاز اول به مطالعه‌ی پژوهش‌های انجام‌شده در محدوده‌ی این تحقیق برای شناسایی بهتر هدف‌های موردنظر پژوهش پرداخته شد و طی آن تلاش شد تا معیارهای مورداستفاده در هر پژوهش و همچنین روش اولویت‌بندی و امتیازدهی پژوهشگران بررسی گردد. در ابتدا به آن دسته از پژوهش‌هایی پرداخته شد که در آن‌ها مسائل مطرح‌شده با کمک تصمیم‌گیری چند معیار تحلیل‌شده و مشخصه‌ها و معیارهای متفاوتی برای مکان‌یابی تعریف شده بود. پس از انجام این بررسی‌ها، پژوهشگر معیارهایی که می‌توانستند در پژوهش جاری نیز موضوعیت داشته و مورد استفاده قرار گیرند را شناسایی کرده و بدین ترتیب فهرستی از مشخصه‌های مورد وثوق در مسائل مکان‌یابی استخراج گردید.

در فرآیند شناسایی شاخص‌ها چنین فرض شده است که تمامی اماکن پیشنهادشده برای ساخت مخازن، حداقل شروط

1. Supply Water Resource
2. Ground Water table/quality
3. Geology
4. Land Use
5. Fuzzy Analytic Hierarchy Process
6. Geographic Information System
7. Technique for order Preference Loy Similarity To Ideal Solution





لازم برای اجرای پروژه را دارا می‌باشند، به همین منظور مکان‌های پیشنهادی بر اساس مشخصه‌هایی دقیق ارزیابی شده و منطقه‌ای که بیشترین امتیاز را به دست آورد به عنوان مکان منتخب مشخص گردید؛ بنابراین می‌توان گفت که معیارهای موردبررسی در این پژوهش در راستای رد یا قبول مکان‌های پیشنهادی مورد استفاده قرار نگرفته‌اند بلکه تنها به عنوان مشخصه‌هایی برای مقایسه مقبولیت مکان‌های مورد نظر که از منظر پارامترهای اولیه مورد تأیید بوده‌اند به کار گرفته شده‌اند. در فاز دوم، شناسایی معیارهای مورد نظر برای مکان‌یابی آن‌هم اختصاصاً با موضوع پروژه جاری موردبررسی قرار گرفت. در این راستا، از تخصص و تجربیات خبرگان و کارشناسانی که با موضوع پروژه ارتباط داشته و در این زمینه صاحب نظر هستند استفاده شده است. برای این کار، در ابتدا گروه‌های ذینفع در پروژه شناسایی شده و پس از آن، افراد بر اساس میزان تخصص و آشنایی‌شان با موضوع پژوهش، امکان دسترسی گروه پژوهش به آن‌ها و دست‌کم داشتن ۲۰ سال سابقه‌ی کار مرتبط انتخاب گردیدند. ترکیب گروه خبرگان (نمایندگان جامعه آماری پژوهش) عبارت است از:

- ۲ نفر از کارشناسان متخصص و با سابقه در شرکت‌های مهندسی مشاور (دلیل انتخاب: اشراف این افراد به مسائل فنی و مهندسی و شرایط محتمل در پروژه‌های مکان‌یابی)
- ۳ مدیر ارشد از کارمندان رسمی وزارت نفت (دلیل انتخاب: وزارت نفت تصمیم‌گیر اصلی و نهایی در حوزه‌ی استخراج، ذخیره‌سازی و فروش نفت خام بوده و تلاش شده است افراد منتخب با استانداردهای صنعت نفت و ملزومات حقوقی پروژه آشنایی داشته باشند)
- ۱ نفر کارشناس و متخصص کار بلد در حوزه‌ی محیط زیست (دلیل انتخاب: نقش پررنگ مسائل زیست‌محیطی در طرح‌ها و پروژه‌های مکان‌یابی)
- ۲ نفر از شرکت‌های پیمانکاری باتجربه کار در سمت سرپرست کارگاه در پروژه‌های نفت و گاز (دلیل انتخاب: تجربه فنی و عملی در ساخت و اجرای پروژه‌های نفت و گاز)
- ۱ نفر از اساتید متخصص در حوزه‌ی مدیریت مالی پروژه‌ها (دلیل انتخاب: تحلیل مبانی اقتصادی طرح)
- ۱ نفر جامعه‌شناس (دلیل انتخاب: ارزیابی شرایط اجتماعی موجود و بررسی آثار اجتماعی ناشی از اجرای طرح)

در جلسات مصاحبه، خلاصه‌ای از موضوع پژوهش و روش تحقیق عنوان شد و در راستای همسو نمودن دیدگاه‌ها، مفاهیمی مانند توسعه پایدار، انواع روش‌های ذخیره‌سازی زیرسطحی و سایر مسائل مرتبطه برای مصاحبه‌شوندگان طرح گردید.

با بهره‌گیری از اطلاعات حاصل از بررسی پژوهش‌های مشابه و همچنین با بهره‌گیری از نظرات متخصصان و خبرگان باتجربه در حوزه‌ی موردبررسی، تلاش شده است تا مؤلفه‌های تأثیرگذار در ارتباط با مکان‌یابی از منظر توسعه پایدار، با در نظر گرفتن سه معیار اصلی اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی مشخص گردد. در ابتدا معیارهای اصلی و سپس زیرمعیارهای به‌طور مجزا آورده شده است. همچنین در بررسی تمامی این مؤلفه‌ها فرض اولیه بر آن بوده که کلیه‌ی مکان‌های معرفی شده، حداقل شرایط مورد نیاز برای احداث مخازن زیرسطحی را دارا می‌باشند. متخصصین در این مرحله ۲۲ زیرمعیار را در قالب سه گروه اصلی معیارهای اقتصادی، معیارهای اجتماعی و معیارهای زیست‌محیطی شناسایی نمودند که این معیارها همراه با زیرمعیارهای بیان شده به شرح زیر می‌باشند.

۴-۱. معیارهای اقتصادی

در بررسی اولین مجموعه از معیارها، پارامترها و مؤلفه‌هایی که به صورت مستقیم یا غیرمستقیم در مباحث اقتصادی پروژه اثرگذارند ارزیابی شده‌اند. تفاوت مؤلفه‌های اقتصادی با دو بخش دیگر در آن است که مؤلفه‌های اقتصادی مستقیماً با موضوع پروژه در ارتباط بوده و بر محیط پروژه اثر می‌گذارد اما بخش‌های اجتماعی و زیست‌محیطی معمولاً شامل مواردی می‌شوند که بر محیط‌های خارج پروژه مؤثرند. مهم‌ترین مؤلفه‌های شناسایی شده در حوزه‌ی اقتصادی عبارتند از میزان درآمدها و هزینه‌های پروژه، محدودیت‌های مؤثر بر ساخت مانند زمین، مصالح، تکنولوژی، ژئوتکنیک و ...، حدود جغرافیایی و محدودیت‌های دسترسی و نهایتاً مسائل راهبردی و سیاسی.

میزان درآمدها و هزینه‌های پروژه (E_1)

شاخص اقتصادی سود به هزینه (B/C)^۱ از پارامترهای بسیار مهم در مکان‌یابی پروژه‌ها است.

هزینه‌ی احداث و بهره‌برداری از پروژه (E_{1-1})

هزینه‌های پروژه به سه بخش هزینه‌های مستقیم ساخت، هزینه‌های غیرمستقیم ساخت و هزینه‌های بهره‌برداری از پروژه^۲ تقسیم می‌شوند.

1. Benefit/ Cost Indicator

2. Lifecycle Costs

تأثیر اقتصادی اجرای طرح بر منطقه (E_{1.2})

اجرای پروژه‌های بزرگ علی‌الخصوص در مناطق دورافتاده و محروم همواره با تأثیرات مثبت اقتصادی برای مردم بومی همراه بوده است.

ایجاد انگیزه برای سرمایه‌گذاران (E_{1.3})

هزینه‌های اولیه‌ی نسبتاً زیاد برای احداث مخازن زیرسطحی نکته‌ای است که نباید از آن غافل شد. هزینه‌ی بیشتر، امکان سرمایه‌گذاری دولتی را به شدت کاهش می‌دهد لذا ضروری است که برای افزایش تمایل سرمایه‌گذاران مستقل، مکان پروژه را به گونه‌ای انتخاب کرد که انگیزه‌های لازم برای سرمایه‌گذاران به وجود بیاید.

محدودیت‌های ژئوتکنیک مؤثر بر ساخت (E₂)

پروژه‌ی تحت بررسی، احداث مخازن زیرسطحی در اعماق زمین است، از این جهت بررسی محدودیت‌های زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی در مکان‌یابی این طرح، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

مشکلات ساخت و اجرا (E_{2.1})

روش و کیفیت ساخت در هر پروژه‌ای می‌تواند اثری مستقیم بر هزینه‌های اجرایی پروژه داشته باشد. تکنولوژی مورد استفاده و نوع ماشین‌آلات در توجیه‌پذیری فنی و اقتصادی پروژه جایگاه بسیار ویژه‌ای دارد.

مشخصات فنی در حوزه‌ی زمین‌شناسی (E_{2.2})

روش و کیفیت ساخت در هر پروژه‌ای می‌تواند اثری مستقیم بر هزینه‌های اجرایی پروژه داشته باشد. تکنولوژی مورد استفاده و نوع ماشین‌آلات در توجیه‌پذیری فنی و اقتصادی پروژه جایگاه بسیار ویژه‌ای دارد.

مخازن، منابع و معادن فعال و غیرفعال منطقه (E_{2.3})

مقایسه‌ی مکان‌های مختلف از حیث نزدیکی یا دوری به منابع و معادنی مانند زغال‌سنگ، گاز طبیعی، نفت خام، سنگ‌های قیمتی و ... در مکان‌یابی پروژه‌های صنعتی از اهمیت زیادی برخوردار است.

کیفیت دسترسی و مختصات جغرافیایی طرح (E₃)

میزان و کیفیت دسترسی محل اجرای پروژه به شهرهای بزرگ، راه‌های اصلی، پایانه‌های وارداتی و صادراتی نفت خام و

همچنین دسترسی به مسیرهای انتقال نفت، معیاری اثرگذار در مبحث مسائل اقتصادی است.

دسترسی شاه‌راه‌های مواصلاتی و شهرهای بزرگ (E_{3.1})

تأمین نیروی انسانی و تجهیزات پروژه اغلب یکی از مخاطرات پروژه‌های خارج از شهر است.

نزدیکی به ترمینال‌ها و پایانه‌های صادراتی و وارداتی (E_{3.2})

اولین هدف از احداث مخازن استراتژیک نفت خام، ذخیره‌ی نفت برای شرایط اضطرار و تأمین استراتژیک نفت برای مصارف داخلی و صادراتی است و عمده‌ترین راه انتقال و ترانزیت نفت کشور ما نیز از طریق دریا و با بهره‌گیری از نفت‌کش‌های بزرگ صورت می‌پذیرد.

نزدیکی به میادین استخراج نفت خام و تجهیزات انتقال (E_{3.3})

انتقال نفت در مسیرهای داخلی عموماً از طریق خط لوله صورت می‌گیرد و نزدیکی مخازن به منابع استخراج یکی از راه‌های مهم در کاهش هزینه‌های پایپینگ و انتقال است.

مسائل سیاسی و استراتژیک (E₄)

در همه جای دنیا، تعریف پروژه‌ها به شکلی صورت می‌پذیرد که مسائل مهم و استراتژیک، موقعیت‌های جغرافیایی، لابی‌ها و مسائل سیاسی و ... را نیز دربر بگیرد.

تأثیر متقابل سازمان‌ها و ارگان‌های مرتبط بر پروژه (E_{4.1})

اخلال در پروژه یا کمک به اجرای بهتر طرح، دو روی سکه‌ی همکاری متقابل با سازمان‌های دولتی است.

ثبات و تأمین امنیت پروژه (E_{4.2})

فاصله‌ی پروژه تا مرزهای کشور، نوع رابطه‌ی سیاسی کشور با سایر همسایه‌ها، محدودیت‌های قانونی و منطقه‌ای، ثبات داخلی و توان تدافعی کشور در تأمین امنیت پروژه‌های استراتژیک در مناطق مختلف متفاوت بوده و به همین دلایل تأمین امنیت و ثبات پروژه نیز باید به عنوان یک مؤلفه در فرآیند مکان‌یابی لحاظ گردد.

شرایط توسعه‌های آتی پروژه (E_{4.3})

در این پروژه خاص امکان احداث مخازن مشابه و توسعه‌ی طرح اولیه در مکان انتخاب‌شده، یکی دیگر از دغدغه‌های گروه مکان‌یابی می‌باشد.



۴-۲. معیارهای اجتماعی

به طور کلی مؤلفه‌های اجتماعی اثرگذار بر مکان‌یابی پروژه‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند؛ دسته اول معیارهایی هستند که نتیجه‌ی تأثیر جامعه بر پروژه‌اند مانند مباحث فرهنگی و مسائل مشارکتی. دسته دوم معیارهایی هستند که ناشی از تأثیر اجرای پروژه بر جامعه می‌باشند، مانند مسائل رفاهی و مباحث ایمنی و سلامت. در این بخش معیارها به پنج زیرشاخه تقسیم شده که در ادامه به تشریح آن‌ها پرداخته شده است.

تأثیر اجرای پروژه بر جاذبه‌های گردشگری (S₁):

حفظ این آثار ضرورتی انکارناشدنی است. مجاورت بناهای باستانی، جاذبه‌های تاریخی و اکوسیستم‌های طبیعی منطقه با مکان‌های اجرایی پروژه می‌تواند اثرات زیان‌بار و غیرقابل‌جبران بر آن‌ها داشته و صنعت گردشگری منطقه را از اساس ویران کند.

اثرات اجرای پروژه بر جامعه‌ی محلی (S₂):

استفاده از منابع آب، انرژی و تأسیسات زیربنایی مشترک با منطقه می‌تواند مشکلاتی را به خصوص در شهرهای کوچک و مناطق دورافتاده به وجود آورد. از طرف دیگر اجرای پروژه مزایایی هم برای منطقه دارد و بدون شک اجرای پروژه‌های بزرگ باعث بهبود تأسیسات، امکانات و شرایط مبادلات منطقه را می‌شود. از نتایج مثبت اجرای پروژه‌های بزرگ در مناطق مختلف به خصوص مناطق محروم می‌توان به افزایش سطح رفاه عمومی، افزایش سطح اطلاعات و دانش مردم منطقه، اشتغال‌زایی و کاهش مهاجرت به شهرهای بزرگ اشاره نمود.

تأثیر فرهنگ منطقه بر روند اجرای پروژه (S₃):

سطح سواد، آگاهی و دانش مردم منطقه در همکاری و تسهیل امور مرتبط با پروژه و درک مسائل و مشکلات پیش‌آمده بسیار مهم است. اجرای موفق پروژه در هر منطقه از فرهنگ، باورها و اعتقادات قومی و مذهبی منطقه اثرپذیر می‌باشد.

ایمنی و سلامت (S₄):

ایمنی و سلامت از سه جنبه ایمنی و سلامتی کارگران و افراد پروژه در زمان ساخت و راه‌اندازی پروژه، ایمنی و سلامتی کارکنان در زمان بهره‌برداری و در نهایت تأثیرات ناشی از پروژه بر ایمنی و سلامت اهالی منطقه در زمان

ساخت و بهره‌برداری می‌بایست مدنظر قرار گیرد.

مشارکت نهادها و شوراهای محلی و منطقه‌ای (S₅):

نهادهای دولتی منطقه اجرای طرح، همان‌قدر که می‌توانند بروکراسی بازدارنده و یا کندکننده‌ی در جریان اجرای پروژه ایجاد نمایند، می‌توانند تسهیل‌گر فرآیند پروژه هم باشند؛ در نتیجه در برخی موارد اجرای صحیح و کامل پروژه بدون همکاری و حمایت آن‌ها میسر نمی‌باشد. در بین ذی‌نفعان دولتی سازمان حفاظت محیط‌زیست، فرمانداری، شبکه بهداشت، سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی، اداره کار و سایر سازمان‌ها نقش عمده‌ای در تسهیل فرآیند اجرای پروژه و تأمین تسهیلات محلی دارند.

۴-۳. معیارهای زیست‌محیطی

یکی از مهم‌ترین اهداف توسعه پایدار حفظ محیط‌زیست و منابع طبیعی هست. ارزیابی اثرات زیست‌محیطی ناشی از اجرای هر پروژه یکی از مهم‌ترین معیارهای ارزیابی پروژه‌ها و پیش‌نیاز سرمایه‌گذاری در پروژه‌های بزرگ می‌باشد. در این بخش معیارها در پنج دسته کلی جهت پوشش مباحث مربوط به ایجاد آلودگی، منابع و انرژی مصرفی، تأثیر بر منابع آب، مدیریت ضایعات و تأثیر بر اکوسیستم گیاهی و جانوری تقسیم‌بندی می‌شوند.

آلودگی (P₁):

فرآیند ساخت تأسیسات و حفاری درون زمین از یک‌طرف سبب آلودگی خاک و لایه‌های درون زمین می‌شود و از طرف دیگر می‌تواند آلودگی آب‌های زیرزمینی و آب‌های سطحی را در پی داشته باشد. فرآیندهای اجرا و به خصوص بهره‌برداری می‌توانند از نظر ایجاد سروصدا، گرد و غبار و بوی نامناسب، متصاعد شدن آلاینده‌هایی نظیر CO₂، سرب و غیره سبب کاهش کیفیت هوا گردد. لذا میزان تأثیر آلودگی در لایه‌های زمین، هوا، آب و غیره از جمله عواملی است که می‌بایست در محل بررسی و مقایسه شود.

منابع و انرژی مصرفی (P₂):

یکی از اهداف توسعه پایدار تأمین نیازهای نسل امروز بدون از بین بردن قابلیت‌های نسل آینده در تأمین نیازهایشان می‌باشد. از این رو استفاده بهینه از منابع برگشت‌ناپذیر طبیعی و استفاده از مصالح و منابعی که ضرر کمتری به محیط‌زیست وارد می‌کنند ضروری می‌باشد.

تأثیر بر منابع آب (P_3):

در این روش از فن بردار ویژه برای عناصر مقایسات زوجی استفاده شده است.

پس از شناسایی معیارهای مکان‌یابی پرسشنامه‌ای جهت اولویت‌بندی معیارها تهیه گردید. پرسشنامه به گونه‌ای طراحی گردید که در ابتدا سه معیار اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیست (سطح دوم از نمودار سلسله‌مراتبی) با یکدیگر مقایسه و اولویت‌بندی شوند به ترتیبی که عدد ۱ نشان‌دهنده معیار با بیشترین اولویت، عدد ۲ نشان‌دهنده معیار با اولویت دوم و اعداد بعدی نشان‌دهنده اولویت‌های بعدی می‌باشند. سپس در سطوح پایین‌تر نمودار سلسله‌مراتبی، اولویت معیارهای اقتصادی در ۵ دسته کلی (یک دسته جهت مقایسه معیارهای اصلی و ۴ دسته در خصوص مقایسه زیر معیارها) و پس از آن اولویت معیارهای اجتماعی و محیط‌زیست توسط هر یک از پاسخ‌دهندگان و به ترتیبی که بیان شد مشخص گردیدند. برای مثال اولویت‌های تعیین شده هر یک از افراد برای مقایسه اهمیت معیارهای اقتصادی، اجتماعی و محیط‌زیست (سطح اول نمودار سلسله‌مراتبی) به شرح مندرج در (جدول ۱) می‌باشد. ترجیحات ۴۱ نفر ($k=41$) برای سه معیار فوق عبارت است از:

جدول ۱: آرای خبرگان در خصوص معیارهای اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی

ردیف	ارجحیت	تعداد رأی‌دهنده
۱	$E>S>P$	۷
۲	$E>P>S$	۱۹
۳	$S>E>P$	۰
۴	$S>P>E$	۰
۵	$P>E>S$	۱۲
۶	$P>S>E$	۳

در جدول فوق E نشان‌دهنده معیار اقتصادی، S نشان‌دهنده معیار اجتماعی و P بیانگر معیار محیط‌زیست است. برای مثال تعداد نفراتی که اهمیت معیار اقتصادی را بیش از اجتماعی دانسته‌اند از جمع ردیف‌های ۱، ۲ و ۵ جدول فوق به دست می‌آید که برابر ۳۸ می‌باشد و ۳ نفر نیز عقیده‌ای عکس این ارجح دانستن معیار اجتماعی به اقتصادی دارند. عدد مندرج در سطر اول و ستون دوم نسبت E/S یعنی $38/3$ را نشان می‌دهد.

تأثیر حفاری و ساخت پروژه بر جریان آب‌های سطحی و زیرزمینی و تبعات بعدی آن مانند خشک شدن چاه‌های منطقه بر اثر افزایش استخراج آب از آن‌ها، کاهش آب پشت یک سد، بحران در آب شرب و تأمین آب موردنیاز برای کشاورزی از جمله مواردی است که می‌بایست در نظر گرفته شوند.

تأثیر بر اکوسیستم گیاهی و جانوری (P_4):

اجرای پروژه در یک منطقه و تبدیل شدن آن به یک منطقه صنعتی می‌تواند تهدیدی برای گونه‌های نادر و خاص گیاهی و جانوری باشد و یا باعث کوچ اجباری جانوران از آن محل گردد.

مدیریت ضایعات (P_5):

به حداقل رساندن میزان اتلاف انرژی مصرفی و جلوگیری از هدر رفت مواد هیدروکربوری ذخیره‌شده در مخزن در زمان بهره‌برداری از جمله این موارد می‌باشند.

منابع و انرژی مصرفی (P_6):

به حداقل رساندن میزان اتلاف انرژی مصرفی و جلوگیری از هدر رفت مواد هیدروکربوری ذخیره‌شده در مخزن در زمان بهره‌برداری از جمله این موارد می‌باشند.

۵. محاسبه وزن معیارها با استفاده از روش AHP گروهی

در این مرحله از روش تحلیل سلسله‌مراتبی گروهی^۱ استفاده شده است. از روش تحلیل سلسله‌مراتبی گروهی (GAHP) زمانی استفاده می‌شود که بخواهیم از دیدگاه چندین کارشناس برای انجام مقایسه‌های زوجی استفاده کنیم. به عبارتی دیگر فرآیند تحلیل سلسله‌مراتبی گروهی روشی برای انجام و تجمیع مقایسه‌های زوجی بر اساس دیدگاه گروهی از خبرگان جهت بهبود تصمیم‌گیری می‌باشد. این روش به‌نوعی ادامه بحث فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی است. در واقع یکی از مهم‌ترین کاربردهای تصمیم‌گیری چندمعیاره، کاربرد آن‌ها در تصمیم‌گیری گروهی است. مزیت تحلیل سلسله‌مراتبی گروهی در مقایسه با روش غیر گروهی آن است که می‌توان علاوه بر حفظ مزایای روش تحلیل سلسله‌مراتبی، معایب روش تصمیم‌گیری گروهی مانند کندی در محاسبات و امثالهم را به حداقل رساند. همچنین

1. GAHP

جدول ۲: ارجحیت افراد برای مقایسه معیارهای اصلی اقتصادی

E		
ردیف	ارجحیت	تعداد رأی دهنده
۱	$E_1 > E_3 > E_2 > E_4$	۲
۲	$E_2 > E_1 > E_4 > E_3$	۳
۳	$E_1 > E_3 > E_4 > E_2$	۱
۴	$E_2 > E_3 > E_1 > E_4$	۶
۵	$E_1 > E_4 > E_2 > E_3$	۳
۶	$E_3 > E_2 > E_1 > E_4$	۲
۷	$E_3 > E_1 > E_2 > E_4$	۲
۸	$E_4 > E_1 > E_2 > E_3$	۴
۹	$E_2 > E_3 > E_4 > E_1$	۲
۱۰	$E_4 > E_3 > E_1 > E_2$	۳
۱۱	$E_1 > E_2 > E_3 > E_4$	۳
۱۲	$E_4 > E_2 > E_1 > E_3$	۱
۱۳	$E_1 > E_2 > E_4 > E_3$	۲
۱۴	$E_2 > E_1 > E_3 > E_4$	۴
۱۵	$E_2 > E_4 > E_1 > E_3$	۱
۱۶	$E_4 > E_3 > E_1 > E_2$	۱
۱۷	$E_4 > E_1 > E_3 > E_2$	۱

بنابراین برای نسبت رأی دهندگان داریم:

$$D_{3 \times 3} = \begin{matrix} & E_1 & E_2 & E_3 & E_4 \\ \begin{matrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \\ E_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & \frac{23}{18} & \frac{24}{17} & \frac{28}{13} \\ \frac{23}{18} & 1 & \frac{28}{13} & \frac{24}{17} \\ \frac{15}{26} & \frac{13}{28} & 1 & \frac{22}{19} \\ \frac{13}{28} & \frac{14}{27} & \frac{19}{22} & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} = \begin{matrix} & E_1 & E_2 & E_3 & E_4 \\ \begin{matrix} E_1 \\ E_2 \\ E_3 \\ E_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1.27778 & 1.41176 & 2.15385 \\ 1.27778 & 1 & 2.15385 & 1.92857 \\ 0.57692 & 0.46429 & 1 & 1.15789 \\ 0.46429 & 0.51852 & 0.86384 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (7)$$

پس از ۴ مرحله انجام محاسبات اوزان همگرا می شوند که به نتایج هر مرحله بدین شرح می باشد:

$$W_1 = \begin{bmatrix} .31413 \\ .341913 \\ .17198 \\ .17198 \end{bmatrix} \quad W_2 = \begin{bmatrix} .327084 \\ .348199 \\ .170323 \\ .154393 \end{bmatrix} \quad W_3 = \begin{bmatrix} .327322 \\ .348189 \\ .170222 \\ .154267 \end{bmatrix} \quad W_4 = \begin{bmatrix} .327322 \\ .348198 \\ .170218 \\ .154262 \end{bmatrix} \quad (8)$$

همان طور که ملاحظه گردید پس از همگرا شدن نتایج اوزان به دست آمده برای هریک از معیارها به ترتیب برابر است با ۳۳٪ برای معیار سود و هزینه، ۳۵٪ برای معیار مسائل ساخت، ۱۷٪ برای محدودیت های دسترسی و ۱۵٪ برای مسائل استراتژیک.

در خصوص زیر معیارهای بخش سود و هزینه ارجحیت افراد در (جدول ۳) نشان داده شده اند. در این جدول E_{11} نشان دهنده هزینه های اجرا و بهره برداری، E_{12} بیانگر تأثیرات اقتصادی بر منطقه و E_{13} انگیزه های سرمایه گذاری را نشان می دهند.

بنابراین برای نسبت رأی دهندگان داریم:

$$D_{3 \times 3} = \begin{matrix} & E & S & P \\ \begin{matrix} E \\ S \\ P \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & \frac{38}{3} & \frac{26}{15} \\ \frac{3}{38} & 1 & \frac{7}{34} \\ \frac{15}{26} & \frac{34}{7} & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (1)$$

مرحله اول:

 گام اول: محاسبه De (یک ماتریس ستونی واحد است)

$$De = \begin{bmatrix} 1 & 12.6667 & 1.7333 \\ 0.07895 & 1 & 0.1707 \\ 0.57692 & 4.85714 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 15.4 \\ 1.25 \\ 6.43 \end{bmatrix} \quad (2)$$

گام دوم:

$$e^t.De = (1 \quad 1 \quad 1) \begin{bmatrix} 15.4 \\ 1.25 \\ 6.43 \end{bmatrix} = 23.0837 \quad (3)$$

گام سوم: محاسبه وزن هر معیار

$$W_2 = \frac{De}{e^t.De} = \begin{bmatrix} 0.67 \\ 0.054 \\ 0.28 \end{bmatrix} \quad (4)$$

تا همگرا شدن وزن مراحل بالا را تکرار می کنیم:

مرحله دوم:

$$D^2 = \begin{bmatrix} 3 & 33.75 & 5.63 \\ 0.26 & 2.83 & 0.48 \\ 1.54 & 17.2 & 2.83 \end{bmatrix} \quad D^2.e = \begin{bmatrix} 42.38 \\ 3.56 \\ 21.39 \end{bmatrix} \quad e^t.D^2.e = 67.33 \quad W_2 = \begin{bmatrix} 0.63 \\ 0.053 \\ 0.32 \end{bmatrix}$$

مرحله سوم:

$$D^3 = \begin{bmatrix} 8.91 & 99.09 & 16.59 \\ 0.76 & 8.40 & 1.41 \\ 4.51 & 50.23 & 8.40 \end{bmatrix} \quad D^3.e = \begin{bmatrix} 124.599 \\ 10.56 \\ 63.15 \end{bmatrix} \quad e^t.D^3.e = 198.311 \quad W_3 = \begin{bmatrix} 0.63 \\ 0.053 \\ 0.32 \end{bmatrix} \quad (6)$$

همان گونه که رابطه فوق نشان می دهد نتایج حاصله پس از انجام ۳ مرحله محاسبات همگرا گردیده اند و بیانگر این مطلب می باشند که معیار اقتصادی با ۶۳٪ اهمیت، اولویت ۱ و معیارهای محیط زیست و اجتماعی با اوزان ۳۲٪ و ۵٪ به ترتیب در اولویت های دوم و سوم قرار می گیرند. بدین ترتیب محاسبات فوق در هر یک از گروه ها تا همگرا شدن اوزان انجام گردید که محاسبات و نتایج آن برای تمامی گروه ها در ادامه آورده شده است.

۵-۱. وزن معیارها و زیر معیارهای اقتصادی

نتایج حاصل از مقایسه ۴ معیار اصلی اقتصادی به شرح (جدول ۲) می باشد. در جدول مذکور E_1 بیانگر معیار سود و هزینه، E_2 محدودیت های ژئوتکنیکی و ساخت، E_3 مختصات جغرافیایی و E_4 مسائل سیاسی و استراتژیک می باشد.

جدول ۳: ارجحیت افراد برای مقایسه زیر معیارهای سود و هزینه

E ₁		
ردیف	ارجحیت	تعداد رأی دهنده
۱	E ₁₁ >E ₁₂ >E ₁₃	۱
۲	E ₁₁ >E ₁₃ >E ₁₂	۸
۳	E ₁₂ >E ₁₁ >E ₁₃	۵
۴	E ₁₂ >E ₁₃ >E ₁₁	۱۱
۵	E ₁₃ >E ₁₁ >E ₁₂	۳
۶	E ₁₃ >E ₁₂ >E ₁₁	۱۳

برای نسبت رأی دهندگان داریم:

$$D_{3 \times 3} = \begin{matrix} & E_{11} & E_{12} & E_{13} \\ E_{11} & \begin{bmatrix} 1 & \frac{29}{12} & \frac{27}{14} \end{bmatrix} \\ E_{12} & \begin{bmatrix} \frac{12}{29} & 1 & \frac{24}{17} \end{bmatrix} \\ E_{13} & \begin{bmatrix} \frac{14}{27} & \frac{17}{24} & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} = \begin{bmatrix} 1 & 2.41667 & 1.928571 \\ .413793 & 1 & 1.411765 \\ .518519 & .708333 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

پس از ۶ مرحله انجام محاسبات اوزان همگرا می شوند که به نتیجه بدین شرح می باشد:

$$W_6 = \begin{bmatrix} .51859 \\ .25902 \\ .22239 \end{bmatrix} \quad (10)$$

ماتریس فوق نشان دهنده وزن معیار هزینه های ساخت و بهره برداری به میزان ۵۲٪، اهمیت معیار تأثیر بر اقتصاد منطقه حدود ۲۶٪ و وزن معیار سرمایه گذاری به میزان ۲۲٪ می باشد.

نظرات خبرگان در خصوص زیرمعیارهای دومین معیار اصلی بخش اقتصادی نیز در (جدول ۴) نشان داده شده است. در این جدول E₂₁، E₂₂ و E₂₃ به ترتیب نشان دهنده روش ها و مسائل ساخت، مشخصات زمین شناسی منطقه و وجود منابع و معادن فعال و غیرفعال در نزدیکی مخزن می باشد.

جدول ۴: ارجحیت افراد برای مقایسه زیر معیارهای محدودیت های ژئوتکنیکی و ساخت

E ₂		
ردیف	ارجحیت	تعداد رأی دهنده
۱	E ₂₁ >E ₂₂ >E ₂₃	۶
۲	E ₂₁ >E ₂₃ >E ₂₂	۸
۳	E ₂₂ >E ₂₁ >E ₂₃	۰
۴	E ₂₂ >E ₂₃ >E ₂₁	۰
۵	E ₂₃ >E ₂₁ >E ₂₂	۱۸
۶	E ₂₃ >E ₂₂ >E ₂₁	۹

لذا ماتریس نسبت رأی دهندگان بدین صورت می باشد:

$$D_{3 \times 3} = \begin{matrix} & E_{21} & E_{22} & E_{23} \\ E_{21} & \begin{bmatrix} 1 & \frac{9}{32} & \frac{27}{14} \end{bmatrix} \\ E_{22} & \begin{bmatrix} \frac{32}{9} & 1 & \frac{14}{35} \end{bmatrix} \\ E_{23} & \begin{bmatrix} \frac{14}{27} & \frac{6}{35} & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} = \begin{bmatrix} 1 & .28125 & 1.928571 \\ 3.55556 & 1 & 5.83333 \\ .518519 & .17143 & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

لذا ماتریس نسبت رأی دهندگان بدین صورت می باشد:

$$W_6 = \begin{bmatrix} .20337 \\ .68533 \\ .11129 \end{bmatrix} \quad (12)$$

نتایج محاسبات نشان می دهد که وزن معیارهای روش ها و مسائل ساخت، مشخصات زمین شناسی و مجاورت مخزن با منابع و معادن فعال و غیرفعال به ترتیب برابر ۲۰٪، ۶۹٪ و ۱۱٪ می باشد. نتایج ارزیابی زیرمعیارهای بخش مختصات جغرافیایی و مسائل دسترسی نیز در (جدول ۵) آمده است.

جدول ۵: ارجحیت افراد برای مقایسه زیر معیارهای مختصات جغرافیایی و مسائل دسترسی

E ₃		
ردیف	ارجحیت	تعداد رأی دهنده
۱	E ₃₁ >E ₃₂ >E ₃₃	۱۷
۲	E ₃₁ >E ₃₃ >E ₃₂	۲۱
۳	E ₃₃ >E ₃₁ >E ₃₂	۰
۴	E ₃₃ >E ₃₂ >E ₃₁	۱
۵	E ₃₂ >E ₃₁ >E ₃₃	۱
۶	E ₃₂ >E ₃₃ >E ₃₁	۱

ماتریس نسبت ها و نتیجه همگرایی اوزان پس از ۶ مرحله محاسبات انجام شده به شرح ذیل می باشد:

$$D_{3 \times 3} = \begin{matrix} & E_{31} & E_{32} & E_{33} \\ E_{31} & \begin{bmatrix} 1 & \frac{2}{39} & \frac{1}{40} \end{bmatrix} \\ E_{32} & \begin{bmatrix} \frac{39}{2} & 1 & \frac{22}{19} \end{bmatrix} \\ E_{33} & \begin{bmatrix} \frac{40}{1} & \frac{19}{22} & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} = \begin{bmatrix} 1 & .051282 & .025 \\ 19.5 & 1 & 1.157895 \\ 40 & .863636 & 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$W_6 = \begin{bmatrix} .017544 \\ .456477 \\ .525979 \end{bmatrix} \quad (14)$$

لذا اوزان معیارها برابر ۲٪ برای معیار دسترسی به شهرهای بزرگ و راه های اصلی (E₃₁)، ۴۶٪ برای نزدیکی به پایانه های صادراتی و وارداتی (E₃₂) و ۵۲٪ بابت نزدیکی به مسیرهای انتقال نفت و میادین نفتی (E₃₃) می باشد.

(جدول ۶) نیز اولویت های پاسخ دهندگان در خصوص اهمیت زیر معیارهای مسائل سیاسی و استراتژیک را نشان می دهد.



جدول ۶: ارجحیت افراد برای مقایسه زیر معیارهای مسائل سیاسی و استراتژیک

E ₃		
ردیف	ارجحیت	تعداد رأی دهنده
۱	E ₄₁ > E ₄₂ > E ₄₃	۴
۲	E ₄₁ > E ₄₃ > E ₄₂	۲۳
۳	E ₄₃ > E ₄₁ > E ₄₂	۳
۴	E ₄₃ > E ₄₂ > E ₄₁	۴
۵	E ₄₂ > E ₄₁ > E ₄₃	۴
۶	E ₄₂ > E ₄₃ > E ₄₁	۳

$$D_{3 \times 3} = \begin{matrix} & E_{41} & E_{42} & E_{43} \\ \begin{matrix} E_{41} \\ E_{42} \\ E_{43} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & \frac{8}{33} & \frac{11}{30} \\ \frac{33}{8} & 1 & \frac{11}{30} \\ \frac{30}{11} & \frac{11}{30} & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} = \begin{bmatrix} 1 & .242424 & .366667 \\ 4.125 & 1 & 2.727273 \\ 2.727273 & .366667 & 1 \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$W_6 = \begin{bmatrix} .121041 \\ .607733 \\ .271224 \end{bmatrix} \quad (16)$$

(جدول ۷) وزن هر یک از معیارهای اصلی بخش اقتصادی و زیر معیارهای آن‌ها را نشان می‌دهد. در این جدول، وزن هر یک از زیر معیارها نسبت به تمامی ۱۲ زیر معیار بخش اقتصادی با در نظر گرفتن ضریب اهمیت معیار اصلی مربوطه مشخص شده است. برای مثال معیار هزینه‌های اجرا و بهره‌برداری در گروه سود و هزینه ضریب وزنی معادل ۵۲٪ را به خود اختصاص داده است، در حالی که نسبت به کل معیارهای اقتصادی اهمیتی برابر ۱۷٪ را دارا می‌باشد (۱۷٪ = ۵۲٪ * ۳۳٪).

ماتریس نسبت‌ها و نتیجه همگرایی اوزان پس از ۶ مرحله محاسبات نشان دهنده اهمیت معیارهای تأثیرسازمان‌هاوارگان‌های مرتبط با پروژه (E₄₁) به میزان ۱۲٪، ثبات و امنیت داخلی و خارجی (E₄₂) معادل ۶۱٪ و امکان توسعه آتی ۲۷٪ می‌باشد.

جدول ۱. اطلاعات اقتصادی برای تبدیل واحد متانول به پروپیلن در ایران

وزن نسبت به کلبه کل معیارهای اقتصادی	وزن در هر گروه	زیر معیار	وزن معیار اصلی	معیار اصلی
۱۷/۱۱	۵۲٪	هزینه‌های اجرا، ساخت و بهره‌برداری	۳۳٪	مباحث سود و هزینه
۸/۵۵	۲۶٪	تأثیرات اقتصادی بر منطقه		
۷/۳۴	۲۲٪	انگیزه‌های سرمایه‌گذاری در منطقه		
۸/۴۲	۲۰٪	روش‌ها و مسائل ساخت	۳۵٪	محدودیت‌های ژئوتکنیکی و ساخت
۲۱/۹۸	۶۹٪	مشخصات زمین‌شناسی منطقه		
۴/۶۱	۱۱٪	منابع فعال/غیرفعال در نزدیکی مخزن		
۰/۳	۲٪	دسترسی به شهرهای بزرگ/راه‌های اصلی	۱۷٪	مختصات جغرافیایی و دسترسی
۷/۷۶	۴۶٪	پایانه‌های وارداتی/صادراتی		
۸/۹۴	۵۲٪	دسترسی به مناطق نفتی و مسیرهای انتقال نفت		
۱/۸۱	۱۲٪	تأثیر سازمان و ارگان‌های دولتی مرتبط با پروژه	۱۶٪	مسائل سیاسی و استراتژیک
۹/۱۱	۶۱٪	ثبات و امنیت داخلی و خارجی منطقه		
۴/۰۷	۲۷٪	امکان توسعه‌های آتی و افزایش ظرفیت مخزن		

۵-۲. وزن معیارهای اجتماعی

برای ۵ معیار اصلی بخش اجتماعی نتایج نظرات در محلی، S₃ تأثیر فرهنگ منطقه بر روند اجرای پروژه، S₄ ایمنی و سلامت و مشارکت نهادهای و شوراهای محلی و تأثیر بر جاذبه‌های گردشگری، S₂ تأثیرات پروژه بر جامعه منطقه‌ای را نشان می‌دهند.

جدول ۸: ارجحیت افراد برای مقایسه معیارهای اجتماعی

S		
ردیف	ارجحیت	تعداد رأی دهنده
۱	$S_4 > S_1 > S_2 > S_3 < S_5$	۳
۲	$S_4 > S_2 > S_1 > S_3 > S_5$	۴
۳	$S_4 > S_2 > S_1 > S_3 > S_5$	۲
۴	$S_4 > S_1 > S_2 > S_3 > S_5$	۳
۵	$S_4 > S_1 > S_5 > S_2 > S_3$	۱
۶	$S_4 > S_3 > S_2 > S_1 > S_5$	۲
۷	$S_4 > S_3 > S_2 > S_3 > S_1$	۳
۸	$S_1 > S_4 > S_3 > S_3 > S_2$	۲
۹	$S_4 > S_3 > S_3 > S_2 > S_1$	۲
۱۰	$S_4 > S_1 > S_5 > S_3 > S_2$	۱
۱۱	$S_1 > S_2 > S_3 > S_4 > S_5$	۱
۱۲	$S_2 > S_3 > S_5 > S_4 > S_1$	۲
۱۳	$S_4 > S_2 > S_3 > S_3 > S_1$	۱
۱۴	$S_3 > S_3 > S_2 > S_1 > S_4$	۱
۱۵	$S_4 > S_2 > S_3 > S_1 > S_5$	۲
۱۶	$S_4 > S_1 > S_3 > S_2 > S_5$	۱
۱۷	$S_4 > S_3 > S_2 > S_3 > S_1$	۲
۱۸	$S_2 > S_4 > S_3 > S_3 > S_1$	۱
۱۹	$S_4 > S_2 > S_3 > S_1 > S_3$	۲
۲۰	$S_2 > S_4 > S_3 > S_1 > S_5$	۱
۲۱	$S_3 > S_4 > S_3 > S_1 > S_2$	۱
۲۲	$S_4 > S_3 > S_2 > S_1 > S_3$	۱
۲۳	$S_2 > S_3 > S_4 > S_3 > S_1$	۱
۲۴	$S_4 > S_2 > S_3 > S_3 > S_1$	۱

همچنین وزن معیارها بر اساس روش محاسبه ذکر شده در بالا محاسبه گردیده است که ماتریس نسبت‌ها و نتایج همگرا شدن اوزان پس از ۴ مرحله انجام محاسبات بدین صورت می‌باشد:

$$D = \begin{bmatrix} S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 \\ 1 & 13/28 & 21/20 & 4/37 & 23/18 \\ 28/13 & 1 & 28/13 & 6/33 & 30/11 \\ 20/21 & 13/28 & 1 & 4/37 & 21/22 \\ 37/4 & 33/6 & 37/4 & 1 & 38/3 \\ 28/23 & 11/30 & 22/21 & 3/38 & 1 \end{bmatrix} = \quad (17)$$

$$\begin{bmatrix} 1 & .46429 & 1.05 & .10811 & 1.27778 \\ 2.15385 & 1 & 2.15385 & .18182 & 2.72727 \\ .95238 & .46429 & 1 & .10811 & .95455 \\ 9.25 & 5.5 & 9.25 & 1 & 12.667 \\ 1.21739 & .36667 & 1.04762 & .07895 & 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \end{matrix}$$

$$W_4 = \begin{bmatrix} .068261 \\ .138738 \\ .063139 \\ .668509 \\ 0.061352 \end{bmatrix} \quad (18)$$

وزن هر یک از معیارهای اجتماعی در (جدول ۹) نشان داده شده‌اند:

جدول ۹: وزن معیارهای بخش اجتماعی

میزان اهمیت	معیار اصلی
۷٪	تأثیر بر جاذبه‌های گردشگری
۱۴٪	تأثیرات پروژه بر جامعه محلی
۶٪	تأثیر فرهنگ منطقه بر روند اجرای پروژه
۶۷٪	ایمنی و سلامت
۶٪	مشارکت شوراهای محلی و منطقه‌ای

۳-۵. وزن معیارهای محیط‌زیست

نظرات پاسخ‌دهندگان در خصوص ارزیابی ۵ معیار اصلی محیط‌زیست و نتایج محاسبات به شرح (جدول ۱۰) و محاسبات ذیل می‌باشد:

جدول ۱۰: ارجحیت افراد برای مقایسه معیارهای محیط‌زیست

P		
ردیف	ارجحیت	تعداد رأی دهنده
۱	$P_1 > P_3 > P_4 > P_2 < P_5$	۳
۲	$P_1 > P_3 > P_4 > P_5 < P_2$	۸
۳	$P_1 > P_4 > P_3 > P_2 < P_5$	۱
۴	$P_2 > P_3 > P_3 > P_1 < P_4$	۱
۵	$P_2 > P_3 > P_1 > P_4 < P_5$	۱
۶	$P_1 > P_4 > P_3 > P_3 < P_2$	۱
۷	$P_3 > P_4 > P_1 > P_2 < P_5$	۲
۸	$P_2 > P_1 > P_3 > P_4 < P_5$	۲
۹	$P_3 > P_1 > P_3 > P_4 < P_2$	۳
۱۰	$P_1 > P_2 > P_5 > P_3 < P_4$	۱
۱۱	$P_3 > P_1 > P_4 > P_5 < P_2$	۲
۱۲	$P_3 > P_1 > P_4 > P_2 < P_5$	۴
۱۳	$P_1 > P_3 > P_2 > P_3 < P_4$	۱
۱۴	$P_1 > P_3 > P_3 > P_4 < P_2$	۱
۱۵	$P_1 > P_3 > P_5 > P_2 < P_4$	۱
۱۶	$P_1 > P_4 > P_2 > P_5 < P_3$	۱
۱۷	$P_1 > P_3 > P_3 > P_4 < P_2$	۱
۱۸	$P_3 > P_4 > P_1 > P_3 < P_2$	۱
۱۹	$P_1 > P_2 > P_3 > P_4 < P_5$	۱
۲۰	$P_2 > P_3 > P_3 > P_4 < P_1$	۱
۲۱	$P_3 > P_1 > P_2 > P_4 < P_5$	۱
۲۲	$P_3 > P_2 > P_1 > P_3 < P_4$	۲
۲۳	$P_1 > P_4 > P_3 > P_5 < P_2$	۱



جدول ۱۱: وزن معیارهای بخش محیط زیست

میزان اهمیت	معیار اصلی
۴۴٪	آلودگی
۷٪	انرژی
۳۱٪	تأثیر بر منابع آب
۱۱٪	تأثیر بر اکوسیستم گیاهی و جانوری
۷٪	مدیریت ضایعات

$$D = \begin{bmatrix} P_1 & P_2 & P_3 & P_4 & P_5 \\ 1 & 8/33 & 25/16 & 36/5 & 35/6 \\ 8/33 & 1 & 10/31 & 11/30 & 19/22 \\ 16/25 & 31/10 & 1 & 35/6 & 31/10 \\ 5/36 & 30/11 & 6/35 & 1 & 28/13 \\ 6/35 & 22/19 & 10/31 & 13/28 & 1 \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 4.125 & 1.5625 & 7.2 & 5.83333 \\ .24242 & 1 & .32258 & .36667 & .86364 \\ .64 & 3.1 & 1 & 5.83333 & 3.1 \\ .13889 & 2.72727 & .17143 & 1 & 2.15385 \\ .17143 & 1.15789 & .32258 & .46429 & 1 \end{bmatrix}$$

$$W_4 = \begin{bmatrix} .445837 \\ .07075 \\ .306901 \\ .105884 \\ .070628 \end{bmatrix} \quad (20)$$

به طور خلاصه میزان اهمیت معیارهای اصلی و زیرمجموعه

هر یک از این ابعاد به همراه میزان اهمیت آن‌ها در (شکل ۱) نشان داده شده است.

(جدول ۱۱) نیز اوزان به دست آمده برای هر یک از معیارهای بخش محیط زیست را نشان می دهد.



شکل ۱: وزن هر یک از ابعاد توسعه پایدار و معیارهای اصلی زیرمجموعه آن‌ها

۶. تحلیل و اولویت بندی معیارها

تأمین مالی پروژه‌ها باشد. حال آنکه میزان هزینه و درآمد همواره یکی از شاخص‌هایی است که در مطالعات و ارزیابی توجیه پذیری اقتصادی پروژه‌ها عاملی تعیین کننده می باشد.

در خصوص محدودیت‌های ژئوتکنیکی و ساخت نیز همان گونه که در متن شرح داده شد، مشخصات زمین شناسی منطقه تأثیر بسیار زیادی در انتخاب محل مناسب برای اجرای پروژه دارد و نتایج تحقیق نیز نشان می دهد حدود ۷۰٪ اولویت بخش فنی مهندسی بر وضعیت زمین شناسی منطقه تعلق دارد و درحالی که انتخاب روش مناسب ساخت و مجاورت با معادن و منابع فعال و غیرفعال به ترتیب با ۲۰٪ و ۱۰٪ در اولویت های بعدی قرار دارند.

دسته سوم از معیارهای اقتصادی که مختصات جغرافیایی و مسائل دسترسی می باشد نیز حدود ۹۸٪ اولویت این بخش بر نزدیکی به مناطق نفتی و مسیرهای انتقال نفت (۵۲٪) و نزدیکی به پایانه های صادراتی و وارداتی نفت خام (۴۶٪)

پس از انجام محاسبات و تعیین وزن معیارها و زیرمعیارها، در ادامه به بیان اولویت ها و تحلیل نتایج پرداخته می شود. نتایج ابتدا در هر زیر گروه تحلیل می شوند و سپس به بررسی نتایج در گروه های اصلی پرداخته می شود، به عبارت دیگر بررسی نمودار سلسله مراتبی از پایین به بالا انجام می شود.

۶-۱. تحلیل معیارهای اقتصادی

در خصوص مباحث سود و هزینه نتایج نشان می دهد که بیش از نیمی از اهمیت این بخش را هزینه های اجرا، ساخت و بهره برداری شامل می شوند. این در حالی است که زیر معیارهای تأثیرات اقتصادی بر منطقه و انگیزه های سرمایه گذاری در منطقه با اهمیت تقریباً مساوی با یکدیگر و از اولویت کمتری برخوردارند که علت آن می تواند به دلیل نامشهود بودن اثرات اقتصادی بر جامعه / منطقه اجرای پروژه و یا روش های مختلف



تعلق دارد. نکته جالب توجه در این بخش این است که هرچند دسترسی به شهرهای بزرگ و راه‌های اصلی می‌تواند مزایایی چون تسریع در تأمین و تدارکات کالا و تجهیزات، دسترسی به امکانات بیشتر برای اسکان کارکنان، تسهیل در رفت و آمدها و استفاده از زیرساخت‌های منطقه را به همراه داشته باشد ولی این موضوع نقش چندانی در مکان‌یابی مخازن زیرزمینی ندارد. آخرین دسته از معیارهای اقتصادی مسائل سیاسی و استراتژیک می‌باشند که با توجه به اینکه عدم ثبات و امنیت داخلی و خارجی می‌تواند پروژه را از ابعاد مختلفی مانند تأمین تجهیزات خارجی، عدم مشارکت شرکت‌های داخلی و خارجی در طراحی و اجرای پروژه، انتقال تکنولوژی و تأمین سرمایه موردنیاز با چالش مواجه کند لذا این موضوع بیش از ۶۰٪ اهمیت مسائل سیاسی و استراتژیک را به خود اختصاص داده است. در همین بخش دارا بودن قابلیت افزایش ظرفیت مخزن و امکان توسعه‌های آتی از ۲۷٪ اهمیت برخوردار است. از طرف دیگر، هرچند پروژه احداث مخازن زیرزمینی از جمله پروژه‌های بزرگی است که برای اجرای موفقیت‌آمیز آن نیاز به هماهنگی و همکاری سازمان‌های دولتی و ارگان‌های مختلف منطقه مرتبط می‌باشد ولی تنها ۱۲٪ از شرکت‌کنندگان در تحقیق آن را عاملی تأثیرگذار در مکان‌یابی داشته‌اند.

حال پس از بررسی میزان اولویت زیر معیارهای بخش اقتصادی به بیان تحلیل ارزیابی اهمیت معیارهای اصلی این بخش پرداخته می‌شود. از ۴ معیار اصلی در این بخش دو معیار محدودیت‌های ژئوتکنیکی و ساخت و مباحث سود و هزینه بیش از ۲/۳ اهمیت را دارا می‌باشند درحالی‌که دو معیار دیگر (مختصات جغرافیایی و دسترسی و مسائل سیاسی و استراتژیک) تنها ۱/۳ اولویت‌ها را تشکیل می‌دهند که علت آن نیز اهمیت زیر معیارها در هر بخش است که قبلاً به تفصیل بیان گردید.

(جدول ۱۲) اولویت زیر معیارهای بخش اقتصادی را بر اساس اوزان به‌دست‌آمده نشان می‌دهد:

جدول ۱۲: معیارها و زیر معیارهای بخش اقتصادی به ترتیب اولویت

اولویت در کل	درصد نسبت به کل معیارهای اقتصادی	وزن در هر گروه	معیار اصلی	زیر معیار
۱	۲۱/۹۸	۴۴٪	محدودیت‌های ژئوتکنیکی و ساخت	مشخصات زمین‌شناسی منطقه
۲	۱۷/۱۱	۳۱٪	مباحث سود و هزینه	هزینه‌های اجرا، ساخت و بهره‌برداری
۳	۹/۱۱	۱۱٪	مسائل سیاسی و استراتژیک	ثبات و امنیت داخلی و خارجی منطقه
۴	۸/۹۴	۳۱٪	مختصات جغرافیایی/ دسترسی	دسترسی به مناطق نفتی/ مسیرهای انتقال نفت
۵	۸/۵۵	۱۱٪	مباحث سود و هزینه	تأثیرات اقتصادی بر منطقه
۶	۸/۴۲	۳۱٪	محدودیت‌های ژئوتکنیکی و ساخت	روش‌ها و مسائل ساخت
۷	۷/۷۶	۳۱٪	مختصات جغرافیایی/ دسترسی	پایانه‌های وارداتی/ صادراتی
۸	۷/۳۴	۱۱٪	مباحث سود و هزینه	انگیزه‌های سرمایه‌گذاری در منطقه
۹	۴/۶۱	۳۱٪	محدودیت‌های ژئوتکنیکی و ساخت	منابع فعال/غیرفعال در نزدیکی مخزن
۱۰	۴/۰۷	۱۱٪	مسائل سیاسی و استراتژیک	امکان توسعه‌های آبی و افزایش ظرفیت مخزن
۱۱	۱/۸۱	۷٪	مسائل سیاسی و استراتژیک	تأثیر سازمان و ارگان‌های دولتی و مرتبط با پروژه
۱۲	۰/۳	۷٪	مختصات جغرافیایی/ دسترسی	دسترسی به شهرهای بزرگ/ راه‌های اصلی

۲-۶. تحلیل معیارهای اجتماعی

پس از بررسی معیارهای اقتصادی به بررسی معیارها از دومین بُعد توسعه پایدار یعنی جنبه اجتماعی پرداخته می‌شود. از میان ۵ معیار شناسایی شده در این بخش معیار ایمنی و سلامت جامعه و افراد درگیر در پروژه با اهمیتی به میزان ۶۷٪ از نظر شرکت‌کنندگان در تحقیق بیشترین اولویت را به خود اختصاص داده است. دومین معیار مهم بخش اجتماعی تأثیرات ناشی از اجرای پروژه بر جامعه محلی می‌باشد که اهمیتی حدود ۱۴٪ را دارد. پس از آن سه معیار دیگر (تأثیر بر جاذبه‌های گردشگری، تأثیر فرهنگ مردم منطقه بر روند اجرای پروژه میزان همکاری و مشارکت شوراهای محل و منطقه‌ای) با اهمیتی تقریباً یکسان در رده‌های پایین‌تر قرار می‌گیرند. (جدول ۱۳) اهمیت و اولویت این معیارها را در تصمیم‌گیری نشان می‌دهد.



جدول ۱۳: معیارهای بخش اجتماعی به ترتیب اولویت

اولویت	میزان اهمیت	معیار اصلی
۱	۶۷٪	ایمنی و سلامت
۲	۱۴٪	تأثیرات پروژه بر جامعه محلی
۳	۷٪	تأثیر بر جاذبه‌های گردشگری
۴-۵	۶٪	تأثیر فرهنگ منطقه بر روند اجرای پروژه
۴-۵	۶٪	مشارکت شوراهای محلی و منطقه‌ای

انرژی و تأثیر بر اکوسیستم گیاهی و جانوری در رده‌های بعدی اولویت‌بندی قرار می‌گیرد. قابل ذکر است که هرچند تأثیر بر اکوسیستم گیاهی و جانوری یکی از مهم‌ترین جنبه‌های حفاظت از محیط‌زیست می‌باشد ولی در ارزیابی‌های صورت گرفته به‌عنوان معیاری با کمترین اهمیت شناخته شده است. (جدول ۱۴) اهمیت و اولویت این معیارها را در مکان‌یابی‌ها نشان می‌دهد.

جدول ۱۴: وزن و اولویت معیارهای بخش زیست‌محیطی

اولویت	میزان اهمیت	معیار اصلی
۱	۴۴٪	آلودگی
۲	۳۱٪	تأثیر بر منابع آب
۳	۱۱٪	تأثیر بر اکوسیستم گیاهی و جانوری
۴-۵	۷٪	انرژی
۴-۵	۷٪	مدیریت ضایعات

(جدول ۱۵) تمامی معیارهای شناسایی شده، درصد وزنی هر یک نسبت به معیار مربوطه و میزان اهمیت آن‌ها در کل فرآیند تصمیم‌گیری را نشان می‌دهد.

جدول ۱۵: وزن نهایی معیارها

کد	زیر معیار	وزن در معیار اصلی مربوطه	وزن در کل
E ₁₋₁	هزینه‌های اجرا، ساخت و بهره‌برداری	۱۷,۱۱٪	۱۰,۷۸٪
E ₂₋₁	تأثیرات اقتصادی بر منطقه	۸,۵۵٪	۵,۳۹٪
E ₃₋₁	انگیزه‌های سرمایه‌گذاری در منطقه	۷,۳۴٪	۴,۶۲٪
E ₁₋₂	روش‌ها و مسائل ساخت	۸,۴۲٪	۵,۳۰٪
E ₂₋₂	مشخصات زمین‌شناسی منطقه	۲۱,۹۸٪	۱۳,۸۵٪
E ₃₋₂	منابع فعال/غیرفعال در نزدیکی مخزن	۴,۶۱٪	۲,۹۰٪
E ₁₋₃	دسترسی به شهرهای بزرگ/راه‌های اصلی	۰,۳۰٪	۰,۱۹٪
E ₂₋₃	پایانه‌های وارداتی/صادراتی	۷,۷۶٪	۴,۸۹٪
E ₃₋₃	دسترسی به مناطق نفتی و مسیرهای انتقال نفت	۸,۹۴٪	۵,۶۳٪
E ₁₋₄	تأثیر سازمان و ارگان‌های دولتی مرتبط با پروژه	۱,۸۱٪	۱,۱۴٪
E ₂₋₄	ثبات و امنیت داخلی و خارجی منطقه	۹,۱۱٪	۵,۷۴٪
E ₃₋₄	امکان توسعه‌های آبی و افزایش ظرفیت مخزن	۴,۰۷٪	۲,۵۶٪
S ₁	تأثیر بر جاذبه‌های گردشگری	۷,۰۰٪	۰,۳۵٪
S ₂	تأثیرات پروژه بر جامعه محلی	۱۴,۰۰٪	۰,۷۰٪
S ₃	تأثیر فرهنگ منطقه بر روند اجرای پروژه	۶,۰۰٪	۰,۳۰٪
S ₄	ایمنی و سلامت	۶۷,۰۰٪	۳,۳۵٪
S ₅	مشارکت شوراهای محلی و منطقه‌ای	۶,۰۰٪	۰,۳۰٪
P ₁	آلودگی	۴۴,۰۰٪	۱۴,۰۹٪
P ₂	انرژی	۷,۰۰٪	۲,۲۴٪
P ₃	تأثیر بر منابع آب	۳۱,۰۰٪	۹,۹۲٪
P ₄	تأثیر بر اکوسیستم گیاهی و جانوری	۱۱٪	۳,۵۲٪
P ₅	مدیریت ضایعات	۷٪	۲,۲۴٪
جمع کل			۱۰۰٪

۶. مکان‌یابی و مدل‌سازی

ماتریس حاصل از مقایسه دو به دو مکان‌ها برابر است با:

	جاسک	گناوه	پارسیان	چابهار	گچساران
جاسک	۰/۳۲۲۵۸	۰/۱۳۸۸۹	۰/۱۷۱۴۳	۰/۰۷۸۹۵	۱
گچساران	۲/۷۲۷۲۷	۱/۴۱۱۷۶	۱/۱۵۷۸۹	۱	۱۲/۶۶۶۷
پارسیان	۱/۵۶۲۵	۰/۷۰۸۳۳	۱	۰/۸۶۳۶۴	۵/۸۳۳۳۳
گناوه	۳/۵۵۵۵۶	۱	۱/۴۱۱۷۶	۰/۷۰۸۳۳	۷/۲
چابهار	۱	۰/۲۸۱۲۵	۰/۶۴	۰/۳۶۶۶۷	۳/۱

در ادامه تحقیق به منظور انتخاب مناسب‌ترین مکان جهت احداث مخازن زیرزمینی ذخیره‌سازی نفت خام در ایران و بر اساس معیارهای شناسایی شده، پنج مکان به عنوان گزینه‌های نهایی در نظر گرفته شده‌اند. گزینه‌های موردنظر بر اساس مطالعات پیش امکان‌سنجی انجام شده توسط پژوهش و توسعه شرکت ملی نفت ایران عبارتند از ساختگاه‌های گچساران، پارسیان، چابهار، گناوه و جاسک.

پس از انجام ۴ مرحله محاسبات مربوطه و همگرا شدن اوزان، وزن هر مکان و اولویت مربوط بدین شرح می‌باشد:

رتبه	وزن	
۵	۰/۰۳	گچساران
۱	۰/۳۵	چابهار
۳	۰/۲۲	پارسیان
۲	۰/۲۹	گناوه
۴	۰/۱۱	جاسک

جهت اولویت‌بندی مکان‌ها از روش AHP گروهی استفاده شده است. بدین ترتیب با استفاده از پرسشنامه، از خبرگان درخواست گردید گزینه‌های مذکور را بر اساس هر یک از معیارهای شناسایی شده در مرحله قبل، اولویت‌بندی نمایند.

برای مثال نتایج حاصل از اولویت‌بندی ۵ مکان موردنظر بر اساس معیار هزینه‌های اجرا ساخت و بهره‌برداری بدین شرح می‌باشد:

جاسک	گناوه	پارسیان	چابهار	گچساران	
۱۰/۳۱	۵/۳۶	۶/۳۵	۳/۳۸	۱	گچساران
۳۰/۱۱	۲۴/۱۷	۲۲/۱۹	۱	۳۸/۳	چابهار
۲۵/۱۶	۱۷/۲۴	۱	۱۹/۲۲	۳۵/۶	پارسیان
۳۲/۹	۱	۲۴/۱۷	۱۷/۲۴	۳۶/۵	گناوه
۱	۹/۳۲	۱۶/۲۵	۱۱/۳۰	۳۱/۱۰	جاسک

نتایج نشان می‌دهد ساخت مخازن زیرزمینی در گچساران با بیشترین هزینه و در چابهار با کمترین هزینه انجام می‌شود. (جدول ۱۶) نتایج اولویت‌بندی‌ها و وزن پنج گزینه موردنظر بر اساس هر یک از ۲۲ معیار را نشان می‌دهد.

جدول ۱۶: وزن (اولویت) مکان‌ها

کد	نام معیار	جاسک	گناوه	پارسیان	چابهار	گچساران
E ₁₋₁	هزینه‌های اجرا، ساخت و بهره‌برداری	۰/۱۱(۴)	۰/۲۹(۲)	۰/۲۲(۳)	۰/۳۴(۱)	۰/۰۳(۵)
E ₁₋₂	تأثیرات اقتصادی بر منطقه	۰/۴۳(۱)	۰/۲۶(۲)	۰/۱۶(۳)	۰/۰۵(۵)	۰/۱۰(۴)
E ₁₋₃	انگیزه‌های سرمایه‌گذاری در منطقه	۰/۰۶(۵)	۰/۱۵(۳)	۰/۱۰(۴)	۰/۴۴(۱)	۰/۲۴(۲)
E ₂₋₁	روش‌ها و مسائل ساخت	۰/۱۲(۴)	۰/۰۸(۵)	۰/۲۵(۲)	۰/۱۷(۳)	۰/۳۸(۱)
E ₂₋₂	مشخصات زمین‌شناسی منطقه	۰/۱۲(۴)	۰/۰۸(۵)	۰/۲۰(۲)	۰/۱۶(۳)	۰/۴۵(۱)
E ₂₋₃	منابع و معادن فعال و غیرفعال در نزدیکی مخزن	۰/۳۵(۱)	۰/۲۵(۲)	۰/۱۸(۳)	۰/۰۹(۵)	۰/۱۳(۴)
E ₃₋₁	دسترسی به شهرهای بزرگ / راه‌های اصلی	۰/۰۶(۵)	۰/۲۲(۳)	۰/۰۹(۴)	۰/۴۸(۱)	۰/۱۶(۳)
E ₃₋₂	نزدیکی به پایانه‌های وارداتی / صادراتی	۰/۱۳(۴)	۰/۳۸(۱)	۰/۱۷(۳)	۰/۱۰(۵)	۰/۲۲(۲)
E ₃₋₃	دسترسی به مناطق نفتی و مسیرهای انتقال نفت	۰/۱۴(۴)	۰/۳۵(۱)	۰/۱۸(۳)	۰/۱۱(۵)	۰/۲۱(۲)
E ₄₋₁	تأثیر سازمان‌ها و ارگان‌های دولتی مرتبط با پروژه	۰/۰۸(۵)	۰/۲۵(۲)	۰/۱۶(۳)	۰/۳۷(۱)	۰/۱۴(۴)
E ₄₋₂	ثبات و امنیت داخلی و خارجی منطقه	۰/۰۸(۵)	۰/۲۲(۳)	۰/۰۹(۴)	۰/۴۵(۱)	۰/۱۶(۳)
E ₄₋₃	امکان توسعه‌های آتی	۰/۳۳(۱)	۰/۲۴(۲)	۰/۱۸(۳)	۰/۱۰(۵)	۰/۱۵(۴)
S ₁	تأثیر بر جاذبه‌های گردشگری	۰/۳۵(۱)	۰/۲۳(۲)	۰/۱۶(۳)	۰/۱۱(۵)	۰/۱۵(۴)
S ₂	تأثیر پروژه بر جامعه محلی	۰/۳۴(۱)	۰/۲۵(۲)	۰/۱۰(۵)	۰/۱۷(۳)	۰/۱۴(۴)
S ₃	تأثیر فرهنگ مردم منطقه بر روند اجرای پروژه	۰/۰۷(۵)	۰/۱۰(۴)	۰/۲۷(۲)	۰/۱۷(۳)	۰/۴۰(۱)
S ₄	ایمنی و سلامت	۰/۱۰(۴)	۰/۱۵(۳)	۰/۰۸(۵)	۰/۲۱(۲)	۰/۴۶(۱)
S ₅	همکاری و مشارکت شوراهای محلی و منطقه‌ای	۰/۰۸(۵)	۰/۲۲(۳)	۰/۱۱(۴)	۰/۴۲(۱)	۰/۱۶(۳)



۷-۱. محاسبه وزن نهایی مکان‌ها

هم‌اکنون وزن معیارها نسبت به هدف و همچنین وزن مکان‌ها نسبت به معیارها محاسبه شده است. از آنجاکه وزن معیارها منعکس‌کننده اهمیت آن‌ها در تعیین هدف بوده و وزن هر گزینه نسبت به معیارها سهم آن گزینه در معیار مربوطه می‌باشد، می‌توان وزن نهایی هر گزینه را از مجموع حاصل ضرب وزن هر معیار در وزن گزینه مربوط به آن معیار به دست آورد.

برای مثال وزن مکان گچساران از مجموع حاصل ضرب وزن هر یک از ۲۲ معیار در وزن گزینه مربوط به هر معیار به دست می‌آید:

$$\begin{aligned} \text{وزن نهایی مکان گچساران} = & (0.03 \times 0.108) + (0.1 \times 0.054) + (0.24 \times 0.046) + \\ & (0.38 \times 0.053) + (0.16 \times 0.049) + (0.057 \times 0.15) + \\ & (0.026 \times 0.045) + (0.139 \times 0.13) + (0.029 \times 0.16) + \\ & (0.02 \times 0.22) + (0.021 \times 0.056) + (0.14 \times 0.011) + \\ & (0.16 \times 0.057) + (0.15 \times 0.026) + (0.15 \times 0.004) + \\ & (0.14 \times 0.007) + (0.4 \times 0.003) + (0.46 \times 0.34) + \\ & (0.16 \times 0.003) + (0.11 \times 0.144) + (0.1 \times 0.022) + \\ & (0.47 \times 0.099) + (0.1 \times 0.35) + (0.38 \times 0.022) = 0.2393 \end{aligned}$$

(جدول ۱۷) وزن و اولویت نهایی هر یک از معیارها را نشان می‌دهد. بدین ترتیب ساختگاه گچساران با امتیاز ۰/۲۳۹ رتبه اول، ساختگاه‌های چابهار و گناوه به ترتیب با امتیازهای ۰/۲۰۳ و ۰/۲۰۰ رتبه‌های دوم و سوم، ساختگاه پارسین با امتیاز ۰/۱۸۲ در رتبه چهارم و ساختگاه جاسک با امتیاز ۰/۱۷۶ در رتبه پنجم قرار می‌گیرد.

رتبه	وزن	
۱	۲۳/۹	گچساران
۲	۲۰/۳	چابهار
۳	۲۰/۰	پارسین
۴	۱۸/۲	گناوه
۵	۱۷/۶	جاسک

۷-۲. تلفیق فرآیند سلسله‌مراتبی گروهی با برنامه‌ریزی خطی

فرض کنیم شرکت ملی نفت ایران در نظر دارد برنامه‌ریزی لازم برای احداث مخازن زیرزمینی نفت خام به ظرفیت ذخیره‌سازی حدود ۵۰ میلیون بشکه را انجام دهد. هدف حداکثر نمودن ظرفیت ذخیره‌سازی با در نظر گرفتن محدودیت‌های موجود است. بر اساس استراتژی شرکت،

حداکثر میزان سرمایه‌گذاری در پروژه ۷۰۰ میلیون دلار برآورد می‌گردد. همچنین فرض می‌شود مخازن مذکور حداکثر در سه مکان ساخته شوند. از طرف دیگر هر یک از محل‌ها با محدودیت ظرفیت ذخیره‌سازی مواجه هستند که این محدودیت‌ها در جدول ذیل آمده است.

از آنجاکه هزینه تمام‌شده جهت ساخت در هر یک از مکان‌ها با یکدیگر متفاوت می‌باشند، لذا هزینه ساخت مخازن به ازای یک میلیون بشکه ذخیره‌سازی در هر یک از پنج محل انتخابی نیز در (جدول ۱۸) درج شده است.

جدول ۱۸: هزینه ساخت و حداکثر توان ذخیره‌سازی به تفکیک هر شهر

گزینه‌های مکان‌یابی	حداکثر ظرفیت ذخیره‌سازی (میلیون بشکه)	هزینه ساخت به ازای هر یک میلیون بشکه بر اساس میلیون دلار
گچساران	۳۵	۱۷
چابهار	۲۵	۱۱
پارسین	۲۸	۱۳
گناوه	۴۰	۱۲
جاسک	۳۰	۱۵

بر اساس اوزان به‌دست‌آمده برای هر محل تابع هدف عبارت است از:

$$\text{Max } z = 0/239 x_1 + 0/203 x_2 + 0/201 x_3 + 0/183 x_4 + 0/177 x_5$$

که در آن X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 به ترتیب بیانگر میزان ذخیره‌سازی در مکان‌های گچساران، چابهار، پارسین، گناوه و جاسک بوده و ضرایب آن نشان‌دهنده وزن نهایی هر مکان است. همان‌طوری که بیان شد محدودیت‌های مسئله عبارتند از:

- محدودیت ظرفیت ذخیره‌سازی
- محدودیت هزینه
- محدودیت تعداد محل‌های انتخابی

محدودیت ظرفیت:

از آنجاکه ظرفیت ذخیره‌سازی در هر محل محدود می‌باشد خواهیم داشت:

$$x_1 \leq 35y_1, \quad x_2 \leq 25y_2, \quad x_3 \leq 28y_3, \quad x_4 \leq 40y_4, \quad x_5 \leq 30y_5$$

از طرف دیگر حداقل مجموع ظرفیت مخازن ۵۰ میلیون بشکه می‌باشد:

$$Y_i = \text{binary}$$

$$\sum_{i=1}^5 y_i \leq 3$$

مطابق (شکل ۲) با استفاده از Solver از نرم افزار اکسل این مدل برنامه ریزی خطی حل شده و مکان و مقدار بهینه ساخت مشخص شده است. نتایج حاصل از حل مسئله نشان می دهد بهترین مکان ها برای ساخت مخازن، ساختگاه های چابهار و گناوه به ترتیب با ظرفیت های ۲۵ و ۳۵/۴۲ میلیون بشکه می باشند. بدین ترتیب با سرمایه گذاری معادل ۷۰۰ میلیون دلار، امکان ساخت مخازن با مجموع ظرفیت ۶۰/۴۲ میلیون بشکه در مکان های چابهار و گناوه امکان پذیر می باشد.

$$\sum_{i=1}^5 x_i \geq 50$$

محدودیت هزینه:

با توجه به محدودیت بودجه موجود باید مجموع هزینه ساخت کمتر از ۷۰۰ میلیون دلار باشد لذا داریم:

$$17x_1 + 11x_2 + 13x_3 + 12x_4 + 15x_5 \leq 700$$

محدودیت تعداد مکان ها:

همان طور که قبلاً نیز بیان شد حداکثر ۳ مکان از ۵ گزینه موجود می بایست انتخاب شوند، بدین منظور متغیر دیگری تحت عنوان y_i تعریف می شود که بیانگر ساخت یا عدم ساخت در محل موردنظر می باشد.

Objective Cell (Max)

Cell	Name	Original Value	Final Value
\$C\$10	Capacity Weight	60.41666667	60.41666667

Constraints

Cell	Name	Cell Value	Formula	Status	Slack
\$D\$7	حداکثر X_i	0	$\$D\$7 \leq \$H\7	Binding	0
\$D\$6	گناوه X_i	35.41666667	$\$D\$6 \leq \$H\6	Not Binding	4.583333333
\$D\$5	چابهار X_i	0	$\$D\$5 \leq \$H\5	Binding	0
\$D\$4	جانباز X_i	25	$\$D\$4 \leq \$H\4	Binding	0
\$D\$3	گجساران X_i	0	$\$D\$3 \leq \$H\3	Binding	0
\$C\$11	No. of places Weight	2	$\$C\$11 \leq 3$	Not Binding	1
\$C\$10	Capacity Weight	60.41666667	$\$C\$10 \geq 50$	Not Binding	10.41666667
\$C\$9	Cost Weight	700	$\$C\$9 \leq 700$	Binding	0
$\$D\$3:\$D\$7 \geq 0$					
$\$E\$3:\$E\$7 = \text{Binary}$					

شکل ۲: خروجی نرم افزار Excel

۹. نتیجه گیری

مکان یابی احداث مخازن زیرزمینی در ایران از دیدگاه توسعه پایدار، در ابتدا معیارها در سه دسته اصلی معیارهای اقتصادی، اجتماعی و محیط زیست تقسیم بندی شده و سپس غیرمعیارهای هر کدام مشخص گردیدند. به طور خلاصه در دسته اقتصادی چهار معیار اصلی شامل مباحث سود و هزینه، محدودیت های ژئوتکنیکی و ساخت، مشخصات جغرافیایی و دسترسی و مسائل سیاسی و استراتژیک می باشد که هر کدام نیز شامل سه زیر معیارها می باشند. همچنین معیارهایی مانند تأثیر بر جاذبه های طبیعی و گردشگری، تأثیرات پروژه بر جامعه محلی، تأثیر فرهنگ مردم منطقه بر روند اجرای پروژه، میزان همکاری و مشارکت شوراهای محلی و منطقه ای و مباحث ایمنی و سلامت پنج معیارهای اصلی در مباحث اجتماعی می باشند. در دسته بندی محیط زیست نیز پنج معیار اصلی شامل تأثیرات بر اکوسیستم گیاهی و جانوری، مدیریت ضایعات، تأثیرات بر منابع و ذخایر آب، مباحث مصرف انرژی و ایجاد آلودگی ها قرار می گیرد.

این تحقیق در راستای مطالعات امکان سنجی احداث مخازن زیرزمینی ذخیره نفت خام در ایران و باهدف شناسایی مهم ترین معیارهایی که برای یافتن مکان مناسب برای اجرای این پروژه و از دیدگاه توسعه پایدار می بایست لحاظ گردد انجام شده است. امروزه حساسیت بالای مجامع جهانی به حفظ محیط زیست از یک طرف و در نظر گرفتن مسائل اجتماعی متأثر از اجرای پروژه ها از طرف دیگر سبب شده است تا مفاهیم توسعه پایدار به عنوان رکن اصلی کلیه پروژه ها محسوب گردد تا علاوه بر توجیه پذیری اقتصادی، ابعاد اجتماعی و زیست محیطی نیز در بررسی ها و مطالعات پروژه ها لحاظ گردد. از آنجاکه مکان یابی یکی از مراحل اولیه در مطالعات امکان سنجی پروژه ها بوده و نقش تعیین کننده ای در موفقیت آن دارد، ضروری است هر سه بعد توسعه پایدار به صورت یکپارچه و در انتخاب محل مناسب مدنظر قرار گیرد. در تحقیق حاضر پس از شناسایی ۲۲ معیار مؤثر در

در ادامه پنج محل به عنوان گزینه‌های مناسب اجرای پروژه انتخاب و بر اساس معیارهای شناسایی شده ارزیابی و رتبه‌بندی گردیده‌اند. لازم به ذکر است در این تحقیق فرض بر این است که تمامی محل‌های انتخابی حداقل شرایط مورد نیاز برای احداث مخازن زیرزمینی را دارا بوده و تمامی معیارهای ذکر شده در این محل‌ها صدق می‌کند.

در این تحقیق به منظور وزن دهی و اولویت‌بندی معیارها و گزینه‌های پیشنهادی، از روش AHP گروهی و دریافت نظرات خبرگان در بخش‌های مختلف شرکت‌های مهندسی مشاور، پیمانکاری، کارفرما و مراکز علمی و پژوهشی استفاده شده است که نتایج حاصل از آن نشان می‌دهد معیارهای حائز بیشترین وزن در تصمیم‌گیری‌ها عبارتند از مسائل فنی و مهندسی، سود و هزینه، ایجاد آلودگی، مختصات جغرافیایی و تأثیر بر منابع و ذخایر آب. همچنین بر اساس نظرات دریافتی از خبرگان، بیشترین وزن به معیارهای اقتصادی اختصاص داده شده است در حالی که معیارهای زیست‌محیطی از اهمیتی در حدود نیمی از اهمیت معیارهای اقتصادی برخوردار می‌باشند. نتایج اولویت‌بندی گزینه‌ها نیز نشان می‌دهد ساختگاه گچساران با بیشترین امتیاز مناسب‌ترین مکان برای احداث مخازن زیرزمینی در ایران است و پس از آن چابهار و گناوه با امتیازی تقریباً مشابه گزینه‌های مناسب بعدی برای ساخت مخازن می‌باشند.

به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که از نظر مدیران و تصمیم گیران اولویت اول در انتخاب محل احداث پروژه، به مسائل مالی و اقتصادی اختصاص دارد. این در حالی است که هرچند اجرای پروژه می‌تواند اثرات غیرقابل جبرانی بر محیط زیست داشته باشد ولی جنبه محیط زیست آن صرفاً تا اخذ مجوز سازمان محیط زیست در مطالعات اولیه در نظر گرفته می‌شود و تأثیر چندانی بر انتخاب مکان نهایی ندارد. همچنین علی‌رغم اثرات بلندمدت ناشی از اجرای پروژه‌ها بر جامعه اطراف آن و اثرپذیری متقابل روند اجرا و بهره‌برداری از شرایط حاکم بر منطقه پیرامون پروژه، مسائل اجتماعی سهم بسیار کمی در تصمیم‌گیری‌ها دارند. از این رو ضروری است در مطالعات مکان‌یابی برای احداث مخازن زیرزمینی مسائل اقتصادی، اجتماعی و محیط زیست به صورت موازی و یکپارچه در نظر گرفته شوند تا بتوان از اجرای پروژه در راستای دستیابی به توسعه پایدار اطمینان حاصل نمود. همچنین با استفاده از معیارهای شناسایی شده در این تحقیق و تعیین وزن اهمیت هر یک از آن‌ها در فرآیند تصمیم‌گیری، می‌توان مسئله

مکان‌یابی را با در نظر گرفتن محدودیت‌های موجود در واقعیت مدل‌سازی نمود تا بر اساس آن گزینه‌های پیشنهادی بررسی و بهینه‌ترین محل‌ها برای ساخت مخازن انتخاب گردند.

مراجع:

- [۱]. مقدم، علیرضا، ۱۳۸۸؛ «ارزیابی پیامدهای زیست محیطی، اجتماعی و بهداشتی گام اساسی در تضمین توسعه پایدار (بررسی تجربیات طرح‌های منطقه ویژه و نیازهای آینده)» کتاب جامع اولین همایش ملی چشم‌انداز توسعه پایدار یکپارچه و دانایی محور، ص. ۷۰
- [۲]. غفارزاده، رضا، ۱۳۸۲؛ «کاربری و طراحی فضاهای بزرگ زیرزمینی»، ششمین کنفرانس تونل تهران، ص. ۴۱۱-۳۰۹.
- [۳]. ساعتی، توماس (۱۳۸۷)، «تصمیم‌سازی برای مدیران»، ترجمه: علی اصغر توفیق، تهران: سازمان مدیریت صنعتی.
- [4]. C. M. Roberts, G. Branch, R. H. Bustamante, J. C. Castilla, J. Dugan, B. S. Halpern, K. D. Lafferty, H. Leslie, J. Lubchenco, and D. McArdle, "Application of ecological criteria in selecting marine reserves and developing reserve networks," Ecological applications, vol. 13, pp. 215-228, 2013.
- [5]. K. Osieczko, Andrzej Gazda, and Malindžák Dušan, "Factors determining the construction and location of underground gas storage facilities". "Acta Montanisloca Slovakia, 2021.
- [6]. T. Kaya and C. Kahraman, "Multicriteria renewable energy planning using an integrated fuzzy VIKOR & AHP methodology: The case of İstanbul," Energy, vol. 35, pp. 2517-2527, 2016.
- [7]. J. Li, M. H. Rahman, and R. W. Thring, "A fuzzy multi-criteria decision analysis approach for the management of petroleum-contaminated sites," International Journal of Environment and Pollution, vol. 42, pp.

hazardous materials, vol. 160, pp. 473-481, 2018.

- [16]. J. Korpela and M. Tuominen, "A decision aid in warehouse site selection," *International Journal of Production Economics*, vol. 45, pp. 169-180, 2006.
- [17]. M. Safari, R. Kakaei, M. Ataei, and M. Karamoozian, "Using fuzzy TOPSIS method for mineral processing plant site selection," *Arabian Journal of Geosciences*, pp. 1-9, 2010.
- 220-239, 2011.
- [8]. F. Cavallaro and L. Ciraolo, "A multicriteria approach to evaluate wind energy plants on an Italian island," *Energy Policy*, vol. 33, pp. 235-244, 2015.
- [9]. J. J. Wang, Y. Y. Jing, C. F. Zhang, and J. H. Zhao, "Review on multi-criteria decision analysis aid in sustainable energy decision-making," *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 13, pp. 2263-2278, 2009.
- [10]. G. Al-Sharrah, A. Elkamel, and A. Almansoor, "Sustainability indicators for decision-making and optimisation in the process industry: The case of the petrochemical industry," *Chemical Engineering Science*, vol. 65, pp. 1452-1461, 2015.
- [11]. V. Sumathi, U. Natesan, and C. Sarkar, "GIS-based approach for optimized siting of municipal solid waste landfill," *Waste Management*, vol. 28, pp. 2146-2160, 2008.
- [12]. M. H. Vahidnia, A. A. Alesheikh, and A. Alimohammadi, "Hospital site selection using fuzzy AHP and its derivatives," *Journal of environmental management*, vol. 90, pp. 3048-3056, 2009.
- [13]. I. Frantzis, "Methodology for municipal landfill sites selection," *Waste Management & Research*, vol. 11, p. 441, 2013.
- [14]. N. Hafezi Moghaddas and H. Hajizadeh Namaghi, "Hazardous waste landfill site selection in Khorasan Razavi Province, Northeastern Iran," *Arabian Journal of Geosciences*, vol. 4, pp. 103-113, 2011.
- [15]. M. Zamorano, E. Molero, Á. Hurtado, A. Grindlay, and Á. Ramos, "Evaluation of a municipal landfill site in Southern Spain with GIS-aided methodology," *Journal of*



Locating Strategic Oil and Gas Reservoirs with Decision-Making and Linear Planning Techniques

Behrang Latifi¹, Mohamad Ebrahim Tayebi Araghi^{2*}, Hossein Amoozad Khalili³

1. M.Sc. Department of Industrial Engineering, Khorramshahr International Branch, Islamic Azad University, Khorramshahr, Iran
2. Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Khorramshahr International Branch, Islamic Azad University, Khorramshahr, Iran
3. Assistant Professor, Department of Industrial Engineering, Sari Branch, Islamic Azad University, Sari, Iran

*Corresponding Author, Email Address: tayebi_m@ut.ac.ir

Abstract

The possibility of storing carbohydrates for countries that export these products allows them to have the upper hand in international negotiations and bargaining in addition to maintaining the production process. Since surface reservoirs have many limitations and also have low reliability in terms of security, it is necessary for countries to turn to strategic (subsurface) reservoirs for oil and gas storage. The purpose of this research is to prioritize the desired locations for the construction of strategic oil and gas reservoirs in Iran. In this research, the identification of strategic and important criteria for the location of subsurface reservoirs by experienced experts using the free questionnaire was the first tool in identifying the optimal location criteria, and the results were screened by a team of experts. A total of 22 criteria were identified for prioritizing the desired location, and the experts (including 10 experts) prioritized the locations first by using the analytical hierarchy process method, and then by adding restrictions to the results of the analytical hierarchy process, a linear programming model was created. Defined that the results obtained from its solution show that the most important criteria in prioritizing reservoirs are geotechnical limitations and issues related to costs. It was also determined that the most suitable places for the construction of strategic reservoirs are the cities of Gachsaran, Chabahar, Ganaveh, Parsian and Jask respectively. The final desirable result of this research was the selection of the twin cities of Gachsaran, Chabahar and Ganaveh for the strategic storage of underground reservoirs.

Keywords: Location, Multi-Criteria, Decision-Making, Oil and Gas Storage



کشش تقاضای گاز در گروه کشورهای منتخب

سمیرا یساول^۱، پروانه سلاطین^{۲*}

۱. کارشناسی ارشد، گروه مهندسی صنایع، دانشکده فنی و مهندسی، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی واحد، تهران، ایران

۲. استادیار، گروه اقتصاد، واحد فیروزکوه، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزکوه، ایران

آدرس پست الکترونیک نویسنده مسئول مکاتبات: p_salatin@iauec.ac.ir

مقاله علمی - ترویجی

صفحه ۲۹ - ۴۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۷

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۱۷

چکیده

در این مطالعه به برآورد کشش‌های قیمتی، درآمدی و متقاطع تقاضای گاز در گروه کشورهای منتخب درآمد بالا و درآمد متوسط در دوره زمانی ۱۹۹۰-۲۰۲۰ با استفاده از روش پانل دیتا پرداخته شده است. نتایج حاصل از برآورد مدل با استفاده از روش اثرات ثابت نشان داد که گاز، کالایی بی کشش در گروه کشورهای منتخب می‌باشد. کشش قیمتی گاز طبیعی در گروه کشورهای منتخب درآمد بالا و درآمد متوسط به ترتیب ۰,۲۵۶۰۷۷ و ۰,۱۹۶۵۵۳ می‌باشد. عکس‌العمل مصرف‌کنندگان گاز در گروه کشورهای منتخب درآمد بالا، نسبت به تغییر یکسان در قیمت گاز بیشتر از گروه کشورهای منتخب درآمد متوسط می‌باشد. همچنین نتایج حاصل از کشش درآمدی نشان داد که گاز کالایی، ضروری در گروه کشورهای منتخب می‌باشد. کشش درآمدی گاز در گروه کشورهای منتخب درآمد بالا و درآمد متوسط به ترتیب ۰,۳۵۵۶۱۱ و ۰,۴۹۰۹۵۹ می‌باشد و در نهایت نتایج حاصل از برآورد کشش متقاطع نشان داد که برق کالایی جانشین برای گاز در گروه کشورهای منتخب می‌باشد. کشش متقاطع گاز نسبت به قیمت برق در گروه کشورهای منتخب درآمد بالا و درآمد متوسط به ترتیب ۰,۰۲۹۵۶۲ و ۰,۰۹۱۶۸۳ می‌باشد. عکس‌العمل مصرف‌کنندگان گاز در گروه کشورهای منتخب درآمد متوسط نسبت به تغییر یکسان درآمد و قیمت برق بیشتر از گروه کشورهای منتخب درآمد بالا می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: تقاضای گاز، کشش درآمدی تقاضا، کشش قیمتی تقاضا، داده‌های تلفیقی

۱. مقدمه

گاز یکی از مهم‌ترین منابع انرژی جهان است که روزبه‌روز بر اهمیت آن افزوده می‌شود. گاز به‌عنوان یک منبع غنی انرژی در جهان به‌تدریج در حال جایگزینی با نفت می‌باشد و از این‌پس تعیین‌کننده معاملات اقتصادی و بین‌المللی در جهان خواهد بود. [۱] گاز طبیعی سوختی است که معمولاً اثرات زیان‌آور کمتری نسبت به دیگر سوخت‌های فسیلی دارد و جزو منابع تجدیدناپذیر می‌باشد. گاز طبیعی دارای فواید زیست‌محیطی فراوان به‌ویژه کاهش بالقوه انتشار گاز دی‌اکسید کربن و کاهش آلودگی هوا می‌باشد. همچنین این منبع عاری از دی‌اکسید گوگرد بوده و مقدار بسیار اندکی از اکسید نیتروژن را در هنگام سوخت منتشر می‌کند؛ بنابراین با اطمینان می‌توان دریافت که نقش این منبع انرژی در بخش تولید برق توسط نیروگاه‌ها پررنگ‌تر می‌شود. [۲] گاز طبیعی به‌عنوان یک سوخت پاک، با راندمان بالا و کم‌کربن، منبع سوخت بسیار مهمی محسوب می‌شود. [۳]

بررسی آمارهای منتشره در خصوص این منبع انرژی، حاکی از آن است که از سال ۱۹۹۸ میزان ذخایر اثبات‌شده گاز طبیعی جهان روند افزایشی داشته است، به‌گونه‌ای که





میزان ذخایر اثبات شده گاز طبیعی جهان در سال ۲۰۱۹ به ۱۹۸/۸ تریلیون مترمکعب رسیده است که عمده آن مربوط به کشورهای روسیه (۳۸ تریلیون مترمکعب)، ایران (۳۲ تریلیون مترمکعب) و قطر (۲۴/۷ تریلیون مترمکعب) می باشد. علاوه بر این، بررسی مطالعات اخیر نشان دهنده آن است که در سال های آتی در میان منابع انرژی جهان، مصرف گاز طبیعی بیشترین رشد را خواهد داشت؛ به طوری که پیش بینی می گردد مصرف این منبع انرژی از ۱۳۴/۸ تریلیون فوت مکعب در سال ۲۰۲۰ به ۱۶۸/۸ تریلیون فوت مکعب و میزان عرضه آن نیز از ۱۳۴/۵ تریلیون مکعب به ۱۶۸/۸ تریلیون فوت مکعب در سال ۲۰۴۰ برسد. [۴]

در این راستا برآورد و تحلیل کشش های تقاضای انرژی گاز یکی از مباحث مهم در بررسی اثربخشی سیاست های قیمتی، اصلاح الگوی مصرف انرژی و پیگیری سیاست های زیست محیطی می باشد. پایین بودن کشش های قیمتی تقاضای انرژی ضرورت اعمال سیاست های غیر قیمتی برای تغییر رفتار مصرف کننده و تحریک صرفه جویی انرژی را بیشتر می نماید. [۵] بر اساس دیدگاه جیان چای و همکاران، (۲۰۱۸) برای درک اثر تغییرات قیمت انرژی بر مصرف گاز، تخمین دقیق کشش قیمتی تقاضای گاز بسیار مهم می باشد. کشش قیمتی تقاضا همواره به عنوان یکی از مهم ترین پارامترهای قیمت گذاری در سراسر جهان در نظر گرفته می شود. این پارامتر بیان می کند که به طور متوسط به ازای یک درصد افزایش در قیمت گاز چند درصد مصرف گاز تغییر می نماید. با توجه به این که در کشورهای مختلف، در حوزه مصرف گاز سیاست های متنوعی اجرا شده است، ارزیابی این سیاست ها که اجرای آن ها عمدتاً منجر به تغییراتی در قیمت های گاز شده است. بدون داشتن تخمین درست از کشش قیمتی تقاضای گاز امری غیرممکن است. مدیریت مصرف معمولاً مهم ترین هدف کشورهای مختلف در قیمت گذاری انرژی بوده و از این جهت بررسی پاسخ مصرف کنندگان به قیمت های گاز، انرژی های جایگزین و درآمد امری ضروری است. [۶]

با توجه به اهمیت موضوع، مطالعاتی در این زمینه انجام شده است؛ اما در هیچ کدام از مطالعات به برآورد کشش قیمتی، درآمدی و متقاطع تقاضای گاز در گروه کشورهای منتخب درآمد متوسط و درآمد بالا و مقایسه عکس العمل مصرف کنندگان گاز به تغییر قیمت، درآمد و قیمت انرژی های

مرتبط با گاز (برق) در این گروه کشورها با استفاده از روش اثرات ثابت پرداخته نشده است. وانگ و لین (۲۰۱۴) در مطالعه ای با استفاده از آزمون های هم انباشتگی و مدل تصحیح خطا نشان دادند که قیمت سایر حامل های انرژی تأثیر معنی داری بر قیمت گاز طبیعی دارد. [۷] برک و یانگ (۲۰۱۶) در ۴۴ کشور نشان دادند که کشش قیمتی بلندمدت گاز طبیعی ۱،۲۵ و میانگین کشش درآمدی بلندمدت تقاضای گاز طبیعی ۱ و بالاتر است. [۸] ایوف فهاممر و همکاران (۲۰۱۸) نشان دادند که کشش تقاضا گاز طبیعی مسکونی در کالیفرنیا بین ۰،۱۷ تا ۰،۲۳ می باشد. [۹] جیان چای و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه ای تشریح نمودند که مصرف گاز طبیعی با کاهش قیمت زغال سنگ در کوتاه مدت و افزایش قیمت برق و نفت، افزایش می یابد. [۶] فاراگ و زکی (۲۰۲۱) در مطالعه ای با استفاده از رویکرد خود رگرسیون با وقفه های توزیعی (ARDL) در دوره زمانی ۱۹۸۳-۲۰۱۵ نشان دادند که کشش های درآمدی و قیمتی بلندمدت، بیشتر از کوتاه مدت است. علاوه بر این، تقاضای گاز طبیعی در کوتاه مدت و بلندمدت بیشتر به تغییرات درآمد پاسخ می دهد تا تغییرات قیمت. [۱۰] تاتلی (۲۰۲۲) در دوره زمانی ۱۹۹۰-۲۰۱۹ با استفاده از رویکرد ARDL نشان داد که در بلندمدت، هم کشش قیمتی و هم کشش درآمدی تقاضای گاز طبیعی در کشور ترکیه بیش از ۱ می باشد. [۱۱] لطفی پور (۱۳۸۲) در دوره زمانی ۱۳۷۸-۱۳۷۴ نشان داد که تقاضای گاز نسبت به قیمت بی کشش می باشد. [۱۲] رئیس زاده (۱۳۹۲) در دوره زمانی ۱۳۹۰-۱۳۸۰ نشان داد که گاز طبیعی در سبد مصرفی خانوارهای تهرانی یک کالای ضروری و بی کشش است. [۱۳] امینی (۱۳۹۴) نشان داد که گاز طبیعی در استان های تهران و اصفهان در کوتاه مدت و بلندمدت بی کشش بوده و یک کالای ضروری به شمار می روند. [۱۴] شیرانی فخر (۱۳۹۶) در مطالعه ای در دوره زمانی ۱۳۹۲-۱۳۶۰ نشان داد که کشش قیمتی تقاضای گاز طبیعی در زیر بخش تولید فلزات اساسی در کوتاه مدت و بلندمدت به ترتیب برابر با ۰،۳۰ و ۰،۷۹ - و کشش تولیدی گاز طبیعی در کوتاه مدت ۰،۱۷ و در بلندمدت ۰،۳۸ می باشد. همچنین، کشش های متقاطع قیمتی نفت گاز و برق در کوتاه مدت و بلندمدت نشان می دهد نفت گاز کالای جانشین و برق کالای مکملی برای گاز طبیعی می باشد. [۱۵]

برآورد و پیش بینی دقیق میزان تقاضای گاز طبیعی در کشورهای مختلف و بررسی رابطه آن با واکنش

مصرف کنندگان نسبت به متغیرهایی مانند قیمت، درآمد می تواند به سیاست گذاران در زمینه های مرتبط با گاز طبیعی کمک نماید.

در این راستا هدف اصلی این مطالعه برآورد کشش های قیمتی، درآمدی و متقاطع گاز طبیعی در گروه کشورهای منتخب درآمد متوسط و درآمد بالا در بازه زمانی ۱۹۹۰-۲۰۲۰ و آزمون فرضیه های زیر می باشد:

- قیمت گاز طبیعی تأثیر منفی و معنی داری بر مقدار تقاضای گاز طبیعی در گروه کشورهای منتخب دارد.
- درآمد تأثیر مثبت و معنی داری بر مقدار تقاضای گاز طبیعی در گروه کشورهای منتخب دارد.
- قیمت کالاهای مرتبط (برق) تأثیر مثبت و معنی داری بر مقدار تقاضای گاز طبیعی در گروه کشورهای منتخب دارد.

در این راستا برای انتخاب جامعه آماری نیاز به معیاری جهت گزینش کشورها می باشد. این معیارها توسط سازمان های بین المللی تعیین شده اند. جامعه آماری در این مطالعه بر اساس معیار بانک جهانی انتخاب شده است. طبقه بندی بانک جهانی بر اساس مناطق جغرافیایی و یا بر اساس سطح درآمدی کشورها می باشد. کشورهای منتخب در این مطالعه بر اساس سطح درآمدی انتخاب گردیده اند. بانک جهانی کشورها را بر اساس درآمد سرانه به سه گروه کشورهای درآمد پایین، درآمد متوسط و درآمد بالا طبقه بندی نموده است. در طبقه بندی بانک جهانی، ایران جزء کشورهای درآمد متوسط می باشد؛ بنابراین گروه کشورهای منتخب درآمد متوسط (شامل ایران) که مصرف کننده گاز می باشند، انتخاب گردیده اند. این گروه کشورها شامل کره جنوبی، پرتغال، جمهوری چک، آرژانتین، ونزوئلا، رومانی، برزیل، مالزی، مکزیک، ترکیه، چین، تایلند، ایران، الجزیره، مصر، اندونزی، اکراین، هند و پاکستان می باشند.

همچنین به منظور مقایسه عکس العمل مصرف کنندگان گاز نسبت به تغییر در قیمت، درآمد و قیمت انرژی های مرتبط در دو ساختار متفاوت، گروه دیگری در این مطالعه انتخاب گردید. این گروه دربرگیرنده کشورهای می باشد که هم مصرف کننده گاز می باشند و هم طبق طبقه بندی بانک جهانی درآمد بالا می باشند. این گروه شامل سوئیس، نروژ، آمریکا، سوئد، هلند، انگلستان، کانادا، آلمان، امارات متحده عربی، بلژیک، فرانسه، ژاپن، ایتالیا و اسپانیا می باشند.

لازم به ذکر است در گروه کشورهای درآمد پایین،

تقاضایی برای مصرف گاز طبیعی وجود ندارد. از این رو در این مطالعه فقط دو گروه کشورهای درآمد متوسط و درآمد بالا که مصرف کنندگان گاز می باشند، انتخاب شده اند.

بررسی کشش های تقاضای گاز در گروه کشورهای منتخب درآمد بالا و درآمد متوسط و مقایسه میزان تأثیرگذاری آنها در گروه کشورهای منتخب به سیاست گذاران و برنامه ریزان، در جهت تدارک امکانات و آماده سازی زیرساخت های لازم در راستای سیاست گذاری های واقع بینانه و تحلیل بازار گاز کمک خواهد کرد. همچنین با توجه به این نکته که انرژی از پارامترها و عوامل بسیار مهم در امنیت اقتصادی کشورها محسوب می شود و سهم قابل توجهی در درآمد ملی و سبد هزینه خانوارها دارد و برای عرضه انرژی مورد نیاز، به مطالعاتی مربوط به مقدار تقاضای انرژی بخش های مصرف کننده و رفتار مصرف کنندگان انرژی نیاز است و تا زمانی که این مطالعات به طور کامل در اختیار سیستم عرضه کننده انرژی قرار نگیرد، نمی تواند پاسخگوی کامل نیاز بخش های مصرف کننده در سطح بهینه و اقتصادی باشد. لذا بررسی و تخمین تابع تقاضای گاز طبیعی می تواند گامی مؤثر در جهت بهبود وضعیت عرضه انرژی باشد. [۱۶] همچنین با توجه به مطالعات انجام شده می توان دریافت که در ارتباط با گاز مطالعاتی انجام شده است؛ اما در هیچ کدام از مطالعات به برآورد کشش قیمتی، درآمدی و متقاطع تقاضای گاز در گروه کشورهای منتخب درآمد متوسط و درآمد بالا و مقایسه عکس العمل مصرف کنندگان گاز به تغییر قیمت، درآمد و قیمت انرژی های مرتبط با گاز (برق) در این گروه کشورها با استفاده از روش اثرات ثابت پرداخته نشده است. از این رو این مطالعه دارای جنبه نوآوری است.

۲. مروری بر ادبیات تحقیق

انرژی از مؤلفه های تأثیرگذار در تولید ثروت و قدرت در جهان کنونی محسوب می شود. اقتصاد جهانی با تمامی پیچیدگی های خود اعم از جهانی شدن، وابستگی متقابل، تأکید بر رقابت بی وقفه، استفاده از مزیت های نسبی، همچنان وابسته به انرژی نفت، گاز و تأمین امنیت آن است؛ زیرا انرژی نقطه ی حرکت و سنگ بنای توسعه اقتصاد جهانی است. از سوی دیگر انرژی، خود یکی از ارکان قدرت محسوب می شود چون در جهان امروز، توسعه (که خود وابسته به انرژی است) می تواند تولید قدرت نماید. از این رو انرژی، کالایی استراتژیک است که تأمین و امنیت آن نقشی کلانی در امنیت بین الملل و اقتصاد جهانی دارد. با توجه به تحولات اقتصاد جهانی، رقابت





شدید کشورهای تازه صنعتی شد آسیا با سایر قدرت‌های اقتصادی جهان و نیاز روزافزون مجموع این کشورها به انرژی (نفت و گاز) و تأمین امنیت آن، به نظر نمی‌رسد در دو دهه آینده نقش نفت و گاز در اقتصاد جهانی کاسته شود. در چنین روندی کشورهای برخوردار از ذخایر عمده انرژی اهمیتی استراتژیک در سیاست بین‌الملل می‌یابند و باتدبیر و بهره‌گیری از فرصت‌ها می‌توانند جایگاه و موقعیت خود را ارتقاء بخشند.

رشد روزافزون اقتصادی و نیاز مبرم به انرژی، ضرورت برآورد تقاضای آن را نمایان می‌سازد. انجام هرگونه برنامه‌ریزی، طراحی در زمینه‌ی عرضه انرژی، نیازمند آگاهی کامل از تقاضای انرژی است؛ به عبارت دیگر پیش‌نیاز طراحی و احداث تأسیسات انرژی، برآورد میزان تقاضایی است که برای آن تأسیسات وجود خواهد داشت. بهینه‌سازی تقاضای انرژی شامل اقداماتی نظیر شناسایی میزان مصرف و تأثیرگذاری بر آن است که منجر به اتخاذ مجموعه‌ای از سیاست‌ها، برنامه‌ها، حفظ و ارتقای رفاه اجتماعی و تولید ملی خواهد شد.

در این راستا عوامل بسیاری وجود دارند که در شکل‌گیری تقاضای انرژی و نوسانات آن مؤثر هستند. برخی از این عوامل، اقتصادی بوده و برخی دیگر غیراقتصادی و مربوط به الگوهای فرهنگی و جغرافیایی خاص هر منطقه می‌باشند. این عوامل عبارتند از: قیمت گاز طبیعی، درآمد ملی سرانه، تعداد مشترکین (مصرف‌کنندگان)، قیمت سوخت جانشین (برق) و متغیرهای آب و هوایی روز درجه گرمایش و روز درجه سرمایش.

قیمت گاز طبیعی یکی از متغیرهای مهم و مؤثر بر تقاضای گاز طبیعی می‌باشد. برخلاف نفت خام و فرآورده‌های نفتی، گاز طبیعی به خاطر ماهیت و تفاوت‌های بسیاری که در شاخص‌های کمی و کیفی خود دارد، فاقد قیمت جهانی بوده و در هر منطقه با توجه به منابع و مصارفی که دارد از قیمتی منطقه‌ای برخوردار است. در بیشتر کشورهایی که واردکننده نفت خام، فرآورده‌های نفتی و گاز طبیعی هستند، میان قیمت تمام‌شده و بهای فروش این سوخت‌ها با مالیات‌های ملی و محلی و سیاست‌های اشتغال و سرمایه‌گذاری، چنین رابطه‌ای برقرار می‌باشد. ولی از دیدگاه اقتصاد انرژی، چنین رابطه‌ای در کشورهایی که تولیدکننده عمده هر دو سوخت هستند، از اهمیت چندانی برخوردار نیست و لذا در کشورهایی مانند روسیه، عربستان سعودی، آمریکا، کانادا، مکزیک و قطر، قیمت گاز طبیعی بر اساس رویکردهای منطقه‌ای تعیین

می‌شود و ارتباطی به قیمت فرآورده‌های نفتی یا نفت خام در بازارهای ملی و بین‌المللی ندارد. از این‌رو نگاه یکسان به مقوله انرژی در کشورهای نفت‌خیز و صاحب منابع گازی و همچنین کشورهای واردکننده انرژی، به معنای نادیده گرفتن و حذف بسیاری از ظرفیت‌ها و پتانسیل‌های اقتصادی است که به‌عنوان مزیت نسبی در حوزه اقتصاد انرژی شناخته می‌شود. افزایش تولید و درآمد ملی نیز از طرف تقاضا و عرضه، اقتصاد را متأثر ساخته و سبب افزایش تولید و مصرف جامعه می‌شود. رشد اقتصادی منجر به افزایش درآمد سرانه و به دنبال آن تغییر الگوی مصرف به‌ویژه مصرف انرژی و گاز طبیعی می‌شود. با افزایش درآمد سرانه و تأثیر در الگوی مصرف، مصرف خانوارها از انرژی افزایش می‌یابد از این‌رو رشد اقتصادی به مصرف بیشتر انرژی می‌انجامد. البته همواره با افزایش درآمد و رشد اقتصادی، مصرف و تقاضای انرژی افزایش نمی‌یابد بلکه گاه تغییرات فتاورانه و فنی موجب افزایش سطح بهره‌وری انرژی گردیده و بنابراین نیاز به انرژی کاهش خواهد یافت. درواقع به ازای انرژی کمتر، همان میزان تولید انجام می‌شود. [۱۳]

تغییرات آب و هوایی به‌ویژه دما در افزایش یا کاهش به‌کارگیری وسایل گرمایشی و سرمایشی مؤثر می‌باشند. در دمای معتدل، بشر نیازی به ایجاد گرما یا دفع آن از خویش به کمک خنک‌کننده‌ها احساس نمی‌نماید. از این‌رو در مناطقی که دمای هوا تنوع زیادی داشته و به عبارت دیگر چهار فصل سال متمایز هستند، این عامل نقش تعیین‌کننده‌ای دارد. بررسی‌ها نشان داده است که تغییرات آب و هوایی می‌تواند گاهی بیش از ۷۵٪ تغییرات فصلی تقاضای انرژی را توضیح دهد. [۱۳]

نتایج بیشتر مطالعات نشان داده است که از بین متغیرهای آب و هوایی، دمای هوای بیرون عاملی تعیین‌کننده در تقاضای انرژی می‌باشد. سایر متغیرها نظیر باد، رطوبت و میزان بارش نیز در برخی از مطالعات به‌عنوان متغیرهای مؤثر بر تقاضای انرژی معرفی شده‌اند، اما تأثیرگذاری آن‌ها اندک بوده است. در این مطالعه از دو متغیر روز درجه گرمایش و روز درجه سرمایش به‌منظور لحاظ متغیرهای آب‌وهوایی در مدل استفاده شده است. روز درجه، یک شیو رایج برای برآورد تقاضای انرژی است که در آن تقاضای انرژی به سه جزء انرژی غیر حساس به دما، انرژی گرمایشی، انرژی سرمایشی شکسته می‌شود. روش روز درجه اجازه برآورد جداگانه اثرات گرمایش و سرمایش بر مصرف انرژی را می‌دهد. برای نشان دادن شدت

سرما و گرمای هوا از دو متغیر روز درجه گرمایش و روز درجه سرمایش استفاده می‌شود. [۱۷]

روز درجه گرمایش واحدی بر اساس دما و زمان است که برای برآورد مصرف انرژی و تعیین بار گرمایشی یک ساختمان در اوقات سرد سال به کار می‌رود. روز درجه گرمایش برابر است با مجموع اختلاف دمای متوسط روزانه نسبت به دمای مبنای ۱۸ درجه سانتی‌گراد مربوط به دوره‌ای از سال که دمای متوسط روزانه از ۱۸ درجه سانتی‌گراد پایین‌تر باشد. [۱۳]

$$HDD = (I - Y_d)(T_b - T) \quad (۱)$$

T_b دمای مبنا (دمای مطلوب نقطه‌ای تعادل که سازمان هواشناسی کشور آن را ۱۸ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته است)

T : دمای محیط بیرون

Y_d : متغیر دو وضعیتی است که اگر میانگین دمای هوای بیرون بیشتر از دمای مبنا باشد، مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر می‌گیرد.

روز درجه سرمایش نیز واحدی است بر اساس دما و زمان که برای برآورد مصرف انرژی و تعیین بار سرمایشی یک ساختمان در اوقات گرم سال به کار می‌رود. روز درجه سرمایش برابر است با مجموع اختلاف دمای متوسط روزانه نسبت به دمای مبنا برحسب درجه سانتی‌گراد مربوط به دوره‌ای از سال که دمای متوسط روزانه از دمای مبنا بالاتر باشد. این متغیر نیز از رابطه (۲) به دست می‌آید.

$$CDD = (Y_d)(T_b - T) \quad (۲)$$

برای دوره‌های طولانی‌تر مقادیر تجمعی این متغیر مورد استفاده قرار می‌گیرد. به عبارت دیگر روز درجه گرمایش و روز درجه سرمایش به ترتیب مقیاس‌هایی از شدت و طول سردی و گرمی در یک دوره‌ی زمانی معین هستند [۱۳]

در این راستا در ارتباط با عوامل مؤثر بر تقاضای گاز و برآورد کشش‌های تقاضای گاز مطالعاتی انجام شده است؛ که در ادامه به آن‌ها پرداخته شده است.

برنستن و همکاران (۲۰۱۱) در مطالعه‌ای تابع تقاضای گاز طبیعی در بخش خانگی کشورهای OECD را با استفاده از مدل ARDL و متغیرهای درآمد واقعی، قیمت گاز و متوسط دمای هوا در دوره زمانی ۱۹۸۸-۲۰۱۱ برآورد نمودند. نتایج

نشان داد که کشش درآمد واقعی تقاضای گاز در این گروه کشورها کمتر از یک می‌باشد. همچنین کشش متوسط دمای هوا بزرگ‌تر از یک به دست آمده است. [۱۸]

وانگ و لین (۲۰۱۴) در مطالعه‌ای اقدام به بررسی مصرف گاز طبیعی در بخش‌های خانگی، تجاری و صنعتی چین نمودند. در این پژوهش از آزمون هم‌انباشتنی و مدل تصحیح خطا و متغیرهای درآمد قابل تصرف، جمعیت، قیمت گاز طبیعی، قیمت حامل‌های انرژی جانشین، درجه حرارت و مصرف گاز طبیعی بخش‌های خانوارهای شهری، صنعتی و تجاری استفاده شده است. نتایج نشان داد که در بلندمدت حساسیت قیمتی بخش خانوارهای شهری چین نسبت به بخش صنعت و تجارت بیشتر می‌باشد. ضمناً قیمت سایر حامل‌های انرژی تأثیر معنی‌داری بر قیمت گاز طبیعی دارد. [۷]

ارشاد خان (۲۰۱۵) در مطالعه‌ای به مدل‌سازی و پیش‌بینی تقاضای گاز طبیعی در پاکستان در دوره زمانی ۱۹۷۸-۲۰۱۱ پرداختند نتایج نشان داد در مقایسه باقیمت گاز، مقدار تولید ناخالص داخلی واقعی تأثیر بیشتری بر مصرف گاز دارد. کشش قیمت پایین بیانگر ناهمگونی مصرف‌کنندگان پاکستانی و عاملی در جهت تشدید قیمت است و تا سال ۲۰۲۰ روند افزایشی قیمت گاز طبیعی با مصرف آن به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. [۱۹]

اکپینارو همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای به پیش‌بینی تقاضای گاز طبیعی شهری با استفاده از روش‌های سری زمانی فصلی در ترکیه پرداختند. نتایج نشان داد در میان‌مدت جهت کاهش تقاضای گاز طبیعی، افزایش قیمت گاز طبیعی راهکار مناسبی است. [۲۰]

گانلو زو و همکاران (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای با بررسی ارتباط تولید گاز طبیعی در کشورهای حوزه خلیج فارس و مصرف گاز طبیعی در اروپا، ارتباط کوتاه‌مدت و بلندمدت میان تولید گاز طبیعی در ۵ کشور حاشیه خلیج فارس و مصرف آن در اتحادیه اروپا را بررسی نمودند. نتایج در کشورهای عربستان سعودی، قطر، امارات متحده عربی، عراق و کویت که حجم عظیمی از ذخایر گاز طبیعی را در اختیار دارند، در دوره زمانی ۲۰۱۲-۱۹۷۰ نشان داد که تعادل در بلندمدت و پویایی در کوتاه‌مدت وجود ندارد و کشورهای حاشیه خلیج فارس پتانسیل عظیمی برای افزایش یا تثبیت ذخایر پایدار گاز در کشورهای اتحادیه اروپا دارند. [۲۱]

دبستیک (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای ارتباط بین مصرف گاز طبیعی و رشد اقتصادی در ۲۶ کشور OECD در دوره



زمانی ۲۰۱۳-۱۹۹۱ بررسی نمودند. نتایج نشان داد مصرف گاز طبیعی ارتباط معنی‌داری با رشد تولید ناخالص داخلی، تشکیل سرمایه ثابت، درجه باز بودن اقتصاد دارد. همچنین مصرف گاز طبیعی ارتباط غیرمستقیم با رشد ناخالص داخلی دارد. در بلندمدت نیز ارتباط غیرمستقیمی میان مصرف گاز طبیعی و رشد اقتصادی وجود دارد. [۲۲]

برک و یانگ (۲۰۱۶) در مطالعه‌ای تشریح نمودند که گاز طبیعی سهم رو به رشدی از ترکیب انرژی جهانی دارد. در این مطالعه برای تخمین کشش‌های قیمتی و درآمدی تقاضای گاز طبیعی از داده‌های ۴۴ کشور استفاده شده است. نتایج نشان داد که کشش قیمتی بلندمدت گاز طبیعی ۱٫۲۵ و میانگین کشش درآمدی بلندمدت تقاضای گاز طبیعی ۱ و بالاتر ۴۴ کشور است. [۸]

ویگنز و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای شوک‌هایی را که به ذخایر و تقاضای گاز طبیعی در آمریکا وارد گردید را با استفاده از مدل خود رگرسیون برداری ساختاری (Svar)^۱ در بازه زمانی ۲۰۱۵-۱۹۹۳ بررسی نمودند. نتایج نشان داد که افزایش ناگهانی میزان ذخیره و میزان تقاضا از مهم‌ترین عوامل آشفستگی قیمت گاز طبیعی است به گونه‌ای که در همان زمان گمانه‌زنی‌ها نقش کم‌رنگی داشته است. [۲۳]

پناسکو و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای با برآورد تقاضای گاز طبیعی و برق در بخش صنعت اسپانیا با استفاده از تخمین زنده‌های متقارن و نامتقارن در بازه زمانی ۲۰۱۰-۱۹۹۱ تشریح نمودند که اثرات تغییر قیمت گاز طبیعی بر میزان مصرف آن نامتقارن است. در مقابل اثرات قیمت برق بر میزان مصرف برق متقارن می‌باشد. [۲۴]

ایوف فهاممر و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای تشریح نمودند که نیمی از خانواده‌های آمریکایی خانه‌هایشان را با کوره‌های گاز طبیعی گرم می‌کنند و ۴۳ درصد از آن برای گرم کردن آب از این انرژی استفاده می‌کنند. از این‌رو، درک رفتار مصرف گاز طبیعی از اهمیت فراوانی برخوردار است. در این مطالعه، با استفاده از روش پانل دیتا به تخمین کشش تقاضای گاز طبیعی مسکونی تقریباً ۳۰۰ میلیون خانوار در کالیفرنیا پرداخته شده است. نتایج نشان داد که کشش تقاضا گاز طبیعی مسکونی بین ۰٫۱۷ تا ۰٫۲۳ می‌باشد و شواهدی از ناهمگونی فصلی و درآمدی قابل توجه در این کشش به دست آمده است؛ که با اصلاح این ناهمگونی می‌توان قیمت‌ها را به نفع

خانواده‌های کم‌درآمد اصلاح کرد. [۹]

جیان چای و همکاران (۲۰۱۸) در مطالعه‌ای نشان داد که مصرف گاز طبیعی با کاهش قیمت زغال‌سنگ در کوتاه‌مدت و افزایش قیمت برق و نفت، افزایش می‌یابد. همچنین نتایج نشان داد که تقریباً تمام ناهمگونی‌ها را می‌توان با نوع داده، دوره نمونه، مدل‌های تجزیه و تحلیل، منطقه جغرافیایی و نوع مصرف‌کننده بررسی کرد. [۶]

کانگین و همکاران (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای با به کارگیری مجموعه‌ای از داده‌های تابلویی نامتقارن برای ۳۰ استان چین در دوره زمانی ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۵، به تخمین کشش قیمتی و درآمدی تقاضای گاز طبیعی و بررسی تأثیر اصلاح قیمت گاز طبیعی در چین پرداختند. نتایج نشان داد که تقاضای گاز طبیعی در چین نسبت به تغییرات درآمد حساس است و اصلاح قیمت گاز طبیعی بر تغییر کشش قیمتی در پنج منطقه از هفت منطقه کاهش قیمت گاز طبیعی را در بر خواهد داشت. تقاضای گاز طبیعی در جنوب غربی چین و شمال غربی چین بی کشش بوده و تقاضای گاز طبیعی در شمال چین و شرق چین حساسیت کمتری به تغییرات درآمد دارد. [۵]

مشهدی رجبی و موسوی (۲۰۱۹) در مطالعه‌ای به بررسی برآورد تقاضای گاز طبیعی صنعتی در ۱۵ کشور منتخب سازمان همکاری و توسعه اقتصادی (OECD)^۲ در دوره زمانی ۱۹۹۱-۲۰۱۶ در چارچوب داده‌های پانل پویا انجام پرداختند. نتایج برآورد کشش‌های درآمدی بلندمدت گاز طبیعی در بخش صنعت با استفاده از روش‌های مختلف نشان داد که کشش درآمدی بین ۰٫۰۸ تا ۰٫۲۱ و کشش قیمتی بین ۰٫۰۵ تا ۰٫۰۷- در نوسان است؛ بنابراین تقاضای گاز نسبت به قیمت بی کشش است. درحالی‌که در رویکرد دیگر کشش درآمدی بین ۰٫۶۳ تا ۱٫۱۵ و کشش قیمتی به ترتیب ۰٫۱۴- و ۰٫۵۱- بود. با توجه به عدم کشش قیمت گاز طبیعی در بخش صنعت، تغییر قیمت گاز طبیعی با سایر جایگزین‌ها منجر به کاهش مصرف و انتشار CO₂ نمی‌شود و وضع مالیات بر قیمت گاز طبیعی یا سایر جایگزین‌ها تغییری در عادت مصرف در صنعت ایجاد نخواهد کرد. [۲۵]

فاراگ و زکی (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای به تخمین‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت کشش قیمتی و درآمدی تقاضای گاز طبیعی در کشور مصر در دوره زمانی ۱۹۸۳-۲۰۱۵ پرداختند. نتایج نشان داد که کشش‌های درآمدی و قیمتی بلندمدت،

1. Time varying

2. Organization for Economic Cooperation And Development OECD)

بیشتر از کوتاه‌مدت است و مصرف‌کنندگان می‌توانند عادات و برنامه‌های مصرف خود را درازمدت به‌عنوان پاسخی به تغییرات درآمد یا قیمت اصلاح نمایند. علاوه بر این، تقاضای گاز طبیعی در کوتاه‌مدت و بلندمدت بیشتر به تغییرات درآمد پاسخ می‌دهد تا تغییرات قیمت. [۱۰].

تاتلی (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای به برآورد کشش قیمتی و درآمدی تقاضای بلندمدت گاز طبیعی در کشور ترکیه در دوره زمانی ۱۹۹۰-۲۰۱۹ پرداختند. نتایج با استفاده از رویکرد ARDL نشان داد که قیمت گاز طبیعی و درآمد اثر منفی و معنی‌داری و قیمت برق، اقلیم و نرخ شهرنشینی اثر مثبت و معنی‌داری بر تقاضای بلندمدت گاز طبیعی دارد. در بلندمدت، کشش قیمتی و کشش درآمدی تقاضای گاز طبیعی بیش از ۱ برآورد شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که در بخش مسکونی ترکیه، گاز طبیعی کالایی بی کشش و برق کالای جایگزین گاز طبیعی است [۱۱].

لطفی پور (۱۳۸۲) در مطالعه‌ای با استفاده از متغیرهای قیمت گاز طبیعی در دوره‌های قبل، درآمد سرانه، درجه حرارت و تعداد خانوارها به پیش‌بینی گاز طبیعی خانگی شهر تهران پرداخت. نتایج با استفاده از داده‌های فصلی به دو روش الگوی خطی و لگاریتمی در دوره زمانی ۱۳۷۴-۱۳۷۸ نشان داد که تقاضای گاز نسبت به قیمت بی کشش می‌باشد [۱۲].

باغجری (۱۳۸۴) در مطالعه‌ای با تفکیک مناطق مختلف جهان تقاضای گاز طبیعی در دو بخش خانگی - تجاری و صنعت تشریح نمود که در ایران قیمت گاز طبیعی نقش تعیین‌کننده‌ای در میزان مصرف و سطح گاز طبیعی در بخش‌های خانگی و صنعت نداشته است. همچنین به علت نبود جانشین مؤثر تقاضای مصرف‌کنندگان به قیمت آن بستگی چندانی نداشته است. [۲۶]

کشاوری حداد (۱۳۸۶) در مطالعه‌ای تشریح نمود که مؤلفه روند در میزان مصرف گاز طبیعی بخش خانگی و تجاری تأثیرگذار نیست. همچنین قیمت گاز، درآمد و دما از نظر آماری معنی‌دار هستند. همچنین وی با توجه به کشش قیمتی پائین، گاز طبیعی را کالای ضروری معرفی نموده است. [۲۷]

نوبخت و مرعشی (۱۳۸۸) در مطالعه‌ای به بررسی ارتباط قیمت‌های نفت خام و گاز طبیعی پرداخت. این پژوهش سه منطقه مصرف‌کننده عمده دنیا شامل ایالات متحده آمریکا، اتحادیه اروپا و ژاپن را مورد بررسی قرار داده است. ضمن آن که سهم گاز طبیعی در سبد انرژی دنیا تا سال ۲۰۳۰ نیز محور بررسی در این پژوهش بوده است. نتایج نشان داد که سهم گاز

طبیعی در دوره زمانی ۱۹۶۵ - ۲۰۰۰ افزایش یافته است و از ۱۶٪ به ۲۴٪ رسیده است و تا سال ۲۰۳۰ نیز سهم آن تقریباً ثابت خواهد ماند. [۲۸]

سالاری و همکاران (۱۳۸۹) در مطالعه‌ای با استفاده از روش حداقل مربعات معمولی نشان داد که کشش قیمتی تقاضا پس از اعمال این طرح حدود ۲۰ برابر بیشتر شده است اما کشش درآمدی ۹ برابر کمتر گردیده است که این امر دلالت بر موفقیت‌آمیز بودن این طرح در کاهش مصرف گاز طبیعی است. [۲۹]

صادقی و همکاران (۱۳۹۱) در مقاله‌ای به بررسی تأثیر نوسانات فصلی دما بر نوسانات فصلی تقاضای گاز طبیعی در بخش خانگی پرداختند. بدین منظور متغیرهای روز درجه گرمایش و روز درجه سرمایش برای سنجش میزان گرمایی و سرمایی فصول و از قیمت گاز طبیعی، برق و درآمد سرانه حقیقی استفاده شده است. نتایج نشان داد که به جزء متغیر قیمت برق بقیه متغیرها از نظر آماری معنی‌دار می‌باشند. [۱۷]

رئیس زاده (۱۳۹۲) در مطالعه‌ای به بررسی تأثیر هدفمندسازی یارانه‌ها بر مصرف گاز طبیعی در بخش خانگی تهران در استان‌های کشور با استفاده از روش پانل دیتا پرداخت. به‌منظور بررسی دقیق‌تر اثر اصلاح یارانه‌ها، میزان مصرف در یک دوره ده‌ساله ۱۳۹۰ - ۱۳۸۰ و داده‌ها به‌صورت فصلی در نظر گرفته شده است. نتایج نشان داد که گاز طبیعی در سبد مصرفی خانوارهای تهرانی یک کالای ضروری و بدون کشش است. [۱۳].

صدر زاده و همکاران (۱۳۹۲) در مقاله‌ای به برآورد تابع تقاضای انرژی در بخش صنعت و محاسبه کشش‌های جانشینی میان نهاده‌ها پرداختند. نتایج نشان داد که کشش قیمتی کل انرژی ۰/۱- است که نشان‌دهنده کم‌کشش بودن تقاضای انرژی است. ارزش افزوده با یک وقفه تأخیر بر روی مصرف انرژی تأثیری نداشته و به لحاظ آماری معنی‌دار نیست. به‌عبارت‌دیگر تغییر درآمد بخش صنعت در دوره قبل تأثیری بر میزان مصرف انرژی در دوره حال ندارد. کشش درآمدی دوره جاری برابر با ۰/۱۴ می‌باشد. بیشترین کشش در بخش اول مربوط به متغیر مصرف انرژی با یک وقفه زمانی است. به‌عبارت‌دیگر افزایش میزان مصرف انرژی در دوره قبلی سبب افزایش میزان مصرف در دوره جاری خواهد شد. همچنین تمام نهاده‌ها در بخش صنعت نسبت به قیمت‌های خود کم‌کشش هستند. [۳۰]

ملاعلی کنی و همکاران (۱۳۹۲) در مطالعه‌ای با به‌کارگیری





رویکرد اقتصادسنجی رگرسیون انتقال ملایم، تابع تقاضای گاز طبیعی در بخش خانگی و تجاری ایران را به شیوه‌ای پیوسته و غیرخطی مدل‌سازی کرده است. برای این منظور از داده‌های سالانه قیمت گاز طبیعی و قیمت برق در بخش خانگی و تجاری، درآمد، تعداد مصرف‌کنندگان گاز طبیعی و متوسط دمای هوا در دوره زمانی ۱۳۵۱ - ۱۳۸۸، به‌عنوان عوامل مؤثر بر تقاضای گاز طبیعی در بخش خانگی و تجاری استفاده شده است. نتایج نشان داد که متغیرهای درآمد، قیمت برق و تعداد مصرف‌کنندگان تأثیر مثبت بر مصرف گاز طبیعی در بخش خانگی و تجاری دارند که با عبور از حد استان‌های میزان تأثیرگذاری آن‌ها شدیدتر می‌گردد. از طرف دیگر نیز تقاضای گاز طبیعی رابطه معکوس باقیمت گاز طبیعی دارد که با ورود به رژیم دوم میزان تأثیرگذاری آن تشدید می‌گردد. [۳۱]

گیگلو (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای به برآورد تابع تقاضای مصرف گاز طبیعی پرداخت. نتایج نشان داد که نمی‌توان فرضیه مبنی بر اثرات نامتقارن قیمت گاز طبیعی بر مصرف آن در بخش خانگی و صنعتی را در دوره زمانی ۱۳۹۲ - ۱۳۷۰ پذیرفت. به عبارت دیگر اثرات تغییر قیمت گاز طبیعی بر میزان مصرف آن در هر دو بخش نامتقارن است و اثر تغییرات درآمدی بر مصرف گاز طبیعی فقط در بخش صنعتی نامتقارن است. [۳۲]

امینی (۱۳۹۴) در مطالعه‌ای الگوی گاز مصرفی دو استان تهران و اصفهان که بیشترین حجم مصرفی گاز را در کشور دارا می‌باشند و از لحاظ جمعیتی، از پرجمعیت‌ترین استان‌های ایران به شمار می‌روند و همچنین به لحاظ صنعتی شبیه یکدیگر می‌باشند را بررسی نموده است. نتایج حاکی از آن است که گاز طبیعی در کوتاه‌مدت و بلندمدت بی‌کشش بوده و یک کالای ضروری به شما می‌رود و کشش قیمتی هنگام افزایش قیمت‌ها بیشتر از کاهش قیمت‌ها بوده است. [۱۴]

مسعودی (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای از داده‌های فصلی قیمت گاز طبیعی، قیمت برق، قیمت فرآورده‌های نفتی (نفت گاز، نفت کوره)، ارزش افزوده استفاده نموده است. بر اساس نتایج به دست آمده تأثیر قیمت گاز طبیعی، برق و نفت کوره بر مصرف گاز در بخش صنایع انرژی منفی معنی‌دار است؛ اما تأثیر متغیرهای ارزش افزوده و قیمت نفت گاز مثبت و معنی‌دار می‌باشد. در بخش صنعت متغیرهای ارزش افزوده، قیمت برق، نفت کوره تأثیر مثبت بر مصرف گاز طبیعی در صنعت دارند و از طرف دیگر تقاضای گاز طبیعی در این بخش رابطه منفی و معنی‌داری باقیمت گاز طبیعی و نفت گاز نشان می‌دهد. [۳۳]

مولایی و یعقوبی (۱۳۹۵) در مطالعه‌ای باملاحظه قانون

هدفمندی یارانه‌ها، تابع تقاضای مصرف گاز طبیعی خانوارها در منطقه ۷ کشور (شامل استان کردستان، همدان، کرمانشاه، لرستان، مرکزی و ایلام) در بازه زمانی ۱۳۹۲ - ۱۳۸۵ با استفاده از داده‌های فصلی برآورد نمود؛ و به بررسی عملکرد دولت در اجرای قانون هدفمند کردن یارانه‌ها بر مصرف گاز طبیعی بخش خانگی در منطقه ۷ کشور پرداخت. نتایج نشان داد که عکس‌العمل مصرف‌کنندگان در نتیجه افزایش قیمت گاز طبیعی چندان محسوس نیست و هدفمند کردن یارانه‌ها به تدریج تأثیر خود را در کاهش مصرف گاز طبیعی خانگی در استان‌های منطقه ۷ کشور از دست داده است. [۳۴]

شیرانی فخر (۱۳۹۶) در مطالعه‌ای تابع تقاضای گاز طبیعی در زیر بخش صنایع تولید فلزات اساسی ایران را به تفکیک طبقه‌بندی آیسیک دورقمی با استفاده از مدل سری زمانی ساختاری در دوره زمانی ۱۳۹۲ - ۱۳۶۰ برآورد نمودند. نتایج نشان داد که اولاً ماهیت روند از نوع روند هموار است و ثانیاً به صورت غیرخطی حرکت می‌کند. همچنین با توجه به تابع تقاضای برآورد شده، کشش قیمتی تقاضای گاز طبیعی در زیر بخش تولید فلزات اساسی در کوتاه‌مدت و بلندمدت به ترتیب برابر با منفی ۰٫۳۰ و ۰٫۷۹ و کشش تولیدی گاز طبیعی در کوتاه‌مدت ۰٫۱۷ و در بلندمدت ۰٫۳۸ می‌باشد. همچنین، کشش‌های متقاطع قیمتی نفت گاز و برق در کوتاه‌مدت و بلندمدت نشان می‌دهد نفت گاز کالای جانشین و برق کالای مکملی برای گاز طبیعی می‌باشند. نتایج حاصل از ارزیابی اثر اجرای قانون هدفمند کردن یارانه‌ها در این صنایع نیز نشان داد که روابط برآوردی تقاضای گاز طبیعی می‌تواند اثر اجرای سیاست هدفمندی یارانه‌ها را توضیح دهد. [۱۵]

دژپسند و خزایی (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر منابع اصلی تأمین انرژی بخش حمل‌ونقل کشور، بنزین و نفت گاز در استان‌ها را ارزیابی نمودند. نتایج در دوره زمانی ۱۳۹۳ - ۱۳۸۵ با استفاده از روش گشتاورهای تعمیم‌یافته نشان داد که کشش قیمتی کوتاه‌مدت بنزین ۰/۱۴ و کشش قیمتی کوتاه‌مدت نفت گاز ۰/۱۳ است، در حالی که کشش درآمدی به دست آمده برای بنزین و نفت گاز در هر دو الگوی اصلی برابر با ۰/۳ است. افزایش سرانه انبار خودروهای بنزینی بر مصرف سرانه بنزین و نفت گاز اثر مثبت داشته است، در صورتی که افزایش سرانه انبار خودروهای دیزلی بر سرانه مصرف بنزین و نفت گاز، اثر منفی دارد. همچنین نتایج حاکی از آن است که ناوگان اتوبوس‌رانی شهری تأثیر بسزایی بر سرانه مصرف سوخت نداشته است. بهره‌وری پایین تصمیمات اتخاذ

شده در حمل و نقل عمومی باید در ادامه سیاست گذاری های بخش عمومی اصلاح شود. [۳۵]

حمیدی رزی و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه ای به برآورد و تحلیل کشش های قیمتی تقاضای انرژی با تأکید بر تنوع منطقه ای (استانی) پرداختند. نتایج در دوره زمانی ۱۳۷۹-۱۳۹۴ نشان داد که متوسط قدر مطلق کشش قیمتی تقاضای انرژی در بین استان های کشور کمتر از واحد بوده (۰/۹۲) و به تفکیک استان ها نیز قدر مطلق کشش قیمتی بین ۰/۳۷ تا ۱/۳۲ نوسان داشته و کمترین قدر مطلق کشش قیمتی مربوط به استان قم و بیشترین کشش قیمتی مربوط به استان بوشهر است. در حالت کلی ۱۲ استان دارای کشش قیمتی تقاضای انرژی بالاتر از واحد و ۱۶ استان نیز دارای کشش قیمتی کمتر از واحد بودند که در میان آن ها استان های قم، همدان، قزوین، تهران و گیلان به ترتیب از اولویت اجرای سیاست های غیر قیمتی برخوردار هستند. همچنین کشش های قیمتی تقاضای انرژی استان های کشور دارای خودهمبستگی فضایی مثبت می باشند. [۵]

شریفی و جام گوهری (۱۴۰۰) در مطالعه ای به محاسبه قیمت سایه ای گاز طبیعی در فعالیت های تولیدی اقتصاد ایران پرداختند. نتایج نشان داد که از دید کلان، قیمت سایه ای تا حد زیادی به تغییرات در تولیدات فعالیت ها در ازای تغییر در مصرف گاز طبیعی آن ها وابسته است. با این حال، در تخصیص گاز طبیعی به فعالیت ها مختلف تولیدی مسئله قیمت سایه ای آن ها از دید کلان کم تر مورد توجه قرار گرفته است. از دید خرد، قیمت سایه ای در حد بسیار زیادی به سهم منفعت صاحبان سرمایه در هزینه تولیدات آن ها بستگی دارد. به استثنای تولید، انتقال و توزیع برق، همه فعالیت ها با ۱۱ تا ۹۸ درصد افزایش در قیمت گاز طبیعی سودآور می باشند. [۳۶]

با توجه به سابقه پژوهش می توان دریافت که در ارتباط با گاز مطالعاتی انجام شده است؛ اما در هیچ کدام از مطالعات به برآورد کشش قیمتی، درآمدی و متقاطع تقاضای گاز در گروه کشورهای منتخب درآمد متوسط و درآمد بالا و مقایسه عکس العمل مصرف کنندگان گاز به تغییر قیمت، درآمد و قیمت انرژی های مرتبط با گاز (برق) در این گروه کشورها با استفاده از روش اثرات ثابت پرداخته نشده است. در مطالعه ویگنز و همکاران (۲۰۱۷) به بررسی منشأ نوسانات گاز طبیعی در آمریکا در بازه زمانی ۲۰۱۵-۱۹۹۳، در مطالعه پناسکو و همکاران (۲۰۱۷) به برآورد تقاضای گاز طبیعی و برق در بخش صنعت اسپانیا با استفاده از تخمین زنده های متقارن

و نامتقارن در بازه زمانی ۲۰۱۰-۱۹۹۱، در مطالعه اکیپنارو همکاران (۲۰۱۶) به پیش بینی تقاضای گاز طبیعی شهری در کشور ترکیه با استفاده از روش های سری زمانی فصلی، در مطالعه گائلو زو و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی ارتباط تولید گاز طبیعی در کشورهای حوزه خلیج فارس و مصرف گاز طبیعی در اروپا در دوره زمانی ۲۰۱۲-۱۹۷۰، در مطالعه دیستیک (۲۰۱۶) ارتباط بین مصرف گاز طبیعی و رشد اقتصادی در ۲۶ کشور OECD در دوره زمانی ۲۰۱۳-۱۹۹۱، در مطالعه ارشد خان (۲۰۱۵) به پیش بینی تقاضا برای گاز طبیعی در پاکستان، در مطالعه وانگ و لین (۲۰۱۴) به بررسی مصرف گاز طبیعی و یارانه ها در چین با رویکرد بخشی، در مطالعه برنستن و همکاران (۲۰۱۱) به برآورد تابع تقاضای گاز طبیعی در بخش خانگی در کشورهای OECD با استفاده از رویکرد ARDL در دوره زمانی ۲۰۱۱-۱۹۸۸، در مطالعه ایوف فهاممر و همکاران (۲۰۱۸) به برآورد کشش قیمت گاز طبیعی در آمریکا، در مطالعه کانگین و همکاران (۲۰۱۹) به تخمین کشش قیمتی و درآمدی تقاضای گاز طبیعی و بررسی تأثیر اصلاح قیمت گاز طبیعی در ۳۰ استان چین در دوره زمانی ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۵، در مطالعه فاراگ و زکی (۲۰۲۱) به تخمین های کوتاه مدت و بلندمدت کشش قیمتی و درآمدی تقاضای گاز طبیعی کشور مصر با استفاده از رویکرد ARDL در دوره زمانی ۱۹۸۳-۲۰۱۵، در مطالعه تاتلی (۲۰۲۲) به برآورد کشش قیمتی و درآمدی تقاضای بلندمدت گاز طبیعی کشور ترکیه در سال های ۱۹۹۰-۲۰۱۹ با استفاده از روش ARDL، در مطالعه شریفی و جام گوهری (۱۴۰۰) به محاسبه قیمت سایه ای گاز طبیعی در فعالیت های تولیدی اقتصاد ایران، در مطالعه حمیدی رزی و همکاران (۱۳۹۸) به برآورد و تحلیل کشش های قیمتی تقاضای انرژی با تأکید بر تنوع منطقه ای (استانی) طی دوره ۱۳۷۹-۱۳۹۴، در مطالعه دژپسند و خزایی (۱۳۹۷) به مهم ترین عوامل اثرگذار بر منابع اصلی تأمین انرژی بخش حمل و نقل کشور، بنزین و نفت گاز در سطح استان ها با استفاده از روش گشتاورهای تعمیم یافته، در مطالعه شیرانی فخر (۱۳۹۶) به برآورد تابع تقاضای گاز طبیعی در زیر بخش صنایع تولید فلزات اساسی ایران به تفکیک طبقه بندی آیسیک دورقمی با استفاده از مدل سری زمانی ساختاری در دوره زمانی ۱۳۹۲-۱۳۶۰، در مطالعه مسعودی (۱۳۹۵) به مدل سازی تقاضای گازی طبیعی و برآورد انتشار آلاینده ها و دی اکسید کربن ناشی از آن، در مطالعه مولایی (۱۳۹۵) به برآورد تقاضا برای گاز طبیعی در بخش خانگی در منطقه ۷ ایران با ملاحظه قانون هدفمندی یارانه ها در بازه زمانی ۱۳۹۲-



تحلیل چشم‌انداز گاز طبیعی تا سال ۲۰۲۵، در مطالعه لطفی پور (۱۳۸۲) به برآورد تابع تقاضای گاز طبیعی مصارف خانگی شهر تهران، در مطالعه شیرانی فخر (۱۳۹۶) به برآورد تابع تقاضای گاز طبیعی در زیر بخش صنایع تولید فلزات اساسی ایران به تفکیک طبقه‌بندی آیسیک دورقمی با استفاده از مدل سری زمانی ساختاری، در مطالعه دژپسند و خزایی (۱۳۹۷) مهم‌ترین عوامل اثرگذار بر منابع اصلی تأمین انرژی بخش حمل‌ونقل کشور، بنزین و نفت گاز در سطح استان‌ها با استفاده از روش گشتاورهای تعمیم‌یافته، در مطالعه حمیدی رزی و همکاران (۱۳۹۸) به برآورد و تحلیل کشش‌های قیمتی تقاضای انرژی در استان‌های ایران در مطالعه شریفی و جام گوهری (۱۴۰۰) به محاسبه قیمت سایه‌ای گاز طبیعی در فعالیت‌های تولیدی اقتصاد ایران پرداخته شده است.

۳. نتایج و بحث

در این مطالعه با استفاده از مبانی نظری و مطالعات تجربی برنستن و همکاران (۲۰۱۱)، تاتلی (۲۰۲۲)، وانگ و لین (۲۰۱۴) برای برآورد کشش‌های قیمتی، درآمدی و متقاطع تقاضای گاز طبیعی در گروه کشورهای منتخب با تعدیلاتی از معادله رگرسیونی (۳) استفاده شده است.

۱۳۸۵، در مطالعه امینی (۱۳۹۴) به برآورد تابع تقاضای گاز طبیعی در استان‌های تهران و اصفهان با رویکرد تجزیه قیمت و روش پانل پویا، در مطالعه گیگلو (۱۳۹۳) به بررسی نامتقارن گاز طبیعی بر مصرف آن در بخش‌های خانگی و صنعتی در دوره زمانی ۱۳۹۲-۱۳۷۰، در مطالعه صدر زاده و همکاران (۱۳۹۲) به تخمین تابع تقاضای انرژی و کشش قیمتی و جانشینی نهاده‌ها در بخش صنعت با استفاده از رگرسیون معادلات به‌ظاهر نامرتبط، در مطالعه ملاعلی کنی و همکاران (۱۳۹۲) به برآورد تابع تقاضای گاز طبیعی در بخش خانگی و تجاری ایران در دوره زمانی ۱۳۵۱-۱۳۸۸، در مطالعه رئیس زاده (۱۳۹۲) به بررسی تأثیر هدفمندسازی یارانه‌ها بر مصرف گاز طبیعی در بخش خانگی تهران با استفاده از روش پانل دیتا، در مطالعه صادقی و همکاران (۱۳۹۱) به برآورد تقاضای گاز طبیعی بخش خانگی ایران با رویکرد پانل دیتا، در مطالعه سالاری و همکاران (۱۳۸۹) تأثیر هدفمندسازی یارانه‌ها بر میزان مصرف گاز طبیعی خانگی در شهرستان مشهد، در مطالعه نوبخت و مرعشی (۱۳۸۸) پیش‌بینی وضعیت بازار گاز و ارتباط آن باقیمت‌های جهانی نفت در دوره زمانی ۱۹۶۵-۲۰۰۰، در مطالعه کشاورز حداد (۱۳۸۶) به برآورد تقاضای گاز طبیعی خانگی و تجاری در ایران، در مطالعه باغجری (۱۳۸۴) به بررسی تولید و مصرف و تجارت گاز طبیعی در جهان و

$$LNGC_{it} = \beta_0 + \beta_1 LGP_{it} + \beta_2 LEP_{it} + \beta_3 LINCOM_{it} + \beta_4 LCDD_{it} + \beta_5 LHDD_{it} + U_{it} \quad (1)$$

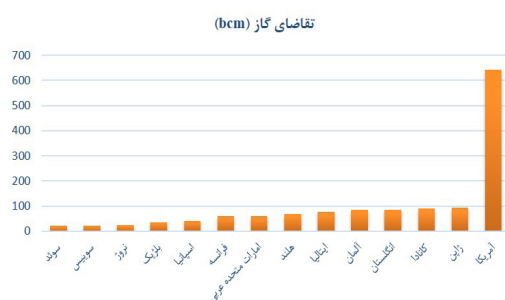
در جدول (۱) به معرفی متغیرها و منابع داده‌ها پرداخته شده است.

جدول ۱: معرفی متغیرها

نماد متغیر	نام متغیر	منبع
LNGC Natural gas demand	لگاریتم مقدار تقاضای گاز طبیعی	www.wunderground.com
LEP Electricity price	لگاریتم قیمت کالای مرتبط (برق)	www.eurostart
LINCOM Per capita income	لگاریتم درآمد ملی سرانه	www.worldbank.org
LCDD Cooling degree day	لگاریتم روز درجه سرمایش	www.wunderground.com
LHDD Heating degree day	لگاریتم روز درجه گرمایش	www.wunderground.com
LGP Gas price	لگاریتم قیمت گاز طبیعی	www.eurostart

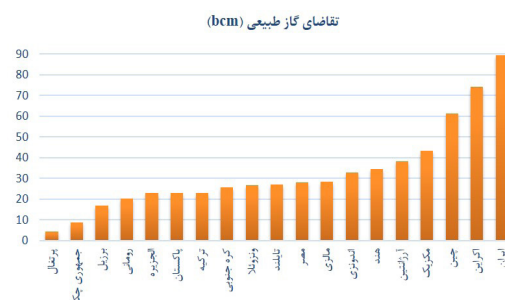
میزان تقاضای گاز طبیعی در این گروه کشورها در دوره زمانی ۱۹۹۰-۲۰۲۰ صورت گیرد و کشورهایی که میزان تقاضای گاز طبیعی آن‌ها بیشتر می‌باشد، شناسایی گردند.

U جمله خطای معادله و i و t نشان‌دهنده کشور و زمان می‌باشند. در ادامه نمودارهای میانگین مقدار تقاضای گاز طبیعی در گروه کشورهای منتخب درآمد متوسط و درآمد بالا در دوره زمانی ۱۹۹۰-۲۰۲۰ آمده است. تا مقایسه‌ای در



شکل ۲. نمودار میانگین مقدار تقاضای گاز طبیعی در گروه کشورهای منتخب درآمد بالا

منبع: ترازنامه انرژی و محاسبات محقق



شکل ۱. نمودار میانگین مقدار تقاضای گاز طبیعی در گروه کشورهای منتخب درآمد متوسط

منبع: ترازنامه انرژی و محاسبات محقق

• کشورهای آمریکا و سوئد به ترتیب بیشترین و کمترین میانگین مقدار تقاضای گاز طبیعی در میان گروه کشور منتخب کسب نموده‌اند.

جهت بررسی مانایی و یا نامانایی متغیرها در این مطالعه، از آزمون ریشه واحد پانل^۱ استفاده گردیده است که نتایج حاصل از آزمون لوین، لین و چو^۲ در جدول (۲) نشان داده شده است.

(شکل ۲) نمودارهای میانگین مقدار تقاضای گاز طبیعی در گروه کشورهای منتخب درآمد متوسط و درآمد بالا در دوره زمانی ۲۰۲۰-۱۹۹۰ نشان می‌دهد:

• کشورهای ایران و پرتغال به ترتیب بیشترین و کمترین میانگین مقدار تقاضای گاز طبیعی را در میان گروه کشور منتخب کسب نموده‌اند.

جدول ۲: بررسی مانایی متغیرها در گروه کشورهای منتخب

متغیر	آماره t (P-∇ alue) در سطح در گروه کشورهای منتخب درآمد بالا	نتیجه در تفاضل مرتبه اول در گروه کشورهای منتخب درآمد بالا	آماره t (P-∇ alue) در سطح در گروه کشورهای منتخب درآمد بالا	نتیجه در گروه کشورهای منتخب درآمد بالا	آماره t (P-∇ alue) در سطح در گروه کشورهای منتخب درآمد متوسط	نتیجه در گروه کشورهای منتخب درآمد متوسط
LNGC	-۲/۵۷۵۳۴ (۰/۰۰۵۰)	-	I(0)- مانا	-۳/۸۱۲۴ (۰/۰۰۰۱)	I(0)- مانا	I(0)- مانا
LGP	-۱/۳۷۵۲۸ (۰/۰۸۴۵)	-	I(0)- مانا	-۴/۳۴۵۰ (۰/۰۰۰۰)	I(0)- مانا	I(0)- مانا
LINCOM	-۴/۵۱۶۰۴ (۰/۰۰۰۰)	-	I(0)- مانا	-۲/۶۴۶۳ (۰/۰۰۴۱)	I(0)- مانا	I(0)- مانا
LEP	۰/۶۳۷۴ (۰/۷۳۸۱)	-۴/۳۴۵۰۱ (۰/۰۰۰۰)	I(1)- مانا	-۵/۸۷۱۲ (۰/۰۰۰۰)	I(0)- مانا	I(0)- مانا
LHDD	-۶/۰۳۹۸۶ (۰/۰۰۰۰)	-	I(0)- مانا	-۲/۴۵۰۷ (۰/۰۰۷۱)	I(0)- مانا	I(0)- مانا
LCDD	-۳/۵۲۳۶۶ (۰/۰۰۰۲)	-	I(0)- مانا	-۳/۶۱۵۵ (۰/۰۰۰۱)	I(0)- مانا	I(0)- مانا

همان‌طور که مشاهده می‌شود بر اساس سطح احتمال آماره لوین، لین و چو، مقدار سطح معنی‌داری همه متغیرها به‌جز لگاریتم قیمت کالای مرتبط (برق) در گروه کشورهای درآمد بالا کمتر از ۰/۰۵ می‌باشد؛ بنابراین برای همه متغیرها به‌جز لگاریتم قیمت کالای مرتبط (برق) در گروه کشورهای درآمد بالا فرضیه ریشه واحد رد می‌شود و همه متغیرها به‌جز

لگاریتم قیمت کالای مرتبط (برق) در گروه کشورهای درآمد بالا در سطح مانا می‌باشند؛ اما لگاریتم قیمت کالای مرتبط (برق) در گروه کشورهای درآمد بالا با یک‌بار تفاضل گیری مانا شده است. در نتیجه پایداری داده‌های مورد استفاده در مطالعه قبل از برآورد معادله رگرسیونی مورد تأیید واقع می‌شود.

1. Panel Unit Root Test
2. Levin, Lin & Chu

۳-۱. روش تجزیه و تحلیل داده‌ها

به منظور تخمین معادله رگرسیونی (۳) از روش داده‌های پانل استفاده شده است. به کار بردن داده‌های پانل مزیت‌هایی دارد که آن را به یکی از پیشرفته‌ترین ابزارهای اقتصادسنجی تبدیل نموده است. داده‌های پانل دارای اطلاعات بیشتر، تغییرپذیری بیشتر، هم خطی کمتر، درجه آزادی بالاتر و کارایی بالاتر نسبت به سری زمانی و داده‌های مقطعی می‌باشند. به خصوص این که یکی از روش‌های کاهش هم خطی، ترکیب داده‌های مقطعی و زمانی به صورت پانل می‌باشد. داده‌های پانل مجموعه داده‌هایی می‌باشند که بر اساس آن مشاهدات به وسیله تعدادی از متغیرهای مقطعی در طول یک دوره زمانی مشخص مورد بررسی قرار می‌گیرند. داده‌های پانل در واقع بیان‌کننده داده‌های مقطعی در طی زمان هستند و از ترکیب داده‌های سری زمانی و داده‌های مقطعی به دست می‌آیند. بنابراین حجم مشاهدات در داده‌های پانل نسبتاً زیاد است. مدل خطی پانل را می‌توان به پنج حالت زیر طبقه‌بندی نمود:

- تمامی ضرایب ثابت‌اند و فرض می‌شود که جمله اخلاص قادر است. تمام تفاوت‌های میان واحدهای مقطعی و زمان را دریافت کند و توضیح دهد.

$$Y_{it} = \alpha + \sum_{j=1}^J \beta_j X_{jit} + e_{it} \quad (4)$$

- ضرایب مربوط به متغیرها (شیب‌ها) ثابت‌اند و تنها عرض از مبدأ برای واحدهای مختلف مقطعی متفاوت است.

$$Y_{it} = \alpha_i + \sum_{j=1}^J \beta_j X_{jit} + e_{it} \quad (5)$$

- ضرایب مربوط به متغیرها (شیب‌ها) ثابت‌اند و تنها عرض از مبدأ در زمان‌ها و واحدهای مختلف مقطعی تغییر می‌کند.

$$Y_{it} = \alpha_{it} + \sum_{j=1}^J \beta_j X_{jit} + e_{it} \quad (6)$$

- همه ضرایب برای تمام واحدهای مقطعی متفاوت است.

$$Y_{it} = \alpha_i + \sum_{j=1}^J \beta_{ji} X_{jit} + e_{it} \quad (7)$$

- تمام ضرایب هم نسبت به زمان هم نسبت به واحدهای مقطعی متفاوت است.

$$Y_{it} = \alpha_{it} + \sum_{j=1}^J \beta_{jit} X_{jit} + e_{it} \quad (8)$$

این پنج مورد در دو قالب کلی مدل‌های اثرات ثابت^۱ و اثرات تصادفی^۲ قابل برآورد می‌باشند. برای تشخیص این که مدل به روش اثرات ثابت یا تصادفی برآورد شود از آزمون هاسمن به صورت زیر استفاده می‌شود:

$$\begin{cases} H_0: \text{Random Effects} \\ H_1: \text{Fixed Effects} \end{cases}$$

$$H \equiv n \hat{q} (A \text{var}(\hat{q}))^{-1} \hat{q} \quad (9)$$

که در آن:

$\hat{q}$: تفاضل ضرایب برآورد شده برای متغیرهای توضیحی لحاظ شده در روش اثرات ثابت و تصادفی ($\hat{q} = \hat{\beta}_E - \hat{\beta}_R$)

$A \text{var}(\hat{q})$: واریانس مجانبی $\hat{q}$

n : تعداد مشاهدات

فرضیه صفر این است که تخمین زدن‌های مدل اثرات تصادفی و اثرات ثابت به طور اساسی تفاوتی با یکدیگر ندارند. اگر فرضیه صفر رد شود، روش اثرات تصادفی مناسب نیست و بهتر است از روش اثرات ثابت استفاده شود. آماره هاسمن دارای توزیع کای-دو با درجه آزادی برابر تعداد ضرایب تخمین زده شده در مدل می‌باشد. اگر آماره محاسبه شده در سطح احتمال معین از توزیع کای-دو جدول بزرگ‌تر باشد در این صورت فرضیه صفر رد می‌شود.

۴. برآورد معادله رگرسیونی

به منظور تخمین معادله رگرسیونی (۳) ابتدا لازم است تا نوع روش تخمین جهت نوع خاص داده‌های پانل تعیین شود؛ بنابراین ابتدا برای تعیین وجود (عدم وجود) عرض از مبدأ جداگانه برای هر یک از کشورهای آماره F لیمر (چاو) استفاده شد. با توجه به میزان آماره F (چاو) محاسبه شده در جدول (۳) فرضیه صفر آزمون مبنی بر استفاده از روش حداقل مربعات معمولی رد می‌شود. در نتیجه رگرسیون

1. Fixed Effects
2. Random Effects

مقید (حداقل مربعات معمولی) دارای اعتبار نمی‌باشد و باید
 عرض از مبدهای مختلفی (روش اثرات ثابت یا تصادفی) به میزان آماره به‌دست‌آمده از انجام محاسبات برای این
 را در مدل لحاظ نمود. سپس برای آزمون این‌که مدل با رگرسیون در جدول (۳) روش اثرات ثابت در تخمین معادله
 بهره‌گیری از روش اثرات ثابت یا تصادفی برآورد گردد، از رگرسیونی مورد استفاده قرار گرفت که نتایج مربوطه در
 آزمون هاسمن استفاده شد. [۳۷-۳۹] انجام این آزمون جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳: برآورد تابع تقاضای گاز طبیعی در گروه کشورهای منتخب به روش اثرات ثابت
 (متغیر وابسته: لگاریتم مقدار تقاضای گاز طبیعی)

متغیر	گروه کشورهای در آمد متوسط	گروه کشورهای در آمد بالا
متغیرهای توضیحی	ضرایب (آماره t) {p-value}	ضرایب (آماره t) {p-value}
C	۱/۳۲۲۲۹۸ (۱/۱۵۴۳۲۰) {۰/۲۴۹۰}	۳/۳۷۰۳۸۳ (۲/۴۸۷۹۱۰) {۰/۰۱۳۴}
LGP	-۰/۱۹۶۵۵۳ (-۲/۵۲۷۹۹۲) {۰/۰۱۱۸}	-۰/۲۵۶۰۷۷ (-۳/۴۱۲۱۶۴) {۰/۰۰۰۷}
LEP	۰/۰۹۱۶۸۳ (۱/۹۹۰۹۳۱) {۰/۰۴۷۱}	۰/۰۲۹۵۶۲ (۰/۹۱۶۳۸۵) {۰/۰۵۶۲}
LINCOM	۰/۴۹۰۹۵۹ (۴/۶۲۲۰۳۱) {۰/۰۰۰۰}	۰/۳۵۵۶۱۱ (۳/۷۰۰۹۶۹) {۰/۰۰۷۳}
LHDD	۰/۰۲۸۹۳۳ (۲/۲۹۶۷۸۷) {۰/۰۲۲۱}	۰/۰۳۲۹۹۹ (۲/۵۴۸۵۵) {۰/۰۱۱۳}
LCDD	-۰/۰۰۲۵۷۸ (-۰/۲۸۵۸۷۶) {۰/۷۷۵۲}	۰/۰۰۶۱۸۲ (۰/۷۶۰۳۰۳) {۰/۴۴۷۶}
Durbin-Watson stat	۲/۰۲۹۳۰۵	۲/۱۰۴۹۴۴
R ²	۰/۹۹۶۴۸۷	۰/۹۹۷۰۸۲
F-statistic Prob(F-statistic)	۵۶۰۳/۹۱۷ (۰/۰۰۰۰۰)	۳۹۱۹/۳۸۲ (۰/۰۰۰۰۰)
آزمون F-لیمر	F(۱۸/۴۷۰) = ۱۵۵/۹۳۵۲۳۹ P-value = (۰/۰۰۰۰)	F(۱۳/۳۳۱) = ۵۸۳/۹۰۷۵۵۹ P-value = (۰/۰۰۰۰)
آماره هاسمن	CHISO(5) = ۱۸/۷۸۷۸۰۶ P-value = [۰/۰۰۲۱]	CHISO(4) = ۱۰/۱۱۵۰۹۲ P-value = [۰/۰۳۸۵]

*** معنی‌داری در سطح ۹۵ درصد

*** معنی‌داری در سطح ۹۹ درصد



نتایج حاصل از برآورد معادله رگرسیونی (۳) در گروه کشورهای منتخب با استفاده از روش اثرات ثابت نشان می‌دهد که:

قیمت گاز طبیعی تأثیر منفی و معنی‌داری بر مقدار تقاضای گاز طبیعی در گروه کشورهای منتخب دارد؛ بنابراین فرضیه مربوط به تأثیر منفی و معنی‌دار قیمت گاز طبیعی بر مقدار تقاضای گاز طبیعی در گروه کشورهای منتخب را نمی‌توان رد کرد. با افزایش یک درصد در قیمت گاز طبیعی به‌طور متوسط با فرض ثابت بودن سایر شرایط، مقدار تقاضای گاز طبیعی در گروه کشورهای منتخب درآمد بالا به میزان ۰,۲۵۶۰۷۷ درصد و در گروه کشورهای منتخب درآمد متوسط به میزان ۰,۱۹۶۵۵۳ درصد کاهش یافته است.

- درآمد ملی سرانه تأثیر مثبت و معنی‌داری بر مقدار تقاضای گاز طبیعی در گروه کشورهای منتخب دارد؛ بنابراین فرضیه مربوط به تأثیر مثبت و معنی‌دار درآمد ملی سرانه بر مقدار تقاضای گاز طبیعی در گروه کشورهای منتخب را نمی‌توان رد کرد. با افزایش یک درصد در درآمد ملی سرانه به‌طور متوسط با فرض ثابت بودن سایر شرایط، مقدار تقاضای گاز طبیعی در گروه کشورهای منتخب درآمد بالا به میزان ۰,۳۵۵۶۱۱ درصد و در گروه کشورهای منتخب درآمد متوسط به میزان ۰,۴۹۰۹۵۹ درصد افزایش یافته است.

- قیمت برق تأثیر مثبت و معنی‌داری بر مقدار تقاضای گاز طبیعی در گروه کشورهای منتخب دارد؛ بنابراین فرضیه مربوط به تأثیر مثبت و معنی‌دار قیمت برق بر مقدار تقاضای گاز طبیعی در گروه کشورهای منتخب را نمی‌توان رد کرد. افزایش یک درصد در قیمت برق به‌طور متوسط با فرض ثابت بودن سایر شرایط، مقدار تقاضای گاز طبیعی در گروه کشورهای منتخب درآمد بالا به میزان ۰,۰۲۹۵۶۲ درصد و در گروه کشورهای منتخب درآمد متوسط به میزان ۰,۰۹۱۶۸۳ درصد افزایش یافته است.

- روز درجه گرمایش تأثیر مثبت و معنی‌داری بر مقدار تقاضای گاز طبیعی در گروه کشورهای منتخب دارد. با ثابت ماندن سایر متغیرها با افزایش یک درصد درجه روز گرمایش به‌طور متوسط با فرض ثابت بودن سایر شرایط، مقدار تقاضای گاز طبیعی در گروه کشورهای منتخب درآمد بالا به میزان ۰,۰۳۲۹۹۹

درصد و در گروه کشورهای منتخب درآمد متوسط به میزان ۰,۰۲۸۹۳۳ درصد افزایش یافته است. نتایج این مطالعه با مطالعه تاتلی (۲۰۲۲) همسو می‌باشد.

- روز درجه سرمایش تأثیر معنی‌داری بر مقدار تقاضای گاز طبیعی در گروه کشورهای منتخب ندارد. نتایج این مطالعه با مطالعه تاتلی (۲۰۲۲) همسو نیست.
- مقدار ضریب تعیین نشان می‌دهد که بیش از نود درصد از تغییرات مقدار تقاضای گاز طبیعی در گروه کشورهای منتخب توسط متغیرهای مستقل معادله رگرسیونی توضیح داده شده است.

۴. نتیجه‌گیری

هدف اصلی این مطالعه برآورد کشش‌های قیمتی، درآمدی و متقاطع تقاضای گاز در گروه کشورهای منتخب درآمد متوسط و درآمد بالا در بازه زمانی ۱۹۹۰-۲۰۲۰ می‌باشد. نتایج حاصل از برآورد معادله رگرسیونی نشان داد که بر اساس کشش‌های قیمتی به‌دست‌آمده در گروه کشورهای منتخب گاز طبیعی، کالایی بی‌کشش در هر دو گروه محسوب می‌شود. عکس‌العمل مصرف‌کنندگان گاز طبیعی در گروه کشورهای منتخب درآمد بالا نسبت به تغییر یکسان در قیمت گاز طبیعی بیشتر از گروه کشورهای منتخب درآمد متوسط می‌باشد. نتایج این مطالعه با مطالعات لطفی پور (۱۳۸۲)، امیری (۱۳۹۴)، رئیس زاده (۱۳۹۲)، شیرانی فخر (۱۳۹۶)، گیگلو (۱۳۹۳) و دانگ و همکاران (۲۰۱۹) همسو و با مطالعات برک و یانگ (۲۰۱۶)، تاتلی (۲۰۲۲) هماهنگ نیست.

بر اساس کشش‌های درآمدی به‌دست‌آمده در گروه کشورهای منتخب‌شده، گاز طبیعی کالایی ضروری در هر دو گروه کشورهای منتخب محسوب می‌شود. عکس‌العمل مصرف‌کنندگان گاز طبیعی در گروه کشورهای منتخب درآمد متوسط نسبت به تغییر یکسان درآمد بیشتر از گروه کشورهای منتخب درآمد بالا می‌باشد. نتایج این مطالعه با مطالعات رئیس زاده (۱۳۹۲)، برنستن و همکاران (۲۰۱۱)، مطالعه کشاورز حداد (۱۳۸۶) همسو و با مطالعات برک و یانگ (۲۰۱۶)، تاتلی (۲۰۲۲) هماهنگ نیست.

بر اساس کشش‌های متقاطع به‌دست‌آمده در گروه کشورهای منتخب، گاز طبیعی کالایی ضروری در هر دو گروه کشورهای منتخب محسوب می‌شود. در هر دو گروه کشورهای منتخب، برق و گاز طبیعی کالایی جانشین هم

[8]. Paul J. Burke, Hewen Yang, The price and income elasticities of natural gas demand: International evidence, *Energy Economics*, Volume 59, September 2016, Pages 466-477 <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2016.08.025> Get rights and content.

[9]. Maximilian Auffhammer & Edward Rubin Twitter LinkedIn “(2018) Natural Gas Price Elasticities and Optimal Cost Recovery Under Consumer Heterogeneity: Evidence from 300 million natural gas bills” Working Paper 24295 DOI 10.3386/w24295.

[10]. Markos Farag und Chahir Zaki (2021) Price and Income Elasticities of Natural Gas Demand in Egypt: A Bound Test Approach” *Review of Middle East Economics and Finance*, <https://doi.org/10.1515/rmeef-2020-0028>.

[11]. Halim TATLI, 2022. “Long-term price and income elasticity of residential natural gas demand in Turkey, Theoretical and Applied Economics, Asociatia Generala a Economistilor din Romania - AGER, vol. 0(1(630), S), pages 101-122, Spring.

[۱۲]. لطفی پور، محمدرضا. باقری، احمد. ۱۳۸۲. تخمین تابع تقاضای گاز طبیعی مصارف خانگی شهر تهران. فصلنامه پژوهش‌های اقتصادی ایران. صص ۱۵۱-۱۳۳.

[۱۳]. رئیس زاده، محمدعلی. ۱۳۹۲. بررسی تأثیر اصلاح یارانه‌ها بر میزان مصرف گاز طبیعی در بخش خانگی و تجاری با رویکرد پانل دیتا. رساله کارشناسی ارشد. دانشکده اقتصاد. دانشگاه علوم اقتصادی ص ۶۰.

[۱۴]. امینی، پری. ۱۳۹۴. برآورد تابع تقاضای گاز طبیعی ترکیبی در استان‌های تهران و اصفهان با رویکرد تجزیه قیمت و روش پانل پویا. پایان‌نامه. دانشکده علوم اقتصادی و سیاسی. دانشگاه شهید بهشتی.

[۱۵]. شیرانی، فخر، زهره (۱۳۹۶) برآورد کشش‌های قیمتی و تولیدی تابع تقاضای گاز طبیعی در زیر بخش صنایع

محسوب می‌شود. عکس‌العمل مصرف‌کنندگان گاز طبیعی در گروه کشورهای منتخب درآمد بالا نسبت به تغییر یکسان در قیمت برق بیشتر از گروه کشورهای منتخب درآمد متوسط می‌باشد. نتایج این مطالعه با مطالعه شیرانی فخر (۱۳۹۶) هماهنگ نیست.

مراجع:

[۱]. غلام‌زاده، وسام. (۱۳۹۸) سیاست خارجی ایران در مورد صادرات نفت و انرژی در دوره پسا برجام، مجله: تحقیقات جدید در علوم انسانی، شماره ۵۳، ص ۸۳-۱۱۴.

[۲]. موسوی میرحسین، دهنوی جلال، نعمتیان، نگین قیمت‌گذاری گاز طبیعی برای نیروگاه‌های تولید برق فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی پاییز ۱۴۰۰، دوره ۱۷، شماره ۷۰، صفحه ۳۵ تا صفحه ۵۴.

[3]. Kangyin Dong, Xiucheng Dong & Renjin Sun “How did the price and income elasticities of natural gas demand in China evolve from 1999 to 2015? The role of natural gas price reform” *Petroleum Science* volume 16, pages 685–700 (2019).

[۴]. دشتبان فاروجی سحر، درگاهی حسن (۱۴۰۰) تعیین اولویت بازارهای صادراتی گاز طبیعی ایران به روش تاکسونومی عددی فصل‌نامه مطالعات اقتصاد انرژی/ سال هفدهم / شماره ۷۰ / پاییز ۱۴۰۰ / صفحات ۳۳.

[۵]. حمیدی رزی، داوود، رنج پور، رضا، متفکر آزاد، محمدعلی، (۱۳۹۸) برآورد و تحلیل کشش‌های قیمتی تقاضای انرژی استان‌های کشور: رهیافت مدل میانگین گروهی تعمیم‌یافته فصلنامه پژوهش‌ها و سیاست‌های اقتصادی، دوره ۲۷، شماره ۹۲، صص ۳۳۷-۳۷۱.

[6]. Jian Chai & Huiting Shi & Xiaoyang Zhou & Shouyang Wang, 2018. “The Price Elasticity of Natural Gas Demand in China: A Meta-Regression Analysis, *Energies*, MDPI, vol. 11(12), pages 1-18,

[7]. Wang, T. and Lin, B. (2014). China’s Natural Gas Consumption and Subsidies- From a Sector Perspective. *Energy Policy*,





- deregulation. Energy Economics.
- [24]. Penasco, Cristina. Del Rio Pablo. Romero –Jordan desiderio. 2017. Gas and electricity demand in Spanish manufacturing industries: An analysis using homogeneous and heterogeneous estimators. Utilities Policy.
- [25]. Mashhadi Rajabi, Mona, Mirhossein Mousavi” Estimating Industrial Natural Gas Demand Elasticities in Selected OECD Countries “Energy Economic Letters, Vol. 6 No. 1 (2019) <https://doi.org/10.18488/journal.82.2019.61.52.65>.
- [۲۶]. باغجری، محمود. ۱۳۸۴. تخمین تابع تقاضای گاز طبیعی ایران، رساله کارشناسی ارشد، دانشکده اقتصاد، دانشگاه تهران.
- [۲۷]. کشاورز حداد، غلامرضا. میرباقری جم، محمد. ۱۳۸۶. بررسی تابع تقاضای گاز طبیعی (خانگی و تجاری) در ایران. پژوهش‌های اقتصادی ایران دوره ۹. شماره ۳۲ صص ۱۳۷-۱۶۰.
- [۲۸]. نوپخت، محمدباقر. مرعشی، سارا. ۱۳۸۸. پیش‌بینی وضعیت بازار گاز و ارتباط آن با قیمت‌های جهانی نفت. معاونت پژوهش‌های اقتصادی مرکز تحقیقات استراتژیک مجمع تشخیص مصلحت نظام.
- [۲۹]. سالاری ابراهیمی، تقی. عربشاهی، مهدیه. سیدآقا حسینی، محسن. ۱۳۸۹. تأثیر هدفمندسازی یارانه‌ها به میزان مصرف گاز طبیعی خانگی در شهرستان مشهد. اولین کنفرانس بین‌المللی رویکردهای نوین نگهداشت انرژی.
- [۳۰]. صدرزاده مقدم، سعید. صادقی، زین‌العابدین. قدس‌الهی، احمد. ۱۳۹۲. تخمین تقاضای انرژی و کشش قیمتی و جانشینی نهاده‌ها در بخش صنعت: رگرسیون معادلات به‌ظاهر نامرتب SUR. فصلنامه اقتصاد محیط زیست و انرژی. سال دوم. شماره ۶. صص ۱۲۷-۱۰۷ ص ۵.
- [۳۱]. ملاعلی کنی، علیرضا. عباسپور، مجید. عابدی، زهرا. برآورد تابع تقاضای گاز طبیعی در بخش خانگی و تجاری ایران: رویکرد مدل‌سازی غیرخطی. فصلنامه تولید فلزات اساسی ایران: فصلنامه تحقیقات مدل‌سازی اقتصادی، دوره ۸، شماره ۳۰ صص ۱۶۹-۲۱۸.
- [۱۶]. اسکندری نیا، سکینه. ۱۳۹۳. برآورد تابع تقاضای انرژی در بخش خانگی - تجاری استان خوزستان با تمرکز بر ارزیابی اثر هدفمندسازی یارانه‌ها. پایان‌نامه. دانشکده علوم اقتصادی و سیاسی. دانشگاه شهید بهشتی. ص ۵.
- [۱۷]. صادقی، حسین. مهرگان، نادر. امانی، مسعود. ۱۳۹۱. استفاده از روش روز درجه در برآورد تقاضای گاز طبیعی بخش خانگی ایران با رویکرد پنل دیتا. فصلنامه مطالعات اقتصاد انرژی. سال نهم. شماره ۳۲. صص ۱۸۷-۱۶۹ ص ۶۱.
- [18]. Bernstein R. Madlener R. (2011). Residential Natural Gas Demand Elasticities in OECD Countries: An ARDL Bounds Testing Approach, FCN Working Paper.
- [19]. Arshd khan, Muhammad. 2015. modelling and forecasting the demand for natural gas in Pakistan. Renewable and Sustainable Energy Reviews. Baltagi, B.H. 2005. Econometric Analysis of Panel Data. Third 85.
- [20]. Akpınar, Mustafa. Yumusak, Nejat. 2016. Year ahead demand forecast of city natural gas using seasonal time series methods. Energy Reports.
- [21]. Zou, gaolu. Feng, dingsheng. Chau, k, w. 2016. Relationships between Natural Gas Production in Persian Gulf States and Natural Gas Consumption in the European Union. Energy Reports.
- [22]. Deřtek akif, Mehmet. 2016. Natural gas consumption Natural gas consumption and economic growth: Panel evidence from OECD countries. Energy.
- [23]. Wiggins, Seth. Etienne xiaoli l. 2017. Turbulent times: Uncovering the origins of US natural gas price fluctuations since

اقتصاد کاربردی. سال چهارم. شماره دوازدهم.

[۳۲]. گیگلو، لایق. ۱۳۹۳. بررسی نامتقارن گاز طبیعی بر مصرف آن در بخش‌های خانگی و صنعتی در دوره زمانی ۱۳۹۲-۱۳۷۰ در دو بخش خانگی و صنعتی... پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشکده علوم اقتصادی و سیاسی. دانشگاه شهید بهشتی.

[۳۳]. مسعودی، خدیجه. ۱۳۹۵. مدل‌سازی تقاضای گاز طبیعی و برآورد انتشار آلاینده‌ها و دی‌اکسید کربن ناشی از آن. پایان‌نامه. دانشکده علوم اقتصادی. دانشگاه خوارزمی.

[۳۴]. مولایی، محمد. یعقوبی، مسلم. ۱۳۹۵. تقاضا برای گاز طبیعی در بخش خانگی در منطقه ۷ ایران. فصلنامه پژوهشنامه‌های اقتصاد انرژی ایران. دوره ۵. زمستان ۱۳۹۵. صفحه ۱۶۹-۱۹۱.

[۳۵]. دژپسند، فرهاد، خزایی، علیرضا (۱۳۹۷) برآورد کشش‌های قیمتی و درآمدی مؤثر بر تقاضای بنزین و نفت گاز در بخش حمل‌ونقل کشور فصلنامه اقتصاد و الگوسازی (اقتصاد)، دوره ۹، شماره ۱، صص ۱۱۷-۱۴۲.

[۳۶]. شریفی، نورالدین، جام‌گوهری، مهدی، ۱۴۰۰ تعیین قیمت سایه‌ای گاز طبیعی در فعالیت‌های تولیدی اقتصاد ایران: تحلیل داده‌ستاده مطالعات اقتصاد انرژی، دوره ۱۷، شماره ۶۸، صص ۲۵۳-۲۷۲.

[۳۷]. حسنوند سمیه، خداپناه، مسعود (۱۳۹۳) تأثیر گردشگری بر رشد اقتصادی در کشورهای در حال توسعه: دو رویکرد پانل ایستا و پانل پویا فصلنامه سیاست‌های راهبردی و کلان، تابستان ۱۳۹۳، دوره ۲، شماره ۶، صفحه ۸۷ تا صفحه ۱۰۲.

[۳۸]. احمد رسولی زاده، منیر، ضیایی، سامان (۱۳۹۸) بررسی عوامل مؤثر بر انتشار دی‌اکسید کربن در کشورهای منتخب OECD با استفاده از الگوی پانل دیتا فصلنامه محیط‌زیست طبیعی (منابع طبیعی ایران)، دوره ۷۲، شماره ۳، صص ۳۳۹-۳۵۲.

[۳۹]. سلاطین پروانه (۱۳۹۸) کیفیت حکمرانی و کارآفرینی در رهیافت داده‌های پانل کشورهای منتخب فصلنامه دولت پژوهی، دوره ۵، شماره ۲۰، صص ۷۱-۱۰۳.



The Elasticity of Natural Gas Demand in Selected Countries

Samira yasavol¹, Parvaneh Salatin^{2*}

1. M.Sc. Department of Industrial Engineering, Technical and Engineering Faculty, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2. Assistant Professor, Department of Economics, Firoozkooh Branch, Islamic Azad University, Firoozkooh, Iran

*Corresponding Author, Email Address: p_salatin@iauec.ac.ir

Abstract

In this study, the estimation of price, income and cross elasticities of gas demand in the selected group of high income and middle -income countries in the period of 1990-2020 has been done using the panel data method. The results of the estimation of the model using the fixed effects method showed that gas is an inelastic commodity in the group of selected countries. The price elasticity of natural gas in the group of selected high income and middle-income countries is 0.256077 and 0.196553 respectively. The reaction of gas consumers in the group of selected high-income countries is higher than the group of selected middle-income countries to the same change in the price of gas and also, the results of income elasticity showed that gas is an essential commodity in the group of selected countries. The income elasticity of gas in the group of selected high-income and middle-income countries is 0.355611 and 0.490959, respectively, and finally, the results of cross-elasticity estimation showed that electricity is a substitute for gas in the group of selected countries. The cross-elasticity of gas compared to the price of electricity in the group of selected high-income and middle-income countries is 0.029562 and 0.091683, respectively. The reaction of gas consumers in the group of selected middle-income countries to the same change in income and price of electricity is more than that of the group of selected high-income countries.

Keywords: Gas demand, Income elasticity of demand, Price elasticity of demand, Panel data



طراحی مدل رویگردانی مصرف‌کنندگان گاز طبیعی (مطالعه موردی: شرکت گاز استان مازندران)

ابوذر پوریانی^۱، هرمز مهرانی^۲، روح اله سمیعی^۳، سامره شجاعی^۴، محمدرضا امیدخواه نسرين^۴

۱. دانشجوی دکترای، گروه مدیریت، واحد علی آباد کتول، دانشگاه آزاد اسلامی، علی آباد کتول، ایران

۲. استادیار، عضو هیئت علمی موسسه آموزش عالی غزالی، قزوین، ایران

۳. استادیار، گروه مدیریت، واحد علی آباد کتول، دانشگاه آزاد اسلامی، علی آباد کتول، ایران

۴. استاد، دانشکده مهندسی شیمی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

آدرس پست الکترونیک نویسنده مسئول مکاتبات: mehrani@ghazali.ac.ir

مقاله علمی - پژوهشی

صفحه ۴۷ - ۵۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۴/۱۹

چکیده

هدف پژوهش حاضر طراحی مدل رویگردانی مصرف‌کنندگان گاز طبیعی در استان مازندران بوده است. روش پژوهش، کاربردی و توصیفی بود که با رویکرد آمیخته اکتشافی انجام شده است. جامعه آماری در مرحله کیفی ۱۰ نفر از خبرگان و در مرحله کمی، مصرف‌کنندگان گاز طبیعی بودند که حجم نمونه ۳۸۴ نفر تعیین و از نمونه‌گیری تصادفی ساده استفاده شد. برای شناسایی عوامل از روش دلفی و برای طراحی مدل از روش معادلات ساختاری با نرم‌افزار Smart PLS₃ استفاده شده است. نتایج نشان دادند عوامل مؤثر بر رویگردانی مصرف‌کنندگان گاز طبیعی، شامل ۱۱ مؤلفه در قالب ۷ بعد (اجتماعی و فرهنگی، اقتصادی، فناوری، زیست‌محیطی، سیاسی، عوامل درونی و قانونی) می‌باشند. همچنین نتایج نشان دادند اجتماعی و فرهنگی (۰/۶۹۸)، اقتصادی (۰/۸۵۵)، فناوری (۰/۷۵۶)، زیست‌محیطی (۰/۷۶۲)، سیاسی (۰/۸۷۲)، عوامل درونی (۰/۸۳۱) و قانونی (۰/۷۵۵) بر رویگردانی مصرف‌کنندگان گاز طبیعی تأثیر معنی‌داری دارند.

کلیدواژه‌ها: رویگردانی، مصرف‌کنندگان، گاز طبیعی

۱. مقدمه

در گذشته اعتقاد بسیاری از شرکت‌ها بر این بود که می‌توانند با تمرکز بر فرآیندهای درونی و بیرونی خود به مزایایی چون کاهش هزینه‌ها و بهبود فرآیندها دست پیدا کنند، اما دیری نپایید که شرکت‌های پیشرو به این باور رسیدند که برای موفق بودن لازم است تا مشتری محور بوده و بتوانند مشتریان کنونی را حفظ کنند [۱]. امروزه شرکت‌ها به‌خوبی به این نکته واقف هستند که حفظ یک مشتری بسیار کم‌هزینه‌تر از جذب مشتریان جدید است و درک صحیح نیازها و خواسته‌های مشتری می‌تواند بقای شرکت را تضمین کند [۲-۳]. اگر منافع، دیدگاه‌ها و یا اولویت‌های مشتری به هر نحوی توسط شرکت‌ها مورد بی‌توجهی قرار گیرد، نتیجه آن منجر به رویگردانی مشتری از آن شرکت خواهد شد [۴]. افزایش سطح رویگردانی مشتریان هزینه‌های بالایی برای شرکت‌ها دارد؛ این هزینه‌ها مستقیم و غیرمستقیم است [۵]. هزینه‌های مستقیم رویگردانی مشتریان را می‌توان در کاهش سودآوری شرکت و هزینه‌های غیرمستقیم آن را می‌توان در مواردی همچون صرف هزینه‌های بالا برای جذب مشتری جدید یافت [۶]؛ بنابراین شرکت‌ها بایستی به عوامل مؤثر





بر رویگردانی مشتریان بپردازند تا از این طریق از کاهش مشتریان خود جلوگیری کنند [۷]. رویگردانی به عنوان انصراف مشتری از ادامه فعالیت با یک شرکت، چالش اساسی بسیاری از شرکت‌ها در سرتاسر جهان به شمار می‌رود [۸].

انرژی یکی از صنایع پرطرفدار و مهم در دنیا محسوب می‌شود و گاز طبیعی یکی از مهم‌ترین منابع انرژی است [۹-۱۰]. از این‌رو مدیران شرکت گاز بر این باورند که مصرف‌کنندگان مجبورند جهت گرمایش منازل خود صرفاً از گاز طبیعی استفاده کنند، در حالی که این یک خطای نزدیک‌بینی بازار محسوب می‌شود؛ زیرا واقعیت امر این است که مصرف‌کنندگان گاز طبیعی جهت گرمایش منازل نیاز به انرژی دارند و در صورت عدم رضایت از خدمات شرکت گاز، این انرژی می‌تواند از طریق انرژی‌های تجدیدپذیر تأمین شود [۴]. امروزه با کاهش مصرف سوخت‌های فسیلی در جهان، استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر نقش پررنگی در سبد انرژی جهان، به دست آورده است و کاربرد انرژی تجدیدپذیر یک‌راه مناسب برای برآورده کردن مصرف انرژی بدون تخریب محیط‌زیست است [۴-۱۱]. با توجه به مطالب بیان‌شده، باید پذیرفت که مشتریان نیاز به انرژی دارند نه گاز طبیعی و در صورت وجود گزینه مقرون به صرفه، مناسب و با کم‌ترین مخاطرات زیست‌محیطی، حوادث جانی و ... تمایل به جایگزینی و تغییر تأمین‌کنندگان پیدا می‌کنند و این می‌تواند زنگ خطری برای شرکت گاز باشد تا بخشی از سهم بازار را به تدریج از دست بدهد. در این پژوهش تلاش می‌شود تا با شناسایی عوامل کلیدی و نیروهای پیشران، مدلی برای جلوگیری از رویگردانی مصرف‌کنندگان گاز طبیعی طراحی شود.

مطالعات مربوط به قصد رویگردانی مشتریان و دلایل ترک شرکت‌ها از ابتدای دهه ۱۹۹۰ آغاز گردید ولی در حال حاضر مطالعات گسترده‌ای در این زمینه انجام گرفته است و روزبه‌روز نیز در حال افزایش می‌باشد [۱]. رویگردانی دارای تعاریف مختلفی است و تعریفی یکسان و قابل اعمال بر تمام صنایع، وجود ندارد؛ در واقع این مفهوم توسط کارشناسان با توجه به ویژگی‌های محیط صنعت و سازمان تعریف می‌شود [۱۲]. رویگردانی اصطلاحی است که به حرکت یک مشتری از یک تأمین‌کننده به تأمین‌کننده دیگر اطلاق می‌شود [۱۳]. رویگردانی مشتری با توجه به عوامل به وجود آورنده آن به رویگردانی ارادی و غیر ارادی تقسیم می‌گردد. رویگردانی ارادی زمانی اتفاق می‌افتد که مشتری شروع به خاتمه قرارداد

با شرکت کند. رویگردانی غیر ارادی زمانی اتفاق می‌افتد که شرکت‌ها تصمیم به حذف مشتری از لیست مشتریان‌شان می‌گیرند [۸].

بیضایی و بستم [۱۴] در تحقیقی با عنوان شناسایی عوامل مؤثر در کاهش نرخ رویگردانی مشتریان در موسسه اعتباری ملل، نشان دادند عوامل کیفیت ارتباط با مشتری، خدمات مالی، توسعه خدمات، رویه‌ها، بازاریابی و فضای خدماتی بر نرخ رویگردانی مشتریان اثرگذار بوده‌اند. نوری خان یوردی و همکاران [۱۵] در پژوهشی با عنوان مدل ساختاری رویگردانی مشتریان از فروشگاه‌های ورزشی، نشان دادند در بعد اساسی، وجود کیفیت نامناسب اجناس فروشگاه، در بعد عملکردی، نبود دسترسی مناسب و راحت به فروشگاه، در بعد انگیزشی، قیمت نامناسب اجناس فروشگاه و در بعد بی‌تفاوت، تبلیغات نامناسب فروشگاه در سطح شهر، به عنوان مهم‌ترین گویه‌های رویگردانی مشتریان بودند. عسگری و همکاران [۱۶] در تحقیقی با عنوان پیش‌بینی احتمال رویگردانی مشتریان در صنعت بانکداری ایران، نشان دادند در صورتی که بانک مشتری را از دست بدهد احتمال بازگرداندن مشتری بسیار پایین است. همچنین مشتریان فعال که معمولاً با هزینه‌های بالا جذب بانک می‌شوند، بسیار پایدار هستند و به سرعت تغییر وضعیت می‌دهند. بقائی و حسینی [۱۲] در تحقیقی با عنوان مدل‌سازی پیش‌بینی رویگردانی مشتریان صنعت بیمه، نشان دادند مدل درخت تصمیم C5.0 نسبت به سایر مدل‌ها دقت و صحت بالاتری در پیش‌بینی رویگردانی دارد.

امامی و همکاران [۲] در تحقیقی با عنوان ارائه مدلی برای رویگردانی مشتریان از بانک ملی با استفاده از معادلات ساختاریافته، نشان دادند عوامل مدیریتی به عنوان مؤثرترین عامل از جمله عوامل درونی و ملاحظات قومی به عنوان مؤثرترین عامل در عوامل بیرونی (محیطی) است. حیدری و عبدالوند [۱۷] در تحقیقی با عنوان الگوی عوامل مؤثر بر رویگردانی مشتریان در صنعت بیمه، نشان دادند عوامل مختلف بازاریابی رابطه‌ای شامل کیفیت خدمات ارائه شده، تناسب قیمت و وفاداری بر تمایل به رویگردانی تأثیر دارد. حسین‌خانی و همکاران [۱۸] در تحقیقی با عنوان شناسایی عوامل مؤثر بر رویگردانی مشتریان در صنعت بیمه، نشان دادند متغیرهای مربوط به ادراک و آگاهی مشتریان بیش از متغیرهای دموگرافیک و سطح قرارداد بر رویگردانی مشتریان مؤثرند.

بررسی تحقیقات پیشین انجام‌شده در خصوص رویگردانی

مشتریان بیان گر این است که ابعاد و مؤلفه‌های مختلفی در این زمینه وجود دارند که لازم است به صورت علمی و با رویکرد دقیق تری مورد بررسی قرار گیرند زیرا تاکنون چنین تحقیقی در شرکت گاز انجام نشده است.

۲. روش‌شناسی

این پژوهش از لحاظ هدف، کاربردی و از حیث روش اجرا، توصیفی-پیمایشی بود که با رویکرد آمیخته اکتشافی انجام شده است. جامعه آماری در مرحله کیفی ۱۰ نفر از خبرگان که دارای ویژگی‌هایی نظیر تجربه، تناسب رشته تحصیلی، مدرک تحصیلی، اشتغال به تدریس در دانشگاه، سابقه پژوهشی و تألیفی در این زمینه بودند و به روش قضاوتی هدفمند انتخاب شدند (جدول ۱). در مرحله کمی، کلیه مصرف‌کنندگان گاز طبیعی در استان مازندران بودند که حجم نمونه مطابق جدول کرجسی و مورگان [۱۹] ۳۸۴ نفر تعیین و برای نمونه‌گیری از روش تصادفی ساده استفاده شد. برای شناسایی عوامل از روش دلفی در سه دور (جدول ۲ تا ۴) و برای طراحی مدل از روش مدل‌سازی معادلات ساختاری با نرم‌افزار Smart PLS₃ استفاده شده است. برای سنجش روایی و پایایی مرحله کیفی از معیارهای لینکولن و گوبا^۱ [۲۰] استفاده شد. در این تحقیق قابلیت اعتبار از طریق بررسی توسط خبرگان صورت گرفت. به این ترتیب که در چند مورد پس از انجام و پیاده‌سازی مصاحبه و پرسشنامه اولیه نیمه‌باز به همراه تحلیلی از مصاحبه در اختیار فرد مصاحبه‌شونده قرار گرفت تا از صحت اطلاعات به دست آمده در مصاحبه اطمینان حاصل شود. برای معیار قابلیت ثبات به این منظور سعی شد تا با تهیه شواهد و مدارک کافی در خصوص عوامل مؤثر بر رویگردانی مصرف‌کنندگان گاز طبیعی به گونه‌ای مشروح و دقیق، رویه‌های مورد مطالعه، زمینه و شرایط پژوهش توصیف گردد. در واقع سعی شد کلیه فعالیت‌های صورت گرفته شامل مراحل کار و چگونگی گردآوری و تحلیل داده‌ها به دقت ثبت شوند. در راستای قابلیت انتقال این معیار به کاربردهای نتایج حاصل از پژوهش اشاره دارد و در راستای اعتبار بیرونی عمل می‌کند و در خصوص قابلیت تأیید بدین معناست که نتایج حاصل از پژوهش توسط استاد یا محقق که نقش راهنمای کار را بر عهده دارد مورد تأیید و صحت قرار بگیرد. این امر به این

جهت انجام می‌شود که ممکن است فرآیند تحقیق توسط ادراکات شخصی پژوهشگر تحت تأثیر قرار گیرد. در مرحله کمی نیز برای سنجش پایایی از آزمون‌های ضریب آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی^۲ (CR) و برای روایی همگرا از جذر میانگین واریانس استخراج شده^۳ (AVE) و روایی واگرا از روش فورنل^۴ و همکاران [۲۱] استفاده شده است. بدین صورت که برای هر یک از متغیرها، ضریب آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی (CR) در (جدول ۸) و مقادیر جذر میانگین واریانس استخراج شده (AVE) در (جدول ۹) و ماتریس همبستگی در (جدول ۱۰) بیان شده است. در نهایت برای برازش مدل از معیارهای Q^2 و R^2 استفاده شده است. ۱

جدول ۱- مشخصات خبرگان

ردیف	نام و نام خانوادگی	دانشگاه/سازمان	رشته تحصیلی
۱	ایرج مهدوی	علوم و فنون مازندران	دکتری مهندسی صنایع
۲	محسن طاهری	اصفهان	دکتری آینده‌پژوهی
۳	سعید خزایی	امام حسین (ع)	دکتری آینده‌پژوهی
۴	علی جوکار	شرکت گاز تهران	دانشجوی دکتری بازاریابی
۵	محمدعلی حاجی	شرکت گاز مازندران	دانشجوی دکتری بازاریابی
۶	مهرداد عمویی	شرکت گاز مازندران	دکتری مدیریت استراتژیک
۷	علی صفری	شرکت گاز مازندران	دکتری مهندسی صنایع
۸	محمد رضا امیدخواه	تربیت مدرس	دکتری مهندسی شیمی
۹	صادق صالحی	دانشگاه مازندران	دکتری جامعه‌شناسی محیط زیست
۱۰	مهدی نعیمی	آزاد اسلامی علی‌آبادکنتول	دکتری بازاریابی

۳. نتایج و بحث

در این مرحله با استفاده از روش دلفی، پرسشنامه نیمه‌باز محقق ساخته را در اختیار ۱۰ خبره گذاشته شد تا اجماع حاصل گردد.

1. Lincoln and Guba
2. Composite Reliability
3. Average Variance Extracted
4. Fornell

جدول ۲. مرحله اول نظرسنجی

مؤلفه‌ها	خیلی زیاد (۵)	زیاد (۴)	متوسط (۳)	کم (۲)	خیلی کم (۱)	تعداد پاسخ‌هایی که برای ۴ یا ۵ (زیاد) یا ۱ (خیلی زیاد) بودند	درصد به کل
سیاست‌های دولت در جهت توسعه گازرسانی و مصرف گاز طبیعی	۲	۷	۱	۰	۰	۹	٪۹۰
سیاست‌های دولت در جهت توسعه خصوصی‌سازی و واگذاری شرکت‌های گازرسانی	۱	۸	۱	۰	۰	۹	٪۹۰
تحریم‌های اقتصادی ناشی از تنش‌های سیاسی آمریکا و غرب با ایران	۳	۲	۵	۰	۰	۵	٪۵۰
رونق پتروشیمی‌ها و استفاده از گاز طبیعی به‌عنوان ماده اولیه / شکل‌گیری بازارهای نوظهور پتروشیمی	۱	۴	۴	۱	۰	۵	٪۵۰
سیاست‌های دولت در زمینه توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر	۸	۲	۰	۰	۰	۱۰	٪۱۰۰
افزایش گازهای گلخانه‌ای / باران اسیدی / گرم شدن زمین / خشک‌سالی / بحران‌های زیست‌محیطی و بیماری‌های ناشی از آن	۹	۱	۰	۰	۰	۱۰	٪۱۰۰
آگاهی و تغییر نگرش مردم در خصوص جنبه‌های زیست‌محیطی / وجود شبکه‌های اجتماعی / توانا شدن مشتریان	۷	۲	۱	۰	۰	۹	٪۹۰
ارتقای سطح تحصیلات، تخصص و آگاهی / اصلاح الگوی مصرف / سطح فرهنگ و آموزش در جامعه	۲	۴	۳	۱	۰	۶	٪۶۰
اعتماد و نگرش به دولت	۰	۳	۵	۲	۰	۳	٪۳۰
افزایش قیمت حامل‌های انرژی (گاز طبیعی) تغییر قیمت انرژی در بازار جهانی	۰	۸	۲	۰	۰	۸	٪۸۰
هزینه استفاده از انرژی‌های جایگزینی (سوئچینگ) و سهولت در دسترسی به آن	۱	۹	۰	۰	۰	۱۰	٪۱۰۰
درآمد مصرف‌کنندگان / قدرت خرید مردم	۱	۳	۴	۲	۰	۴	٪۴۰
اخذ مالیات، آبونمان و عوارض در قبوض گاز	۱	۵	۲	۱	۱	۶	٪۶۰
نرخ تورم / نرخ بهره / نوسانات نرخ ارز	۰	۶	۳	۱	۰	۶	٪۶۰
بازدهی انرژی‌های تجدیدپذیر و پایداری آن‌ها	۲	۴	۲	۲	۰	۶	٪۶۰
رشد تقاضای جهانی برای انرژی،	۳	۳	۱	۲	۱	۶	٪۶۰
وجود کالاهای جانشین / خطر تازه واردها / با فن‌آوری مخرب	۱	۹	۰	۰	۰	۱۰	٪۱۰۰
محدودیت‌ها و قوانین زیست‌محیطی و معاهدات بین‌المللی برای کاهش گازهای گلخانه‌ای / قوانین کربن	۷	۳	۰	۰	۰	۱۰	٪۱۰۰
قوانین حمایت از مصرف‌کننده / قوانین ضد انحصار	۱	۲	۵	۲	۰	۳	٪۳۰
نارضایتی مشتریان	۲	۸	۰	۰	۰	۱۰	٪۱۰۰
برخورد نامناسب کارکنان	۱	۳	۶	۰	۰	۴	٪۴۰
عدم پایداری در گازرسانی مستمر	۳	۷	۰	۰	۰	۱۰	٪۱۰۰
ضعف خدمات بعد فروش	۱	۵	۲	۲	۰	۶	٪۶۰
خطرات جانی و حوادث ناشی از مصرف گاز طبیعی (انفجار، خفگی، آتش‌سوزی ناشی از زلزله و غیره)	۲	۴	۳	۱	۰	۶	٪۶۰



عدد به دست آمده در ستون ماقبل آخر را بر ۱۰ (خبرگان) تقسیم می کنیم. اگر عدد به دست آمده از ۰/۷ کمتر شد مؤلفه را حذف می کنیم و آن هایی که حاصل بالای ۰/۷ به دست آمده است وارد دور دوم می شود [۲۲]. نتایج در ستون آخر (جدول ۲) نشان می دهد که در ۱۳ مؤلفه مجموع تعداد پاسخ هایی که برابر با ۴ (زیاد) یا ۵ (خیلی زیاد) کمتر از ۰/۷ بودند. لذا این ۱۳ مؤلفه از پرسشنامه حذف می شوند عبارتند از: تحریم های اقتصادی ناشی از تنش های سیاسی آمریکا و غرب با ایران، رونق پتروشیمی ها و استفاده از گاز طبیعی به عنوان ماده اولیه/ شکل گیری بازارهای نوظهور پتروشیمی،

ارتقای سطح تحصیلات، تخصص و آگاهی/ اصلاح الگوی مصرف / سطح فرهنگ و آموزش در جامعه، اعتماد و نگرش به دولت، درآمد مصرف کنندگان/ قدرت خرید مردم، اخذ مالیات، آبونمان و عوارض در قبوض گاز، نرخ تورم / نرخ بهره/ نوسانات نرخ ارز، بازدهی انرژی های تجدید پذیر و پایداری آن ها، رشد تقاضای جهانی برای انرژی، قوانین حمایت از مصرف کننده/ قوانین ضد انحصار، برخورد نامناسب کارکنان، ضعف خدمات بعد فروش، خطرات جانی و حوادث ناشی از مصرف گاز طبیعی (انفجار، خفگی، آتش سوزی ناشی از زلزله و غیره).

جدول ۳. مرحله دوم نظرسنجی

مؤلفه ها	خیلی زیاد (۵)	زیاد (۴)	متوسط (۳)	کم (۲)	خیلی کم (۱)	تعداد پاسخی که برابر با ۴ (زیاد) یا ۵ (خیلی زیاد) بودند	درصد به کل
سیاست های دولت در جهت توسعه گازرسانی و مصرف گاز طبیعی	۸	۲	۰	۰	۰	۱۰	۱۰۰٪
سیاست های دولت در جهت توسعه خصوصی سازی و واگذاری شرکت های گازرسانی	۹	۱	۰	۰	۰	۱۰	۱۰۰٪
سیاست های دولت در زمینه توسعه انرژی های تجدید پذیر	۷	۲	۱	۰	۰	۹	۹۰٪
افزایش گازهای گلخانه ای/ باران اسیدی / گرم شدن زمین / خشک سالی/ بحران های زیست محیطی و بیماری های ناشی از آن	۲	۷	۱	۰	۰	۹	۹۰٪
آگاهی و تغییر نگرش مردم در خصوص جنبه های زیست محیطی/ وجود شبکه های اجتماعی / توانا شدن مشتریان	۱	۸	۱	۰	۰	۹	۹۰٪
افزایش قیمت حامل های انرژی (گاز طبیعی) تغییر قیمت انرژی در بازار جهانی	۲	۸	۰	۰	۰	۱۰	۱۰۰٪
هزینه استفاده از انرژی های جایگزینی (سوئیچینگ) و سهولت در دسترسی به آن	۳	۷	۰	۰	۰	۱۰	۱۰۰٪
وجود کالاهای جانشین/ خطر تازه واردها / با فن آوری مخرب	۱	۹	۰	۰	۰	۱۰	۱۰۰٪
محدودیت ها و قوانین زیست محیطی و معاهدات بین المللی برای کاهش گازهای گلخانه ای/ قوانین کربن	۷	۳	۰	۰	۰	۱۰	۱۰۰٪
نارضایتی مشتریان	۰	۸	۲	۰	۰	۸	۸۰٪
عدم پایداری در گازرسانی مستمر	۱	۹	۰	۰	۰	۱۰	۱۰۰٪

نتایج نظرسنجی مرحله ی دوم در (جدول ۳) آورده شده است. همان طور که مشاهده می شود، در تمامی مؤلفه ها مجموع تعداد پاسخ هایی که برابر با ۴ (زیاد) یا ۵ (خیلی زیاد) بیشتر از ۰/۷ بودند. حال باید علاوه بر شرط لازم که بالای ۰/۷ بودن می باشد و در مرحله قبل بررسی شد باید شرط کافی را هم بررسی نماییم؛ یعنی روی گزینه ای که

بیشترین پاسخ را دارد باید اجماع وجود داشته باشد [۱۹]. مثلاً در سؤال اول گزینه ۵ (زیاد) بیشترین فراوانی را داشته و برابر ۸ می باشد، عدد ۸ را بر ۱۰ (تعداد خبرگان) تقسیم می کنیم. اگر حاصل تقسیم ۸ بر ۱۰ از ۰/۷ بیشتر باشد شرط کافی هم تحقق یافته است.



جدول ۴. میزان اجماع یا توافق خبرگان

مؤلفه‌ها	خیلی زیاد (۵)	زیاد (۴)	متوسط (۳)	کم (۲)	خیلی کم (۱)	مقدار تجمیع بزرگ‌ترین	درصد به کل
سیاست‌های دولت در جهت توسعه گازرسانی و مصرف گاز طبیعی (Q1)	۸	۲	۰	۰	۰	۸	٪۸۰
سیاست‌های دولت در جهت توسعه خصوصی‌سازی و واگذاری شرکت‌های گازرسانی (Q2)	۹	۱	۰	۰	۰	۹	٪۹۰
سیاست‌های دولت در زمینه توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر (Q3)	۷	۲	۱	۰	۰	۷	٪۷۰
افزایش گازهای گلخانه‌ای/ باران اسیدی / گرم شدن زمین / خشک‌سالی/ بحران‌های زیست‌محیطی و بیماری‌های ناشی از آن (Q4)	۲	۷	۱	۰	۰	۷	٪۷۰
آگاهی و تغییر نگرش مردم در خصوص جنبه‌های زیست‌محیطی/ وجود شبکه‌های اجتماعی / توانا شدن مشتریان (Q5)	۱	۸	۱	۰	۰	۸	٪۸۰
افزایش قیمت حامل‌های انرژی (گاز طبیعی) تغییر قیمت انرژی در بازار جهانی (Q6)	۲	۸	۰	۰	۰	۸	٪۸۰
هزینه استفاده از انرژی‌های جایگزینی (سوئیچینگ) و سهولت در دسترسی به آن (Q7)	۳	۷	۰	۰	۰	۷	٪۷۰
وجود کالاهای جانشین/ خطر تازه واردها / با فن‌آوری مخرب (Q8)	۱	۹	۰	۰	۰	۹	٪۹۰
محدودیت‌ها و قوانین زیست‌محیطی و معاهدات بین‌المللی برای کاهش گازهای گلخانه‌ای/ قوانین کربن (Q9)	۷	۳	۰	۰	۰	۷	٪۷۰
نارضایتی مشتریان (Q10)	۰	۸	۲	۰	۰	۸	٪۸۰
عدم پایداری در گازرسانی مستمر (Q11)	۱	۹	۰	۰	۰	۹	٪۹۰

با توجه به میزان اجماع یا توافق خبرگان برای هر مؤلفه (جدول ۴) شرط کافی برای تمامی مؤلفه‌ها تحقق یافته است؛ بنابراین فرآیند نظرسنجی متوقف می‌شود. در این مرحله اعضای گروه خبره با ۱۱ مؤلفه موافق بوده‌اند و این مؤلفه‌ها بر اساس روش دلفی مورد قبول واقع شدند. در ادامه بر اساس (جدول ۵) با تحلیل عاملی اکتشافی مؤلفه‌های شناسایی به ۷ بعد (سیاسی، زیست‌محیطی، اجتماعی و فرهنگی، اقتصادی، فناوری، قانونی و عوامل درونی) دسته‌بندی شدند.

جدول ۵. تحلیل عاملی اکتشافی

مؤلفه‌ها	ابعاد					
	سیاسی	زیست‌محیطی	اجتماعی و فرهنگی	اقتصادی	فناوری	عوامل درونی
Q1	۰/۵۳۴	-۰/۰۵۰	۰/۱۵۸	۰/۰۴۶	۰/۲۶۳	۰/۱۱۹
Q2	۰/۸۲۶	۰/۲۰۶	۰/۰۷۴	۰/۰۳۸	۰/۱۰۱	۰/۲۳۳
Q3	۰/۶۴۱	۰/۱۲۹	۰/۱۸۷	۰/۱۹۰	۰/۰۲۰	۰/۳۹۲
Q4	۰/۳۲۰	۰/۴۴۸	۰/۲۰۶	۰/۱۱۶	۰/۲۳۷	۰/۰۰۹
Q5	۰/۱۳۸	۰/۲۱۳	۰/۶۴۶	۰/۰۲۲	۰/۲۵۱	-۰/۰۶۳
Q6	۰/۱۷۶	۰/۱۳۳	۰/۰۱۷	۰/۵۷۷	۰/۲۷۹	۰/۱۸۱
Q7	۰/۱۸۹	۰/۱۸۶	۰/۲۲۰	۰/۸۳۱	۰/۱۹۴	۰/۱۷۴
Q8	۰/۰۹۱	۰/۳۷۱	۰/۱۸۳	۰/۳۰۳	۰/۷۸۰	۰/۲۳۳
Q9	۰/۲۰۵	۰/۲۴۲	۰/۲۱۵	۰/۱۸۶	۰/۱۳۹	۰/۱۹۵
Q10	۰/۱۵۵	۰/۰۷۸	۰/۰۳۳	۰/۲۶۳	۰/۱۵۴	۰/۶۸۳
Q11	۰/۲۳۲	۰/۱۶۱	۰/۲۶۳	۰/۱۸۹	۰/۲۱۸	۰/۵۹۶

جدول ۶. واریانس تبیین شده

ابعاد	مقدار ویژه	مجموع مجذور بارهای عاملی (قبل از چرخش)		مجموع مجذور بارهای عاملی (بعد از چرخش)	
		جمع	نسبت از واریانس (به درصد)	جمع	نسبت از واریانس (به درصد)
۱	۵۳/۷۲۷	۵۳/۷۲۷	۵۳/۷۲۷	۵۳/۷۲۷	۵۳/۷۲۷
۲	۸/۷۱۶	۶۲/۴۴۲	۸/۷۱۶	۳/۹۵۹	۶۲/۴۴۲
۳	۶/۴۶۸	۶۸/۹۱۰	۶/۴۶۸	۲/۷۱۱	۶۸/۹۱۰
۴	۵/۹۹۵	۷۴/۹۰۵	۵/۹۹۵	۲/۶۵۹	۷۴/۹۰۵
۵	۵/۳۵۹	۸۰/۲۶۴	۵/۳۵۹	۱/۵۸۹	۸۰/۲۶۴
۶	۴/۶۱۸	۸۴/۸۸۲	۴/۶۱۸	۱/۵۰۸	۸۴/۸۸۲
۷	۴/۱۹۵	۸۹/۰۷۸	۴/۱۹۵	۱/۴۶۱	۸۹/۰۷۸
۸	۳/۵۰۲	۹۲/۵۸۰	۳/۵۰۲		
۹	۲/۷۵۶	۹۵/۳۳۶	۲/۷۵۶		
۱۰	۲/۴۶۳	۹۷/۷۹۹	۲/۴۶۳		
۱۱	۲/۲۰۱	۱۰۰/۰۰۰	۲/۲۰۱		

جدول کل واریانس تبیین شده نشان می‌دهد که این ۸۹/۰۷۸ درصد واریانس رویگردانی مصرف‌کنندگان گاز مؤلفه‌ها، ۷ بعد را تشکیل می‌دهند و این ابعاد در حدود طبیعی را تبیین می‌کنند.

جدول ۷. تحلیل عاملی تأییدی

مؤلفه‌ها	اجتماعی و فرهنگی	اقتصادی	فناوری	زیست‌محیطی	سیاسی	عوامل درونی	قانونی
Q1					۰/۷۷۰		
Q2					۰/۸۶۴		
Q3					۰/۷۸۳		
Q4				۱/۰۰۰			
Q5	۱/۰۰۰						
Q6		۰/۹۰۲					
Q7		۰/۸۹۱					
Q8			۱/۰۰۰				
Q9						۱/۰۰۰	
Q10						۰/۸۶۳	
Q11						۰/۸۸۱	





جدول ۸- پایایی متغیرها

ابعاد	آلفای کرونباخ	CR
اجتماعی و فرهنگی	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰
اقتصادی	۰/۷۵۵	۰/۸۹۱
فناوری	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰
رویکردانی مصرف‌کنندگان گاز طبیعی	۰/۹۱۳	۰/۷۲۹
زیست‌محیطی	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰
سیاسی	۰/۷۳۰	۰/۸۴۸
عوامل درونی	۰/۷۸۶	۰/۸۶۴
قانونی	۱/۰۰۰	۱/۰۰۰

جدول ۹- روایی همگرا

ابعاد	(AVE) میانگین واریانس استخراج شده
اجتماعی و فرهنگی	۱/۰۰۰
اقتصادی	۰/۸۰۳
فناوری	۱/۰۰۰
رویکردانی مصرف‌کنندگان گاز طبیعی	۰/۵۳۷
زیست‌محیطی	۱/۰۰۰
سیاسی	۰/۶۵۱
عوامل درونی	۰/۷۶۱
قانونی	۱/۰۰۰

با توجه به اینکه مقادیر قابل قبول برای ضریب آلفای کرونباخ و پایایی ترکیبی، ۰/۷ است [۲۲]. مطابق با (جدول ۸)، پایایی تأیید می‌شود.

مقدار قابل قبول برای AVE، ۰/۵ است [۲۲]. مطابق با (جدول ۹)، روایی همگرا تأیید می‌شود.

جدول ۱۰- روایی واگرا

ابعاد	اجتماعی و فرهنگی	اقتصادی	فناوری	رویکردانی مصرف‌کنندگان گاز طبیعی	زیست محیطی	سیاسی	عوامل درونی	قانونی
اجتماعی و فرهنگی	۱/۰۰۰							
اقتصادی	۰/۵۴۱	۰/۸۹۶						
فناوری	۰/۴۴۹	۰/۶۳۳	۱/۰۰۰					
رویکردانی مصرف‌کنندگان گاز طبیعی	۰/۶۹۸	۰/۸۵۵	۰/۷۵۶	۰/۷۳۳				
زیست‌محیطی	۰/۴۶۴	۰/۶۱۵	۰/۴۶۲	۰/۷۶۲	۱/۰۰۰			
سیاسی	۰/۵۱۵	۰/۶۴۰	۰/۶۱۱	۰/۶۷۲	۰/۶۹۶	۰/۸۰۷		
عوامل درونی	۰/۶۱۵	۰/۶۴۸	۰/۵۶۸	۰/۷۳۱	۰/۵۵۸	۰/۶۰۸	۰/۸۷۲	
قانونی	۰/۴۳۹	۰/۵۹۹	۰/۵۵۲	۰/۶۵۵	۰/۴۵۶	۰/۶۳۰	۰/۵۸۷	۱/۰۰۰

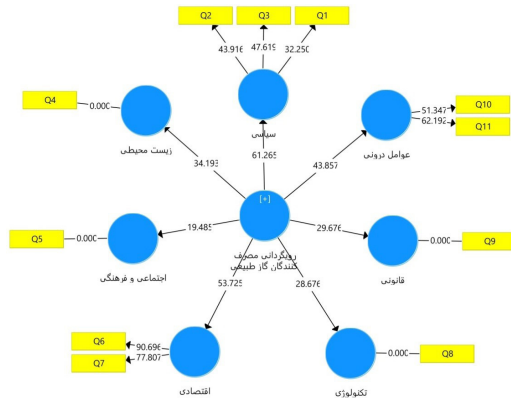
طبق (جدول ۱۰)، اعداد مندرج در قطر اصلی از مقادیر زیرین خود بیشتر می‌باشند بنابراین روایی واگرا قابل قبول است [۲۳].

جدول ۱۱- برازش مدل

ابعاد	شاخص R^2	شاخص Q^2	GoF
اجتماعی و فرهنگی	۰/۴۸۷	۱/۰۰۰	
اقتصادی	۰/۷۳۱	۰/۳۵۹	
فناوری	۰/۵۷۱	۱/۰۰۰	
رویکردانی مصرف‌کنندگان گاز طبیعی	-	۰/۴۳۰	۰/۷۲۸
زیست‌محیطی	۰/۵۸۱	۱/۰۰۰	
سیاسی	۰/۷۶۱	۰/۳۵۵	
عوامل درونی	۰/۶۹۱	۰/۳۷۱	
قانونی	۰/۵۷۰	۱/۰۰۰	

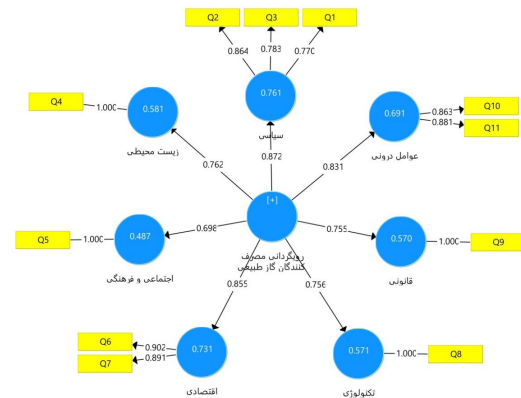
بر اساس (جدول ۱۱) تمامی معیارهای برازش در دامنه مورد قبول یعنی بزرگ‌تر از ۰/۳، قرار دارند، بنابراین برازش مدل مناسب است.

پس از تأیید مدل، برای آزمون معناداری مسیرها از دو شاخص ضریب مسیر و t-value استفاده شده است. در سطح اطمینان ۹۵ درصد چنانچه مقادیر آماره t بالاتر از ۱/۹۶ باشد، مسیر تأیید و در صورت کمتر بودن مسیر رد می‌شود [۲۳]. در (شکل‌های ۱ و ۲)، دو حالت ضرایب مسیر و معناداری نشان داده شده است.



شکل ۱. ضرایب آماره t-value

با توجه به (شکل‌های ۱ و ۲) و مقادیر (جدول ۱۲)، ضرایب مسیر در بازه (۱ و -۱) و مقادیر t-value خارج از بازه (۱/۹۶ و -۱/۹۶) قرار دارند، بنابراین در سطح اطمینان ۹۵ درصد روابط بین متغیرها تأیید و معنی‌دار شده‌اند [۲۳].



شکل ۲. ضرایب مسیر

جدول ۱۲. نتایج حاصل از یافته‌های تحلیل مسیر

سازه	ابعاد	ضریب	مقدار t	نتیجه
روگردانی مصرف‌کنندگان گاز طبیعی	اجتماعی و فرهنگی	۰/۶۹۸	۲۰/۴۵۶	تأیید
	اقتصادی	۰/۸۵۵	۵۲/۸۹۳	تأیید
	فناوری	۰/۷۵۶	۲۶/۵۸۴	تأیید
	زیست محیطی	۰/۷۶۲	۳۳/۱۳۰	تأیید
	سیاسی	۰/۸۷۲	۶۲/۹۴۲	تأیید
	عوامل درونی	۰/۸۳۱	۳۹/۹۵۲	تأیید
	قانونی	۰/۷۵۵	۲۹/۶۷۶	تأیید

۴. نتیجه‌گیری

هدف تحقیق حاضر طراحی مدل روگردانی مصرف‌کنندگان گاز طبیعی در شرکت گاز استان مازندران بوده است. در مرحله نخست، با توجه به نظرات خبرگان، ابعاد و مؤلفه‌ها تأیید شدند. یافته‌های این مرحله نشان داد این عوامل شامل ۷ بعد (اجتماعی و فرهنگی، اقتصادی، فناوری، زیست محیطی، سیاسی، عوامل درونی و قانونی) و ۱۱ مؤلفه می‌باشند. سپس در مرحله دوم، به منظور تحلیل روابط میان آن‌ها و طراحی یک مدل مناسب از مدل‌سازی معادلات ساختاری استفاده شده است. در تحلیل نتایج معادلات ساختاری می‌توان گفت: ابعاد اجتماعی و فرهنگی (۰/۶۹۸)، اقتصادی (۰/۸۵۵)،

فناوری (۰/۷۵۶)، زیست محیطی (۰/۷۶۲)، سیاسی (۰/۸۷۲)، عوامل درونی (۰/۸۳۱) و قانونی (۰/۷۵۵) بر روگردانی مصرف‌کنندگان گاز طبیعی در استان مازندران تأثیر مثبت و معنی‌داری دارند و با توجه به ضرایب مسیر، در مدل روگردانی مصرف‌کنندگان گاز طبیعی، بیشترین تأثیر را بعد سیاسی و کمترین تأثیر را بعد اجتماعی و فرهنگی دارند.

مراجع:

- [۱]. مهدیه، امید، پیرایش، رضا و بابلی، مینو. «تأثیر هزینه جابجایی بر وفاداری و احتمال روگردانی مشتریان».





- سیاست‌های راهبردی و کلان، ۱۴۰۰، ۹(۳): ۴۷۱-۴۴۵.
- [10]. Panek, Wojciech and Włodek, Tomasz. Natural Gas Consumption Forecasting Based on the Variability of External Meteorological Factors Using Machine Learning Algorithms, *Energies*, 2022, 15:348.
- [۱۱]. پوردربانی، راضیه. «بررسی وضعیت فعلی و تقاضاهای آینده انرژی تجدید پذیر در ایران و بازاریابی آن»، انرژی‌های تجدید پذیر و نو، ۷(۱): ۱۳۹۹-۱۱۸.
- [۱۲]. بقائی، علی و حسینی، منیره. «مدل‌سازی پیش‌بینی رویگردانی مشتریان صنعت بیمه»، پژوهشنامه بیمه، ۳۲(۱): ۱۳۹۶-۸۵.
- [۱۳]. حسینی، میرزاحسن، حمیدی زاده، محمدرضا، جوکار، علی‌اکبر و رضایی، مهدی. «علت‌یابی رویگردانی مشتریان با ارزش صنعت بانکداری»، مطالعات مدیریت راهبردی، ۱۳۹۴، ۲۴(۱): ۱۴۴-۱۳۱.
- [۱۴]. بیضایی، سیدحمید و بستام، هادی. «شناسایی عوامل مؤثر در کاهش نرخ رویگردانی مشتریان در موسسه اعتباری ملل»، اولین کنفرانس بین‌المللی آزمایشگاه مدیریت و رویکردهای نوآورانه در مدیریت و اقتصاد، ۱۴۰۰.
- [۱۵]. نوری‌خان یوردی، میثم، بشیری، مهدی و دوستی، مرتضی. «مدل ساختاری رویگردانی مشتریان از فروشگاه‌های ورزشی»، مطالعات مدیریت ورزشی، ۱۲(۶۰): ۱۳۹۹-۱۶۹.
- [۱۶]. عسگری، محسن، تقوا، محمدرضا و تقوی فرد، محمدتقی. «پیش‌بینی احتمال رویگردانی مشتریان در صنعت بانکداری ایران»، پژوهش‌های مدیریت عمومی، ۱۱(۴۱): ۸۲-۵۷.
- [۱۷]. حیدری، حامد و عبدالوند، ندا. «الگوی عوامل مؤثر بر رویگردانی مشتریان در صنعت بیمه»، مدیریت برند، ۲(۳): ۱۳۹۴-۱۳۵.
- [۱۸]. حسین‌خانی، نوشین، حسینی مطلق، سید مهدی و خاکزار بفرویی، مرتضی. «شناسایی عوامل مؤثر بر رویگردانی مشتریان در صنعت بیمه»، بیست و یکمین مطالعات رفتار مصرف‌کننده، ۸(۴): ۶۱-۴۶.
- [۲]. امامی، لطیف، پوراشرف، یاسان‌اله و طولابی، زینب. «ارائه مدلی برای رویگردانی مشتریان از بانک ملی با استفاده از معادلات ساختاریافته»، مدیریت بازاریابی، ۱۳۹۴، ۲۶(۱): ۴۶-۲۶.
- [3]. Moon, John C., and Miner, Michelle. Consumer behavior internal and external factors. Translation: Saleh Ardestani, Abbas, Saadi, Mohammad Reza, Publications: Aylar (in Persian). 2013.
- [۴]. پوریانی، ابوزر، مهرانی، هرمز، سمیعی، روح‌اله، شجاعی، سامره و امیدخواه نسرين، محمدرضا. «تدوین سناریوهای رویگردانی مصرف‌کنندگان گاز طبیعی (مورد مطالعه: شرکت گاز مازندران)»، آینده‌پژوهی ایران، ۱۳۹۹، ۲۵(۲): ۲۵۴-۲۲۹.
- [5]. Saeed, M., and Azmi, I. B. A. G. The nexus between customer equity and brand switching behaviour of millennial Muslim consumers. *South Asian Journal of Business Studies*, 2019, 8(1): 62-80.
- [6]. Permana, I.. Customer Switching Behavior dalam Membeli Batik dari UKM. *Business Innovation and Entrepreneurship Journal*, 2019, 1(1): 48-52.
- [7]. Zhu, B., Baesens, B., Backiel, A. E., and vanden Broucke, S. K. Benchmarking sampling techniques for imbalance learning in churn prediction. *Journal of the Operational Research Society*, 2018, 69(1): 49-65.
- [8]. Vitaly, Briker, Richard, Farrow, William, Trevino and Brent, Allen. Identifying Customer Churn in After-market Operations using Machine Learning Algorithms, *SMU Data Science Review*, 2019, 2(3).
- [۹]. زینلی‌زاده، رضا، عبادتی، امیدمهدی و جعفری، محمدعلی. «راهبرد بازاریابی پایدار شبکه‌های هوشمند انرژی با رویکرد سیاست‌های کلی علم و فناوری».

همایش ملی و هفتمین همایش بین‌المللی بیمه و توسعه. ۱۳۹۳.

[19]. Lincoln, Y., and Guba, E. Epistemological and methodological bases of naturalistic inquiry. *Educational Technology Research and Development*, 1982, 30:233-252.

[20]. Fornell, Claes Larcker, David F. Evaluating structural equation models with unobservable variables and measurement error. *Journal of Marketing Research*, 18(1): 39-50.

[۲۱]. آذر، عادل و خسروانی، فرزانه. «تحقیق در عملیات نرم»، تهران: انتشارات سازمان مدیریت صنعتی. ۱۳۹۸.

[۲۲]. داوری، علی و رضازاده، آرش. «مدل‌سازی معادلات ساختاری با نرم‌افزار PLS»، تهران: انتشارات جهاد دانشگاهی. ۱۳۹۷.



Designing a Diversion Model for Natural Gas Consumers

(Case study: Gas Company of Mazandaran Province)

Abouzar Pouryani¹, Hormoz Mehrani^{2*}, Roohala Samiee³, Samereh Shojaei³,
Mohammadreza Omidkhah nasrin⁴

1. Ph.D. student of Management Department, Aliabad Katul Branch, Islamic Azad University, Aliabad Katul, Iran

2. Assistant professor, Faculty Member of Ghazali Institute of Higher Education, Qazvin, Iran

3. Assistant professor, Department of Management, Aliabad Katoul Branch, Islamic Azad University, Aliabad Katoul, Iran

4. Professor, Faculty of Chemical Engineering, Tarbiat Modares University - Mazandaran Gas Company, Sari, Iran

*Corresponding Author, Email Address: mehrani@ghazali.ac.ir

Abstract

The aim of this study was to design a model for Churn from natural gas consumers in Mazandaran province. The research method was applied and descriptive which was done with a mixed exploratory approach. The statistical population was 10 experts in the qualitative stage and natural gas consumers in the quantitative stage. The sample size was 384 people and simple random sampling was used. The Delphi method was used to identify the factors and the structural equation method with Smart PLS3 software was used to design the model. The results showed that the effective factors on turning away natural gas consumers include 11 components in 7 dimensions (social and cultural, economic, technology, environmental, political, internal and legal factors). The results also showed social and cultural (0.698), economic (0.855), technology (0.756), environmental (0.762), political (0.872), internal factors (0.831) and Legal (0.755) have a significant effect on turning away natural gas consumers.

Keywords: *Diversion, Consumers, Natural Gas*



گوگردزدایی اکسایشی نفتای سبک در حضور کاتالیست اکسید روی بر پایه زئولیت

زهرا مباشری^۱، سید حسین زهدی^{۲*}

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

۲. استادیار، گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان، ایران

آدرس پست الکترونیک نویسنده مسئول مکاتبات: zohdi@eng.usb.ac.ir

مقاله علمی - پژوهشی

صفحه ۵۹ - ۶۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۲

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۲۰

چکیده

در کشورهای مختلف قوانین سخت گیرانه‌ای برای کاهش مقدار گوگرد موجود در سوخت‌ها اعمال می‌شود. روش گوگردزدایی اکسایشی یکی از بهترین روش‌های تکمیلی برای فرآیند گوگردزدایی هیدروژنی است. در این مقاله با استفاده از روش سطح پاسخ، اثرهای اصلی و متقابل دما، مدت زمان واکنش و غلظت اولیه گوگرد موجود در نفتا بر درصد تبدیل گوگرد در فرآیند گوگردزدایی اکسایشی نفتای سبک در حضور کاتالیست اکسید روی بر پایه‌ی زئولیت بررسی گردید. تحلیل واریانس نشان داد داده‌های تجربی به خوبی توسط مدل فاکتوریل خطی برازش شده است. متغیرهای دما، مدت زمان واکنش و غلظت اولیه‌ی گوگرد موجود در سوخت بر درصد تبدیل ترکیبات گوگرد اثر معنادار دارد. همچنین بین متغیرهای دما و مدت زمان واکنش اثر متقابل وجود دارد. بیشترین مقدار درصد تبدیل گوگرد به میزان ۹۰٪ در دمای واکنش ۳۲۰ K، زمان واکنش ۴۰ دقیقه در حضور نفتای سبک با درصد اولیه گوگرد ۲۴۴ ppm حاصل گردید.

کلیدواژه‌ها: نفتای سبک، گوگردزدایی، روش سطح پاسخ، رآکتور ناپیوسته، مدل سازی تجربی، اثر متقابل، تحلیل آماری

۱. مقدمه

وجود گوگرد در ترکیبات نفتی و سوخت‌ها تأثیر زیادی بر آلودگی محیط زیست دارد و باعث تولید گازهای SO_x می‌شود که علت باران اسیدی است. همچنین بوی بد محصولات نفتی نیز به دلیل وجود ترکیبات گوگردی مانند مرکاپتان‌ها می‌باشد [۱]. یکی دیگر از آثار مخرب وجود گوگرد در ترکیبات نفتی، ایجاد خوردگی در خطوط لوله و دیگر تجهیزات است [۲]؛ بنابراین حذف ترکیبات گوگردار از سوخت‌ها یکی از مهم‌ترین چالش‌های حال حاضر دنیا است. آژانس بین‌المللی حفاظت محیط زیست آمریکا با وضع قوانینی میزان گوگرد مجاز در سوخت‌ها را تا سال ۲۰۰۴ برابر ۳۰ ppm اعلام کرد؛ اما بعد قوانین سخت گیرانه‌تری اعمال شد و این مقدار در سال ۲۰۰۶

به کمتر از ۱۵ ppm رسید [۳]. از مهم‌ترین ترکیبات گوگرد موجود در نفت می‌توان به تیوفن، بنزوتیوفن، دی‌بنزوتیوفن و ۴ و ۶ دی‌متیل دی‌بنزوتیوفن اشاره کرد [۴]. روش‌های متعددی برای حذف ترکیبات گوگرد وجود دارد؛ مانند روش گوگردزدایی استخراجی^۱، گوگردزدایی جذبی^۲، گوگردزدایی زیستی^۳ (BDS)، گوگردزدایی هیدروژنی^۴ (HDS) و گوگردزدایی اکسایشی^۵ (ODS) [۵، ۶]. روش

1. Extractive desulfurization
2. Adsorptive desulfurization
3. Biodesulfurization
4. Hydro desulfurization
5. Oxidative desulfurization





گوگردزدایی هیدروژنی روش صنعتی متداول برای گوگردزدایی است. با این حال جداسازی برخی ترکیبات گوگردی حلقوی مانند دی-بنزوتیوفن^۱ (DBT) و ۴ و ۶ دی متیل دی بنزوتیوفن با روش گوگردزدایی هیدروژنی امکان پذیر نیست. یکی دیگر از مشکلات این روش شرایط عملیاتی سخت آن است. در این روش برای حذف ترکیبات گوگردی به دمای بالای ۴۰۰ درجه سانتی گراد و فشار بالای ۱۰۰ بار نیاز است. از دیگر مشکلات این روش می توان به هزینه ی بالای تهیه هیدروژن اشاره کرد [۷]. از این رو روش های تکمیلی جدیدتر و کارآمدتری مانند گوگردزدایی اکسایشی مورد توجه قرار گرفته است. روش گوگردزدایی اکسایشی علاوه بر بازده بالا در حذف تمام ترکیبات گوگرد، به دلیل شرایط عملیاتی معمولی در فرآیند (دمای کمتر از ۱۰۰ درجه سانتی گراد و فشار نزدیک به فشار اتمسفر) و عدم نیاز به هیدروژن و در نتیجه قیمت پایین عملیات مورد توجه محققان قرار گرفته است [۸].

در مرحله اول روش گوگردزدایی اکسایشی ترکیبات گوگرد به سولفون ها و سولفوکسیدهای مربوط به خود تبدیل می شود. در مرحله بعد این ترکیبات اکسید شده توسط یک حلال استخراج یا جذب می گردد [۱].

کاتالیست ها و اکسیدکننده های مورد استفاده در فرآیند گوگردزدایی اکسایشی با توجه به ترکیبات گوگرد موجود در نفت انتخاب می شود. در این فرآیند اکسیدکننده های مختلفی مانند هیدروژن پراکسید (H_2O_2)، اکسیژن، هوا و همچنین کاتالیست های متعددی مانند اسید فرمیک، اسید استیک، کربن فعال، پلی اکسامتالیت^۲ و اکسیدهای فلزی حد واسط استفاده می شود [۹، ۱۰].

در حذف ترکیبات گوگرد، فلزات واسطه داخلی بسیار مؤثر عمل می کند، ولی به دلیل جداسازی سخت آن ها از ترکیبات نفتی به صورت مستقیم قابل استفاده نیست. از این رو استفاده از پایه با مساحت سطح ویژه زیاد برای پخش بهتر فلزات واسطه در کاتالیست ها ضروری است [۱۱]. در بین پایه های مختلف، زئولیت ها دارای مساحت سطح ویژه نسبتاً زیاد، منابع در دسترس و هزینه کم تولید است. تحقیقات متعددی در مورد استفاده از زئولیت ها در فرآیند گوگردزدایی اکسایشی انجام گرفته و بر استفاده از ترکیبات

سیلیکا-آلومینا به عنوان کاتالیست و پایه کاتالیست تمرکز شده است. البته زئولیت ها محدودیت هایی نیز دارند که باعث کاهش سرعت واکنش و غیرفعال شدن آن ها می شود، اما بارگذاری فلزات بر روی زئولیت ها این محدودیت را کاهش می دهد [۱۲، ۱۳].

قربانی و همکاران برای گوگردزدایی اکسایشی از نمونه های نفتی واقعی و مدل از کاتالیست مولیبدن بر پایه ی سیلیکا-آلومینا و از هیدروژن پراکسید به عنوان اکسیدکننده استفاده کردند [۲]. همچنین اثر پارامترهای واکنش را با استفاده از طراحی آزمایش روش باکس بنکن^۳ محاسبه نمودند. شرایط بهینه ی گوگردزدایی با کاتالیست $Mo/hAl-Si6\%$ دمای واکنش $67^\circ C$ ، زمان واکنش ۴۲ دقیقه، نسبت اکسیدکننده به گوگرد ۸ و مقدار $0.008 g$ کاتالیست در یک میلی لیتر محلول برای رسیدن به درصد تبدیل ۹۵٪ گزارش شده است. یو^۴ و همکاران از کمپلکس های کبالت و مس بر پایه ی زئولیت نوع NaY به عنوان کاتالیست با اکسیدکننده ی اکسیژن مولکولی (O_2) برای حذف دی بنزوتیوفن استفاده و تأثیر پارامترهای مختلف عملیاتی مانند دمای واکنش، غلظت اولیه دی بنزوتیوفن و زمان واکنش بررسی کردند. در شرایط دمای واکنش $100^\circ C$ ، غلظت اولیه کمتر از ۵۰۰ ppm و مدت زمان ۴ ساعت بیشترین درصد تبدیل گوگرد (۹۷٪) حاصل شد [۱۴]. در آن تحقیق اثر متقابل فاکتورها بر پاسخ مطالعه نشد. ژائو^۵ و همکاران از کاتالیست غربال مولکولی فتالوسیانین^۶ مس بر پایه ی زئولیت $(Cu_2(PcAN)_2-W-HZSM-5)$ برای گوگردزدایی از نفت کوره استفاده کردند. آن ها تأثیر دمای واکنش، مدت زمان واکنش و میزان بارگذاری کاتالیست را بدون استفاده از روش های طراحی آزمایش بررسی کردند. در دمای $60^\circ C$ ، مدت زمان ۳ ساعت و بارگذاری کاتالیست ۰/۱ گرم درصد تبدیل ۹۱/۲۳٪، ۹۳/۸۲٪ و ۸۷/۳۲٪ به ترتیب برای تیوفن، بنزوتیوفن و دی بنزوتیوفن حاصل شد [۱۵]. الهیاری و همکاران زئولیت های طبیعی کلینوپتیلولیت، فرریت و موردنیت پس از اصلاح به روش شیمیایی به عنوان پایه کاتالیست های Ni-Mo-W در فرآیند گوگردزدایی اکسایشی یک سوخت مدل مورد آزمایش قرار دادند. در میان نانوکاتالیست های مطالعه شده، ۲ گرم نانوکاتالیست

1. Dibenzothiophene

2. Polyoxometalate

3.Box-Behnken design

4. Yu

5. Zhao

6. Phthalocyanine molecular sieve catalyst

NiMoW-Ferr توانست ۹۲/۸٪ دی بنزوتیوفن را در غلظت اولیه ۲۵۰ ppm در دمای ۶۰ °C در مدت ۶۰ دقیقه حذف کند. مقادیر زیاد غلظت دی بنزوتیوفن موجب کاهش درصد گوگردزدایی اکسایشی گردید. همچنین افزایش مقدار کاتالیست پس از یک مقدار مشخص بر بازدهی گوگردزدایی اکسایشی تأثیری نداشت [۱۶]. جرولاه^۱ و همکاران کاتالیست دی اکسید منگنز بر پایه‌ی زئولیت نانو ساختار برای گوگردزدایی از نفتای سبک مطالعه کردند. برای تعیین شرایط بهینه‌ی واکنش با استفاده از نرم افزار جی پرومز^۲ پارامترهای دما، زمان و غلظت اولیه گوگرد در سوخت را مورد بررسی قرار دادند. طبق نتایج به دست آمده با افزایش غلظت اولیه گوگرد، دما و زمان واکنش، درصد تبدیل حذف ترکیبات گوگرد افزایش یافت [۱۷]. احمد و همکاران با تغییر در طراحی راکتور فرآیند گوگردزدایی اکسایشی نفتا را در حضور هوا به عنوان اکسیدکننده و نانو کاتالیست اکسید روی بر پایه زئولیت بررسی و پارامترهای سینتیکی واکنش بر اساس داده‌های آزمایشگاهی تعیین کردند [۱۸]. محمدی ممان و همکاران گوگردزدایی اکسایشی نفتا را در حضور کاتالیست پالادیوم بر پایه نانولوله‌های کربن چند دیواره در دمای محیط، فشار اتمسفر و اکسیدکننده هیدروژن پراکسید مطالعه کردند. درصد تبدیل گوگرد در غلظت اولیه گوگرد ۸۷۰ ppm حدود ۹۰٪ گزارش شد [۱۹]. بشکوفه و همکاران برای حذف گوگرد از نفتا از کاتالیست‌های چندفلزی مولیبیدن بر پایه گاما آلومینا تهیه شده از روش تلقیح مرطوب استفاده کردند. ترکیب کاتالیستی $5\%Co10\%Mo/\gamma-Al_2O_3$ توانست در دمای ۴۵ °C و فشار اتمسفر مقدار گوگرد نفتا را در مدت یک ساعت زمان واکنش از ۱۶۰ ppm به ۲۰ ppm کاهش دهد [۲۰]. شیبانی و همکاران کاتالیست دو فلزی نیکل-مولیبیدن بر پایه گاما آلومینا را برای کاهش میزان گوگرد نفتای سبک به کار بردند. در این مطالعه اثر پارامترهای زمان واکنش، دمای واکنش، نسبت جرمی کاتالیست به خوراک و نسبت حجمی اکسیدکننده هیدروژن پراکسید به حجم خوراک را بر میزان حذف گوگرد مورد مطالعه قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد در دمای ۳۵ °C، نسبت وزن کاتالیست به وزن خوراک ۰/۰۱۳، حجم هیدروژن پراکسید به خوراک ۰/۰۴۵ در حضور ۰/۵ گرم کاتالیست میزان گوگرد موجود در سوخت در دمای ۳۵ °C در مدت زمان یک ساعت از ۱۶۰ ppm به ۳۸ ppm کاهش یافت [۲۱].

بررسی پژوهش‌های اخیر در فرآیند گوگردزدایی اکسایشی نشان داد در بین پارامترهای عملیاتی، غلظت اولیه گوگرد در سوخت، دما و زمان واکنش اهمیت بسزایی بر میزان حذف گوگرد دارد. این در حالی است که اثرات متقابل این فاکتورها هم می‌تواند اثر معناداری بر میزان تبدیل گوگرد در سیستم‌های کاتالیستی مختلف داشته باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد در واکنش گوگردزدایی اکسایشی نفتا تاکنون مطالعه‌ای بر اثرات متقابل این فاکتورها و مدل سازی تجربی مبتنی بر تحلیل‌های آماری گزارش نشده است. در این مقاله با استفاده از داده‌های مرجع [۱۸] و کاربرد تحلیل‌های آماری در روش طراحی آزمایش سطح پاسخ، اثرات اصلی و متقابل بین پارامترهای عملیاتی غلظت اولیه گوگرد، دما و زمان واکنش بر درصد حذف گوگرد در واکنش گوگردزدایی اکسایشی از نفتا در حضور کاتالیست اکسید روی بر پایه زئولیت (ZnO/zeolite) و هوا به عنوان اکسیدکننده بررسی و شرایط بهینه برای افزایش میزان درصد ترکیبات گوگرد ارائه گردید. همچنین مدل تجربی برای پیش‌بینی رابطه بین پاسخ، اثرات اصلی و متقابل ارائه و پارامترهای مدل مورد بررسی قرار گرفت.

۲. روش انجام آزمایش‌ها

۲-۱. ساخت کاتالیست

برای ساخت کاتالیست اکسید روی بر پایه‌ی زئولیت مطابق (شکل ۱) از روش تلقیح مرطوب استفاده شده است. در ابتدا مقدار ۲/۳ گرم از استات روی در ۱۰۵ میلی لیتر آب مقطر حل گردید و محلول به مدت یک ساعت در دمای اتاق با استفاده از همزن مغناطیسی هم زده شد. ۱۰ گرم از نانوذرات زئولیت به محلول اشباع اضافه و با همزن مغناطیسی به مدت ۲ ساعت مخلوط گردید. زئولیت تلقیح شده ابتدا با محلول استات روی خشک و سپس در چهار مرحله در کوره الکتریکی کلسینه شد. در مرحله اول به مدت ۲ ساعت در کوره قرار گرفت و دما تا ۳۹۳ K افزایش یافت. سپس به مدت ۲ ساعت دما تا ۵۲۳ K افزایش یافت. در مرحله بعد به مدت ۱ ساعت در دمای ۶۷۳ K و در نهایت به مدت ۲ ساعت در دمای ۸۵۳ K قرار گرفت و بعد از آن دما به صورت پله‌ای کاهش یافت. هدف از کلسیناسیون پله‌ای تبدیل نمک‌های فلز بارگذاری شده بر روی زئولیت به اکسیدهای متناظر بود. جزئیات بیشتر در مورد ساخت کاتالیست در مرجع [۱۸] ارائه شده است.

1. Jarullah
2. GPROMS



۲-۳. روش سطح پاسخ

طراحی آزمایش یک تکنیک ساختار یافته برای تعیین روابط بین فاکتورهای مختلف مؤثر در واکنش است. روش سطح پاسخ یک روش کاربردی برای بهینه‌سازی پارامترهای مؤثر در واکنش و پیش‌بینی مدل ریاضی حاکم بین فاکتورها و پاسخ‌های مورد بررسی مطابق معادله (۱) است [۲۲].

(۱)

$$\text{Predicted Response} = d_0 + \sum_{j=1}^3 d_j x_j + \sum_{i < j} d_{ij} x_i x_j + \sum_{j=1}^3 d_{jj} x_j^2$$

در این رابطه d_0 عدد ثابت، d_j ضرایب خطی، d_{ij} ضرایب میان‌کنشی و d_{jj} ضرایب درجه دوم است.

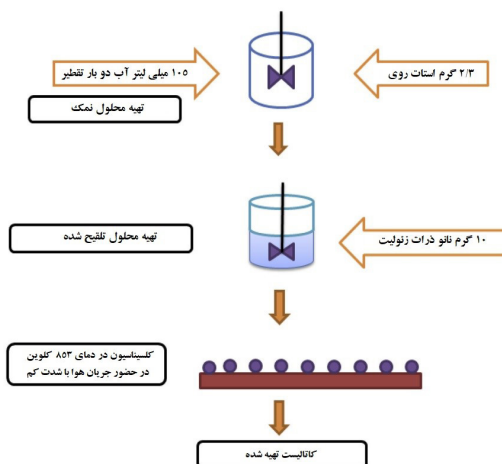
در این مقاله با استفاده از روش سطح پاسخ هیستوری‌کال^۱ و نرم‌افزار دیزاین اکسپرت نسخه ۲۷ مدل‌سازی و بهینه‌سازی فرآیند گوگردزدایی اکسایشی از نفتای سبک در حضور کاتالیست اکسید روی بر پایه‌ی زئولیت مورد بررسی قرار گرفت. متغیرهای آزمایش شامل دما، زمان واکنش و غلظت اولیه گوگرد در سوخت و پاسخ درصد تبدیل گوگرد است. (جدول ۱) سطح بالا و پایین هرکدام از متغیرها را نشان می‌دهد. محدوده این متغیرها بر اساس آزمایش‌های اولیه تعیین گردیده است.

جدول ۱: محدوده و سطح‌های پارامترها در فرآیند

متغیرها	نماد	واحد	حد پایین	حد بالا
دما	T	K	۳۰۳	۳۲۳
زمان	t	min	۲۰	۴۰
غلظت اولیه گوگرد در سوخت	C	ppm	۱۵۰	۲۵۰

۳. نتایج و بحث

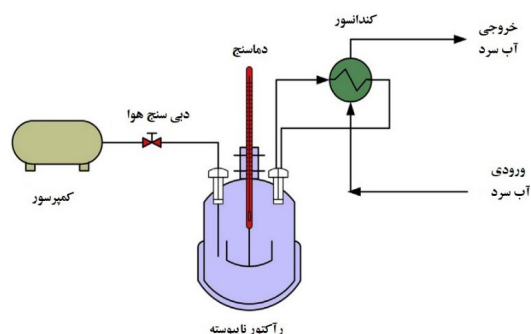
مقادیر هرکدام از فاکتورهای دما، زمان و غلظت اولیه گوگرد در سوخت و پاسخ درصد تبدیل گوگرد در هر آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است



شکل ۱. مراحل تهیه کاتالیست اکسید روی بر پایه زئولیت (ZnO/zeolite) از روش تلقیح مرطوب [۱۸]

۲-۲. بررسی عملکرد کاتالیست

واکنش شیمیایی در یک رآکتور ناپیوسته سه دهانه به حجم ۲۵۰ میلی‌لیتر (شکل ۲) انجام شده است. کندانسور عمودی متصل به دهانه رآکتور جهت تقطیر بخار نفتای سبک و دهانه‌های دیگر رآکتور جهت کنترل دمایی به کمک ترموکوپل و ورود مواد شیمیایی و اکسیدکننده می‌باشد. هنگامی که دما به مقدار مورد نظر رسید عملیات هم زدن آغاز شده و زمان از لحظه آغاز واکنش ملاحظه شد. در انجام آزمایش‌ها مقدار ۸۰ میلی‌لیتر از نفتای سبک در رآکتور قرار داده شد. هنگامی که دمای مورد نظر حاصل گردید، مقدار ۰/۸ گرم کاتالیست تهیه شده به خوراک اضافه گشت. در این آزمایش‌ها از هوای تهیه شده توسط کمپرسور به‌عنوان اکسیدکننده استفاده شد.



شکل ۲. رآکتور ناپیوسته برای بررسی عملکرد کاتالیست اکسید روی بر پایه زئولیت (ZnO/zeolite) [۱۸]

1. Historical design of experiments
2. Stat-Ease Design-Expert v7.0.0

۲. طراحی آزمایش‌ها و مقدار پاسخ درصد تبدیل گوگرد

آزمایش	دما (K)	زمان (min)	غلظت (ppm)	تبدیل گوگرد (%)
۱	۳۲۳	۲۰	۲۵۰	۸۱
۲	۳۰۳	۳۰	۲۵۰	۶۵
۳	۳۰۹	۳۰	۲۵۰	۷۲
۴	۳۲۳	۲۰	۲۵۰	۷۹
۵	۳۰۳	۴۰	۲۵۰	۷۴
۶	۳۱۰	۴۰	۲۵۰	۸۱
۷	۳۱۵	۴۰	۲۵۰	۸۶
۸	۳۰۹	۲۰	۱۵۰	۵۶
۹	۳۱۵	۲۰	۱۵۰	۶۴
۱۰	۳۲۳	۲۰	۱۵۰	۷۳
۱۱	۳۰۳	۳۰	۱۵۰	۵۸
۱۲	۳۰۸	۳۰	۱۵۰	۶۳
۱۳	۳۱۵	۳۰	۱۵۰	۷۱
۱۴	۳۲۳	۳۰	۱۵۰	۸۰
۱۵	۳۰۹	۴۰	۱۵۰	۷۲
۱۶	۳۱۷	۴۰	۱۵۰	۸۰
۱۷	۳۰۳	۴۰	۲۰۰	۷۰
۱۸	۳۰۹	۴۰	۲۰۰	۷۶
۱۹	۳۱۷	۴۰	۲۰۰	۸۴
۲۰	۳۲۰	۴۰	۲۰۰	۸۷

۳-۱. تحلیل واریانس

تحلیل واریانس همانند منشوری است که دلیل تغییرات در از تغییرات فاکتورها یا خطای آزمایش باشد. (جدول ۳) تحلیل پاسخ‌ها را مشخص می‌کند. تغییرات در پاسخ‌ها می‌تواند ناشی واریانس فاکتورهای مورد بررسی را نشان می‌دهد.

جدول ۳. نتایج تحلیل واریانس و پارامترهای مدل

Source	Sum of Squares	df	Mean Square	F-value	p-value	
Model	0.15	4	0.038	5992.07	0.0001 >	Significant
A-T	0.096	1	0.096	15169.03	0.0001 >	Significant
B-t	0.041	1	0.041	6490.19	0.0001 >	Significant
C-C	0.021	1	0.021	3308.50	0.0001 >	Significant
AB	4.836E-004	1	4.836E-004	76.07	0.0001 >	Significant
Residual	9.537E-005	15	6.358E-006			
Cor Total	0.15	19				
R-Squared	0.99					
Adj R-Squared	0.99					
Pred R-Squared	0.99					
Adeq Precision	243.969					

با توجه به نتایج ارزش پی^۱ در جدول تحلیل واریانس، پارامترهای دمای واکنش، زمان واکنش و غلظت اولیه گوگرد موجود در سوخت بر درصد تبدیل گوگرد اثر معناداری دارند. همچنین اثر متقابل بین دما و زمان واکنش اثر معناداری بر پاسخ دارد. از این‌رو رفتار فاکتور زمان باید در کنار دمای واکنش شیمیایی مورد ملاحظه قرار گیرد. تحلیل آماری آزمون اف^۲ نشان داد فاکتور دمای واکنش بیشترین اثر و فاکتور اثر متقابل بین دما و زمان واکنش کمترین اثر بر تغییرات درصد تبدیل گوگرد داشته است.

1. P-value

2. F-test

۲-۳. مدل سازی

پس از حذف عبارت‌های غیر معنادار از معادله چندجمله‌ای، معادله (۲) ارتباط بین درصد تبدیل گوگرد به عنوان پاسخ و فاکتورهای دما و زمان واکنش و اثر متقابل بین دما و زمان واکنش برقرار می‌کند.

$$\text{Conversion (\%)} = -4.12 + 0.014 \times T + 0.04 \times t + 7.78E - 004 \times C - 1.045E - 004 \times T \times t \quad (2)$$

در معادله (۲) پارامترهای T ، t و C به ترتیب زمان واکنش، دمای واکنش و غلظت اولیه گوگرد در سوخت است. مقدار ارزش پی مدل کمتر از ۰/۰۵ در (جدول ۳) نشان می‌دهد مدل ارائه شده معنادار است. همچنین مقدارهای نزدیک به یک R^2 ، R^2_{adj} و R^2_{predic} حاکی از برازش مناسب داده‌های تجربی توسط مدل ارائه شده است.

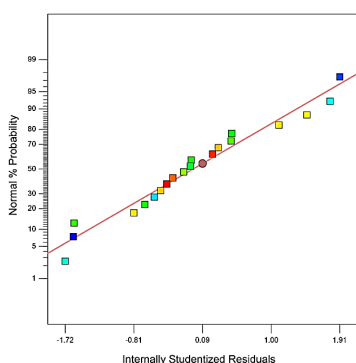
در جدول تحلیل واریانس، نسبت کفایت دقت مدل بزرگ‌تر

از ۴ مطلوب می‌باشد. مقدار ۲۴۳/۹ برای این پارامتر آماری نشان‌دهنده مقدار سیگنال کافی و دقت مدل ارائه شده است.

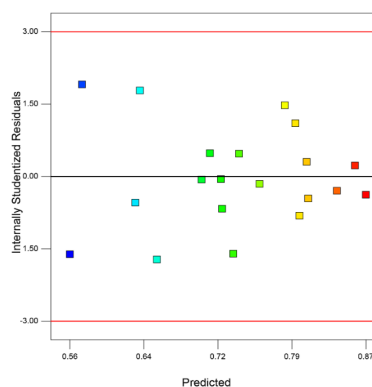
۳-۳. تحلیل واریانس

به منظور بررسی فرضیه‌های حاکم بر تحلیل واریانس، نمودارهای نرمال باقی مانده‌ها^۲، باقی مانده بر حسب پیش‌بینی شده^۳، باکس کاکس^۴، دوبعدی^۵ و سه بعدی^۶ مورد بررسی قرار گرفت.

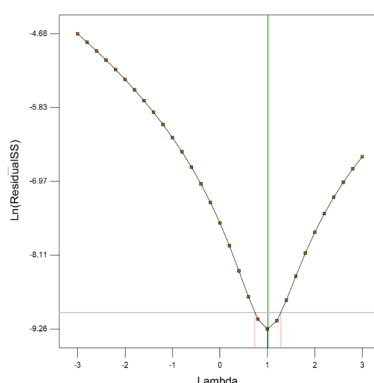
همان‌طور که در (شکل الف ۳) مشاهده می‌شود نقاط از یک توزیع طبیعی در اطراف یک خط مستقیم پیروی می‌کنند که نرمال بودن داده‌ها را نشان می‌دهد. بر اساس (شکل ب ۳) تعداد نقاط در نمودار در بالا و پایین خط افقی برابر است و از روند خاصی پیروی نمی‌کنند. از این رو نقاط تجربی توزیع تصادفی دارند. با توجه به (شکل ج ۳)، مقدار ضریب لامبدا برابر با یک نشان می‌دهد که داده‌ها از جمعیت نرمال بوده و نیاز به تغییر و تبدیل ندارد.



(ب)



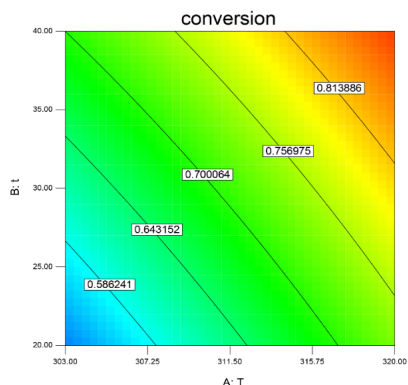
(الف)



(ج)

شکل ۳. الف): نمودار نرمال باقی مانده‌ها (ب): نمودار باقی مانده‌ها بر حسب مقادیر پیش‌بینی شده (ج): نمودار باکس-کاکس

1. Adeq. Precision
2. Normal plot of residual
3. Residual versus predicted
4. Box-Cox
5. Contour plot
6. 3-D graph



(ب)

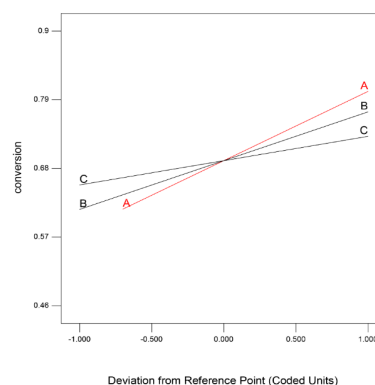
شکل ۵. الف: نمودار سه بعدی دما-زمان واکنش
ب: نمودار دوبعدی (کانتور)

بر اساس نتایج بهینه‌سازی، در دمای 320 K ، غلظت اولیه گوگرد 244 ppm و مدت زمان واکنش 40 دقیقه، بیشترین درصد تبدیل گوگرد به مقدار 90% حاصل شد. بر اساس داده‌های ارائه‌شده در مرجع [۱۸]، درصد تبدیل گوگرد در این شرایط $90/55\%$ است که به مقدار پیش‌بینی شده بسیار نزدیک است.

۴. نتیجه‌گیری

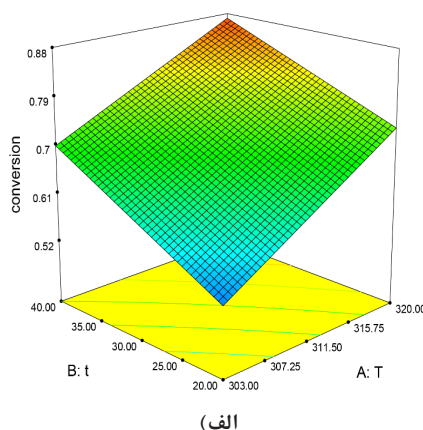
فرآیند گوگردزدایی اکسایشی روشی امیدبخش برای حذف ترکیبات گوگرد حلقوی از سوخت‌های هیدروکربنی است. در این فرآیند بدون نیاز به هیدروژن در شرایط عملیاتی ملایم و در حضور کاتالیست گوگردزدایی انجام می‌شود. در این مقاله اثر پارامترهای مهم عملیاتی مانند زمان واکنش، دمای واکنش و غلظت اولیه گوگرد در سوخت نفتا بر میزان تبدیل گوگرد مطالعه شد و مدل ریاضی حاکم بر مسئله ارائه گردید. برای این منظور روش طراحی آزمایش سطح پاسخ به کار برده شد. نتایج تحلیل آماری نشان داد مدل فاکتوریل خطی به خوبی داده‌های تجربی را برازش کرده است. بر اساس تحلیل واریانس فاکتورهای مورد بررسی اثر معناداری بر پاسخ داشته است. همچنین اثر متقابل بین زمان و دمای واکنش معنادار است. در بین فاکتورها دمای واکنش بیشترین اثر معنادار و اثر متقابل بین دما و زمان واکنش دارای کمترین اثر است. بر اساس تحلیل‌های آماری داده‌ها از توزیع نرمال برخوردار بوده و نیاز به تبدیل ندارند. نتایج بهینه‌سازی نشان داد برای رسیدن به درصد تبدیل گوگرد 90% در این آزمایش‌ها مقدار دمای واکنش، زمان واکنش و غلظت اولیه گوگرد موجود در نفتا باید به ترتیب 320 K ، 40 دقیقه و 244 ppm باشد.

(شکل ۴) نمودار آشفته‌گی مربوط به فاکتورهای دما و زمان واکنش و همچنین غلظت اولیه گوگرد موجود در سوخت را نشان می‌دهد. بر این اساس همه فاکتورهای مورد بررسی در این آزمایش‌ها اثر مثبتی بر پاسخ دارند، به گونه‌ای که افزایش مقدار آن‌ها سبب افزایش میزان درصد تبدیل گوگرد موجود در سوخت گردیده است. در بین این فاکتورها اثر دمای واکنش بیشتر است. فرم خطی این نمودارها نیز نشان می‌دهد که مربع فاکتورها (توان دوم) اثر معناداری در مدل ریاضی ندارند.



شکل ۴. نمودار آشفته‌گی برای الف): دمای واکنش
ب): زمان واکنش ج): غلظت اولیه گوگرد در سوخت

در شکل ۵ (الف و ب) اثر تغییرات هم‌زمان فاکتورهای دما و زمان واکنش بر درصد تبدیل گوگرد نشان داده شده است. اثر زمان واکنش در دماهای مختلف متفاوت است. به گونه‌ای که در حد پایین دما (303 K) درصد تبدیل گوگرد بیشتر از حد بالای دما (323 K) تغییر می‌کند. این پدیده نشان‌دهنده اثر متقابل بین دما و زمان آزمایش است. افزایش دما سبب افزایش ضریب ثابت سرعت واکنش شیمیایی شده و افزایش سرعت واکنش تجزیه ترکیبات حلقوی گوگردی را به دنبال دارد. از این رو در مدت زمان کمتری درصد تبدیل بالاتر گوگرد حاصل می‌شود.



(الف)

نویسندگان از حمایت های مادی و معنوی معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه سیستان و بلوچستان تشکر و قدردانی می نمایند.

مراجع:

- sulfur compounds in fossil fuels. *Biotechnology advances*, 2007. 25(6): p. 570-596.
- [7]. Jiang, Z., et al., Oxidative desulfurization of fuel oils. *Chinese journal of catalysis*, 2011. 32(5): p. 707-715.
- [8]. Wei, S., et al., Preparation, characterization, and catalytic performances of cobalt catalysts supported on KIT-6 silicas in oxidative desulfurization of dibenzothiophene. *Fuel*, 2017. 200: p. 11-21.
- [9]. Hossain, M.N., H.C. Park, and H.S. Choi, A Comprehensive Review on Catalytic Oxidative Desulfurization of Liquid Fuel Oil. *Catalysts*, 2019. 9(3): p. 229.
- [10]. Campos-Martin, J., M. Capel-Sanchez, and J. Fierro, Highly efficient deep desulfurization of fuels by chemical oxidation. *Green Chemistry*, 2004. 6(11): p. 557-562.
- [11]. Qiu, L., et al., Oxidative desulfurization of dibenzothiophene using a catalyst of molybdenum supported on modified medicinal stone. *Rsc Advances*, 2016. 6(21): p. 17036-17045.
- [12]. Zhang, Y., et al., One-pot synthesis of cup-like ZSM-5 zeolite and its excellent oxidative desulfurization performance. *RSC advances*, 2018. 8(56): p. 31979-31983.
- [13]. Hartmann, M., Hierarchical zeolites: a proven strategy to combine shape selectivity with efficient mass transport. *Angewandte Chemie International Edition*, 2004. 43(44): p. 5880-5882.
- [14]. Yu, X., et al., Ultrasound assisted catalytic oxidative desulfurization of diesel oil using CdO nanoparticles. *Petroleum Science and*
- [1]. Dana, M., et al., Optimization of a continuous ultrasound assisted oxidative desulfurization (UAOD) process of diesel using response surface methodology (RSM) considering operating cost. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 2020. 28(5): p. 1384-1396.
- [2]. Ghorbani, N. and G. Moradi, Oxidative desulfurization of model and real oil samples using Mo supported on hierarchical alumina-silica: Process optimization by Box-Behnken experimental design. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 2019. 27(11): p. 2759-2770.
- [3]. Teimouri, A., M. Mahmoudsalehi, and H. Salavati, Catalytic oxidative desulfurization of dibenzothiophene utilizing molybdenum and vanadium oxides supported on MCM-41. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2018. 43(31): p. 14816-14833.
- [4]. Yu, J., et al., Oxidative desulfurization of dibenzothiophene with molecular oxygen using cobalt and copper salen complexes encapsulated in NaY zeolite. *Catalysis Today*, 2020. 339: p. 105-112.
- [5]. Xun, S., et al., Magnetic mesoporous nanospheres supported phosphomolybdate-based ionic liquid for aerobic oxidative desulfurization of fuel. *Journal of colloid and interface science*, 2019. 534: p. 239-247.
- [6]. Soleimani, M., A. Bassi, and A. Margaritis, Biodesulfurization of refractory organic



Desulfurization of Light Naphtha by NiMo/ γ -Al₂O₃ Catalyst. Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering, 2021. 40(2): p. 417-427.

- [22]. Li, X., et al., Optimization of aviation kerosene from one-step hydrotreatment of catalytic Jatrophia oil over SDBS-Pt/SAPO-11 by response surface methodology. Renewable Energy, 2019. 139: p. 551-559.

Technology, 2018. 36(15): p. 1158-1163.

- [15]. Zhao, N., et al., Synthesis and application of different phthalocyanine molecular sieve catalyst for oxidative desulfurization. Journal of solid state chemistry, 2015. 225: p. 347-353.
- [16]. Allahyari, Somaiyeh, et al., Oxidative Desulfurization of DBT Using Tri-metallic Ni-Mo-W Nanocatalysts Based on Different Natural Zeolites: Mordenite, Ferrierite, and Clinoptilolite. Journal of Petroleum Research, 2019. 29: p. 89-98. (In Persian)
- [17]. Jarullah, A.T., et al., Enhancement of light naphtha quality and environment using new synthetic nano-catalyst for oxidative desulfurization: Experiments and process modeling. Computers & Chemical Engineering, 2020. 140: p. 106869.
- [18]. Ahmed, G.S., et al., Design of an environmentally friendly reactor for naphtha oxidative desulfurization by air employing a new synthetic nano-catalyst based on experiments and modelling. Journal of cleaner production, 2020. 257: p. 120436.
- [19]. Meman, N.M., et al., Application of palladium supported on functionalized MWNTs for oxidative desulfurization of naphtha. Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2015. 22: p. 179-184.
- [20]. Beshkoofeh, S., et al., Preparation, Characterization, and Kinetics Model of MoCo/ γ -Al₂O₃ Catalysts for Oxidative Desulfurization of Light Naphtha. Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering, 2021. 40(6): p. 1777-1792.
- [21]. Sheibani, S., K. Zare, and S.M. Mousavi Safavi, Investigation of Oxidative



Oxidative Desulfurization of Light Naphtha in the Presence of Zeolite Supported Zinc Oxide Catalyst

Zahra Mobasheri¹, Seyyed Hossein Zohdi^{2*}

1. M.Sc., Student of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

2. Assistant Professor, Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering, University of Sistan and Baluchestan, Zahedan, Iran

*Corresponding Author, Email Address: zohdi@eng.usb.ac.ir

Abstract

In various countries, strict rules are considered for reducing sulfur in the fuels. Oxidative desulfurization is known as one of the best complementary methods for the hydro-desulfurization. In this paper, using the response surface methodology, the effects of initial sulfur concentration in the naphtha fuel, reaction temperature, and reaction time on the sulfur conversion were investigated in the presence of zeolite supported zinc Oxide catalyst. Experiments were conducted at the conditions as follows: $T=303.15-323.15$ K, $t=20-40$ min, and initial sulfur concentration=150-250 ppm. Analysis of variance showed that the linear factorial model well fitted the experimental data. All the parameters as well as the interaction between reaction time and temperature affected the response, significantly. Maximum sulfur conversion of 90% was achieved at the temperature of 320 K, reaction time of 40 min, and initial sulfur concentration of 244 ppm.

Keywords: Light naphtha, Desulfurization, Response surface methodology, Batch reactor, Empirical modeling; Interactions, Statistical analysis



بررسی عملکرد فلر پر فشار پالایشگاه پنجم پارس جنوبی و عوامل مؤثر بر عملکرد آن با استفاده از شبیه‌سازی CFD

محمد ایرانی^{*}، یعقوب بهجت

استادیار، پژوهشکده گاز، پژوهشگاه صنعت نفت، کد پستی ۱۱۱۳۱۶۵۸۴۱، تهران، ایران

آدرس پست الکترونیک نویسنده مسئول مکاتبات: iranini@ripi.ir

مقاله‌ی علمی - پژوهشی

صفحه ۶۹ - ۸۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۱

چکیده

در این تحقیق، شبیه‌سازی CFD فلر پر فشار (HP) پالایشگاه پنجم پارس جنوبی در ابعاد صنعتی به‌منظور ارزیابی اثرات پارامترهای هندسی تیپ فلر بر مشخصه‌های احتراقی فلر (شکل و موقعیت شعله) انجام شده است. مدل CFD با در نظر گرفتن تمام پدیده‌های انتقال (انتقال مومنتوم، حرارت، جرم) توسعه یافت. به‌منظور جلوگیری از خطاهای عددی، شبکه بندی مناسب انجام گرفت. نتایج حاصل از مدل محاسباتی توسعه یافته شامل پروفایل دمایی و سرعت (شکل و ماهیت شعله)، پروفایل غلظت اجزاء گازه‌ای ارسالی به فلر و همچنین پروفایل غلظت اجزاء محصولات حاصل از احتراق می باشد. نتایج شبیه‌سازی CFD نشان می‌دهد در فلر HP در شرایط عملیاتی افزایش دمای بدنه تیپ فلر بر اثر برخورد شعله قابل اغماض (حدود ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد) است بنابراین عملکرد آن با مقدار گاز جاروبی فعلی مناسب است؛ بنابراین کاهش بیشتر گاز ارسالی (۸۹۶ کیلوگرم بر ساعت) به فلر HP توجیه پذیر نمی‌باشد چراکه ممکن است شعله به داخل شبکه فلر کشیده شود و یا اینکه به علت ارتفاع بسیار کم شعله تشکیل شده و سرعت باد محیطی، دمای سطح تیپ فلر و سپر باد افزایش یابد که در دراز مدت سبب تخریب سطح تیپ فلر و تعویض کلی آن گردد. در صورتی که سرعت باد بیشتر از حد معمول باشد (تند بادهای موضعی) باید با مقدار گاز سوختی برگشت شعله به داخل تیپ فلر را کنترل کرد.

کلیدواژه‌ها: احتراق، شعله، فلر HP، شبیه‌سازی CFD^۱

۱. مقدمه

فلرینگ به‌طور گسترده در صنایع پالایشگاهی، پتروشیمی و شیمیایی برای از بین بردن گازهای غیر مطلوب احتراق پذیر توسط سوختن در محیط شعله باز انجام می‌گیرد. هدف از ساخت فلرها دریافت گازهای ناخواسته ارسالی از سوی واحد صنعتی و سوختن این گازها در جهت جلوگیری از ورود آنها به محیط زیست می‌باشد در صنعت عواملی همچون قطع جریان برق، تغییر در خوراک ورودی به واحدها، بهره‌برداری

1.High Pressure

2.Computational Fluid Dynamic



همراه یکی از روش‌هایی است که بیشتر در ابعاد فنی به‌منظور افزایش ایمنی تجهیزات و جلوگیری از خطرهای بالقوه مانند انفجار و سایر خطرات احتمالی ناشی از افزایش فشار و شعله‌ور شدن گازهای پرفشار در جریان استحصال نفت خام صورت می‌گیرد؛ اما این فرآیند خود منشأ تولید گازهای گلخانه‌ای از جمله دی‌اکسید کربن، اکسیدهای گوگرد و اکسیدهای نیتروژن است.

در صورتی که احتراق در فلر کامل یا به عبارت دیگر بازده فرآیند احتراق در فلر ۱۰۰٪ باشد، فقط بخار آب، دی‌اکسید کربن و دی‌اکسید گوگرد به عنوان محصولات احتراق تولید می‌شوند؛ اما در عمل به علت تغییر شرایط عملکردی و انحراف از شرایط طراحی، بازده کاهش می‌یابد. بر اساس تحقیقات صورت گرفته در جهان، در حدود ۲۵۰ ماده سمی شناخته شده نظیر دوده، بنزن، جیوه، اکسیدهای نیتروژن، دی‌اکسید کربن، آرسنیک، دی‌سولفید کربن، کروم، متان، تولوئن، گازهای اسیدی و هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای طی فرآیند فلر به هوا تخلیه می‌شوند که برخی از ترکیبات آزاد شده می‌توانند باعث تشدید بیماری‌های تنفسی از جمله آسم شوند. زاد اکبر و همکاران [۲]، خطر انتشار ترکیبات سمی برای دو حالت فلر خاموش و روشن در پالایشگاه گاز خانگیران را بررسی کردند. مطالعات آن‌ها حاکی از آن بود که کارکنان پالایشگاه در هر دو حالت در معرض تنفس گازهای سرطان‌زا و غیر سرطان‌زا قرار دارند؛ اما در حالتی که شعله فلر در اثر باران‌های شدید، توفان یا باد شدید خاموش شود خطر بسیار جدی‌تر بوده و در صورتی که این شرایط برای مدت طولانی ادامه یابد منجر به مرگ کارکنان خواهد شد. بدین ترتیب، میزان و نوع گازهای انتشار یافته از فلر به محیط‌زیست تابع بازده احتراق و نوع خوراک ورودی به فلر است [۳]. بازده احتراق پایین در فلر به معنای وجود مقدار قابل توجهی ترکیبات آلی فرار در گازهای ارسالی به فلر بوده و بازده بالا نیازمند اختلاط کامل سوخت با هوا و فقدان فاز مایع در حین احتراق است. بازده احتراق برای فلری که به خوبی طراحی شده است، معمولاً بالای ۹۰٪ و گاهی بیش از ۹۸٪ است. از این رو، طراحی و بهره‌برداری از این تجهیز فرآیندی در جهت احتراق کامل ترکیبات ورودی امری ضروری است.

مطالعات تجربی و شبیه‌سازی زیادی درباره فلرها انجام شده است. هوانگ و همکاران پایداری و رفتار شعله جت احتراقی

پروپان را به صورت آزمایشگاهی بررسی کردند و روابطی را برای مسیر حرکت جت‌های احتراقی در یک جریان متقاطع ارائه کردند [۸]. بورگینگتون و همکاران روشی برای اندازه گیری راندمان احتراق شعله در جریان متقاطع ارائه کردند [۹]. جانسون و همکاران با انجام آزمایشاتی درباره شعله‌های نفوذی در مسیر جریان سیال، نشان دادند که جریان باد و محتوای انرژی سوخت مستقیماً بر روی راندمان احتراق مؤثر است [۱۰]. نتایج تحقیقات کوستیوک و جانسون نشان داد که فلرها در هوای ساکن راندمان بالایی داشته و افزایش سرعت وزش باد باعث افت بازده می‌شود [۱۱]. کاستیشیرا و ادگار، با شبیه‌سازی CFD اثر تزریق بخار آب و هوا را بر عملکرد فلرها در مقیاس آزمایشگاهی با شعله غیر پیش آمیخته بررسی کردند [۱۲]. نتایج آن‌ها نشان داد که استفاده از نسبت‌های خیلی بالای بخار به سوخت و هوا به سوخت باعث کاهش قابل توجه راندمان احتراق فلر و تولید هیدروکربن نسوخته می‌گردد.

کاستیشیرا و ادگار^۱، در تحقیقی دیگر عملکرد یک فلر با سرعت‌های مختلف باد را بررسی کردند. در این مطالعه از یک مکانیسم شامل پنج واکنش و سپس مکانیسمی شامل ۲۳ جزء و ۷۴ واکنش استفاده کردند و رفتار فلر صنعتی و انتشار گاز از آن بررسی شده است. نتایج شبیه‌سازی انجام شده با نتایج آزمایشگاهی هم‌خوانی خوبی نشان می‌دهد [۱۳].

اثر وزش باد بر بازده فلرهای صنعتی با استفاده از روش‌های CFD توسط کاستیشیرا و ادگار مورد بررسی قرار گرفته است [۱۴]. نتایج آن‌ها نشان داد که وزش باد با سرعت متوسط نیز تأثیر قابل توجهی بر کاهش بازده فلر داشته و شعله فلر در معرض باد کوتاه‌تر از شعله فلر بدون وزش باد می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی آن‌ها توافق خوبی با نتایج آزمایشگاهی داشت. لاول^۲ و همکاران اثر وزش باد و سرعت جت خروجی از فلر را با استفاده از مدل‌سازی CFD مورد بررسی قرار دادند [۱۵]. نتایج حاصل از مدل‌سازی با داده‌های تجربی اعتبار سنجی گردید. لانگمن و ناتان، اثر نوسانات شدید ناشی از احتراق روی نرخ اختلاط یک فلر پالایشگاهی را گزارش کردند [۱۶]. سینگ^۳ و همکاران، با استفاده از یک مدل CFD فلر صنعتی و آزمایشگاهی را شبیه‌سازی کردند و مدل آن‌ها توانست بازده فلر را با خطای پنج درصد برای فلر صنعتی محاسبه کند [۱۷]. سینگ و همکاران، در مطالعه دیگری با هدف بررسی تأثیر نسبت سوخت به هوا و سوخت به بخار، با استفاده از

1. Castiñeira and Edgar

2. Lawal

3. Singh

۲. مدل سازی CFD احتراق در فلر و معادلات حاکم

در این تحقیق از نرم افزار ANSYS FLUENT برای شبیه سازی استفاده شده است. برای مدل سازی هر جریان تک فاز (محیط گازی) دارای واکنش، معادلات انتقال جرم، اندازه حرکت و انرژی حاکم بر آن سیستم لازم است. معادلات حالت پایدار متوسط رینولدز ناویر-استوکس در ادامه بیان می شوند [۱۲].

• معادله پیوستگی (بقای جرم)

$$\nabla \cdot (\rho \vec{v}) = S_m \quad (1)$$

معادله (۱) شکل کلی معادله قانون پیوستگی می باشد که در صورت وجود واکنش در سیستم مقدار سمت راست معادله با توجه به سینتیک واکنش غیر صفر خواهد بود. در صورت وجود چند جزء ماده مختلف در سیستم و با در نظر گرفتن تأثیرات انتقال جرم این رابطه برای هر جزء به صورت رابطه ذیل نوشته خواهد شد.

$$\nabla \cdot (\rho \vec{v} Y_i) = \nabla \cdot \vec{J}_i + R_i + S_i \quad (2)$$

که مقدار Y_i برابر کسر جرمی هر جزء می باشد و R_i نرخ تولید این جزء در اثر واکنش های شیمیایی است.

$$\nabla \cdot (\rho v v) = -\nabla P + \nabla \cdot (\mu (\nabla v + (\nabla v)^T) - \overline{\rho v' v'}) \quad (3)$$

• معادله بقای اندازه حرکت

شکل کلی معادلات بقای اندازه حرکت به صورت زیر می باشد.

که در آن v' نوسان ناشی از آشفتگی بردار سرعت، μ ویسکوزیته سیال و P فشار می باشند. علامت بار روی عبارات این معادله به مقادیر متوسط اشاره می کند. تنش های رینولدز $(\rho v' v')$ ، عبارات های اضافه ای هستند که از تجزیه متغیرهای آشفتگی به مقادیر متوسط و نوسانی به وجود می آیند. این عبارات برای کامل شدن معادله (۳) باید مدل شوند. برای این منظور از مدل آشفتگی استفاده می گردد.

در این پژوهش از مدل آشفتگی $k-\epsilon$ استاندارد استفاده شده است. مدل $k-\epsilon$ یک مدل نسبتاً ساده کامل می باشد که برای تشریح آشفتگی بکار می رود و برای انتقال خواص آشفتگی توسط جریان متوسط و نفوذ و برای تولید و استهلاک آشفتگی مفید می باشد. در این مدل دو معادله انتقال، یکی برای انرژی جنبشی (k) و دیگری برای نرخ استهلاک انرژی آشفتگی (ϵ) به صورت هم زمان حل می شوند. مدل استاندارد $k-\epsilon$ شامل دو معادله زیر می باشد:

CFD عملکرد فلر را مورد بررسی قرار دادند. مقایسه نتایج شبیه سازی آن ها با نتایج آزمایشگاهی نشان داد که مقادیر پیش بینی شده برای راندمان احتراق انحراف زیادی نسبت به نتایج آزمایشگاهی دارد [۱۸]. جوادی و همکاران اثر وزش باد بر شکل شعله به صورت عددی انجام دادند. نتایج تحقیقات آن ها نشان داد که در سرعت های بالاتر از پنج متر بر ثانیه به علت نشست شعله بر روی بدنه، دمای بدنه بالا می رود [۱۹]. صباغ و رهبر تأثیر شکل تیپ فلر بر بیشینه دمای جداره نوک فلر را مطالعه کردند [۲۰]. در این تحقیق نشان داده شد که در هندسه استوانه ای با وجود وزش باد طول شعله بلندتر از هندسه های دیگر است. جوادی و همکاران [۲۱]، تأثیر وزش باد بر شکل شعله فلر و توزیع دما را در پالایشگاه سرخون و قشم با استفاده از شبیه سازی CFD مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن ها نشان داد وقتی سرعت باد افزایش می یابد حداکثر دمای شعله کاهش می یابد. همچنین در اثر افزایش سرعت باد، شعله به یک طرف خمیده شده و به دیواره فلر نزدیک می شود. تغییر در حداکثر دمای دیواره فلر و همچنین تغییر در محل شعله باعث ایجاد استرس های قابل توجهی بر دیواره فلر شده و باعث آسیب بدنه فلر می شود. شبیه سازی یک سیستم فلر توسط مارا و کانتینیلو انجام شد [۲۲]. در این تحقیق سعی شده است با استفاده از شبیه سازی، هندسه فلر را برای دستیابی به راندمان بالاتر بهینه کنند.

با توجه به مباحث مطرح شده در منابع متعدد می توان چنین نتیجه گرفت که تحقیقات انجام یافته در خصوص فلرها با استفاده از مدل سازی CFD، بیشتر محدود به فلر هایی در مقیاس آزمایشگاهی بوده و تحقیقات اندکی بر روی فلر های صنعتی انجام پذیرفته است که این امر را می توان به دلیل گستردگی بازه زمانی و اندازه فلرها، آشفتگی زیاد جریان، سینتیک پیچیده و تأثیر قابل توجه آشفتگی بر سینتیک واکنش های احتراقی دانست.

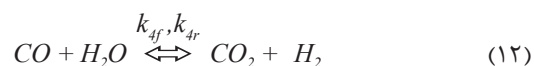
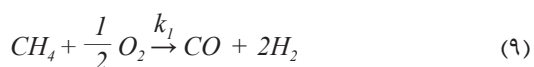
با توجه به مطالعات کتابخانه ای انجام یافته و شناسایی پارامترهای تأثیر گذار، در این پژوهش، شبیه سازی فلر HP پالایشگاه پنجم پارس جنوبی در ابعاد واقعی به منظور ارزیابی اثر مشخصه های احتراقی فلر بر شکل و موقعیت شعله و توزیع دمای حاصل در بدنه فلر، آلاینده های خروجی از آن و همچنین تأثیر مؤلفه های ذکر شده بر پایداری شعله و عدم پس کشیدن شعله به داخل تیپ فلر با استفاده از تحلیل CFD مورد بررسی قرار گرفت.

جدول ۱: شرایط مرزی استفاده شده در شبیه‌سازی فلر PH

شرایط مرزی مورد استفاده	مرز مورد نظر
دیواره با شرط عدم لغزش	دیواره های فلر
شرط مرزی انتقال حرارت: کوپل	
ضریب انتشار فولاد برابر با ۰/۸۵	
دیواره با شرط تنش برشی برابر با صفر	دیواره انتهایی دامنه محاسباتی
دما ثابت برابر با K ۳۰۰	
ضریب انتشار برابر با یک	
دیواره با شرط تنش برشی برابر با صفر	کف دامنه محاسباتی
دما ثابت برابر با K ۳۰۰	
ضریب انتشار برابر با یک	
فشار خروجی ثابت برابر با فشار اتمسفری	خروجی محدوده محاسباتی

• بررسی مدل‌های سینتیکی بکار رفته

برای سینتیک متان مجموعه واکنش‌های پیشنهادی توسط اسمیت و همکاران، کیم و همکاران و وستبروک و درایر، به‌طور گسترده برای شبیه‌سازی احتراق مورد استفاده قرار گرفته است. در این تحقیق با توجه بررسی‌های انجام گرفته پارامترهای سینتیکی بکار رفته به‌طور مختصر تشریح می‌شود. در سینتیک ارائه شده توسط اسمیت و همکاران معادلات استوکیومتری برای احتراق متان طبق رابطه‌های (۹) تا (۱۳) بیان می‌شوند. ثابت‌های سرعت واکنش برای سه واکنش اول (۹ تا ۱۱) با k_1 ، k_2 و k_3 نشان داده شده است. واکنش شیفت آب‌گاز^۴ (معادله ۱۲) شامل هر دو مرحله رفت (k_{4f}) و برگشت (k_{4r}) می‌باشد. پارامترهای سینتیک آرنیوس مورد استفاده در مدل‌سازی احتراق مربوط به این واکنش‌ها در (جدول ۲) آورده شده است.



1. SIMPLE
2. First-order upwind
3. Second-order upwind
4. Water gas shift (WGS) reaction

$$\rho_f \frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_k + G_b - \rho_f \varepsilon - Y_M \quad (4)$$

$$\rho_f \frac{D\varepsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + G_{3k} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho_f \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (5)$$

در نتیجه حل معادلات (۴) و (۵) مقدار انرژی جنبشی و تلفات انرژی مشخص می‌شود که با استفاده از آن‌ها می‌توان ویسکوزیته مربوط به جریان مغشوش را به‌صورت زیر محاسبه کرد:

$$\mu_t = \rho_f C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (6)$$

• معادله بقای انرژی

بقای انرژی برای یک المان سیال با رابطه زیر مدل‌سازی می‌گردد.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho E) + \nabla \cdot (\vec{v} (\rho E + p)) = \nabla \cdot \left(k_{eff} \nabla T - \sum_j h_j \vec{J}_j + (\vec{\tau}_{eff} \cdot \vec{v}) \right) + S_h \quad (7)$$

که k_{eff} ضریب انتقال حرارت هدایت مؤثر بود و $E = h - \frac{p}{\rho} + \frac{v^2}{2}$ انرژی کل سیال در حجم کنترل می‌باشد.

هم‌چنین برای توضیح کامل‌تر لازم به ذکر است $\nabla \cdot \sum_j h_j \vec{J}_j$ ترم انتقال حرارت ناشی از اثرات انتقال جرم می‌باشد و برای یک سیستم همراه با واکنش شیمیایی مقدار S_h به‌صورت زیر تعریف می‌شود.

$$S_{h,rxn} = - \sum_j \frac{h_j^0}{M_j} R_j \quad (8)$$

که h_j^0 آنتالپی تشکیل هر جزء و R_j نرخ تولید حجمی اجزاء مختلف در سیستم است.

• روش شبیه‌سازی و شرایط مرزی مورد استفاده

برای شبیه‌سازی فلر HP از الگوریتم سیمپل^۱ برای پیوستگی فشار و سرعت استفاده شد. هم‌چنین به‌منظور جداسازی معادلات انتقال اجزاء از روش جداسازی درجه یک^۲ و برای دیگر معادلات از روش جداسازی درجه دو^۳ استفاده شد. آشفتگی توسط معادله Realizable k-ε مدل‌سازی گردید. برای محاسبه تأثیر تشعشع بر انتقال حرارت، مدل P-1 مورد استفاده قرار گرفت. (جدول ۱) شرایط مرزی مورد استفاده در شبیه‌سازی فلر HP را نشان می‌دهد.

جدول ۲: پارامترهای سینتیک آرنیوس مربوط به سینتیک اسمیت [۲۳] و همکاران و معادلات سرعت آنها

معادله سرعت	انرژی فعال سازی (J/kmol)	ضریب پیش‌نمایی آرنیوس	ثابت سرعت
$[CH_4]^{0.5}[O_2]^{1.25}$	$1/25 \times 10^8$	$4/4 \times 10^{11}$	k_1
$[H_2]^{0.5}[O_2]^{2.25}[H_2O]^{-1}$	$1/68 \times 10^8$	$2/5 \times 10^{16}$	k_2
$[CO]^{1.5}[O_2]^{0.25}$	$1/67 \times 10^8$	$3/16 \times 10^{12}$	k_3
$[CO]^{0.5}[H_2O]^1$	$2/83 \times 10^8$	$5/0 \times 10^{12}$	k_{4f}
$[CO_2][H_2]^{0.5}$	$2/39 \times 10^8$	$9/5 \times 10^{10}$	k_{4r}

با توجه به غلظت نسبتاً پایین مقادیر اتان، پروپان، بوتان و پنتان، هگزان، هپتان و اکتان در خوراک ورودی به فلر کم‌فشار (HP)، برای شبیه‌سازی احتراق این اجزا از معادله استوکیومتری تک واکنشی پیشنهاد شده توسط وستبروک و درایر، استفاده می‌شود که طبق رابطه (۱۳) بیان می‌شود.

(۱۳) $Fuel + n_2 O_2 \rightarrow n_2 CO_2 + n_3 H_2O$

که در معادله استوکیومتری به جای Fuel، اتان، بوتان یا پنتان جای‌گذاری می‌شود. پارامترهای سینتیک آرنیوس مورد استفاده در مدل‌سازی احتراق مربوط به این واکنش در (جدول ۳) آورده شده است.

جدول ۳: پارامترهای سینتیک آرنیوس مربوط به سینتیک وستبروک [۲۴] و درایر و معادله سرعت آن (واحدها بر حسب mol و m, s, J/kgmol, K)

معادله سرعت	انرژی فعال سازی (J/kmol)	ضریب پیش‌نمایی آرنیوس
$[C_2H_6]^{0.2}[O_2]^{1.3}$	$2/027 \times 10^8$	$2/119 \times 10^{11}$
$[C_3H_8]^{0.1}[O_2]^{1.65}$	$1/256 \times 10^8$	$5/96 \times 10^9$
$[C_4H_{10}]^{0.15}[O_2]^{1.6}$	$1/256 \times 10^8$	$4/161 \times 10^9$
$[C_5H_{12}]^{0.25}[O_2]^{1.5}$	$1/256 \times 10^8$	$3/599 \times 10^9$
$[C_6H_{14}]^{0.25}[O_2]^{1.5}$	$1/256 \times 10^8$	$3/205 \times 10^9$
$[C_7H_{16}]^{0.25}[O_2]^{1.5}$	$1/256 \times 10^8$	$2/868 \times 10^9$
$[C_8H_{18}]^{0.25}[O_2]^{1.5}$	$1/256 \times 10^8$	$2/587 \times 10^9$

• مدل‌سازی تشعشع

برای محاسبه شار تشعشعی باید ابتدا معادله انتقال حرارت تشعشعی حل شده و سپس شدت تابش در موقعیت‌های مختلف محاسبه گردد. مدل تشعشعی P1 که در این تحقیق برای مدل‌سازی تشعشع مورد استفاده قرار گرفت، ساده‌ترین حالت از مدل کلی‌تر P-N می‌باشد که بر پایه بسط شدت تشعشع (I) در یک سری هارمونیک کروی اورتوگوناو شکل گرفته است. این روش به دلیل سادگی و کارآمد بودن به یکی از محبوب‌ترین روش‌های حل معادلات انتقال حرارت تشعشعی تبدیل شده است. از مزایای این مدل می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [۱۲].

- ✓ در مدل P1 معادله انتقال تشعشعی یک معادله پخشی است، که حل معادله را ساده می‌کند.
- ✓ این مدل اثرات پراکنش را در نظر می‌گیرد.

$$q_r = -\frac{1}{3(a + \sigma_s) - C\sigma_s} \nabla G \quad (14)$$

$$\Gamma = \frac{1}{(3(a + \sigma_s) - C\sigma_s)} \quad (15)$$

اعتبارسنجی مدل از اطلاعات تجربی مقالات معتبر استفاده گردید [۲۵] در (شکل ۱)، ستون (۱) و (۲) به ترتیب مربوط به نتایج شبیه‌سازی انجام شده با استفاده از سینتیک کلی اسمیت و کیم و ستون (۳) مربوط به فلر آزمایشی جانسون و کاستیاک می‌باشند. کانتورهای دما در سطح میانی تونل باد در ستون (۱) و (۲) نشان داده شده‌اند که سرعت باد از بالا به پایین از ۱/۳۳ متر بر ثانیه به ۸/۲۷ متر بر ثانیه افزایش یافته است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نتایج حاصل از سینتیک کلی باوجود ساده‌سازی انجام یافته برای واکنش‌ها و اجزاء از لحاظ شکل شعله تطابق خوبی با تصاویر آزمایشگاهی (ستون ۳) دارد.

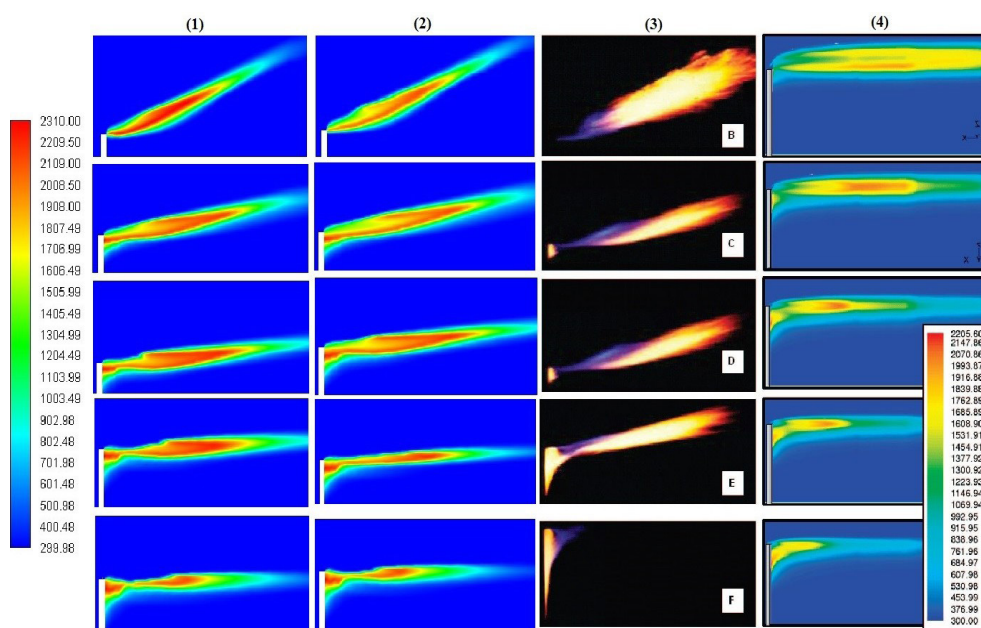
$$q_r = -I \nabla G \quad (16)$$

$$\nabla(I \nabla G) - aG + 4a\sigma T^4 = 0 \quad (17)$$

با ترکیب معادلات ۱۵ تا ۱۷ معادله (۱۸) به دست می‌آید. مقدار ∇q_r می‌تواند به‌طور مستقیم در معادله انرژی جای‌گذاری شود و با استفاده از آن مقدار چشمه ناشی از تشعشع را محاسبه کرد.

• اعتبارسنجی مدل

با توجه به نبود داده تجربی در مقیاس صنعتی برای



شکل ۱. کانتورهای دما در سرعت‌های مختلف باد در محدوده ۱/۳۳ تا ۸/۲۷ متر بر ثانیه (از بالا به پایین)، ستون (۱) مربوط به نتایج مدل‌سازی انجام شده توسط سینتیک اسمیت، ستون (۲) مربوط به نتایج مدل‌سازی انجام شده توسط سینتیک کیم، ستون (۳) تصویر فلر آزمایشی

HP می‌شود که در شرایط سرعت صوت^۵ کار می‌کند. در شکل (۲) شماتیک تیپ فلر HP طبق نقشه‌های طراحی و عکس گرفته شده در حین تعمیرات اساسی پالایشگاه نشان داده شده است. ارتفاع تیپ فلر یعنی چهار متر با قطر ۹۱/۴۴ سانتی‌متر برای انجام محاسبات در نظر گرفته شد. همان‌طور که در (شکل ۳ و ۲) به‌وضوح مشخص است تیپ فلر شامل استوانه‌هایی با قطر کم و زاویه‌دار جهت ایجاد جت و تثبیت‌کننده شعله می‌باشد.

۳. تشریح شبکه فلر HP، ترسیم هندسه و ایجاد شبکه محاسباتی فلر صنعتی

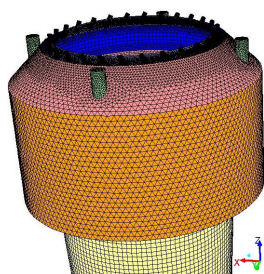
خط فلر پرفشار (HP) پالایشگاه پنجم پارس جنوبی برای سوزاندن گازهای پرفشار مرطوب^۱ و گازهای پرفشار خشک و سرد^۲ مورد استفاده قرار می‌گیرد. معمولاً گازهای پرفشار خروجی از شیرهای اطمینان^۳ و شیرهای تخلیه اضطراری^۴ (که در فشارهای بالاتر از ۲۸ barg عمل می‌نمایند) وارد خط فلر

1. Wet Gas
2. Dry & Cold Gas
3. Pressure Safety Valve (PSV)
4. Blowdown Valve (BDV)
5. Sonic Condition

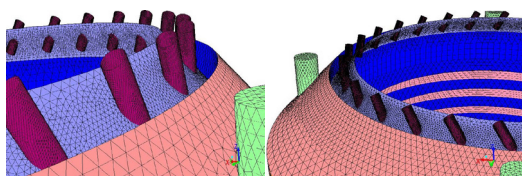
جدول ۵: میزان گاز ارسالی به فلر HP بر اساس شرایط عملیاتی

نوع جریان	مقدار طراحی	مقدار عملیاتی
میزان گاز ارسالی به فلر (Kg/hr)	۱۱۸۱۷۲۴	۸۹۶
میزان بخار (Kg/hr)	۰	۰
میزان Assišt Gas (Kg/hr)	۰	۰
میزان Purge Gas (NM ³ /hr)	۳۹,۲۳	۵۲,۶
میزان Pilot Gas (NM ³ /hr)	۵,۷	۵,۷

اولین گام جهت شبیه‌سازی CFD ایجاد هندسه در نرم‌افزار مناسب و مطابق با نقشه‌های طراحی می‌باشد. با توجه به پیچیدگی طراحی تیپ فلر و تأثیر هر کدام از بخش‌ها و جزئیات هندسی بر عملکرد و بازده تیپ فلر، لازم است تمام جزئیات و المان‌های تیپ فلر بر اساس نقشه‌های طراحی در ترسیم هندسه رعایت شود. در این شبیه‌سازی همان‌طور که در (شکل ۴) نشان داده است، ترسیم هندسه تیپ فلر با جزئیات مربوطه انجام شده است. همان‌طور که در (شکل ۴) ملاحظه می‌شود، هندسه ترسیم شده منطبق با شماتیک فلر HP نشان داده شده بر اساس نقشه‌های طراحی و عکس‌های اخذ شده از تیپ فلر به هنگام تعمیرات اساسی می‌باشد. به‌طوری‌که هندسه ترسیم شده فاقد هرگونه ساده‌سازی بوده و تمام جزئیات تیپ فلر در شبیه‌سازی در نظر گرفته شده است.



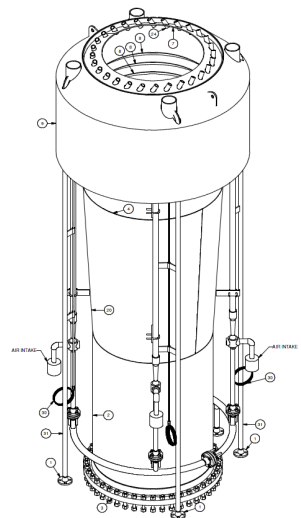
نمای کلی از تیپ فلر



نمایی از تثبیت کننده شعله

شکل ۴: نمای از هندسه و شبکه محاسباتی ایجاد شده

با توجه به هندسه ترسیم شده فلر، کیفیت شبکه محاسباتی تأثیر چشم‌گیری بر نتایج شبیه‌سازی CFD دارد. از این رو برای دستیابی به نتایج صحیح و با کمترین خطای ممکن در مطالعه CFD شبیه‌سازی فرایند احتراق در ابعاد واقعی و با در



شکل ۲. شماتیک طراحی تیپ فلر



شکل ۳. تصویر واقعی از تیپ فلر HP

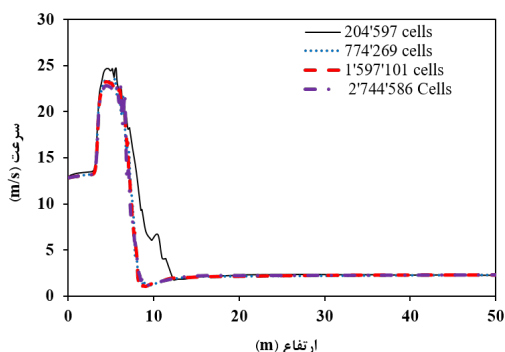
در (جدول ۴) ترکیب درصد گازهای ارسالی به فلر HP بر اساس شرایط طراحی و عملیاتی آورده شده است.

جدول ۴: ترکیب درصد گازهای ارسال شده به فلر HP

اجزای ارسالی به فلر	ترکیب درصد (%mol)	اجزای ارسالی به فلر	ترکیب درصد (%mol)
H ₂ O	۰,۱۳۶	C ₄ H ₁₀	۰,۹۵۶۵
N ₂	۳,۲۸۷۵	C ₃ H ₁₂	۰,۲۶۵۳
CO ₂	۱,۸۱۳۸	C ₆	۰,۰۸۵۵
CH ₄	۷۸,۰۱۵۳	C ₇	۰,۰۴۵۲
C ₂ H ₆	۱۲,۳۲۷۷	C ₈	۰,۰۲۹۳
C ₃ H ₈	۲,۸۷۴۸	H ₂ S	۰,۱۴۴۷

همچنین در (جدول ۵) میزان گاز ارسالی به فلر HP بر اساس شرایط عملیاتی اخذ شده از پالایشگاه پنجم پارس جنوبی گزارش شده است.

۱،۵۹۷،۱۰۱ سلول به عنوان شبکه بهینه و پاسخ های محاسباتی حاصل از آن به عنوان نتایج مستقل از شبکه بندی برای ادامه تحقیق بر روی فلر صنعتی HP مورد استفاده قرار گرفت.

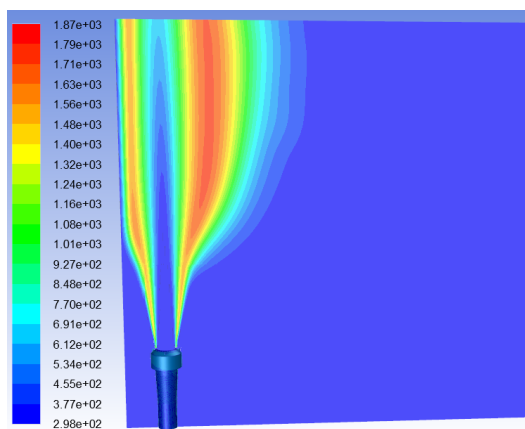


شکل ۵. سرعت پیش بینی شده جریان گاز در امتداد خط گذرنده از مرکز فلر MP تا ارتفاع ۵۰ متر

۴. تشریح شبکه فلر HP

خوراک با مشخصات ارائه شده در (جدول ۳) گزارش، وارد تیپ فلر HP می شود و اکسیژن مورد نیاز از طریق هوای محیط با سرعت باد وارد ناحیه احتراق می گردد. پس از انجام واکنش، شعله تشکیل شده و محصولات حاصل از احتراق تولید می گردند. در ادامه نتایج حاصل از شبیه سازی برای دو حالت طراحی و عملیاتی ارائه می گردد.

در (شکل ۶) پروفایل دمایی و شکل شعله تشکیل شده در فلر HP در شرایط طراحی آورده شده است. همان طور که در شکل مشخص است به علت دبی حجمی بسیار بالای گازهای ارسالی به فلر در حالت طراحی، شعله بسیار بزرگی تشکیل می شود. به طوری که ارتفاع شعله تشکیل شده بالغ بر ۲۰ متر می باشد و از دامنه محاسباتی در نظر گرفته شده خارج گردیده است.



شکل ۶. پروفایل دما (K) و ارتفاع شعله تشکیل شده در فلر HP (شرایط طراحی)

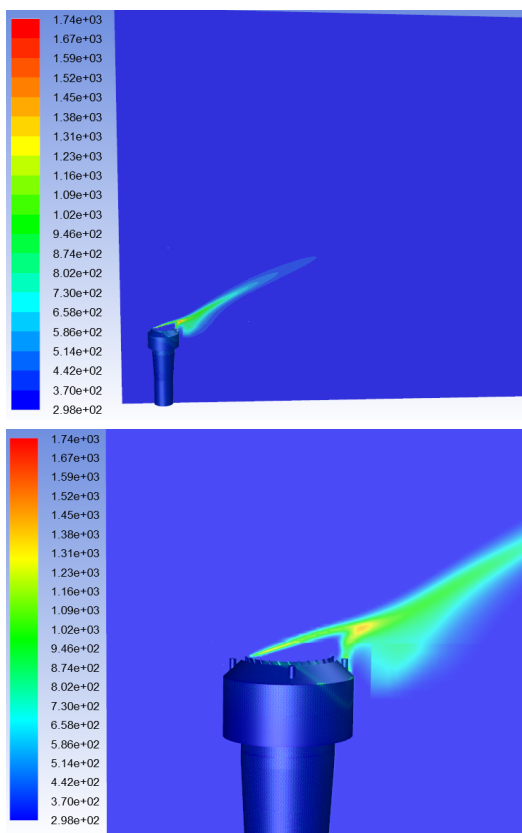
نظر گرفتن تمام پدیده های انتقال (انتقال مومنوم، حرارت، جرم) انجام پذیرفت. بر این اساس فضایی مکعب مستطیل شکل به ابعاد $20 \times 20 \times 16$ متر بالای دودکش در آن قرار دارد به عنوان فضای شبیه سازی طراحی شد.

ایجاد شبکه محاسباتی مناسب موجب همگرایی بهتر در حل معادلات و بالعکس، انتخاب نامناسب شبکه می تواند موجب ایجاد ناپایداری یا عدم همگرایی در محاسبات گردد. در اطراف تثبیت کننده شعله، $Gas\ Seal^1$ و بخش های داخلی تیپ فلر مش ها ریزتر انتخاب شدند تا اطلاعات دقیق تری در این نواحی به دست آید. از طرفی در بقیه نقاط دامنه محاسباتی و به دور از تیپ فلر، از شبکه ۶ وجهی (شبکه منظم) برای کاهش خطاهای عددی، همانند نفوذ کاذب استفاده شده است. در این تحقیق هدف شبیه سازی فلر پر فشار مدنظر است بنابراین عامل اختلاط فشار می باشد.

برای بررسی استقلال نتایج محاسباتی از شبکه، مش بندی طراحی شده با اندازه های مختلف در دامنه محاسباتی اجرا شد و نتایج مورد بررسی قرار گرفت. در این گزارش نتایج چهار مش بندی با تعداد ۲۰۴،۵۹۷، ۷۷۴،۲۶۹، ۱،۵۹۷،۱۰۱ و ۲،۷۴۴،۵۸۶ سلول (حجم کنترلی) که در نهایت برای بررسی استقلال نتایج مدل سازی از مش بندی مورد استفاده قرار گرفت، ارائه می شود. (شکل ۵) مقایسه سرعت پیش بینی شده توسط مش بندی های مختلف در امتداد محور تیپ فلر را نشان می دهد. با توجه به این که در ارتفاع بالاتر از ۵۰ متر، مقدار سرعت ثابت بود، برای این که تغییرات سرعت با جزئیات بیشتری قابل مشاهده باشد، تغییرات سرعت فقط در این بازه نشان داده شده است. همچنین (شکل ۵) تغییرات دمای پیش بینی شده در راستای خط افقی عمود بر جهت وزش باد، در ارتفاع ۸ متر و به فاصله ۲ متر از فلر را نشان می دهد. از (شکل ۵) مشاهده می شود که تغییر تعداد حجم های کنترلی از تعداد ۲۰۴،۵۹۷ به ۷۷۴،۲۶۹ تأثیر نسبتاً قابل ملاحظه ای در سرعت های پیش بینی شده دارد، ریزتر کردن مش ها و رساندن تعداد سلول ها به ۲،۷۴۴،۵۸۶ تأثیر قابل توجهی در سرعت های پیش بینی شده نداشته است. (شکل ۵) نشان می دهد که ریزتر کردن مش و افزایش تعداد سلول ها از ۷۷۴،۲۶۹ به ۱،۵۹۷،۱۰۱ گرچه تأثیری در سرعت پیش بینی شده جریان گاز نداشته، اما سبب تغییر در دمای پیش بینی شده گردیده است. با این حال افزایش بیشتر تعداد سلول ها در سرعت و دمای پیش بینی شده تأثیر قابل ملاحظه ای نداشته است؛ بنابراین شبکه هیبریدی طراحی شده با مجموع

1. Gas Seal

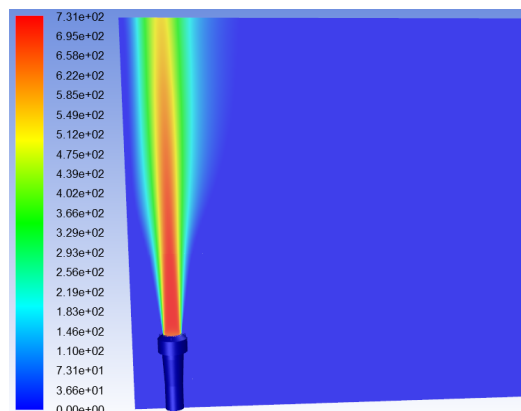
طراحی، ارتفاع شعله کم بوده و به خاطر اثر سرعت باد، شعله در جهت باد متمایل شده است.



شکل ۹. پروفایل دما (K) و ارتفاع شعله تشکیل شده در فلر HP (شرایط طراحی)

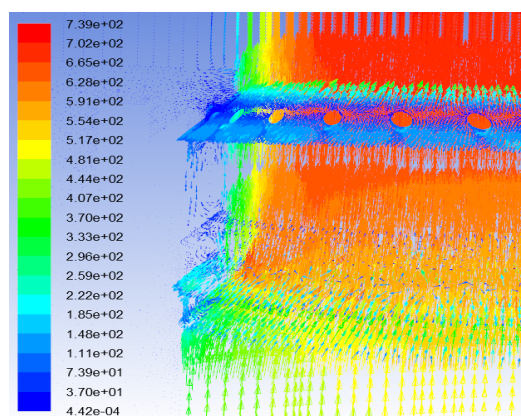
با توجه به نتایج حاصل از شبیه‌سازی که در (شکل ۹) گزارش شده است به علت دبی پایین گازهای ارسالی به فلر و در اثر سرعت باد، شعله به میزان کمی به سمت سپر باد منحرف می‌گردد. بنابراین دمای سپر باد به علت برخورد و تماس با شعله افزایش دارد. از طرف دیگر با توجه به میزان فلرینگ فلر HP (مطابق با بازدید میدانی از واحد صنعتی و اطلاعات اخذ شده) متوسط گازهای ارسالی به فلر در حالت عملیاتی برابر با ۸۹۶ کیلوگرم بر ساعت می‌باشد که نسبت به حالت طراحی، دبی بسیار کمی می‌باشد؛ بنابراین کاهش بیشتر گاز ارسالی به فلر HP توجه‌پذیر نمی‌باشد چراکه ممکن است شعله به داخل شبکه فلر کشیده شود و یا اینکه به علت ارتفاع بسیار کم شعله تشکیل شده و سرعت باد محیطی، دمای سطح تیپ فلر و سپر باد افزایش یابد که در دراز مدت سبب تخریب سطح تیپ فلر و تعویض کلی آن گردد. در (شکل ۱۰) این مسئله به‌خوبی نشان داده شده است که در اثر سرعت باد محیطی تا اندازه‌ای شعله تشکیل شده با بدنه تیپ فلر و سپر باد تماس مستقیم پیدا نموده است.

در (شکل ۷) پروفایل سرعت و شکل شعله تشکیل شده در فلر HP در شرایط طراحی آورده شده است. مطابق با (شکل ۵) به علت دبی حجمی بسیار بالای گازهای ارسالی به فلر در حالت طراحی، شعله بسیار بزرگی تشکیل می‌شود. به‌طوری‌که سرعت گازهای خروجی از تیپ فلر، بالای سرعت صوت می‌باشد که منطبق با ماهیت طراحی فلر HP (فراصوت) می‌باشد.



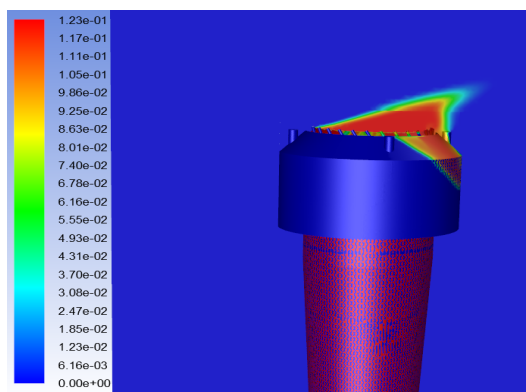
شکل ۷. پروفایل سرعت (m/s) و ارتفاع شعله تشکیل شده در فلر HP (شرایط طراحی)

بردارهای سرعت گازهای احتراقی در تیپ فلر در ناحیه در (شکل ۸) نشان داده شده است. با توجه به بررسی بردارهای سرعت مشخص است که هیچ نوع برگشت جریانی به داخل شبکه فلر وجود ندارد و امکان برگشت شعله به داخل شبکه فلر منتفی می‌باشد. بنابراین می‌توان چنین نتیجه گرفت که عملکرد Gas Seal ها مناسب می‌باشد و نیازی به باز طراحی آن‌ها وجود ندارد.

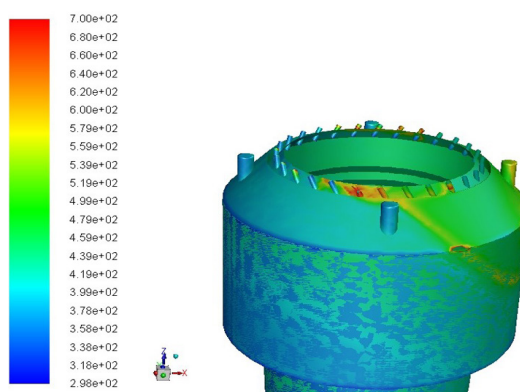


شکل ۸. پروفایل سرعت (m/s) و تأیید عملکرد مناسب HP

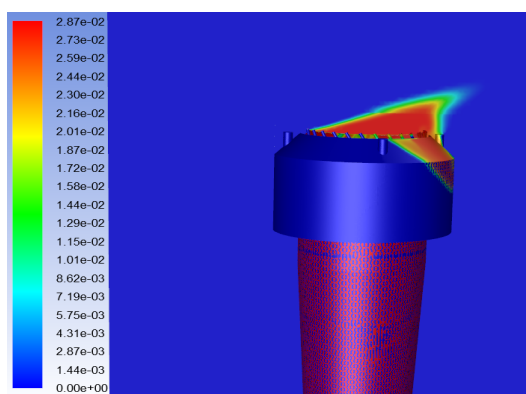
در (شکل ۹) پروفایل دمایی و شکل شعله تشکیل شده در فلر HP در شرایط عملیاتی آورده شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است به علت دبی پایین نسبت به شرایط



شکل ۱۳. پروفایل کسر مولی C_2H_6 فلر HP

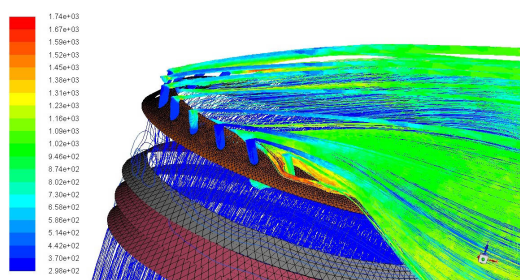


شکل ۱۰. پروفایل دمای (K) سپر باد تیپ فلر HP (شرایط طراحی)

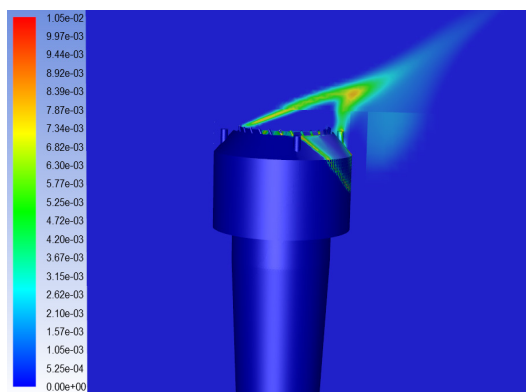


شکل ۱۴. پروفایل کسر مولی C_3H_8 فلر HP

همچنین در (شکل ۱۱) اثر غالب سرعت باد بر حرکت گازهای حاصل از احتراق خروجی از نازل‌های نصب شده در سر تیپ فلر نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل ملاحظه می‌گردد به علت سرعت کم گازهای خروجی از نازل‌ها، مسیر آن‌ها تحت تأثیر جهت باد قرار گرفته است.

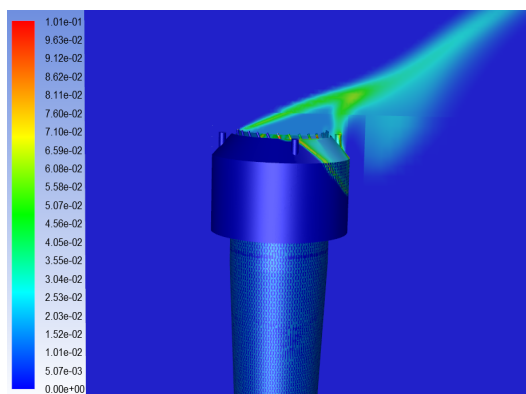


شکل ۱۱. مسیر گازهای خروجی از نازل‌ها، متأثر از جهت باد برای تیپ فلر HP (شرایط عملیاتی)

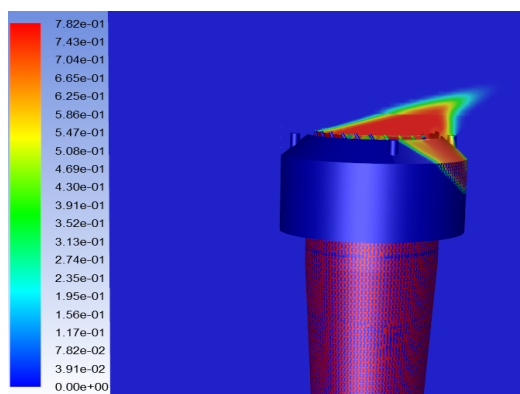


شکل ۱۵. پروفایل کسر مولی CO فلر HP

در (شکل‌های ۱۲ الی ۱۴) پروفایل غلظت اجزاء گازهای ارسالی به فلر HP شامل CH_4 , C_2H_6 , C_3H_8 نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل‌ها ملاحظه می‌شود، اجزاء خوراک گازی وقتی در بالای تیپ فلر به شعله (جبهه واکنش) می‌رسند در واکنش احتراق شرکت کرده و به محصولات تبدیل می‌شوند. پروفایل غلظت اجزاء محصولات حاصل از احتراق (CO , CO_2 , H_2O) در (شکل‌های ۱۵ الی ۱۷) نشان داده شده است.



شکل ۱۶. پروفایل کسر مولی CO_2 فلر HP



شکل ۱۲. پروفایل کسر مولی CH_4 فلر HP

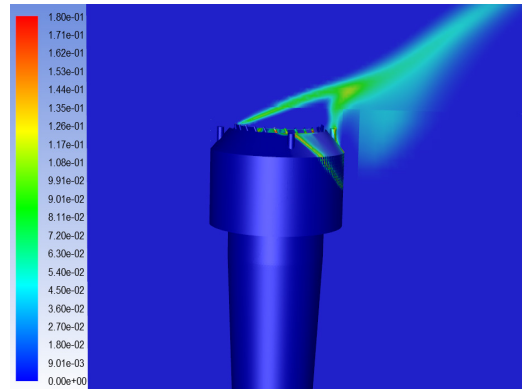
۴. نتیجه گیری

در این تحقیق، شبیه سازی CFD فلر HP پالایشگاه در مقیاس صنعتی و در شرایط عملیاتی و کارکردی انجام پذیرفت. در شبیه سازی های انجام شده، اثر تمام پدیده های انتقال مرتبط شامل (انتقال مومنتوم، حرارت، جرم، تابش، آشفستگی و واکنش های شیمیایی) همچنین شرایط محیطی شامل سرعت باد در نظر گرفته شده است. با توجه به پیچیدگی تیپ فلر و تأثیر هر کدام از جزئیات هندسی بر عملکرد و بازده احتراق در تیپ فلر، تمام جزئیات هندسی تیپ فلر بر اساس نقشه های طراحی در نظر گرفته شده است. به طوری که هندسه ترسیم شده فاقد هرگونه ساده سازی می باشد. با ایجاد شبکه محاسباتی مناسب همگرایی بهتر در حل معادلات حاصل شد. به طوری که در اطراف تثبیت کننده شعله، گازبند و بخش های داخلی تیپ فلر مش ها ریزتر انتخاب شدند. از طرفی در بقیه نقاط دامنه محاسباتی و به دور از تیپ فلر، از شبکه بندی منظم برای کاهش خطاهای عددی استفاده شده است.

نتایج حاصل از شبیه سازی CFD شامل پروفایل دمایی (شکل شعله) و سرعت گازهای حاصل از احتراق در فلر HP در شرایط عملیاتی نشان می دهد که افزایش دمای بدنه تیپ فلر بر اثر برخورد شعله کم است. در فلر HP در شرایط عملیاتی، افزایش دمای بدنه تیپ فلر بر اثر برخورد شعله قابل اغماض (حدود ۳۰۰ درجه سانتی گراد) است بنابراین عملکرد آن با مقدار گاز جاروبی فعلی مناسب است؛ بنابراین کاهش بیشتر گاز ارسالی (۸۹۶ کیلوگرم بر ساعت) به فلر HP توجیه پذیر نمی باشد چراکه ممکن است شعله به داخل شبکه فلر کشیده شود و یا اینکه به علت ارتفاع بسیار کم شعله تشکیل شده و سرعت باد محیطی، دمای سطح تیپ فلر و سپر باد افزایش یابد که در دراز مدت سبب تخریب سطح تیپ فلر و تعویض کلی آن گردد. در صورتی که سرعت باد بیشتر از حد معمول باشد (تند بادهای موضعی) باید با مقدار گاز سوختی برگشت شعله به داخل تیپ فلر را کنترل کرد.

مراجع:

- [۱]. آشنایی با فلر. مدیریت بهداشت و ایمنی محیط زیست شرکت ملی پالایش و پخش، ۱۳۹۱.
- [2]. D. K. Stone, S. K. Lynch, R. F. Pandullo, L. B. Evans, and W. M. Vatavuk, "Flares. Part i: Flaring technologies for controlling voc-containing waste streams," J. Air Waste



شکل ۱۷. پروفایل کسر مولی H₂O فلر HP

۶. فهرست علائم اختصاری

P	فشار bar
g	شتاب جاذبه $m.s^{-2}$
v	سرعت $m.s^{-1}$
H	آنتالپی کلی $kJ.kg^{-1}.s^{-1}$
h	آنتالپی اجزا $kJ.kg^{-1}.s^{-1}$
j	فلاکس جرمی $kg.m^{-2}.s^{-1}$
q	فلاکس حرارتی $kJ.m^{-2}.s^{-1}$
S	جمله مربوط به منبع مومنتوم $kg.m^{-2}.s^{-2}$
D_{ij}	ضریب نفوذ $m^2.s^{-1}$
Di,eff	Effective diffusivity coefficient $m^2.s^{-1}$
Y_i	جزء جرمی اجزاء گاز $kmol.m^3$
Ri	منبع مربوط به واکنش $kg.m^3.s^{-1}$
T	دما K
Sm	جمله مربوط به منبع پیوستگی
ki	ثابت واکنش $mol.s^{-1}.gr^{-1}.bar^{-1}$
k	انرژی جنبشی نوسانات آشفته $m^2.s^{-2}$
Ei	Activation Energy $kJ.kmol^{-1}$
v'	نوسانات سرعت $m.s^{-1}$
G	تشعشع تابیده W/m^2
R	ثابت جهانی گازها $kJ.kmol^{-1}.K^{-1}$
Mi	جرم موکولی $kg.kmol^{-1}$
V	Volume, m^3
D	ضریب نفوذ کلی $m^2.s^{-1}$
km	ضریب هدایت گرمایی $kJ.m^{-1}.K^{-1}$

Greek Letters

ρ	دانسیته $kg.m^{-3}$
μ	ویسکوزیت $kg.m^{-1}.s^{-1}$
ν	ویسکوزیته سینماتیک
ε	اضمحلال انرژی جنبشی نوسانات آشفته

Subscript

i	عدد اجزاء
j	عدد شمارنده جزء دوم
m	مخلوط

- [11]. L. Kościuk, M. Johnson, and G. Thomas, "University of Alberta Flare Research Project Final Report November 1996–September 2004," 2004.
- [12]. D. Castiñeira and T. F. Edgar, "CFD for Simulation of Steam-Assisted and Air-Assisted Flare Combustion Systems," *Energy & Fuels*, vol. 20, no. 3, pp. 1044–1056, May 2006.
- [13]. D. Castiñeira and T. F. Edgar, "Computational Fluid Dynamics for Simulation of Wind-Tunnel Experiments on Flare Combustion Systems," *Energy & Fuels*, vol. 22, no. 3, pp. 1698–1706, May 2008.
- [14]. D. Castiñeira and T. F. Edgar, "CFD for Simulation of Crosswind on the Efficiency of High Momentum Jet Turbulent Combustion Flames," *J. Environ. Eng.*, vol. 134, no. 7, pp. 561–571, 2008.
- [15]. M. S. Lawal, M. Fairweather, D. B. Ingham, L. Ma, M. Pourkashanian, and A. Williams, "Computational Study of a Lifted Turbulent Jet Flame in a Cross-flow: Flame Length and Emissions," *Proc. 2nd Annu. Gas Process. Symp.*, pp. 237–245, 2010.
- [16]. A. S. Langman and G. J. Nathan, "Influence of a combustion-driven oscillation on global mixing in the flame from a refinery flare," *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 35, no. 1, pp. 199–210, Jan. 2011.
- [17]. K. D. Singh et al., "Computational fluid dynamics modeling of industrial flares operated in stand-by mode," *Ind. Eng. Chem. Res.*, vol. 51, no. 39, pp. 12611–12620, 2012.
- [18]. K. D. Singh, P. Gangadharan, D. H. Chen, H. H. Lou, X. Li, and P. Richmond, "Computational fluid dynamics modeling Manag. Assoc., vol. 42, no. 3, pp. 333–340, 1992.
- [3]. D. K. Stone, S. K. Lynch, R. F. Pandullo, and R. Corporation, FLARES. 1995.
- [4]. A. Bahadori, "Blow-Down and Flare Systems", *Natural Gas Processing*, Elsevier, 2014, pp. 275–312.
- [5]. B. Karthikeyan, "Manage Change to Flare Systems", <https://www.aiche.org/resources/publications/cep/2020/January>.
- [6]. Y. AKTAŞ, Ö. ÖZARIK, "Dynamics of operation for flare systems", *Digital Refining, Combustion Systems and Engineering*, Apr-2014.
- [7]. [A. Kumar, S. Phadatare, P. Deore, "A GUIDE ON SMOKELESS FLARING: AIR/STEAM ASSISTED AND HIGH PRESSURE FLARING", *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, 2020, Vol. 4, Issue 12.
- [8]. R. F. Huang and J. M. Chang, "The stability and visualized flame and flow structures of a combusting jet in cross flow," *Combust. Flame*, vol. 98, no. 3, pp. 267–278, Aug. 1994.
- [9]. [9] E. Bourguignon, M. R. Johnson, and L. W. Kościuk, "The use of a closed-loop wind tunnel for measuring the combustion efficiency of flames in a cross flow," *Combust. Flame*, vol. 119, no. 3, pp. 319–334, Nov. 1999.
- [10]. M. R. JOHNSON, D. J. WILSON, and L. W. KOSTIUK, "A FUEL STRIPPING MECHANISM FOR WAKE-STABILIZED JET DIFFUSION FLAMES IN CROSSFLOW," *Combust. Sci. Technol.*, vol. 169, no. 1, pp. 155–174, Aug. 2001.



of laboratory flames and an industrial flare,”
J. Air Waste Manag. Assoc., vol. 64, no. 11,
pp. 1328–1340, 2014.

[۱۹]. س. جوادی، م. عنبرسوز، ع. قبادی، م. کهرم، «بررسی
عددی اثر باد بر شکل شعله در مشعل بلند پالایشگاه
سرخون و قشم»، نشریه علوم کاربردی و محاسباتی در
مکانیک، جلد ۲۸، شماره دو، سال ۱۳۹۳.

[۲۰]. ر. صباغ، ن. رهبر، «بررسی تأثیر شکل هندسی بر
بیشینه دمای جداره‌ی نوک فلر و توزیع آلاینده‌های
خروجی آن»، مجله مدل‌سازی در مهندسی، جلد ۴،
شماره ۴، ۱۳۹۴.

[21]. M. Javadi et al., “Numerical Investigation
of Wind Effects on the Flame Shape of
Sarkhoon and Qeshm ’ s Refinery Flares,”
vol. 28, no. 2, 2017.

[22]. F. S. Marra and G. Continillo, “Dynamic
Numerical Simulation of an Enclosed
Flare,” in Combustion Colloquia, XXXII
Event of The Italian Section of The
Combustion, 2009, pp. 1–6.

[23]. J. P. Kim, U. Schnell, and G. Scheffknecht,
“Comparison of Different Global Reaction
Mechanisms for MILD Combustion of
Natural Gas,” Combust. Sci. Technol., vol.
180, no. 4, pp. 565–592, Feb. 2008.

[24]. K. WESTBROOK and F. L. DRYER,
“Simplified Reaction Mechanisms for
the Oxidation of Hydrocarbon Fuels in
Flames,” Combust. Sci. Technol., vol. 27,
no. 1–2, pp. 31–43, Dec. 1981.

[25]. M.R Johnson , L.W Kościuk,” Efficiencies
of low-momentum jet diffusion flames in
crosswinds”, Combustion and Flame, 2000.



Investigating the Performance of the High-Pressure Flare of South Pars Fifth Refinery and the Factors Affecting its Performance Using CFD Simulation

Mohammad Irani*, Yaghoub Behjat

Gas Division, Research Institute of Petroleum Industry (RIPI), Postal Code: 1485613111, Tehran, Iran

*Corresponding Author, E-Mail Address: irananim@ripi.ir

Abstract

In this research, the CFD simulation of the high-pressure flare (HP) of the 5th South Pars Refinery was carried out in industrial dimensions in order to evaluate the effects of the geometrical parameters of the flare type on the combustion characteristics of the flare (flame shape and position). The CFD model was developed considering all transport phenomena (momentum, heat, mass transfer, radiation, turbulence and chemical reactions). In order to avoid numerical errors, proper meshing was done. The results of the developed calculation model include the temperature and velocity profile (shape and nature of the flame), the concentration profile of the gas species sent to the furnace, as well as the species profile of the combustion products. The results of CFD simulation show that in the HP Flare, in the operational status, the increase in the temperature of the Flare tip due to the impact of the flame is negligible, so its performance is suitable with the current amount of sweep gas. Therefore, the further reduction of the gas sent to the HP flare is not justified because the flame may be drawn into the flare network, or due to the very low height of the flame and the ambient wind speed, the surface temperature of the flare tip and wind shield may increase, which in the long run time will cause the destruction of the surface of the flare tip and its total replacement. If the wind speed is higher than usual (strong local winds), the return of the flame inside the flare tip should be controlled with the amount of fuel gas.

Keywords: Combustion, Flame, HP flare, CFD simulation



قرارداد خدمات ذخیره‌سازی گاز

دل‌آرا حیدری^۱، مجید قربانی لاچوانی^۲، رضا مسیبی بهبهانی^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه حقوق، دانشکده نفت تهران، دانشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

۲. استادیار، گروه حقوق، دانشکده نفت تهران، دانشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

۳. استاد، گروه مهندسی گاز، دانشکده نفت اهواز، دانشگاه صنعت نفت، اهواز، ایران

آدرس پست الکترونیک نویسنده مسئول مکاتبات: m.ghorbani@put.ac.ir

مقاله علمی - کاربردی

صفحه ۸۳ - ۹۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۱۲/۱۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۱۰/۱۱

چکیده

دیدگاه متداول در زمینه فروش و حمل و نقل گاز طبیعی این است که گاز مطابق با نیازهای بازار، تولید، فروش و حمل می‌شود؛ اما از آنجاکه معمولاً گاز بلافاصله پس از تولید به مصرف نمی‌رسد و قبل از اینکه به دست مصرف‌کننده نهایی برسد نیازمند ذخیره‌سازی می‌باشد. ذخیره گاز در ماهیت وسیله‌ای برای نگهداری و عرضه آن در راستای تنظیم بازار انرژی است. با توجه به اهمیت دسترسی به تأسیسات ذخیره‌سازی و اینکه امکان ساخت مخازن برای تمامی فعالان این حوزه به دلایل متعددی از جمله عدم توجیه اقتصادی، وجود ندارد؛ از این رو دارندگان تأسیسات ذخیره اقدام به انعقاد قرارداد با متقاضی ذخیره‌سازی می‌کنند. موضوع اصلی تحقیق حاضر بررسی موانع و چالش‌های حقوقی قرارداد خدمات ذخیره‌سازی به‌طور خاص در مخازن زیرزمینی می‌باشد. در این تحقیق دانشی از اجزا و محتوای قرارداد و اصول عملیاتی، تجاری و حقوقی ارائه می‌شود که جهت انعقاد قرارداد خدمات ذخیره‌سازی مورد نیاز می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: مخازن زیرزمینی، گاز، مالکیت، خدمات، تزریق، برداشت

۱. مقدمه

گاز طبیعی تولید شده از مخزن یا گازهایی که از LNG^۱ مجدد تولید می‌شود ممکن است بلافاصله مصرف نشود و جهت ذخیره به یک مخزن زیرزمینی خشکی یا دریایی تزریق شود تا در مواقع ضروری به بازار انرژی منتقل گردد. ذخیره گاز برای ایجاد توازن عرضه و تقاضا در پاسخ به چالش‌های ناشی از نوسانات بازار، بسیار ارزشمند و ضروری می‌باشد. ساخت و بهره‌برداری از غارها و حفره‌های زیرزمینی مستلزم فعالیت‌های حفاری، تزریق و برداشت خواهد بود. در این تحقیق نه بر مجموعه‌ای از قراردادهای طراحی، ساخت و راه‌اندازی تأسیسات ذخیره پرداخته می‌شود؛ بلکه تمرکز بر قرارداد خدمات ذخیره‌سازی^۲ است که مشارکت کنندگان آن ارائه دهنده خدمات ذخیره‌سازی^۳ و متقاضی ذخیره‌سازی^۴ باهدف استفاده از ظرفیت مخزن زیرزمینی ذخیره‌سازی گاز^۵ است.

1. Liquid Natural Gas (LNG)
2. Storage services contract (SSC)
3. Storage services operator (SSO)
4. Storage Customer
5. Underground gas storage (UGS)



زمانی که طرفین، وکلا یا نمایندگان قانونی آن‌ها تصمیم به تنظیم قرارداد خدمات ذخیره‌سازی می‌کنند می‌بایست با ساختار، قواعد و حدود تعهدات طرفین این قرارداد آشنا باشند زیرا بدون شناخت و فهم این قواعد، اتخاذ استراتژی مناسب جهت انجام یک مذاکره خوب و موفقیت‌آمیز که منافع آن‌ها را تضمین کند امکان‌پذیر نخواهد بود. در این مقاله به مباحث مهمی از جمله به اجزاء، محتوا، اصول کلیدی عملیاتی و تجاری، مؤثر بر عملکرد یک تأسیسات ذخیره گاز و همچنین شروط اصلی و تأثیرگذار در قرارداد خدمات ذخیره‌سازی که دربرگیرنده تعهدات طرفین هستند، پرداخت شده است. در قسمت اول به قرارداد خدمات ذخیره‌سازی زیرزمینی گاز، انواع مخزن زیرزمینی، مالکیت مخازن هیدروکربنی تهی شده و مالکیت گاز در دوره ذخیره و در قسمت دوم مبانی فنی، اقتصادی و حقوقی قرارداد بررسی شده است.

۲. قرارداد خدمات ذخیره‌سازی گاز

قرارداد خدمات ذخیره‌سازی گاز موافقت‌نامه دسترسی به تأسیسات ذخیره‌سازی است که به‌موجب آن ارائه دهنده خدمات ذخیره‌سازی مشروط به شرایط مندرج در قوانین معتبر و مؤثر اجرایی موافقت می‌کند که ظرفیت مخزن را تا سطح مورد توافق، در طول مدت قرارداد در اختیار شخص فعال در بازار گاز^۱ قرار دهد و متقاضی ذخیره‌سازی متعهد می‌گردد که هزینه خدمات ذخیره‌سازی و سایر مبالغ مربوطه را پرداخت کند.[۱]

۲-۱. مخازن زیرزمینی ذخیره‌سازی

سه نوع ساختار را می‌توان برای استفاده به‌عنوان تأسیسات زیرزمینی ذخیره در نظر گرفت که شامل سازندهای نفت و گاز زیرزمینی تخلیه شده^۲، غارهای نمکی^۳ و مخازن آبخوان^۴ است. هر نوع سازه دارای ویژگی‌های فیزیکی و اقتصادی متمایزی می‌باشد که مناسب بودن نوع خاصی از تأسیسات را برای ذخیره‌سازی گاز، تعیین می‌کند.[۲]

- سازندهای هیدروکربنی تهی شده: این سازندها مخازن خشکی یا فراساحلی هستند که ذخایر قابل بازیافت از آن‌ها تولید شده است. این مخازن به‌راحتی قادر

به ذخیره سیال تزریقی هستند و استفاده از چنین تأسیساتی دارای توجیه اقتصادی است زیرا امکان استفاده مجدد از زیرساخت‌های باقیمانده در میدان اصلی را با تغییرات مناسب فراهم می‌کند که این امر باعث کاهش هزینه‌های راه‌اندازی پروژه می‌شود. طی مطالعاتی که قبلاً انجام شده، اطلاعاتی از ویژگی‌های زمین‌شناسی و فیزیکی آن‌ها نیز به دست آمده است. بااین‌حال، همه سازندهای نفت و گاز تخلیه شده برای تبدیل به تأسیسات ذخیره‌سازی مناسب نیستند. معیارهای تعیین‌کننده شامل میزان عمق، نفوذپذیری و تخلخل سنگ مخزن می‌باشد[۳].

در رابطه با یک مخزن گاز تخلیه شده، مقداری از گاز بومی در مخزن می‌تواند حفظ شود و به‌عنوان گاز بالشتی^۵ مورد استفاده قرار گیرد و دیگر نیازی به تزریق بیشتر گاز بالشتی نباشد، مگر اینکه گاز از مخزن، فراتر از سطح مورد نیاز تولید شده باشد. در این صورت تزریق گاز بالشتی قبل از شروع عملیات ضروری خواهد بود.^۶ در نتیجه، مخازن گاز تخلیه شده معمولاً ساده‌ترین راه برای توسعه انواع مختلف تأسیسات ذخیره‌سازی گاز زیرزمینی هستند.

- غارهای نمکی: این ساختارهای خشکی یا فراساحلی از ذخایر نمک زیرزمینی کشف شده ایجاد می‌شوند. هنگامی که ذخایر نمک کشف و مشخص شد که برای توسعه تأسیسات ذخیره‌سازی مناسب است، یک غار در داخل ذخیره نمک ایجاد می‌شود. این کار با فرآیند شستشوی نمک انجام می‌شود که طی آن آب شیرین و سیالات (مانند نفت کوره یا نیتروژن) به داخل پمپ می‌شود. نمک به‌صورت کنترل شده در آب حل می‌شود و فضای خالی باقی می‌ماند و سپس آب‌شور به سطح پمپ می‌شود. این امر ممکن است حدود یک سال زمان نیاز داشته باشد. این حفره حاصل، حفره‌ای است که برای ذخیره‌سازی استفاده می‌شود[۴]. غارهای نمک معمولاً نمی‌توانند ظرفیت لازم برای نیازهای ذخیره گاز با حجم زیاد و یا طولانی مدت را برآورده سازند.

1. The gas market participant
2. Depleted gas reservoirs
3. Salt caverns
4. Aquifer reservoirs
5. Cushion gas

۶. برای مطالعه بیشتر در مورد گاز بالشتی به پاراگراف ۳-۱ رجوع شود.

• **مخازن آبخوان:** صخره‌های متخلخل و نفوذپذیر زیرزمینی هستند که به‌عنوان مخازن طبیعی آب عمل می‌کنند و در برخی موارد می‌توان از آن‌ها برای ذخیره‌سازی استفاده کرد. این نوع از مخازن زمانی استفاده می‌شود که هیچ سازند هیدروکربنی تخلیه شده وجود نداشته باشد [۵]. خصوصیات زمین‌شناسی و فیزیکی یک مخزن آبخوان عموماً از قبل مشخص نیست و سرمایه‌گذاری قابل‌توجهی باید برای بررسی این موارد و ارزیابی مناسب بودن مخزن آبخوان برای ذخیره‌سازی و توسعه زیرساخت‌ها در بالای زمین انجام شود که می‌تواند علاوه بر هزینه‌های زیاد، پروژه‌های زمان‌بر و نامطمئن باشند.

۲-۲. مالکیت مخازن هیدروکربنی تهی شده

شرکت ذخیره‌سازی که می‌خواهد گاز طبیعی را در یک مخزن زیرزمینی تخلیه‌شده، ذخیره کند، ابتدا باید مشخص کند که مالک و حقوق آن سازند متعلق به چه کسی است. افرادی که ممکن است دارای حقوق ذخیره‌سازی بالقوه در یک مخزن تخلیه شده باشند عبارتند از: مالک سطح زمین^۱، مالک منافع معدنی^۲، مالک حق امتیاز^۳ و مالک سود برگشتی^۴. بدیهی است در صورتی که شرکت ذخیره‌سازی بدون کسب حق انجام این کار از مالک مناسب، عملیات ذخیره‌سازی را انجام دهد، شرکت مرتکب تخلف شده و می‌تواند مسئول شناخته شود و ادامه عملیات ذخیره‌سازی نیز متوقف شود [۶].

مشکلات مالکیت در رابطه با مخزن ذخیره‌سازی زیرزمینی معمولاً تا زمانی که مالکیت زمین به دو بخش مالک مواد معدنی و مالک سطح قطعه زمین یا منافع تقسیم نشده است به وجود نمی‌آیند؛ و اگر یک شخص هم مالکیت سطح و هم منابع معدنی را دارا باشد، در مورد حق او برای انعقاد قرارداد خدمات ذخیره‌سازی بحثی به میان نمی‌آید. با این حال، هنگامی که مالکیت زمین، منافع و مواد معدنی به اشخاص متعدد تعلق می‌گیرد، در تعیین مالک حقوق ذخیره‌سازی زیرزمینی اختلاف حاصل می‌شود [۷]. از آنجا که فعالیت ذخیره‌سازی گاز در مخازن زیرزمینی پیشینه و سابقه اجرایی چندان طولانی در ایران ندارد و اغلب ظهور فعالیت‌های جدید و نوپا معمولاً با چالش‌ها و مشکلات پیش‌بینی نشده قانونی

مواجه می‌شود؛ از این‌رو، مطالعه رویه دادگاه‌های کشورهای دیگر در رابطه با مسئله مطروحه می‌تواند برای پیش‌بینی بروز اختلافات و تهیه راهکارهای حل و فصل آن‌ها مفید باشد.

در این رابطه در ایالات متحده آمریکا، اختلاف عمده در ابتدا این بوده است که آیا مالک سطح زمین یا مالک منابع معدنی منفصله، حق اجاره مخزن زیرزمینی تخلیه شده برای ذخیره سیالات را دارا می‌باشد. تعیین این موضوع برای طرف قرارداد ذخیره‌سازی بسیار مهم بود؛ زیرا آن‌ها می‌خواستند مطمئن شوند که قرارداد خدمات ذخیره‌سازی را با طرف مناسب آن منعقد نموده‌اند. اگر شرکت، حقوق ذخیره‌سازی را از مالک منابع معدنی یا مالک سطح زمین اجاره می‌کرد و دادگاه تشخیص می‌داد که این شخص به تنهایی حق انتقال حجم مخزن زیرزمینی را به‌منظور ذخیره‌سازی نداشته است، شرکت ذخیره‌سازی ممکن بود به تصرف غیرمجاز و محکوم به پرداخت خسارت شود یا حتی به از دست دادن سیال ذخیره شده غیرقانونی، بیانجامد [۸].

در این رابطه پروفیسور کونتز خاطرنشان می‌کند «در اینجا مالکیت زمین یا حقوق مالکیت منابع زیرزمین مطرح نیست؛ موضوع بحث در واقع این است که چه کسی حق استفاده از ساختمان منابع زیرزمینی را دارد و این مشکل باید حل شود». رویکردی که مخازن زیرزمینی را متعلق به مالک سطح می‌داند، عموماً از استدلال و نظریه کونتز پیروی می‌کنند [۷].

در مقابل، نظریه دیگری وجود دارد که سیال تزریق شده به زیرزمین را متعلق به مالک منابع معدنی می‌داند؛ و بر این فرض استوار است که گاز تزریق شده همانند حیوانات وحشی^۵ رها شده است. هنگامی که گاز به زمین تزریق می‌شود به حالت طبیعی خود باز می‌گردد، شبیه به یک حیوان وحشی و یا بخشی از منابع معدنی می‌شود که دارنده انحصاری حق اکتشاف و تولید، حق استخراج آن را دارد. به رسمیت شناختن ماهیت فرار نفت و گاز توسط دادگاه منجر به اتخاذ قیاس حیوان وحشی شد. در کامن‌لا، دادگاه‌ها منافع مالک زمین نسبت به نفت و گاز را به حیوانات وحشی تشبیه کرده‌اند. مالک زمین تنها در صورتی مالک نفت و گاز است که آن را مانند یک حیوان وحشی، تحت سلطه و کنترل خود قرار دهد [۷].

1. The land surface owner
2. The mineral interest owner
3. The royalty owner
4. The reversionary interest owner
5. Animal ferae naturae





دو رویکرد روشن و واضح در رابطه با تعیین دارنده حق ذخیره‌سازی در مخزن زیرزمینی وجود دارد: در رویکرد اول طرف مناسب مالک معدن است. در حالی که در رویکرد دوم، طرف مناسب، مالک سطح زمین است. اولین رویکرد از کنتاکی سرچشمه می‌گیرد. دادگاه استیناف کنتاکی در تصمیم اولیه در پرونده هاموندز علیه شرکت گاز طبیعی کنتاکی^۱ استدلال کرد که گاز طبیعی شبیه یک حیوان وحشی است و پس از گرفتن آن، متعلق به کسی است که این کار را انجام داده است؛ و اما هنگامی که گاز به منظور ذخیره‌سازی زیرزمینی به داخل زمین رها می‌شود دوباره آزادی خود را به دست می‌آورد و دیگر در اختیار کسی نیست؛ بنابراین خواهان نمی‌توانست به دعوی خود علیه شرکت ذخیره‌سازی ادامه دهد زیرا گاز دیگر تحت اموال خوانده قرار نداشت [۸].

تصمیم هاموندز با این تصور که نفت و گاز پس از استخراج، متعلق به تولیدکننده است، با حقوق مالکیت اشخاص در تضاد بود. به‌طور معمول، برای از دست دادن مالکیت دارایی شخصی، نشان دادن قصد ترک الزامی است. رها کردن مستلزم یک قصد دائمی برای کنار گذاشتن سلطه و کنترل است. بدیهی است که خوانده با ذخیره گاز در مخزن زیرزمینی قصد دائمی برای رها کردن آن نداشته است [۸].

سایر حوزه‌های قضایی از کنتاکی پیروی نکرده و در عوض تصمیم گرفتند که مالک زمین حق اجاره مخازن ذخیره‌سازی زیرزمینی را دارد. پس از هاموندز، اما دادگاه عالی اوکلاهاما، در پرونده سانری اوپل کو^۲ بیان داشت که «مالک زمین [مالک سطح] حق استفاده از سطح و زیر لایه زمین خود را هر طور که صلاح می‌داند، داراست؛ خواه به دیگران اجازه دهد تا این کار را انجام دهند یا رأساً اقدام کند، تا زمانی که چنین حقوقی به افراد دیگر آسیب نرساند» [۷].

بالین حال، حدود سال‌ها بعد، نویسنده دیگری در مورد همین موضوع اظهار داشت که اعطای مالکیت مواد معدنی، به معنای اعطای لایه‌ای نیست که مواد معدنی در آن محبوس شده است؛ بنابراین مالک سطح، مالک طبقه زیرزمینی نیز می‌باشد و حق دارد حقوق ذخیره‌سازی در آن را واگذار کند. به نظر می‌رسد این تغییر در رویه قضایی و تفکر حقوقی با افزایش دانش کلی از ویژگی مواد معدنی هم‌زمان بود. در طی مراحل توسعه در صنعت نفت و گاز، مدت‌ها تصور می‌شد که نفت و گاز در زیر سطح زمین جریان یافته و مهاجرت

می‌کنند. اگر این درست بود، می‌توان نتیجه گرفت که مخزن تخلیه شده ممکن است روزی توسط یکی از این سیالات مهاجر دوباره پر شود؛ بنابراین، مالک مواد معدنی نسبت به لایه‌های تخلیه شده، منفعتی خواهد داشت، زیرا اگر این لایه‌ها با گاز ذخیره یا مایعات دیگر پر شوند، از ورود مجدد سیالات بومی به لایه‌ها جلوگیری می‌کنند. به همین دلیل، در گذشته توصیه می‌شد که شرکت‌های ذخیره‌سازی، منافع مالکان مواد معدنی در مورد نفت یا گاز باقی‌مانده و همچنین هرگونه مواد معدنی مهاجرتی آینده را به دست آورند. با این دانش محدود، قابل درک است که چگونه دادگاه‌ها و حقوق‌دانان به دنبال حفظ حقوق مالکان مواد معدنی در لایه‌های تخلیه شده بودند. اکنون متوجه شده‌ایم که مواد معدنی در سازندهای ظروف مانند غیرقابل نفوذ قفل شده‌اند و آزادانه از میان رودخانه‌های زیرزمینی جریان نمی‌یابند که باعث می‌شود حفاظت از منافع مالک مواد معدنی در یک مخزن تخلیه‌شده غیر ضروری شود. از آنجایی که مالک سطح زمین «از هسته تا پوسته» مالک است، منطقی است که او، به جای مالک مواد معدنی، مالک مخازن تخلیه شده باشد. «ظرفی» که مواد معدنی در آن قفل شده است را نباید جزئی از املاک معدنی در نظر گرفت [۲].

در حقوق ایران، بر اساس ماده ۳۸ قانون مدنی که بیان می‌دارد «مالکیت زمین مستلزم مالکیت فضای محاذی آن است تا آنجا که بالا رود و همچنین است نسبت به زیرزمین بال جمله مالک حق همه گونه تصرف در هوا و قرار دارد مگر آنچه را که قانون استثنا کرده باشد» و در ادامه ماده ۳۹ همان قانون بیان می‌دارد هر بنا و درخت که در روی زمین است و همچنین هر بنا و حفری که در زیرزمین است ملک مالک آن زمین محسوب می‌شود مگر اینکه خلاف آن ثابت شود. از سویی مالکیت منابع نفت و گاز در ایران طبق اصل ۴۴ و ۴۵ قانون اساسی و نیز حسب ماده ۲ قانون اصلاح قانون نفت مصوب ۱۳۹۰/۰۳/۲۲، کلیه منابع نفتی جزو انفال و ثروت‌های عمومی است [۹].

آنچه می‌توان از این مواد مرتبط استنباط کرد این است که حق بهره‌برداری از فضای زیرزمین به مالک زمین طبق ماده ۳۸ و ۳۹ قانون مدنی تعلق دارد و ظاهر اصول ۴۴ و ۴۵ قانون اساسی بر مالکیت معادن نفت و گاز را نمی‌توان بر مالکیت و حق بهره‌برداری از فضای زیرزمین و مخازن تخلیه شده نفت و گاز تعمیم داد؛ اما این استدلال زمانی کاربرد دارد که سازند به‌طور کامل از نفت و گاز تهی شده باشد؛ معمولاً

1. Hammonds v. Central Kentucky Natural Gas Company.

2. Sunray Oil Co. v. Cortez Oil Co

مقداری نفت یا گاز به دلیل افت ضریب بازیافت و عدم صرفه اقتصادی در مخزن باقی می ماند و همین امر موجب می شود واگذاری سازند تهی شده به بخش خصوصی جهت انجام فعالیت ذخیره سازی را با موانع قانونی روبرو شود؛ زیرا این دیدگاه وجود دارد که استخراج و تولید نفت و گاز باقی مانده در مخزن با پیشرفت علم و فناوری در آینده و نیز در اثر تغییر سایر عوامل مؤثر در اقتصادی بودن میدان از جمله افزایش قیمت نفت، [۱۰] امکان پذیر خواهد بود.

۳-۲. مالکیت نفت یا گاز در دوره ذخیره سازی

در رابطه با ذخیره گاز اولین موضوعی که مطرح می شود انتخاب مخزن مناسب است. گاز یک ویژگی خاص دارد که بر اساس آن با کالاهای جامد و قابل تقسیم بسیار متفاوت است. به طور مثال هنگامی که یک مقداری گاز با مقدار دیگری از گاز مخلوط شود دیگر مقادیر مربوطه را نمی توان به راحتی تشخیص داد. آن ها با فرآیند اختلاط از نظر مولکولی نامشخص می شوند [۲]؛ لذا از گروه اموال مثلی^۱ می باشند. ماده ۹۵۰ قانون مدنی ایران در تعریف اموال مثلی بیان می دارد «مثلی که در این قانون ذکر شده است عبارت از مالی است که اشیاء و نظایر آن نوعاً زیاد و شایع باشد.» در فرهنگ لغت انگلیسی آکسفورد، اموال مثلی، هر شیئی که دقیقاً یا به طور قابل قبولی جایگزین دیگری می شود تعریف شده است. همین ویژگی چالش های خاصی را در مورد ذخیره سازی مواد متعلق به چند شخص را در یک مخزن به وجود می آورد و اعمال قواعد متعارف مربوط به شناسایی این دارایی ها در جایی که مواد متعلق به چند شخص در یک مخزن باهم مخلوط و غیر قابل تشخیص شده است را غیر ممکن می کند.

در این راستا راه حل نخست این است که گاز متعلق به یک شخص، در یک مخزن اختصاصی ذخیره گردد و در این صورت تمامیت مواد در مالکیت متقاضی ذخیره سازی خواهد بود و از این حیث مشکلی به وجود نخواهد آمد. اغلب در قراردادهای ذخیره سازی با صراحت به این موضوع تأکید می شود و در ادامه آن، متقاضی ذخیره سازی در راستای اعمال حقوق مالکانه، به حق خود جهت دسترسی و خارج کردن دارایی خود از مخزن در زمان صدور حکم ورشکستگی یا دستور توقف از عملیات تجاری ارائه دهنده خدمات ذخیره سازی، تأکید و اشاره می کند. از همین رو در رابطه با ذخیره سازی در مخازن تفکیک شده و جداگانه مختص گاز یک متقاضی ذخیره سازی، مشکلات و پیچیدگی های مربوط به دارایی های ترکیب شده

وجود نخواهد داشت.

همان طور که بیان شد بهترین راهکار، اجتناب از ترکیب شدن مواد متعلق به اشخاص متعدد و ذخیره سازی به نحو جداگانه است با این حال جداسازی همیشه به لحاظ عملیاتی مقدور نیست؛ به ویژه در مخازن ذخیره سازی زیرزمینی که بیشتر برای ذخیره مشترک گاز طبیعی متعلق به متقاضیان متعدد طراحی شده و کاربرد دارند و در این قسمت تفکیک و جداسازی از نظر فیزیکی و مفهومی غیر ممکن است. یک مرکز ذخیره سازی گاز زیرزمینی حاوی گاز بالشتی، گاز عملیاتی و احتمالاً حاوی مقداری گاز طبیعی خواهد بود. مالکیت گاز بالشتی و گاز عملیاتی می تواند متعلق به یک شخص باشد. در این صورت لازم نیست نحوه شناسایی و تطبیق منافع مالکیتی مربوط به این مواد ارائه شود.

از سویی امکان دارد، گاز بالشتی متعلق به مالک تأسیسات باشد یا توسط ارائه دهنده خدمات ذخیره سازی اجاره شده باشد؛ و گاز عملیاتی می تواند متعلق به یک یا چند متقاضی ذخیره سازی باشد. در این صورت باید به این موضوع نیز پرداخته شود. گاز تزریق شده به مخزن متعلق به متقاضی ذخیره سازی به طور اجتناب ناپذیری با سایر مولکول های گازی که در مخزن نگهداری می شوند، ترکیب می شود مانند گاز ذخیره شده توسط سایر متقاضیان ذخیره سازی، گاز بالشتی، گاز ذخیره شده متعلق به ارائه دهنده خدمات ذخیره سازی در تأسیسات برای کاربرد عملیاتی و احتمالاً گاز طبیعی بومی؛ در نتیجه تشخیص مولکول های گاز متعلق به یک شخص از کل مقادیر ذخیره شده غیر ممکن است. در نتیجه متقاضیان ذخیره سازی فقط یک ادعای بدون وثیقه در مورد معادل یا ارزش گاز خود خواهند داشت؛ بنابراین لازم است ارائه دهنده خدمات ذخیره سازی در قرارداد مقرراتی را در مورد مالکیت و تخصیص گاز ذخیره شده در بین طرفین ذی حق در آن اتخاذ نماید. معمول است که در قراردادهای ذخیره سازی گاز، ارائه دهنده خدمات ذخیره سازی یک سیستم مدیریتی و تخصیص موجودی داخل مخزن را به نسبت گاز متعلق به متقاضیان ذخیره سازی اجرا می کند؛ به طوری که از میزان گاز تزریق شده متعلق به هر متقاضی مطلع باشد و این موجودی و میزان مواد تزریق شده به طور مرتب به روز رسانی می شود [۲].

۳. اصول فنی، اقتصادی و حقوقی قرارداد خدمات ذخیره سازی

در نظر گرفتن برخی از اصول عملیاتی، تجاری و حقوقی

1. Fungible



که قراردادهای خدمات ذخیره‌سازی به‌طور کلی بر اساس آن‌ها بنا شده‌اند و در نتیجه به مبنای منطقی و محتوای یک قرارداد خدمات ذخیره‌سازی خاص می‌پردازد، ضروری است. از نظر تجاری، اصول به نقش ذخیره‌سازی گاز زیرزمینی به‌عنوان یک منبع که نقش مهمی در ایجاد توازن بین عرضه و تقاضا در فصول مختلف سال و تأثیرگذاری در بازارهای جهانی انرژی جهت اجرای به‌موقع تعهدات بین‌المللی صادرات گاز ایفا می‌کند. از نظر حقوقی، اصول به قوانین و مقرراتی می‌پردازد که دسترسی و استفاده از تأسیسات ارائه دهنده خدمات ذخیره را توسط فعالان بازار گاز تنظیم می‌کند. این اصول عملیاتی، تجاری و قانونی، محتوا و عملکرد اصلی یک قرارداد خدمات ذخیره‌سازی را شکل می‌دهد و در نهایت سنگ بنای ارتباطی است که بین ارائه دهنده خدمات ذخیره‌سازی و متقاضی ذخیره‌سازی وجود خواهد داشت و در این بخش بدان پرداخته شده است.

همه تأسیسات و محصولات ذخیره‌سازی معمولاً با ارجاع به مجموعه‌ای از ویژگی‌های کلیدی تعریف می‌شوند که درک درستی از آن‌ها برای مذاکره در مورد قرارداد خدمات ذخیره‌سازی مفید است:

۳-۱. گاز بالشتی و گاز عملیاتی

ایکو کو سه نوع گاز را در مخزن ذخیره گاز موجودند معرفی کرد: اول گاز پایه^۱، یا گاز زیرین (بالشتی) که وقتی مخزن به فشار پایه^۲ می‌رسد در مخزن باقی می‌ماند. فشار پایه فشاری است که در آن تولید متوقف و تزریق آغاز می‌شود. نوع دوم گاز، گاز عملیاتی^۳ یا ذخیره‌سازی عملی است که طی فرآیند گردش به مخزن تزریق و از آن استخراج می‌شود. نوع سوم گاز، گاز مصرف نشده^۴ است که در واقع ظرفیت استفاده نشده مخزن محسوب می‌شود [۱۱].

گاز بالشتی همیشه در تأسیسات باقی می‌ماند و به‌عنوان یک بافر عملیاتی ضروری بین سخت‌افزار تأسیسات و آن حجم گاز عملیاتی که طبق مقررات وارد تأسیسات شده و از آن خارج می‌شود، قرار می‌گیرد. یک جزء هزینه‌ای که باید در شروع هر پروژه در نظر گرفته شود، هزینه گاز بالشتی است

که ممکن است قابل توجه باشد. گاز بالشتی می‌تواند توسط ارائه دهنده خدمات ذخیره‌سازی به‌عنوان یک مورد از مخارج سرمایه‌ای خریداری شود. یک روش جایگزین برای این منظور این است که از یک شخص ثالث برای طول عمر عملیاتی تأسیسات اجاره کند. در این صورت مالکیت گاز بالشتی در اختیار موجر باقی می‌ماند و ارائه دهنده خدمات ذخیره به‌عنوان مستأجر، پرداخت‌های دوره‌ای اجاره بها را به موجر انجام می‌دهد [۲]. یک راهکار نیز برای کاهش هزینه‌های سرمایه‌ای، تزریق دی‌اکسید کربن برای استفاده به‌عنوان گاز بالشتی و ارزان است که البته این امر مستلزم رعایت ملاحظات عملیاتی خاص خود می‌باشد [۱۲].

۳-۲. محدوده^۵

معمولاً به دلیل اندازه تأسیسات و ساختار زمین‌شناسی مورد استفاده، تأسیسات مختلف می‌توانند اهداف مختلفی را در بازار گاز انجام دهند. یک تأسیسات ممکن است برای پاسخگویی به تغییرات فصلی عرضه، تقاضا و قیمت طراحی شود، درحالی‌که سایر تأسیسات ممکن است به‌گونه‌ای طراحی گردد که به نوسانات کوتاه‌مدت عرضه، تقاضا و قیمت مرتبط پاسخ دهند.

دو مشخصه کلیدی محدوده را تعیین می‌کند؛ اینکه چه مقدار گاز عملیاتی می‌تواند تزریق و ذخیره شود، سپس از یک مرکز خاص خارج شود و سرعتی که یک مرکز خاص می‌تواند گاز تزریق یا خارج کند که به‌عنوان ظرفیت کاری نامیده می‌شود و معمولاً برحسب گیگاوات ساعت یا میلیون مترمکعب در ساعت یا روز بیان می‌شود. درحالی‌که معمولاً پذیرفته شده است که ذخیره‌سازی گاز زیرزمینی را می‌توان به‌عنوان ذخیره‌سازی طولانی‌مدت^۶، میان‌مدت^۷ و کوتاه‌مدت^۸ طبقه‌بندی کرد، هیچ ویژگی یا مشخصات مورد توافق جهانی وجود ندارد که معیار طبقه‌بندی‌های مختلف را تعیین کند [۱۳].

۳-۲-۱. ذخیره‌سازی طولانی‌مدت

این‌ها مربوط به تأسیساتی هستند که در طول ماه‌های تابستان (معمولاً با تقاضا و قیمت پایین‌تر) گاز را به مخزن

1. Base gas
2. Base pressure
3. Working gas
4. Unused gas
5. Range
6. Long range storage (LRS)
7. Medium range storage (MRS)
8. Short range storage (SRS)

تزریق و در طول ماه‌های زمستان (معمولاً با تقاضا و قیمت بالاتر) برداشت می‌کنند. با توجه به فصلی بودن رفتار، ذخیره‌سازی طولانی‌مدت به‌عنوان ذخیره فصلی نیز شناخته می‌شود. تأسیسات ذخیره درازمدت را می‌توان به آن تأسیساتی که بیش از دو ماه طول می‌کشد تا تمام گازهای عملیاتی خود را تحویل دهند، طبقه‌بندی کرد. سازه‌هایی که معمولاً در اینجا استفاده می‌شوند، مخازن هیدروکربنی تهی شده یا آبخوان هستند.

۳-۲-۲. ذخیره‌سازی میان‌مدت

تأسیساتی که در طول سال در پاسخ به تغییرات کوتاه‌مدت عرضه و تقاضا (و قیمت) تزریق و برداشت می‌شوند و معمولاً به درخواست‌هایی برای تزریق در دوره‌ای که قیمت‌ها پایین‌تر است و خروج گاز در زمانی که قیمت‌ها بالاتر است، پاسخ می‌دهند. تأسیسات ذخیره‌سازی میان‌مدت نسبت به تأسیسات ذخیره‌سازی طولانی‌مدت، زمان تزریق و برداشت کوتاه‌تری دارند. این تأسیسات را می‌توان در دسته‌ای طبقه‌بندی کرد که بین پنج تا هفتاد روز طول می‌کشد تا تمام گاز عملیاتی را تحویل دهند. سازه‌هایی که معمولاً در اینجا استفاده می‌شوند، غارهای نمکی یا مخازن کوچک هیدروکربنی تهی شده است.

۳-۲-۳. ذخیره‌سازی کوتاه‌مدت

تأسیساتی که میزان برداشت بسیار بالایی دارند، برای پاسخگویی به تقاضای بسیار بالا برای دوره‌های زمانی کوتاه استفاده می‌شوند. تأسیسات کوتاه‌مدت را می‌توان در آن دسته‌ای طبقه‌بندی کرد که تا پنج روز طول می‌کشد تا تمام گاز عملیاتی را تحویل دهند. سازه‌هایی که معمولاً در اینجا استفاده می‌شوند غارهای نمکی کوچک هستند که اغلب نزدیک به مناطق بزرگ با تقاضای بالا قرار دارند.

۳-۳. ضریب تنظیم یا ضریب فشار

همان‌طور که گاز به مخزن ذخیره‌سازی تزریق می‌شود و مخزن پر می‌شود مقادیر افزایشی گاز تزریق شده به‌عنوان یک بافر برای تزریق بیشتر گاز عمل می‌کند، زیرا فشار کل مخزن را افزایش می‌دهد. در نهایت فشار در حدی خواهد بود که ادامه تزریق گاز به مخزن از نظر اقتصادی کارآمد نخواهد بود. برعکس این در مورد برداشت گاز از مخزن نیز اعمال

می‌شود. همان‌طور که گاز برداشت می‌شود، در نهایت سطح مخزن به حدی می‌رسد که دیگر برداشت گاز بیشتر، توجه اقتصادی ندارد. برای انطباق با این محدودیت‌های عملیاتی در استفاده از ظرفیت، قرارداد خدمات ذخیره‌سازی معمولاً حاوی یک بند محاسباتی است که حقوق ظرفیت متقاضی را متناسب با وضعیت فشار حاکم بر مخزن افزایش یا کاهش می‌دهد. این معمولاً به‌عنوان یک «ضریب تنظیم»^۱ یا «ضریب فشار»^۲ تزریق یا برداشت نامیده می‌شود. ضریب تعدیل بیشتر از عدد یک به این معناست که متقاضی ذخیره‌سازی می‌تواند بیش از ظرفیت خریداری شده خود گاز تزریق و برداشت کند و کمتر از عدد یک به‌گونه‌ای عمل می‌کند که هر متقاضی ذخیره‌سازی می‌تواند کمتر از ظرفیت خریداری شده گاز تزریق و برداشت کند. ضریب صفر به این معنی است که برحسب مورد، امکان تزریق یا برداشت بیشتر وجود ندارد [۲].

در تدوین استراتژی برای بهره‌مندی از ظرفیت تأسیسات ذخیره‌سازی از طریق قرارداد خدمات ذخیره، مشتری ذخیره‌سازی باید از تأثیر چنین عواملی آگاه باشد. در ساده‌ترین سطح، هدف تجاری اساسی یک متقاضی ذخیره‌سازی معمولاً خرید و تزریق به تأسیسات ذخیره‌سازی است تا در دوره‌هایی با قیمت پایین و با نگهداری در آنجا تا زمانی که بتواند به بازار بازگردانده شود و در دوره‌هایی با قیمت بالاتر فروخته شود؛ قیمتی که منجر به سودی می‌شود که بیش از هزینه قرارداد و استفاده از ظرفیت ذخیره‌سازی و هرگونه هزینه قابل اعمال است.

۳-۴. قیمت

در تعیین قیمت ظرفیت ذخیره‌سازی گاز زیرزمینی عواملی مانند نوسانات فصلی، تغییرات عرضه و تقاضا و ناپایداری بازار تأثیرگذار می‌باشند که بدان پرداخته می‌شود. قیمت قابل پرداخت برای ظرفیت ذخیره‌سازی گاز طبق یک قرارداد خدمات ذخیره‌سازی با اشاره به موارد زیر تعریف می‌شود:

- ارزش ذاتی: ارزش‌گذاری ذاتی^۳ یک روش ارزش‌گذاری است که ارزش ظرفیت مخزن را با لحاظ مجموعه‌ای از دوره‌های بلند و کوتاه‌مدت در قرارداد تعیین میکند تا قیمت دوره استفاده از تأسیسات ذخیره را پوشش دهد و در تاریخ ارزیابی مشاهده می‌شود [۱۴]. این معمولاً به

1. Adjustment factor
2. Pressure factor
3. Intrinsic value





حاشیه‌ای اشاره دارد که می‌توان از اختلاف بین قیمت تابستان و زمستان به دست آورد.

• **ارزش بیرونی:** محاسبه قیمت خدمات ذخیره‌سازی مستلزم توجه به ارزش بیرونی در بازار نیز می‌باشد زیرا متقاضیان ذخیره‌سازی استفاده از ظرفیت خود را در پاسخ به شرایط، قیمت‌ها و ویژگی‌های بازار تغییر می‌دهند. سطح ارزش خارجی تابع پیچیده‌ای از متغیرهای فصلی، نوسانات قیمت لحظه‌ای، متغیرهای آتی و تأثیرپذیری قیمت دارایی است [۱۵].

علاوه بر هزینه ظرفیت، ممکن است متقاضی ذخیره‌سازی ملزم به پرداخت مبلغی برای تزریق و برداشت گاز گردد که به‌عنوان هزینه کالا^۲ نامیده می‌شود. هزینه کالا دربردارنده کلیه هزینه‌های عملیاتی از جمله تزریق، برداشت، پاک‌سازی مخزن، دفع و حذف سیالات آلوده متعلق به متقاضی ذخیره‌سازی است.

۴. نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت ذخیره‌سازی گاز و در پی آن، دسترسی به تأسیسات ذخیره‌سازی برای تولیدکنندگان و فعالان بازار در این صنعت امری ضروری می‌نماید. از آنجاکه ساخت تأسیسات ذخیره‌سازی مستلزم سرمایه و هزینه‌های سنگینی است و همه فعالان این حوزه این امکان را ندارند و گاهی دسترسی و استفاده از تأسیسات شخص دیگری از لحاظ مالی برایشان دارای صرفه اقتصادی است، به همین دلیل اقدام به عقد قرارداد خدمات ذخیره‌سازی می‌کنند. از این‌رو، آشنایی با استراتژی‌های اقتصادی، فنی و حقوقی برای وکلا، نمایندگان و مذاکره‌کنندگان حقوقی این نوع قراردادها امری لازم می‌باشد.

به همین منظور، جهت رسیدن به فهم و شناختی از قرارداد خدمات ذخیره‌سازی می‌بایست تعهدات طرفین، آثار و قواعد اختصاصی مربوط به آن مورد مطالعه قرار گیرد. در همین راستا ابتدا وضعیت مالکیت سازند زیرزمینی جهت کاربرد ذخیره‌سازی مطرح می‌شود؛ که مواد ۳۸ و ۳۹ قانون مدنی حاکی از حق مالک سطح بر ساختمان زیرزمین خود است؛ اما در رابطه با سازند هیدروکربنی تهی شده موضوع قدری پیچیده است زیرا از نظر عملیاتی هیچ‌گاه مخزن نفت یا گاز به دلیل عدم توجه اقتصادی در اثر کاهش فشار مخزن

به‌طور کامل تخلیه نمی‌گردد و این امکان وجود دارد در آینده با پیشرفت فناوری و یا افزایش قیمت، تولید میدان از سر گرفته شود. از این‌رو، با استناد به اصل ۴۵ قانون اساسی ایران، واگذاری این مخازن برای کاربرد ذخیره‌سازی دارای مانع قانونی است.

چالش دیگری که جهت عقد این قرارداد مطرح شد مالکیت گاز موضوع قرارداد در زمان ذخیره‌سازی بود که با توجه به اینکه ارائه‌دهنده خدمات ذخیره‌سازی، سیال موضوع قرارداد را از متقاضی ذخیره‌سازی دریافت، به مخزن تزریق و ذخیره می‌کند و متعهد به برداشت و تحویل مجدد در نقطه معین به وی می‌باشد، لذا در صورتی که ارائه‌دهنده خدمات ذخیره‌سازی، مواد نفتی یا گاز متعلق به چند شخص را در یک مخزن ذخیره کند امکان اختلاط این مواد با یکدیگر وجود خواهد داشت و دیگر تفکیک به آسانی میسر نخواهد بود و تابع احکام اموال مشترک می‌گردد؛ و از طرفی ارائه دهندگان خدمات ذخیره‌سازی گاز اغلب قراردادهای خدمات ذخیره‌سازی متعددی با اشخاص منعقد می‌کنند و طی قراردادهای مذکور محصول موضوع قرارداد را با خواص، ماهیت مشخص تحویل گرفته و پس از ذخیره در مخازن مشترک، صرفاً متعهد به تحویل کالای مثلی در موعد و مکان معین می‌شوند؛ در نتیجه ضرورت دارد تدابیر لازم در زمان انعقاد قرارداد در این رابطه اندیشیده شود و وثیقه، تضامین و یا راهکارهای مؤثری در نظر گرفته شود.

اصول کلیدی فنی، اقتصادی و حقوقی که ساختار و پیکره قرارداد خدمات ذخیره‌سازی گاز را تشکیل می‌دهد، از دیگر مواردی هستند که آشنایی با آن‌ها به‌منظور اتخاذ استراتژی مناسب در مذاکره ضروری است. مباحث مرتبط در این بخش، شامل آشنایی با انواع گاز در مخزن ذخیره‌سازی، عملکرد و تأثیر آن‌ها، محدوده بهره‌برداری از مخازن، نحوه محاسبه ظرفیت مورد معامله و همچنین قیمت قرارداد بر اساس متغیرهای مختلفی تأثیرگذار در محاسبه بودند.

مراجع:

- [1]. <https://www.lawinsider.com/dictionary/gas-storage-agreement>
- [2]. Roberts, P., 2016, Oil and Gas Contract: Principles and Practice, First Edition, Thomson Reuters.

1. Extrinsic value

2. Commodity charge



- C., Strickland, C., and Van der Zee, D., 2009, the second article of the gas storage segment, Masterclass series, Energy Risk.
- [15]. Henaff, P., Laachir, I. and Russo, F., 2013. Gas storage valuation and hedging. A quantification of the model risk. arXiv preprint arXiv:1312.3789.
- [3]. Letcher, T.M., 2022. Global warming, greenhouse gases, renewable energy, and storing energy. In *Storing Energy* (pp. 3-12). Elsevier.
- [4]. Bérest, P. and Brouard, B., 2003. Safety of salt caverns used for underground storage blow out; mechanical instability; seepage; cavern abandonment. *Oil & Gas Science and Technology*, 58(3), pp.361-384.
- [5]. Khamenechi, E., Yousefi, S.H. and Sanaei, A., 2013. Selection of the best efficient method for natural gas storage at high capacities using TOPSIS method.
- [6]. Scott, R.R., 1966. Underground Storage of Natural Gas: A Study of Legal Problems. *Okla. L. Rev.*, 19, p.47.
- [7]. Mojdehi, A.M., 1980. Ownership Rights in Subsurface Natural Gas Storage Areas. *Tulsa LJ*, 16, p.470.
- [8]. [8] McGaha, F., 1985. Underground gas storage: Opposing rights and interests. *La. L. Rev.*, 46, p.871.
- [۹]. مرادی، عبدالرحیم؛ رنجبر، مسعود رضا، مالکیت منابع نفت و گاز درجا و بهره‌برداری از آن در فقه اسلام، فصلنامه پژوهش‌های فقه و حقوق اسلامی، سال سیزدهم، شماره ۴۶، زمستان ۱۳۹۵.
- [۱۰]. شیروی، عبدالحسین، حقوق نفت و گاز، بنیاد حقوقی میزان، چاپ چهارم، پاییز ۱۳۹۷.
- [۱۱]. آذین، رضا، ذخیره‌سازی گاز طبیعی در مخازن تخلیه شده نفت و گاز زیرزمینی، مجله مهندسی شیمی ایران، شماره چهلیم (۱۳۸۸)، ص ۴۵-۵۲.
- [12]. Oldenburg, C.M., 2003. Carbon dioxide as cushion gas for natural gas storage. *Energy & Fuels*, 17(1), pp.240-246.
- [13]. Le Fevre, C.N., 2013. Gas storage in great britain. *Oxford institute for energy studies*.
- [14]. Breslin, J., Clewlow, L., Elbert, T., Kwok,

Gas Storage Services Contract

Delara Heidari¹, Majid Ghorbani Lachevani^{2*}, Reza M. Behbahani³

1. M.Sc. Student, Law Department, Tehran Faculty of Petroleum, Petroleum University of Technology, Tehran, Iran

2. Assistant professor, Law Department, Tehran Faculty of Petroleum, Petroleum University of Technology, Tehran, Iran

3. Professor, Department of Gas Engineering, Petroleum University of Technology, Ahwaz, Iran

*Corresponding Author, Email Address: m.ghorbani@put.ac.ir

Abstract

The common view in the field of selling and transporting natural gas is that gas is produced, sold and transported according to market needs. But since gas is usually not consumed immediately after production, it needs to be stored before reaching the final consumer. Gas storage is essentially a means to store and supply it in order to regulate the energy market. Due to the access to storage facilities and the fact that the possibility of building tanks is not available for all market participants for several reasons, including the lack of economic justification. Therefore, the owners of the facilities enter into a contract with the storage customer. The main topic of this research is to examine legal obstacles and challenges of storage service contracts, especially in underground storage. In this research, knowledge of the components and content of storage services contract and the operational, commercial and legal principles that are required to conclude a contract are provided.

Keywords: Underground storage, Gas, ownership, Services, Injection, Extraction



راهنمای نگارش مقالات در مجله علمی - ترویجی مهندسی گاز ایران

رهبر رحیمی^۱، رضا مسیبی بهبهانی^{۲*}، محمد جامی الاحمدی^۳

۱- گروه مهندسی شیمی، دانشکده مهندسی شهید نیکبخت، دانشگاه سیستان و بلوچستان، کد پستی ۹۸۱۶۷-۴۵۸۴۵، زاهدان، ایران

۲- گروه مهندسی گاز، دانشکده نفت اهواز، دانشگاه صنعت نفت، صندوق پستی: ۶۳۴۳۱، خوزستان، ایران

آدرس پست الکترونیک نویسنده مسئول مکاتبات: info@irangi.org

چکیده: در این راهنما چگونگی تنظیم مقالات جهت مجله انجمن مهندسی گاز ایران شرح داده شده است. رعایت آن در تسریع امر چاپ موثر است.

کلمات کلیدی: راهنما، گاز، فونت، B. nazanin، فارسی

۱. مقدمه:

تک رویه تایپ شود. برای بخش فارسی مقالات از قلم B- نازنین سایز ۱۱ و متن لاتین از قلم Times New Roman سایز ۱۰ استفاده می‌شود.

جداول، نمودارها و شکل‌ها داخل متن و به صورت فارسی باشند. در صورت استفاده از نرم افزار حتماً باید مرجع آن مشخص شود از معادل فارسی کلمات انگلیسی در متن استفاده شود. معادل لاتین داخل متن در صورتی که کمتر از ۵۹ کلمه باشند به صورت Footnote^۱ آورده شود بیشتر از ۵۱ کلمه واژه‌نامه در نظر گرفته شود.

انجمن مهندسی گاز ایران با هدف افزایش تبادلات علمی و تحقیقاتی جامعه مهندسی شیمی، نفت و گاز و گسترش روحیه ابتکار، ابداع و نوآوری مهندسان و محققان تقویت ارتباطات همه جانبه صنعت با دانشگاه و جامعه مجله علمی - ترویجی مهندسی گاز ایران را در زمینه‌های تازه‌های مهندسی گاز، معرفی صنایع مرتبط، آموزش در مهندسی گاز، نفت، پتروشیمی و شیمی، معرفی نوآوری‌ها و فن‌آوری‌های نوین صنعتی و اخبار جامعه مهندسی گاز را منتشر می‌کند.

۲. شرح نوشتار:

از نویسندگان محترم تقاضا می‌شود به هنگام تهیه مقاله دستورالعمل زیر را رعایت نمایند:

حاشیه بالای صفحه اول ۵ سانتیمتر (۲ اینچ) و در صفحات دیگر ۲/۵ سانتیمتر (۱ اینچ) باشد. فاصله خطوط به صورت Single و متن از سمت راست و چپ Justify تنظیم شود.

۱.۲. عهده‌دار مکاتبات می‌تواند از اعضاء هیأت علمی و یا شاغل در سایر موسسات باشد و وابستگی شغلی وی مشخص باشد.

۴. بخش‌های هر مقاله به ترتیب زیر است:

۱.۴. عنوان مقاله: کوتاه و معرف محتوای مقاله باشد و از ۵۱ کلمه تجاوز نکند (بی- نازنین سایز ۲۰ سیاه).

۲.۲. همراه مقاله نام ۳ نفر داور پیشنهادی را با ذکر تلفن و نشانی کامل پستی و الکترونیکی و تخصص مربوط ارسال نمایند.

۲.۴. اسم یا اسامی و عناوین علمی نویسندگان: عهده دار مکاتبات با علامت * مشخص گردد (قلم بی- نازنین سایز ۱۰ سیاه).

۳.۲. مقالات با نرم افزار word ۲۰۰۷ روی کاغذ A4 بخش چکیده مقاله به صورت تک ستونی و بخش مقدمه تا مراجع به صورت دو ستونی و

۱. معادل فارسی کلمات انگلیسی





۳.۴. آدرس نویسندگان: قلم بی- نازنین سایز ۹ نازک و در زیر آن آدرس الکترونیکی عهده دار مکاتبات درج می شود.

۴.۴. کلمات کلیدی: حداکثر ۵ یا ۷ کلمه (بی- نازنین سایز ۱۱ ایتالیک).

۵. چکیده:

متن چکیده در حداکثر ۱۵۰ کلمه، به صورت تک ستونی و حاوی نکات اصلی و نتایج مقاله باشد.

(بی- نازنین سایز ۱۱ ایتالیک). داشتن قسمت های ۱ تا ۵ به انگلیسی در انتهای مقاله نیز ضروری می باشد.

۶. متن اصلی:

مقدمه آغاز و با نتیجه گیری پایان می یابد. کمینه و بیشینه صفحات مقاله به ترتیب ۴ تا ۱۵ صفحه است. چاپ بیشتر از ۱۵ صفحه مشمول هزینه چاپ می شود. به رعایت املاء و دستور نگارش زبان فارسی توجه شود.

بسته به نوع اثر، مقاله دارای بخش های نظری، شرح دستگاه، روش آزمایش، روش حل، یا محاسبه و نتایج است که به صورت دو ستونی با قلم B- نازنین سایز ۱۱ نازک و Times New Roman سایز ۱۰ نازک و فواصل بین خطوط به صورت single برای رسیدگی وارایه به داوران نگارش می شود. تیتیرهای متن مقاله شماره گذاری و با قلم بی- نازنین سایز ۱۱ سیاه می باشد.

جدول ها و شکل ها و معادلات به ترتیب، شماره گذاری و عناوین جدول ها در بالای هر جدول و عناوین شکل ها در زیر هر شکل آورده شود. جدول و شماره آن و همچنین شکل و شماره آن با قلم بی- نازنین سایز ۹ سیاه است. اما شرح آنها با فونت بی- نازنین سایز ۹ است. معادلات چپ چین و شماره آن راست چین شود.

استفاده از از رنگ در جداول و شکل ها مشمول هزینه چاپ می شود. صفحات شماره گذاری شوند.

۷. بحث: دقت نظر در این قسمت در امر داوری موثر است.

۸. نتیجه گیری

۹. تشکر و قدردانی: در صورت نیاز

مراجع:

منابع مورد استفاده در متن به ترتیب شماره در داخل کروشه [] مشخص و فهرست آنها مطابق با شماره ای که در متن مشخص شده است و به ترتیب نام نویسنده یا نویسندگان، نام اثر، نام مجله و یا عنوان کتاب و تاریخ نشر با مراعات استانداردهای رایج در ارائه مراجع در بخش مراجع آورده شود.

ارسال مقالات:

از کلیه نویسندگان درخواست می شود، فایل docx و pdf مقالات خود را از طریق آدرس پایگاه اینترنتی مجله مهندسی گاز ایران ارسال نمایند. کلیه مقالات توسط داوران تعیین شده از طرف هیأت تحریریه در مدت زمانی کمتر از ۶ هفته ارزشیابی و نتیجه به اطلاع نویسنده عهده دار مکاتبات می رسد. مجله در پذیرش، ویرایش، اصلاح و یا کوتاه کردن مقالات با رعایت امانت در ارائه مطالب نوشتاری برای چاپ آزاد است. مقالات ارسالی مسترد نمی شوند.

چاپ و نشر مقالات پس از دریافت تعهدنامه تأیید شده توسط کلیه نویسندگان مبنی بر اصالت اثر نویسندگان امکان پذیر می شود. رعایت قوانین مربوط به سرقت ادبی- علمی به عهده نویسندگان است. نویسندگان مقالات مسؤول نوشته ها و نظرات خود هستند، آراء و نظریات آنها لزوماً نظر مدیر مسؤول، سردبیر و اعضاء هیأت تحریریه مجله نیست.

شرح حال نویسندگان در حدود ۵۰ کلمه شامل نام و نام خانوادگی، تاریخ و محل تولد، آخرین مدرک تحصیلی همراه با گرایش یا تخصص، سوابق و نشان علمی، اختراع و ابتکارات و عضویت در شرکت ها و انجمن های علمی با عکس پرسنلی نویسندگان در انتهای مقاله در صفحاتی جداگانه آورده شود.

برای ارسال مقالات به سایت نشریه مهندسی گاز ایران
به نشانی (www.ijge.irangi.org) مراجعه فرمایید.

IRANIAN JOURNAL OF GAS ENGINEERING

VOLUME 9 . ISSUE 2 . NO. 16 . WINTER 2023

EISSN:25885-5251



► Contents

Locating Strategic Oil and Gas Reservoirs with Decision-Making and Linear Planning Techniques 8

Behrang Latifi, Mohamad Ebrahim Tayebi Araghi, Hossein Amoozad Khalili

The Elasticity of Natural Gas Demand in Selected Countries 29

Parvaneh Salatin, Samira yasavol

Designing a Diversion Model for Natural Gas Consumers 47 (Case study: Gas Company of Mazandaran Province)

Abouzar Pouryani, Hormoz Mehrani, Roohala Samiee, Samereh Shojaei, Mohammadreza Omidkhah nasrin

Oxidative Desulfurization of Light Naphtha in the Presence 59 of Zeolite Supported Zinc Oxide Catalyst

Zahra Mobasheri, Seyyed Hossein Zohdi

Investigating the Performance of the High-Pressure Flare 69 of South Pars Fifth Refinery and the Factors Affecting its Performance Using CFD Simulation

Mohammad Irani, Yaghoub Behjat

Gas Storage Services Contract 83

Delara Heidari, Majid Ghorbani Lachevani, Reza M. Behbahani

► Guide for Authors 93