-- Iranian Energy Economics------
Fall 2020, 37(10), 129-158
Jiee.atu.ac.ir
DOI: http://dx.doi.org/10.22054/jiee.2022.61414.1852

Original Research
Received: 16/July/2021
Accepted: 4/Apr/2022
ISSN: 2423-5954
eISSN: 2476-6437

Designing a Comprehensive Model for Selecting the Best Fuel in Natural Gas Value Chain (A case study in Iran)

Ahmad Mousaei *
Assistant Professor, Department of Market Research, Research Institute of Petroleum Industry (RIPI), Iran

Mohammad Ali Hatefi
Associate Professor, Department of Energy Economics & Management, Petroleum University of Technology (PUT), Iran

Mohammad Mehdi Heidari Asl
M.Sc. in Project Management, Petroleum University of Technology (PUT), Iran

Abstract
The global interest in using natural gas has increased considerably, and some factors such as low cost, safety, availability, environmental advantages, technological development, and its applications especially for gas turbines, have caused petroleum fuels replaced by natural gas. Many technologic solutions proposed in the market are reviewing the challenges and opportunities of using natural gas for the sake of knowing the relevant productive ways. As one of these solutions, in this article, a model for selecting the best fuel in the natural gas value chain through four options has been introduced, Compressed Natural Gas, Liquefied Natural Gas, Dimethyl Ether, and Gas-To-Liquids. Based on a comprehensive study, the criteria affecting the decision are determined. Then, using a Delphi method and expert judgments, 20 final criteria were selected. After that, the criteria were ranked; using a group consensus among the experts with Kendall's coefficient of concordance equal to 0.808. To transform the ranks into the weights, the paper uses the Rank Order Centroid (ROC) method. Finally, the best fuel is determined, with the use of the Combined Compromise Solution (COCOSO) method. The results have shown that at first LNG and then CNG is the best options for Iran. The realities of the world are verifying the accuracy of the model.

Keywords: Value Chain, Natural Gas, Delphi, ROC, COCOSO.

JEL Classification: L95

* Corresponding Author: mousaei@gmail.com
How to Cite: Mousaei, A., Hatefi, M A., Heidari Asl, M M. (2020). Designing a Comprehensive Model for Selecting the Best Fuel in Natural Gas Value Chain (A case study in Iran). Iranian Energy Economics, 37 (10), 129-158.

-- پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران ---------
دوره ۱۰، شماره ۳۷، زمستان ۱۳۹۹، ۱۲۹-۱۵۸
Jiee.atu.ac.ir
DOI: http://dx.doi.org/10.22054/jiee.2022.61414.1852

مقاله پژوهشی
تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۴/۲۵
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۱/۱۵
ISSN: ۲۴۲۳-۵۹۵۴
eISSN: ۲۴۷۶-۶۴۳۷

طراحی مدل جامع انتخاب بهترین سوخت در زنجیره ارزش گاز طبیعی (مطالعه موردی: کشور ایران)

احمد موسایی * استادیار واحد تحقیقات بازار، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

محمدعلی هاتفی دانشیار گروه اقتصاد و مدیریت انرژی، دانشکده نفت تهران، دانشگاه صنعت نفت؛ تهران، ایران

محمدمهدی حیدری اصل کارشناس ارشد مدیریت پروژه از دانشگاه صنعت نفت؛ تهران، ایران

چکیده

امروزه گرایش جهانی به کاربرد گاز طبیعی رشد چشمگیری داشته است و عواملی چون هزینه پایین، ایمنی، دردسترس بودن، مزایای زیست محیطی و توسعه تکنولوژی و کاربرد آن به خصوص در توربین‌های گازی، باعث شده تا این محصول جایگزین سوخت‌های نفتی شود. بسیاری از راه‌حل‌های فناورانه مطرح در بازار، چالش‌ها و فرصت‌های استفاده از گاز طبیعی را با هدف شناخت مسیرهای بهره ورانه ذیربط، بررسی می‌کنند. به عنوان یکی از این راه‌حل‌ها در این مقاله، مدلی برای انتخاب بهترین سوخت در زنجیره ارزش گاز طبیعی، از بین چهار گزینه معرفی شده است: گاز طبیعی فشرده، گاز طبیعی مایع، دی‌متیل‌اتر و گاز به مایع. ابتدا بر اساس یک مطالعه جامع، شاخص‌های مؤثر بر انتخاب سوخت، شناسایی شد. سپس از طریق تکنیک دلفی و به کمک نظرات خبرگان متبوع، شاخص‌ها غربالگری شدند و ۲۰ مورد نهایی انتخاب گشت. در گام بعدی، شاخص‌ها رتبه‌بندی شدند که این امر از طریق توافق گروهی بین خبرگان و با ضریب تطبیق کندال معادل ۰/۸۰۸ محقق گشت. به منظور تبدیل رتبه به وزن از تکنیک معتبر مرکز ثقل استفاده شد. در نهایت با داشتن اوزان شاخص‌ها و همچنین چهار گزینه فوق‌الذکر از تکنیک جدید «کوکازو» بهره گرفته شد تا سوخت برتر مشخص گردد. بر طبق نتایج حاصله، در حال حاضر بهترین گزینه برای کشور گاز طبیعی مایع است و در رتبه بعدی، گاز طبیعی فشرده قرار می‌گیرد.

کلیدواژه‌ها: زنجیره ارزش، گاز طبیعی، دلفی، مرکز ثقل، کوکازو

طبقه‌بندی JEL: L95

* نویسنده مسئول: mousaei@gmail.com

۱. مقدمه

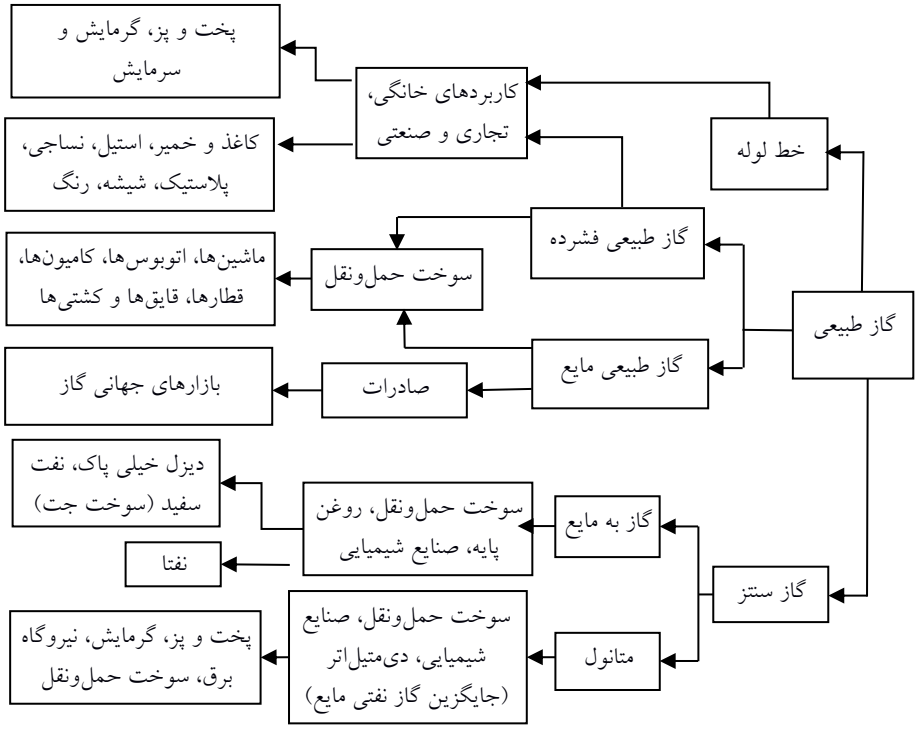
با افزایش جمعیت جهان و توسعه اقتصادی کشورها، تقاضا برای انرژی به طور عمده‌ای افزایش یافته است (کونانان[1]، ۲۰۲۱). این افزایش از طریق جستجو برای منابع پاک انرژی با هدف کاهش تأثیرات سوء بر محیط زیست، تقویت می‌شود. بر طبق نظر وود[2] و همکاران (۲۰۱۲) به علاوه گزارش شرکت بی پی[3] (۲۰۲۱)، رفته‌رفته تقاضا برای محصولات زنجریه ارزش گاز طبیعی[4] از سایر سوخت‌های فسیلی سبقت می‌گیرد که این به دلیل دسترسی آسان، تطبیق‌پذیری و اثرات مخرب کمتر این سوخت بر محیط زیست است. به این موارد باید توسعه تکنولوژی‌های ذیربط و کاربرد آنها در توربین‌های گازی را نیز اضافه نمود. لازم به توضیح است که مفهوم زنجیره ارزش، برای اولین‌بار توسط مایکل پورتر استفاده شد. این مفهوم به دنبال بهینه کردن کلیه فعالیت‌های حاکم بر یک سیستم یا فرایند است تا آن سیستم یا فرایند نسبت به سایر سیستم‌ها دارای مزیت رقابتی گردد (سینسومولە[5]، ۲۰۲۱).

از اوایل قرن بیستم گاز طبیعی به عنوان سوخت برای صنعت حمل‌ونقل شناخته شده است که این موضوع به دلیل امکان تحویل مقادیر عمده آن با پیشرفت در فناوری‌های استخراج، صرفه اقتصادی و چشم‌انداز استفاده بیشتر از آن به عنوان سوخت برای صنعت حمل‌ونقل است. از گذشته تا حال قیمت گاز طبیعی در هر واحد انرژی کمتر از قیمت سوخت‌های فسیلی مایع بوده است. این تفاوت قیمت باعث استفاده از خودروهای گازسوز[6] (خودروهایی که موتور آنها بر اساس سوخت گاز طبیعی طراحی شده است)، علی‌رغم موانع نفوذ در بازار شده است که اغلب آنها مرتبط با سرمایه‌گذاری لازم برای توسعه زیربنایی ذخیره گاز طبیعی به شکل فشرده یا مایع می‌باشند. مشکل اصلی گاز طبیعی، چگالی پایین و انرژی کمتر نسبت به سوخت‌های معمولی مثل بنزین یا گازوئیل است. هدف اصلی از تولید گاز طبیعی به شکل فشرده، تأمین انرژی مورد نیاز برای جایگزینی سوخت در صنعت حمل‌ونقل است (آز[7]، ۲۰۱۲). به طور کلی، استفاده از گاز طبیعی در صنعت حمل‌ونقل در

1. Cunanan
2. Wood
3. BP firm
4. Natural Gas (NG)
5. Sinthumule
6. Natural Gas Vehicles (NGV)
7. Uz

چهار شکل گاز طبیعی فشرده[1]، گاز طبیعی مایع‌شده[2]، دی‌متیل‌اتر[3] و گاز به مایع[4] امکان‌پذیر است (شکل ۱ را ملاحظه نمایید). بخش بعدی مقاله، کلیات این سوخت‌ها را مرور می‌نماید.

شکل ۱. گزینه‌های کسب درآمد از گاز طبیعی



منبع: (آز، ۲۰۱۲)

۲. سوخت‌های صنعت حمل‌ونقل

۲-۱. گاز طبیعی

گاز طبیعی عمدتاً شامل متان بوده و پس از فرایند پالایش می‌تواند به عنوان سوخت استفاده شود. این سوخت فسیلی، نسبتاً پاک می‌سوزد. بر طبق گزارش انجمن گاز آمریکا[5] مربوط به سال ۲۰۲۱، احتمال می‌رود روند افزایشی استفاده از گاز طبیعی در جهان، تأثیر نسبتاً قابل

1. Compressed Natural Gas (CNG)
2. Liquefied Natural Gas (LNG)
3. Dimethyl- Ether (DME)
4. Gas- To- Liquid (GTL)
5. American gas foundation

توجهی بر کاهش قیمت نفت در سال‌های آینده داشته باشد. در حال حاضر روش‌های بسیاری برای استفاده از گاز طبیعی موجود بوده که هر یک شامل مزایا و معایبی است. این روش‌ها شامل استفاده از گاز طبیعی فشرده، گاز طبیعی مایع شده، خوشه صنعتی متانول، دی‌متیل‌اتر و نفت خام مصنوعی است. تولید خودروهای گازسوز، امکانی جهت استفاده از انرژی پایه در صنعت حمل و نقل را فراهم می‌سازد که به این ترتیب بازار جدیدی برای گاز طبیعی ایجاد می‌شود (انجمن گاز آمریکا، ۲۰۲۱).

سال ۲۰۲۰ سال مهمی در صنعت حمل و نقل بود. در آن زمان الزامات سختگیرانه‌ای درخصوص میزان گوگرد موجود در سوخت در مناطق کنترل انتشار ذرات معلق ایجاد شد. از سال ۲۰۲۰ حداکثر گوگرد مجاز سوخت در این مناطق ۰/۵درصد شد. این موضوع باعث شده کشورها به دنبال تولید خودروهایی با سوخت گاز طبیعی باشند.

۲-۲.گاز طبیعی فشرده

گاز طبیعی فشرده، تحت فشار ذخیره‌سازی می‌شود، به طوری که همچنان حالت گازی آن حفظ شود. این گار با فشرده کردن گاز طبیعی به کمتر از ۱/۱۰۰ از حجم آن در فشار و درجه حرارت استاندارد به وجود می‌آید. بخش عمده گاز طبیعی فشرده را گاز متان تشکیل می‌دهد و باقی آن دی‌اکسیدکربن، نیتروژن و مقدار کمی اتان، پروپان و بوتان است. این گاز را می‌توان از فرایند پالایش نفت خام و یا به طور مستقیم از حفاری به دست آورد. این گاز به عنوان یکی از انرژی‌های پاک شناخته شده و سوزاندن آن، گازهای گلخانه‌ای کمتری در مقایسه با بنزین و گازوییل تولید می‌کند (فرانزا و سوریادی[1]، ۲۰۲۱). این گاز، آلاینده‌های سرطان‌زای کمتری تولید کرده و ذرات معلق کمتری نیز به‌وجود می‌آورد. عدد اکتان آن برابر با ۱۱۰ تا ۱۲۵ است که اجازه طراحی با نسبت تراکم بالاتر در موتور را نسبت به حالت سوخت بنزین ایجاد نموده و افزایش نسبت تراکم منجر به افزایش توان و بالا رفتن راندمان سوخت می‌گردد. امروزه می‌توان از این گاز با اهداف حمل‌ونقلی مختلف استفاده نمود، مانند استفاده در وسایل نقلیه سبک و یا وسایل نقلیه سنگین مثل کامیون‌ها، قطارها و وسایل نقلیه دولتی مانند اتوبوس‌ها (آز، ۲۰۱۲). به علت مزایایی چون ارزان بودن، آلودگی کمتر محیط زیست و افزایش عمر مفید خودرو، استفاده از گاز طبیعی فشرده در خودروها به مراتب به صرفه‌تر از بنزین است (افپوک[2]، ۲۰۱۱).

1. Franza and Suryadi
2. FPUC

۳-۲. گاز طبیعی مایع‌شده

● چنانچه گاز طبیعی در فشار اتمسفر تا دمای ۲۶۰- درجه فارنهایت سرد شود، به حالت مایع تبدیل شده، و حجم آن به ۱/۶۰۰ کاهش می‌یابد. محصول حاصله که به آن گاز طبیعی مایع‌شده گفته می‌شود شامل بیش از ۹۵درصد متان و درصد کمی اتان و پروپان و سایر هیدروکربورهای سنگین‌تر است. سایر ترکیبات و ناخالصی‌های گاز طبیعی مانند اکسیژن، آب، گازکربنیک و ترکیبات گوگردی طی فرآیند سرد شدن از گاز طبیعی جدا شده و گاز طبیعی به حالت مایع در می‌آید. البته گاز طبیعی مایع‌شده تا حد ۱۰۰درصد متان خالص نیز قابل دستیابی است. حجم آن ۱/۶۰۰ برابر حجم گاز طبیعی و دانسیته آن ۰/۴۲ دانسیته آب است. این ماده، مایعی بی‌بو، بی‌رنگ و غیرسمی است و نسبت به فلزات یا سایر مواد حالت خورندگی ندارد (آز، ۲۰۱۲). این گاز وقتی تبخیر یا با هوا ترکیب شود، در دامنه غلظت ۵ تا ۱۵درصد می‌سوزد. گاز طبیعی مایع‌شده یا بخار آن در محیط و فضای باز حالت انفجاری ندارد. کلیه آزمایشات انجام‌شده و خواص این گاز، ایمن بودن این سوخت را کاملاً تأیید می‌کند، زیرا نشت مایع آن یا ابر بخارات آن به محض تماس با زمین یا در اثر حرارت محیط به سرعت در هوا تبدیل به گاز شده و چون در این حالت از هوا سبک‌تر است، در محیط پراکنده و منتشر می‌شود. گاز مورد بحث، در وهله اول برای خودروهای سنگین دیزلی کاربرد دارد و به لحاظ ارزش حرارتی و دانسیته انرژی، مشابه سوخت دیزل (گازوییل) است (پاور و لویی[1]، ۲۰۱۱). پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد تقاضای سوخت گاز طبیعی مایع تا سال ۲۰۴۰ به ۷۰۰ میلیون تن خواهد رسید که این میزان ۳۶۰ تن در سال ۲۰۲۰ بوده است (گزارش شل[2]، ۲۰۲۱).

٤-۲. دی‌متیل‌اتر

دی‌متیل‌اتر سوختی است که از گاز طبیعی، ذغال سنگ یا زیست توده به دست می‌آید که به دلیل تولید کم آلوده‌کننده ناکس[3] و دود در مقایسه با سوخت‌های دیزلی مشتق شده از نفت، برجسته شده است. این گاز برخی از مشخصات دیگر سوخت‌های مناسب حمل‌ونقل مثل اتانول که باعث خوردگی خطوط لوله می‌شود را ندارد، زیرا این سوخت در دمای

1. Power and Lowe
2. Shell
3. Nitrogen Oxide (NOx)

اتاق به شکل گاز است و برخلاف اتانول، برای حمل‌ونقل و ذخیره در مخازن بزرگ تحت فشار قرار می‌گیرد. دی‌متیل‌اتر پاک می‌سوزد، بدون گوگرد است و ذرات بسیار کمی منتشر می‌کند. از بسیاری جهات شبیه گاز نفتی مایع[1] است، کیفیت احتراق خوبی دارد و بنابراین برای جایگزین سوخت دیزل مناسب است (نایلاند[2] و همکاران، ۲۰۱۲). دی‌متیل‌اتر، دارای ارزش گرمایی خوبی است به‌گونه‌ای که ارزش گرمایی هر کیلوگرم از آن تقریباً معادل ارزش گرمایی ذغال سنگ، کمی بیشتر از متانول، خیلی بیشتر از هیدروژن و کمتر از گاز نفتی مایع، دیزل یا متان است. در مقایسه با سایر سوخت‌ها، این گاز در جو بدون تشکیل ازن به سرعت به دی‌اکسیدکربن و آب تجزیه می‌شود. عدد اکتان این گاز بالاست، بنابراین می‌تواند در موتورهای دیزلی مورد استفاده قرار گیرد. تحولات تجاری و نظارتی قابل توجهی در سراسر جهان در ظرفیت تولید دی‌متیل‌اتر در حال وقوع است که این موضوع به دلیل پتانسیل‌های قابل توجه آن مثل تمیزی، قابلیت تجدیدپذیری و میزان کم کربن است. از این گاز می‌توان به عنوان سوخت در موتورهای دیزلی، گازوئیلی (۳۰درصد دی‌متیل‌اتر و ۷۰درصد گاز نفتی مایع) و توربین‌های گازی استفاده نمود. برای تبدیل یک موتور دیزلی به موتور با سوخت این گاز لازم است تغییرات کمی اعمال شود. این کار در شرکت‌هایی چون نیسان و ولوو در خصوص ماشین‌های سنگین انجام شده است (سوخت‌های ابرون[3]، ۲۰۱۲).

۵-۲. گاز به مایع

عنوان گاز به مایع به فناوری رسیدن از گاز متان به فرآورده‌های میان تقطیر نفت (بنزین و دیزل) اشاره دارد و در واقع در این فناوری هیدروکربورهای سنگین‌تر از سبکترین هیدروکربور یعنی متان به دست می‌آید. اهمیت این فناوری زمانی آشکار می‌شود که بدانیم بدون این فناوری، گاز طبیعی جایگزین کامل نفت خام نیست و به همین دلیل است که نفت‌خام هنوز جایگاه و اهمیت محوری خود را در میان تمامی حامل‌های انرژی حفظ کرده است. گاز به مایع، در صورت اقتصادی شدن و گسترش آن، گاز طبیعی را به جایگزین کاملی برای نفت خام تبدیل می‌کند. یکی از امتیازات مهم گاز به مایع، نسبت به

1. Liquefied Petroleum Gas (LPG)
2. Nylund
3. Oberon fuels

سایر گزینه‌های حمل و نقل این است که این سوخت در خودروها و زیر ساخت‌های موجود شبکه‌های توزیع قابل استفاده است. فرآورده‌های به‌دست آمده از فرایند ذیربط نیز از فرآورده‌های مشابه نفتی بسیار مرغوب‌تر و سازگارتر با محیط زیست هستند و آلایندگی‌شان بسیار محدودتر است، به همین دلیل تولیدکنندگان محصولات مربوطه، بنزین و نفت‌گاز حاصله را مستقیماً وارد بازار نمی‌کنند؛ علاوه بر این‌که کیفیت این محصولات بسیار بالاتر از فرآورده‌های مشابه پالایشگاهی است و با توجه به استانداردهای سخت‌گیرانه زیست‌محیطی در زمینه فرآورده‌های نفتی که روبه توسعه است، فرآورده‌های گاز به مایع شانس بیشتری نیز نسبت به فرآورده‌های نفتی دارند (گایتوی[1]، ۲۰۱۲). کشور قطر برنامه‌های وسیعی برای تولید گاز به مایع در دست دارد و در واقع مهمترین نقش را برای توسعه این فناوری به عهده گرفته است. کشورهای دیگری چون مالزی و آفریقای جنوبی نیز دارای برنامه‌هایی مشابه هستند (فرانزا و سوریادی[2]، ۲۰۲۱؛ انجمن نفت ملی[3]، ۲۰۱۲).

۳. روش‌شناسی تحقیق

روش‌شناسی تحقیق، عملاً شامل چهار مرحله و دوازده گام است:

۱-۳. مرحله ۱: تهیه فهرست شاخص‌های مؤثر بر تصمیم‌گیری

در مرحله ۱ لازم است شاخص‌های مؤثر بر تصمیم‌گیری شناسایی شوند. به همین منظور در گام الف این مرحله، مطالعه جامعی در این زمینه صورت گرفت و شاخص‌های موجود استخراج گردید. پس از آن، در گام ب، جهت غربالگری شاخص‌ها و دستیابی به فهرست شاخص‌های نهایی، از قضاوت خبرگان ذیربط در قالب تکنیک دلفی استفاده شد. لازم به بیان است که روش پرسشنامه دلفی در تحقیقات مشابه، کاربردهای متعددی داشته است، مانند پژوهش راف و استینکر[4] (۲۰۰۷)، تحقیق کو و مین[5] (۲۰۱۳) و پژوهش جدید از ایشاک و رحمان باروس[6] (۲۰۲۰). خبرگان متخب، شامل شش متخصص در زمینه‌های

1. Gyetvay
2. Franza and Suryadi
3 . National Petroleum Council (NPC)
4. Rough and Stienecker
5. Koo and Min
6. Ishak and Rahman Barus

علمی و کاربردی گاز طبیعی / سوخت و انرژی/ حمل‌ونقل بودند (معاونت پژوهش و فناوری پژوهشگاه صنعت نفت، دارای تخصص در حوزه سوخت و انرژی؛ دو کارشناس توسعه کسب و کار گاز طبیعی از شرکت ملی گاز، یک کارشناس تحقیقات بازار در زمینه سوخت‌های فسیلی و منابع نفتی و دو کارشناس در زمینه تحلیل اقتصادی و فنی سوخت‌ها). اجازه دهید تعداد خبرگان را با e نشان دهیم. شایان ذکر است که بر طبق نظر محققین امر، نظیر کوکه و پرابست[1] (۲۰۰۶) و مورگان[2] (۲۰۱۴)، استفاده از ۳ تا ۸ خبره در این خصوص کفایت می‌کند. در پرسشنامه مهیا شده برای تکنیک دلفی، خبرگان در خصوص بودن یا نبودن هریک از شاخص‌ها در فهرست نهایی نظر بله/ خیر می‌دادند. به علاوه اگر شاخص جدیدی مد نظر آنها بود نیز در فرم مربوطه، اعلام می‌کردند. شاخص‌های غربال شده یا اضافه شده، در دور بعدی دلفی، لحاظ می‌گردید. شاخص‌هایی می‌توانستند مراحل دلفی را عبور کنند که دست کم چهار خبره از شش نفر، به آنها رای مثبت داده باشند (اکثریت). نهایتاً از بین کل شاخص‌ها، ۲۰ شاخصی که بیشترین تاثیر را در انتخاب سوخت در زنجیره ارزش گاز طبیعی دارند برگزیده شد. تعداد شاخص‌ها را با n نشان می‌دهیم.

۲-۳. مرحله ۲: تعیین وزن عددی برای هر یک از شاخص‌ها

جهت اجرای مرحله ۲، یعنی وزن دهی به شاخص ها، از نظرات همان خبرگان مرحله قبل، استفاده شد (e برابر با ۶)، به این صورت که ابتدا در گام الف این مرحله، هر خبره به تنهایی شاخص‌های استخراج شده را رتبه بندی نمود (رتبه‌های ۱، ۲، ۳ و ...). رتبه شاخص j ام ارائه شده توسط خبره k ام را با θ_{jk} نشان می‌دهیم. در گام ب این مرحله با استفاده ضریب تطبیق کندال[3] (کندال و گیبونز[4]، ۱۹۹۰) که مبین ضریب همبستگی رتبه‌ای و میزان اجماع بین خبرگان در رتبه بندی موضوعات است، اندازه‌گیری شد. برای محاسبه این ضریب، مجموع رتبه‌های هر شاخص، بر طبق رابطه (۱) محاسبه شد، سپس میانگین کل مجموع‌ها با استفاده از رابطه (۲) به دست آمد. در نهایت با استفاده از رابطه (۳) ضریب کندال (آلفا) محاسبه شد. در این روابط، e تعداد خبرگان (۶ نفر) و n تعداد شاخص‌ها (۲۰ مورد) می‌باشد.

1. Cooke and Probst
2. Morgan
3. Kendall's coefficient of concordance
4. Kendall and Gibbons

$$R_j = \sum_{k=1}^{e=6} \theta_{jk} \quad (۱)$$

$$\bar{R} = \frac{1}{n}\sum_{j=1}^{n=20} Rj \quad (۲)$$

$$\alpha = 12\sum_{j=1}^{n=20}(R - Rj)^2 \ / \ e^2\,(n^3 - n) \quad (۳)$$

از حیث دستورالعمل، ضریب کندال زیر ۰/۱، بین ۰/۱ تا ۰/۳، بین ۰/۳ تا ۰/۵ بین ۰/۵ تا ۰/۷ و بین ۰/۷ تا ۰/۹ و بالای ۰/۹ به ترتیب نشان‌دهنده اجماع خیلی ضعیف، ضعیف، متوسط، قوی، خیلی قوی و فوق‌العاده قوی می‌باشد. با یک اجماع حدود قوی یا بالاتر، به طور قاطع می‌توان از این بخش عبور کرد، اما اگر ضریب کندال مبین یک اجماع ضعیف یا کمتر باشد، حتماً لازم است خبرگان نظرات یکدیگر را ببینند، مباحثه کنند و بار دیگر با بینشی جدید، فرایند رتبه‌بندی انجام شود تا یک اجماع قابل قبول حاصل گردد. در ناحیه بین این دو وضعیت نیز بسته به میزان سختگیری تصمیم‌گیرندگان، ممکن است اجماع قبول شود یا نیاز به تجدید نظر لازم باشد. در هر صورت، پس از داشتن اجماع قابل قبول، در گام ج مرحله ۲، برای محاسبه رتبه‌های نهایی شاخص‌ها از رابطه (۴) استفاده شد. به این صورت که شاخصی که بیشتربن نمره را کسب کند رتبه اول و مهم‌ترین می‌باشد و همین طور الی آخر.

$$\mathrm{T_j} = \mathrm{ne} - \mathrm{R_j} \quad (۴)$$

پس از اتمام رتبه‌بندی، نیاز به تبدیل رتبه‌ها به اوزان عددی است که این کار در گام د انجام گرفت. بدین منظور، از تکنیک معتبر مرکز ثقل رتبه‌ها[1] (بارون و بارت[2]، ۱۹۹۶) استفاده شد. بر طبق این تکنیک، وزن شاخص قرارگرفته در رتبه j ام با کمک رابطه (۵) محاسبه می‌شود. شایان ذکر است که اعتبار تکنیک مرکز ثقل رتبه ها، توسط محققین امر بسیار تأکید شده است. به عنوان نمونه، پژوهش آهن و پارک (۲۰۰۸) نشان می‌دهند که این تکنیک از قدرت عملکرد و ثبات بالایی برخوردار است.

$$\mathrm{w_j} = \frac{1}{\mathrm{n}}\sum_{\mathrm{q=j}}^{\mathrm{n=20}}(1/\mathrm{q}) \quad (۵)$$

۳-۳. مرحله ۳: تمهید دستورالعمل امتیازدهی به شاخص‌های هر گزینه

به منظور اجرای مرحله ۳ فرایند تحقیق، یعنی تهیه جداول و راهنمای امتیاز دادن به شاخص‌ها برای هر گزینه (یعنی مقادیر $\mathrm{x_{ij}}$ که عبارتست از امتیاز گزینه i ام برای شاخص j ام)، از

1. Rank Order Centroid (ROC)
2. Barron and Barrett

اطلاعات تخصصی و فنی موجود در ادبیات موضوع به علاوه قضاوت خبرگان متبوع، استفاده شد. امتیازات بر اساس طیف عددی در دامنه ۱ تا ۹ قابل تخصیص هستند. این مرحله عملاً شامل دو گام بود. گام الف مربوط بود به شاخص هایی که امتیازات آنها شامل داده‌های عینی[1] است، یعنی این امتیازات از اطلاعات ثبت شده و تخصصی در مراجع ذیربط استخراج شده‌اند. گام ب نیز مربوط به شاخص‌هایی بود که لازم بود امتیازات آنها با استفاده از قضاوت و نظرات کارشناسان (داده‌های ذهنی[2]) متبوع حاصل شود. مبانی و مفاهیم نظری هر شاخص در بند ۵ مقاله توضیح داده شده است. در این خصوص، با معرفی طیف عددی از ۱ تا ۹ به خبره، او عدد ۱ را برای کمترین حد ممکن شاخص و ۹ را برای بیشترین حد ممکن شاخص در نظر می‌گیرد. بنابراین با این چارچوب دهی به ذهن وی، او عددی در دامنه ۱ تا ۹ را می‌تواند انتخاب کند. همان‌گونه که ذکر شد، جزییات کامل، در بند ۵ مقاله تشریح شده است.

٤-۳. مرحله ٤.تعیین سوخت برتر

در آخرین مرحله، از تکنیک کوکازو[3] (یزدانی[4] و همکاران، ۲۰۱۹) برای تعیین بهترین سوخت در زنجیره ارزش گاز طبیعی برای هر مطالعه موردی (یعنی هر کشور مورد نظر) استفاده شد. کوکازو از زمره تکنیک‌های نوین تصمیم‌گیری چندشاخصه[5] است و از رودیکرد تجمیع امتیازات[6] و رسیدن به مقادیر واحد برای تصمیم‌گیری استفاده می‌کند. کاربرد روزافزون این تکنیک در حوزه‌های مختلفی گزارش شده است؛ مانند انتخاب منابع انرژی تجدیدپذیر (رانی[7] و همکاران، ۲۰۲۱)، سرمایه‌گذاری در حوزه‌های انرژی (می و لیائو[8]، ۲۰۲۰)، رتبه‌بندی وسایل نقلیه خودکار در حوزه مدیریت ترافیک (دوسی[9] و همکاران، ۲۰۲۱)، ارزشیابی بخش‌های حوزه سلامت (عبادی تکایش[10] و همکاران،

1. Objective data
2. Subjective data
3. Combined Compromise Solution (COCOSO)
4. Yazdani
5. Multiple Attribute Decision Making (MADM)
6. Aggregation
7. Rani
8. Mi and Liao
9. Deveci
10. Ebadi Tokayesh

۲۰۲۱)، و انتخاب ربات (کومار[1] و همکاران، ۲۰۲۱). در اجرای تکنیک کوکازو، ۴ گام وجود دارد که در ادامه یک به یک تشریح می‌شود.

در گام الف، امتیازات شاخص‌ها به کمک روابط (۶) و (۷) نرمالیزه می‌شود که اولی برای شاخص‌های با جنبه مثبت و دومی برای شاخص‌های با جنبه منفی است. در این روابط از بیشینه و کمینه امتیازات شاخص‌ها استفاده شده است. اکنون همه شاخص‌ها با جنبه مثبت شده‌اند.

$$r_{ij} = \frac{x_{ij} - min_i\, x_{ij}}{max_i\, x_{ij} - min_i\, x_{ij}} \quad (۶)$$

$$r_{ij} = \frac{max_i\, x_{ij} - x_{ij}}{max_i\, x_{ij} - min_i\, x_{ij}} \quad (۷)$$

در گام ب، دو نوع نمره تجمیعی موزون (وزن‌دار) هر گزینه با کمک روابط (۸) و (۹) حاصل می‌شود.

$$S_i = \sum_{j=1}^{n=20} w_j r_{ij} \quad (۸)$$

$$P_i = \sum_{j=1}^{n=20} r_{ij}^{\,w_j} \quad (۹)$$

در گام ج، بر طبق روابط (۱۰) تا (۱۲)، سه نوع تلفیق از روابط (۸) و (۹) تهیه می‌شود. در تلفیق نوع (۱۲)، پارامتر μ عددی است بین ۰ تا ۱ که میزان تمرکز بر هر یک از انواع نمرات تجمیعی موزون را نشان می‌دهد. فرضاً اگر این پارامتر ۰/۷ باشد یعنی ۷۰ درصد تمرکز بر نمره نوع (۸) و ۳۰ درصد تمرکز بر نمره نوع (۹).

$$SP_{ia} = \frac{S_i + P_i}{\sum_{i=1}^{m}(S_i + P_i)} \quad (۱۰)$$

$$SP_{ib} = \frac{S_i}{min_i\, S_i} + \frac{P_i}{min_i\, P_i} \quad (۱۱)$$

$$SP_{ic} = \frac{\mu S_i + (1-\mu) P_i}{\mu\, max_i\, S_i + (1-\mu)\, max_i\, P_i} \quad (۱۲)$$

در گام د، مجموع میانگین‌های حسابی و هندسی سه تلفیق بالا، نمره نهایی برای تصمیم‌گیری را حاصل می‌سازد (رابطه (۱۳)).

$$\mathrm{SP_i} = (\mathrm{SP_{ia}} \times \mathrm{SP_{ib}} \times \mathrm{SP_{ic}})^{\frac{1}{3}} + \frac{1}{3}(\mathrm{SP_{ia}} + \mathrm{SP_{ib}} + \mathrm{SP_{ic}}) \quad (۱۳)$$

در نهایت، موردی انتخاب می‌شود که بیشترین مقدار SP را داشته باشد.

1. Kumar

٤. یافته‌ها: شاخص‌ها، رتبه‌ها و اوزان

پس از مطالعه کتابخانه‌ای و تهیه لیست جامعی از شاخص‌ها، بر طبق نظرات خبرگان و مبتنی بر روش دلفی، لیست ۲۰ گانه شاخص‌ها مهیا گشت (جزییات شاخص‌ها در بخش ۵ توضیح داده خواهد شد). پس از این یافته، با کمک قضاوت خبرگان، رتبه‌بندی‌های انفرادی حاصل شد. نتایج محاسبات نشان داد که میزان اجماع بین قضاوت‌های انفرادی اخذشده، ۰/۸۰۸ و کاملاً قابل قبول است. بنابراین رتبه‌های انفرادی به کمک رابطه (۴) با هم تلفیق شدند و رتبه‌بندی نهایی مشخص گشت. در نهایت، اوزان شاخص‌ها با بهره‌گیری از تکنیک مرکز ثقل، به دست آمد. جدول ۱ روند محاسبات را نشان می‌دهد.

جدول ۱. رتبه‌ها و اوزان شاخص‌ها

شاخص‌ها	رتبه‌های انفرادی دریافتی از خبرگان						R_j	T_j	رتبه نهایی	وزن
«فاصله تا بازار»	۳	٥	٦	٤	٥	١	٢٤	٩٦	٣	٠/١٠٤٩
«افزایش تقاضای داخلی»	١٦	١٣	١٦	١٧	١٦	١٤	٩٢	٢٨	١٥	٠/٠١٧٣
«روند مصرف خانوارها»	١٠	٤	٥	٧	٦	١٣	٤٥	٧٥	٨	٠/٠٥٠٢
«تمرکز شرکت‌های بزرگ»	٢٠	١٠	٢٠	٢٠	١٤	١٢	٩٦	٢٤	١٧	٠/٠١٠٩
«تاثیر روی محیط»	٨	٦	٤	٥	١	٢	٢٦	٩٤	٥	٠/٠٧٥٧
«پاکی برای موتورهای بنزینی»	٦	٧	٨	٦	٧	٨	٤٢	٧٨	٧	٠/٠٥٧٤
«پاکی برای موتورهای دیزلی»	٧	٨	٣	٢	٨	٩	٣٧	٨٣	٦	٠/٠٦٥٧
«سرمایه ثابت»	٩	٩	١٠	١٢	١٥	١٥	٧٠	٥٠	١١	٠/٠٣٣٤
«چگالی انرژی»	١٩	١٨	١٧	١٦	١٧	١٦	١٠٣	١٧	١٨	٠/٠٠٧٩
«قیمت بازار»	٥	٢	٧	١	٢	٣	٢٠	١٠٠	٢	٠/١٢٩٩
«میزان ذخیره گاز طبیعی»	٢	١	٢	٢	٣	٤	١٤	١٠٦	١	٠/١٧٩٩
«بلوغ فناوری»	١٥	١٤	١٣	١٣	١٢	١٠	٧٧	٤٣	١٢	٠/٠٢٨٩
«کارایی»	١٣	١٦	١٥	١٤	١٣	١١	٨٢	٣٨	١٣	٠/٠٢٤٧
«ریسک تکنولوژی»	١٢	١٥	١٤	١٥	١٩	٢٠	٩٥	٢٥	١٦	٠/٠١٤٠
«قابلیت ذخیره‌سازی»	١١	١٩	٩	٩	١١	٧	٦٦	٥٤	١٠	٠/٠٣٨٤
«ظرفیت حمل ونقل بین‌المللی»	١٨	١٢	١٩	١٨	٢٠	١٩	١٠٦	١٤	١٩	٠/٠٠٥١
«ریسک ایمنی»	٤	٣	١	٨	٤	٥	٢٥	٩٥	٤	٠/٠٨٨٢
«آینده استراتژیکی»	١٧	١٧	١٨	١٩	١٨	١٧	١٠٦	١٤	٢٠	٠/٠٠٢٥
«قابلیت دسترسی»	١٤	١٢	١١	١٠	١٩	١٨	٨٤	٣٦	١٤	٠/٠٢٠٩
«قابلیت ارزش افزوده»	١	٢٠	١٢	١١	٩	٦	٥٩	٦١	٩	٠/٠٤٤٠

منبع: محاسبات محقق

۵. یافته‌ها: امتیازدهی به شاخص‌ها

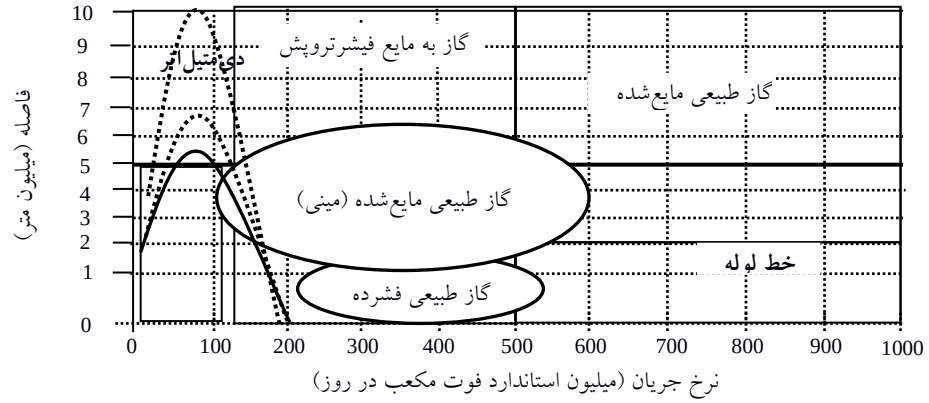
همان‌گونه که پیشتر ذکر شد، ۲۰ شاخص در فهرست نهایی قرار گرفتند که لازم است در خصوص امتیازدهی هر یک از آنها اقدام گردد. در ادامه، روش تعیین امتیازات برای هر شاخص به تفصیل آمده است.

۵-۱. شاخص «فاصله تا بازار»

براساس مطالعه انجام شده توسط سگیونیو[1] (۲۰۰۸) از شرکت توتال[2] تحت عنوان «مسیر ارزش‌سنجی گاز»، نمودار فاصله تا بازار برحسب نرخ جریان برای هریک از سوخت‌ها به صورت شکل ۲ است. این شکل عملاً به چهار موقعیت اشاره دارد:

- موقعیت ۱: نرخ جریان (بین ۰ تا ۵۰۰ میلیون فوت مکعب در روز) / فاصله (بین ۰ تا ۵۰۰۰ کیلومتر).
- موقعیت ۲: نرخ جریان (بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میلیون فوت مکعب در روز)/ فاصله (بین ۰ تا ۵۰۰۰ کیلومتر).
- موقعیت ۳: نرخ جریان (بین ۰ تا ۵۰۰ میلیون فوت مکعب در روز)/ فاصله (بین ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ کیلومتر).
- موقعیت ۴: نرخ جریان (بین ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ میلیون فوت مکعب در روز)/ فاصله (بین ۵۰۰۰ تا ۱۰۰۰۰ کیلومتر).

شکل ۲. فاصله تا بازار



منبع :(سگویناوو، ۲۰۰۸ و امیرحسین خلیلی ـ گرکانی ۲۰۲۱)

1. Seguineau
2. Total

بنابراین بر اساس پارامترهای فاصله و نرخ جریان در هریک از موقعیت‌های چهارگانه، برای هر یک از چهار سوخت امتیازدهی مطابق جدول ۲ انجام شده است.

جدول ۲ . امتیازات شاخص فاصله تا بازار

سوخت	موقعیت ۱	موقعیت ۲	موقعیت ۳	موقعیت ٤
گاز طبیعی فشرده	۷	۳	۱	۱
گاز طبیعی مایع	۹	۵	۳	۹
دی‌متیل‌اتر	۱	۱	۷	۱
گاز به مایع	۳	۱	۹	۳

منبع: محاسبات محقق

۲-۵. شاخص «افزایش تقاضای داخلی»

براساس نظرات خبرگان ذی‌ربط، امتیاز این شاخص برای هریک از سوخت‌های گاز طبیعی فشرده، گاز طبیعی مایع، دی متیل اتر و گاز به مایع با توجه به تقاضای تخمینی سال ۲۰۲۰ به ترتیب برابر با ۷، ۹، ۳ و ۳ می‌باشد (دلویته[1]، ۲۰۲۰).

۳-۵. شاخص «روند مصرف خانوارها»

با بررسی میزان مصرف سوخت گاز طبیعی خانوارها در سال‌های اخیر، می‌توان امتیاز شاخص حاضر را محاسبه نمود. به عنوان نمونه، روند مصرف گاز طبیعی فشرده، گاز طبیعی مایع، دی‌متیل‌اتر و گاز به مایع در جهان در سال ۲۰۲۰، براساس گزارشات تحقیقات بازار به ترتیب معادل ۱۹۴، ۳۶۰، ۶/۷ و ۶/۶ میلیون تن در سال بوده است (اپک[2]، ۲۰۲۱). بر این اساس، امتیاز قابل در نظرگیری برای این شاخص برابر است با ۷، ۹، ۳ و ۳ به ترتیب برای سوخت‌های مذکور.

٤-۵. شاخص «تمرکز شرکت‌های بزرگ»

مطالعه جنبه‌هایی که شرکت‌های بزرگی در تحقیقات و فعالیت‌های توسعه سوخت، روی آنها تمرکز کرده‌اند (آژانس بین‌المللی انرژی[3]، ۲۰۲۱؛ سیسلر[4]، ۲۰۱۲)، حاکی از اهمیت هریک از سوخت‌های خانواده گاز طبیعی است. نتایج این مطالعات در جدول ۴ نشان داده شده است.

1. Deloitte
2. Asia-Pacific Economic Cooperation (APEC)
3. International Energy Agency (IEA)
4. Seisler

جدول ٤. تمرکز شرکت‌های بزرگ روی سوخت‌های جایگزین (سیسلر، ۲۰۱۲)

شرکت	سایر مایعات زیستی	گاز برای خودرو	سایر
بی پی[1]	بایودیزل	–	گاز طبیعی مایع، منابع بادی، منابع خورشیدی
انی[2]	سوخت‌های زیستی[3]، دیزل سبز، اتیل ترت بوتیل اتر[4]	گاز طبیعی فشرده	گاز طبیعی مایع، استحصال انبارش کربن[5]، متانول
اکسان موبیل[6]	سوخت‌های زیستی دریایی	–	گاز طبیعی مایع
او ام وی[7]	متیل استر اسید چرب[8]، اتیل ترت بوتیل اتر، روغن گیاهی[9]	گاز طبیعی فشرده زیستی، گاز طبیعی فشرده، گاز طبیعی پایدار[10]	گاز طبیعی مایع
شل[11]	سوخت‌های زیستی	گاز طبیعی فشرده، گاز طبیعی مایع	گاز طبیعی مایع
استات اویل[12]	بایودیزل، بایواتانول	گاز طبیعی فشرده، گاز به مایع، گاز طبیعی مایع	متانول، منابع بادی، منابع زمین گرمایی
توتال	دی‌متیل‌اتر	–	متیل استر اسید چرب، اتیل ترت بوتیل اتر، منابع خورشیدی

منبع: سیسلر، ۲۰۱۲

به این ترتیب امتیاز شاخص تمرکز شرکت‌های بزرگ حدوداً برابر است با ۵، ۷، ۱ و ۹ به ترتیب برای گاز طبیعی فشرده، گاز طبیعی مایع، دی‌متیل‌اتر و گاز به مایع.

۵-۵. شاخص «تأثیر روی محیط»

برای اندازه‌گیری شاخص تأثیر روی محیط، تأثیر هریک از سوخت‌های خانواده گاز طبیعی روی هوا، آب، خاک و سروصدا در نظر گرفته شده است. جدول ۵ را ملاحظه نمایید.

1. British Petroleum (BP)
2. ENI
3. Biofuel
4. Ethyl Tert-Butyl Ether (ETBE)
5. Carbon Capture and Storage (CCS)
6. ExxonMobil
7 OMV
8. Fatty Acid Methyl Ester (FAME)
9. Veg-oil
10. Sustainable Natural Gas (SNG)
11. SHELL
12. STATOIL

جدول ۵. تأثیر سوخت‌های خانواده گاز طبیعی بر روی محیط

محیط	گاز به مایع	گاز طبیعی مایع	دی‌متیل‌اتر	گاز طبیعی فشرده
هوا	متوسط	متوسط	۰/۲درصد، بیشترین میزان نشت ۴۰ کیلوگرم در روز در محل سایت	متوسط
آب	کم	کم	نمی‌بایست در فاضلاب‌ها نشت کند.	کم
خاک	کم	کم	هیچ مرحله‌ای از فرایند منجر به تأثیر روی خاک نمی‌شود.	کم
سرو صدا	کم	کم	کم	کم

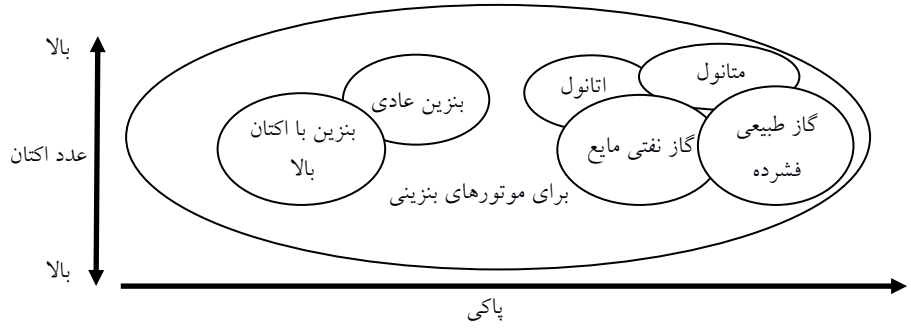
(گزارش کمیته راهبری دولت موزامبیک[1]، ۲۰۱۲)

با ملاحظه مقادیر کیفی جدول بالا، عدد کمی حدودی تأثیر هریک از سوخت‌های چهارگانه بر روی محیط، برابر خواهد شد با ۹، ۹، ۷ و ۹ به ترتیب برای گاز طبیعی فشرده، گاز طبیعی مایع، دی‌متیل‌اتر و گاز به مایع.

۵-۵. شاخص «پاکی برای موتورهای بنزینی»

شاخص‌های پاکی برای موتورهای بنزینی از شکل ۳ استخراج شده است (تایوپی[2]، ۲۰۱۱).

شکل ۳. میزان پاکی برای برای موتورهای بنزینی



منبع: (تایوپی، ۲۰۱۱).

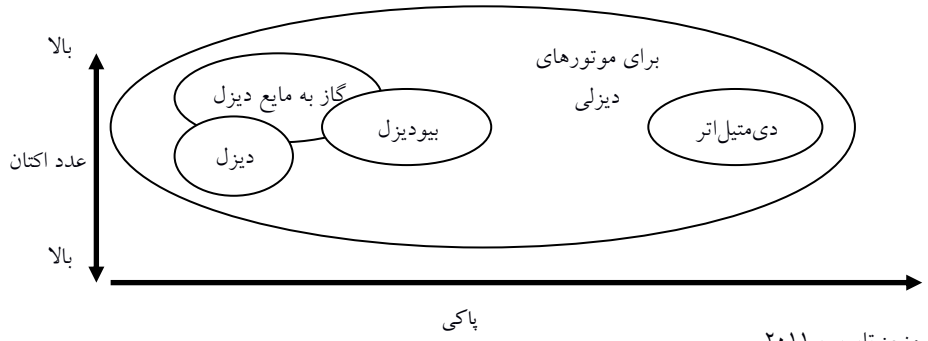
بر اساس شکل ۳، امتیازات شاخص‌های مذکور روی سوخت‌های خانواده گاز طبیعی برابر است با ۹، ۵، ۷ و ۵ به ترتیب برای گاز طبیعی فشرده، گاز طبیعی مایع، دی متیل اتر و گاز به مایع.

1. Government of Mozambique Steering Committee
2. Taupy

٦-۵. شاخص «پاکی برای موتورهای دیزلی»

شاخص‌های پاکی برای موتورهای دیزلی از شکل ۴ استخراج شده است (تایوپی، ۲۰۱۱).

شکل ٤. میزان پاکی برای برای موتورهای دیزلی



منبع: تایوپی، ۲۰۱۱

بر اساس شکل ۴، امتیازات شاخص‌های مذکور روی سوخت‌های خانواده گاز طبیعی برابر است با ۷، ۷، ۹ و ۵ به ترتیب برای گاز طبیعی فشرده، گاز طبیعی مایع، دی متیل اتر و گاز به مایع.

۷-۵. شاخص «سرمایه ثابت»

سرمایه ثابت به سرمایه لازم برای تأسیس یک واحد صنعتی از هر کدام از سوخت‌ها با ظرفیت اقتصادی اشاره دارد. بر اساس نظرات خبرگان، امتیاز سرمایه لازم برای تأسیس یک واحد صنعتی برای خانواده گاز طبیعی برابر اسی با ۳، ۷، ۵ و ۵ به ترتیب برای گاز طبیعی فشرده، گاز طبیعی مایع، دی متیل اتر و گاز به مایع.

۸-۵. شاخص «چگالی انرژی»

چگالی انرژی به مقدار انرژی ذخیره‌شده در واحد حجم اطلاق می‌گردد. بر طبق بوهمن[1] (۲۰۱۲)، چگالی انرژی برحسب هزار بی‌تی‌یو در هر فوت مکعب، برای هریک از سوخت‌ها برابر است با ۲۶۶، ۶۳۵، ۵۶۰ و ۹۹۰ که با این توصیف، امتیازات این شاخص حدوداً برابر می‌شود با ۳، ۷، ۷ و ۹ به ترتیب برای گاز طبیعی فشرده، گاز طبیعی مایع، دی متیل اتر و گاز به مایع.

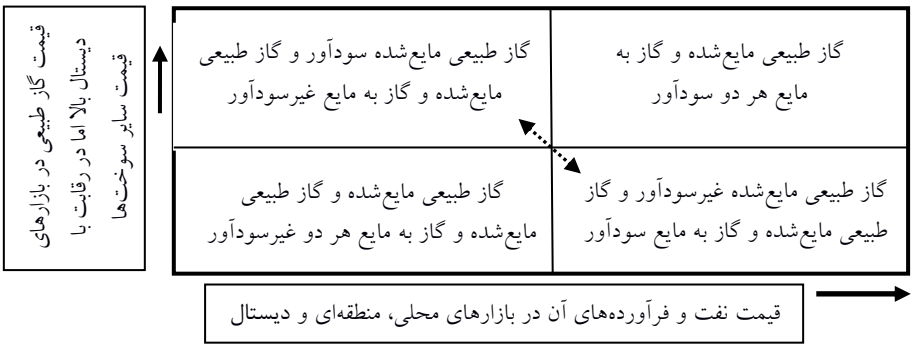
1. Boehman

۹-۵. شاخص «قیمت بازار»

قیمت بازار یعنی قیمت بازاری سوخت‌ها بر مبنای قیمت نفت خام و گاز طبیعی. تحلیل شاخص قیمت بازار با تحلیل قیمت نفت و گاز طبیعی مرتبط است. به این ترتیب چهار موقعیت، قابل فرض است (شکل ۶، جدول ۶):

- موقعیت ۱: قیمت نفت بالا/ قیمت گاز طبیعی بالا.
- موقعیت ۲: قیمت نفت بالا/ قیمت گاز طبیعی پایین.
- موقعیت ۳: قیمت نفت پایین/ قیمت گاز طبیعی بالا.
- موقعیت ۴: قیمت نفت پایین/ قیمت گاز طبیعی پایین.

شکل ۵. گاز به مایع در مقابل گاز طبیعی مایع‌شده در مقیاس بزرگ



منبع: وود و همکاران، ۲۰۱۲

جدول ٦. هزینه سوخت (سوخت‌های ابرون، ۲۰۱۲)

متغیرهای مرتبط با دیزل	دی‌متیل‌اتر	گاز طبیعی فشرده	گاز طبیعی فشرده	دیزل
هزینه سوخت (معادل انرژی)	$$	$	$	$$$

بنابراین، تصمیم‌گیرنده می‌بایست موقعیت را با در نظر گرفتن جدول ۷ تعیین نماید.

جدول ۷ . امتیازات شاخص قیمت بازار

سوخت	موقعیت ۱	موقعیت ۲	موقعیت ۳	موقعیت ٤
گاز طبیعی فشرده	۷	۷	۳	۳
گاز طبیعی مایع	۹	۹	۱	۵
دی‌متیل‌اتر	۷	۵	۱	۳
گاز به مایع	۵	۵	۱	۵

منبع: محاسبات محقق

۱۰-۵. شاخص «میزان ذخیره گاز طبیعی»

مطالعات حول میزان ذخیره گاز طبیعی در کره زمین (آژانس بین‌المللی انرژی، ۲۰۲۱)، نشان می‌دهد که حجم بالایی از گاز طبیعی مایع‌شده در جهان موجود است. بر این اساس، امتیاز شاخص میزان ذخیره سوخت به شرح جدول ۸ در نظر گرفته شده است.

جدول ۸ امتیازات شاخص ذخیره سوخت

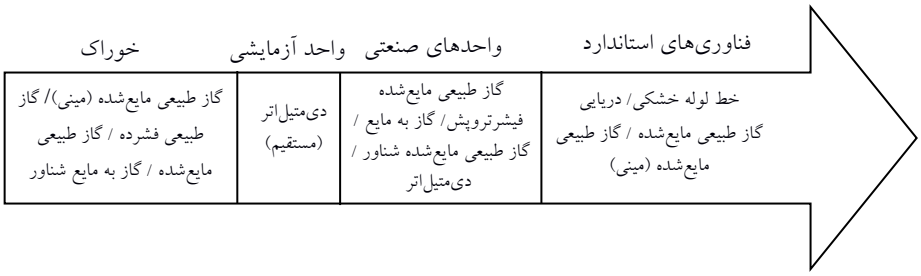
سوخت	۰-۵	۵-۱۰	۱۰-۱۵	۱۵-۲۰
گاز طبیعی فشرده	۹	۱	۱	۳
گاز طبیعی مایع	۳	۷	۹	۹
دی‌متیل‌اتر	۹	۱	۱	۱
گاز به مایع	۷	۹	۱	۳

منبع: محاسبات محقق

۱۱-۵. شاخص «بلوغ فناوری»

بلوغ فناوری عبارتست از ارزیابی و تعیین سطوح آمادگی فناوری در نمونه مورد مطالعه. با در نظرگرفتن شکل ۷، برای شاخص بلوغ فناوری، امتیازات برابر هستند با ۹، ۹، ۵ و ۵ به ترتیب برای گاز طبیعی فشرده، گاز طبیعی مایع، دی متیل اتر و گاز به مایع.

شکل ۷. بلوغ فناوری



منبع: سگویناوو، (۲۰۰۸)

۱۲-۵. شاخص «کارایی»

کارایی به میزان کارایی سوخت‌ها بر مبنای کیلومتر اشاره دارد. بر اساس اطلاعات مربوط به کارایی سوخت‌ها (حدود ۹۰درصد به ازای نمونه ۱۷۰۰ کیلومتر برای گاز طبیعی فشرده، حدداً بین ۸۰ درصد تا ۸۵ درصد به ازای نمونه ۱۰۰۰۰ کیلومتر برای گاز طبیعی مایع،

حدود ۶۲ درصد برای دی‌متیل‌اتر و حدود ۵۵ درصد تا ۶۰ درصد برای گاز به مایع) (یو اس ایا[1]، ۲۰۲۱؛ سگویناوو، ۲۰۰۸)، امتیازات شاخص کارایی برابر می‌شود با ۹، ۷، ۵ و ۵ به ترتیب برای گاز طبیعی فشرده، گاز طبیعی مایع، دی متیل اتر و گازبه مایع.

۱۳-۵. شاخص «ریسک تکنولوژی»

ریسک تکنولوژی به معنای ریسک‌های مربوط به‌کارگیری تکنولوژی‌های تولید سوخت‌های مختلف است. سوخت‌های گازی نیاز به نوآوری‌های جدید در صنایع مختلف دارند که این موضع خود زمینه بروز ریسک‌های تکنولوژیک را فراهم می‌کند. بر اساس نظرات خبرگان، امتیاز شاخص ریسک تکنولوژی برای هریک از سوخت‌های خانواده گاز طبیعی در قاره‌های آمریکا، اروپا، آسیا و آفریقا مطابق جدول ۹ است.

جدول ۹. امتیاز شاخص ریسک تکنولوژی

سوخت	آمریکا	اروپا	آسیا	آفریقا
گاز طبیعی فشرده	۱	۱	۱	۳
گاز طبیعی مایع	۳	۳	۵	۷
دی‌متیل‌اتر	۵	۳	۷	۷
گاز به مایع	۵	۳	۷	۷

منبع: نظرات خبرگان

۱۴-۵. شاخص «قابلیت ذخیره‌سازی»

قابلیت ذخیره‌سازی اشاره دارد به حجم انرژی ذخیره‌شده در یک سیستم، فضا یا ناحیه. در مقایسه سوخت‌ها با یکدیگر، قابلیت ذخیره‌سازی، یک ویژگی غیرقابل انکار است چه در بعد کوچک (ماشین‌های شخصی) و چه در ابعاد بزرگ‌تر مانند نیروگاه‌ها. طبق نظرات خبرگان، این قابلیت با توجه به چگالی انرژی برای یک بار استفاده پیاپی، امتیازدهی شده است که عبارتند از ۷، ۹، ۱ و ۱ به ترتیب برای گاز طبیعی فشرده، گاز طبیعی مایع، دی‌متیل‌اتر و گاز به مایع. چگالی انرژی عبارت است از حجم انرژی ذخیره شده در یک سیستم، فضا یا ناحیه (دوارزتزیدس[2] و همکاران، ۲۰۲۲).

1. U.S. Energy Information Administration (USEIA)
2. Douvartzides

۱۵-۵. شاخص «ظرفیت حمل ونقل بین المللی»

این شاخص مربوط است به مبحث ظرفیت کافی جابه‌جایی سوخت‌ها به دلیل حجم خرید و فروش بالا در سطح بین‌المللی. در سطح بین‌المللی، سوخت‌ها به دلیل حجم بالای خرید و فروش نیاز به ظرفیت‌های کافی جابه‌جایی داشته و بدون وجود این ظرفیت‌ها امکان انتقال آن‌ها بین کشورهای صاحب تکنولوژی و کشورهای صاحب سوخت امکان‌پذیر نمی‌باشد. به همین منظور میزان ظرفیت حمل و نقل بین‌المللی برای هریک از سوخت‌ها در ۴ قاره بر اساس نظرات خبرگان در جدول ۱۰ امتیازبندی شده است.

جدول۱۰. امتیاز ظرفیت حمل‌ونقل بین‌المللی برای هر قاره

سوخت	آمریکا	اروپا	آسیا	آفریقا
گاز طبیعی فشرده	۳	۵	۱	۱
گاز طبیعی مایع	۹	۹	۷	۳
دی‌متیل‌اتر	۳	۵	۳	۱
گاز به مایع	۷	۹	۳	۱

منبع نظرات خبرگان

۱۶-۵. شاخص «ریسک ایمنی»

در بررسی استفاده از سوخت‌های مختلف، شاهد سطح ایمنی متفاوتی هستیم. در خصوص این شاخص، خبرگان ذی‌ربط امتیازاتی را برای هرکدام از سوخت‌ها اعلام کردند: ۹، ۳، ۷ و ۵ به ترتیب برای گاز طبیعی فشرده، گاز طبیعی مایع، دی متیل اتر و گاز به مایع.

۱۷-۵. شاخص «آینده استراتژیکی»

این شاخص به آینده استراتژیکی کشورها از منظر منابع گاز طبیعی و تکنولوژی‌های مرتبط اشاره دارد. سوخت نقش به سزایی در تعیین قدرت کشورها دارد. این قدرت شامل منابع طبیعی و تکنولوژی استفاده از این منابع است. بر طبق نظرات خبرگان، آینده استراتژیکی به صورت ۳، ۹، ۳ و ۷ به ترتیب برای گاز طبیعی فشرده، گاز طبیعی مایع، دی‌متیل‌اتر و گاز به مایع امتیازدهی شده است.

۱۸-۵. شاخص «قابلیت دسترسی»

قابلیت دسترسی یعنی دسترسی مطلوب به هر کدام از سوخت‌ها بر اساس شرایط کشورها. سوخت‌ها علاوه بر کاربردنی بودن، باید دسترسی مطلوبی داشته باشند. این دسترسی با

توجه به نوع سوخت متفاوت است، فلذا این موضوع در رتبه‌بندی و انتخاب سوخت بسیار حائز اهمیت است. از این جهت، قضاوت خبرگان به صورت امتیازات ۳، ۹، ۱ و ۵ به ترتیب برای گاز طبیعی فشرده، گاز طبیعی مایع، دی‌متیل‌اتر و گاز به مایع اعلام شده است.

۱۹-۵. شاخص «قابلیت ارزش افزوده»

قابلیت ارزش افزوده در حکم ارزش افزوده ناشی از هزینه تولید کمتر نسبت به سایر سوخت‌ها می‌باشد. سوخت‌ها از روش‌های مختلفی به دست می‌آیند که بعضی هزینه تولید بیشتری نسبت به بقیه دارند، بنابراین مبحث ارزش افزوده مطرح می‌شود. از زاویه دید این شاخص، سوختی که دارای هزینه تولید کمتری دارد ارجحیت بیشتری خواهد داشت. امتیازات ۷، ۹، ۵ و ۷ به ترتیب برای گاز طبیعی فشرده، گاز طبیعی مایع، دی‌متیل‌اتر و گاز به مایع توسط خبرگان متبوع عرضه گشت.

٦. یافته‌ها: تعیین سوخت برتر

نمونه موردی که محل تمرکز مقاله حاضر است، کشور ایران می‌باشد. با توجه به شاخص فاصله تا بازار، وضعیت ۱ در نظر گرفته شد. در خصوص شاخص افزایش تقاضای داخلی، قاره آسیا انتخاب می‌شود. علاوه بر این، تجزیه و تحلیل شاخص قیمت بازار، باعث جهت‌گیری تصمیم‌گیرنده به سمت به وضعیت ۲ شده است. بنابراین ماتریس تصمیم‌گیری به صورت جدول ۱۱ خواهد بود.

جدول ۱۱. ماتریس تصمیم‌گیری

شاخص	گاز به مایع	دی‌متیل‌اتر	گاز طبیعی مایع	گاز طبیعی فشرده	وزن
فاصله تا بازار	۳	۱	۹	۷	۰/۱۰٤۹
افزایش تقاضای داخلی	۳	۳	۹	۷	۰/۰۱۷۳
روند مصرف خانوارها	۳	۱	۹	۷	۰/۰۵۰۲
تمرکز شرکت‌های بزرگ	۵	۱	۷	۵	۰/۰۱۰۹
تأثیر روی محیط	۹	۷	۹	۹	۰/۰۷۵۷
پاکی برای موتورهای بنزینی	۵	۷	۵	۹	۰/۰۵۷٤
پاکی برای موتورهای دیزلی	۵	۹	۷	۷	۰/۰٦۵۷
سرمایه ثابت	۵	۵	۷	۳	۰/۰۳۳٤
چگالی انرژی	۹	۷	۷	۳	۰/۰۰۷۹
قیمت بازار	۵	۵	۹	۷	۰/۱۲۹۹

شاخص	گاز به مایع	دی‌متیل‌اتر	گاز طبیعی مایع	گاز طبیعی فشرده	وزن
میزان ذخیره سوخت	۳	۱	۹	۳	۰/۱۷۹۹
بلوغ فناوری	۵	۵	۹	۹	۰/۰۲۸۹
کارایی	۵	۵	۷	۹	۰/۰۲٤۷
ریسک تکنولوژی	۷	۷	۷	۳	۰/۰۱٤۰
قابلیت ذخیره‌سازی	۱	۱	۹	۷	۰/۰۳۸٤
ظرفیت حمل ونقل بین‌المللی	۳	۳	۷	۱	۰/۰۰۵۱
ریسک ایمنی	۵	۷	۳	۹	۰/۰۸۸۲
آینده استراتژیکی	۷	۳	۹	۳	۰/۰۰۲۵
قابلیت دسترسی	۵	۱	۹	۳	۰/۰۲۰۹
قابلیت ارزش افزوده	۷	۵	۹	۷	۰/۰٤٤۰

منبع: محاسبات محقق

پس از تشکل ماتریس تصمیم‌گیری برای رتبه‌بندی سوخت و انتخاب برترین گزینه، همان‌گونه که در روش تحقیق ذکر شده است، از تکنیک کوکازو استفاده می‌شود. به منظور مدیریت حجم نوشتار، جزییات محاسبات در اینجا بیان نمی‌شود، صرفاً ذکر این نکته لازم است که در رابطه (۱۲) در گام ج تکنیک، مقدار پارامتر برابر با ۰/۵ انتخاب شد (که البته تحلیل حساسیت و تغییرات این پارامتر در بازه ۰ تا ۱ نشان داد که ترتیب رتبه‌بندی نهایی تغییر نمی‌کند، فلذا مشخص گشت که خروجی مدل در مطالعه موردی حاضر، عملاً نسبت به این پارامتر غیر حساس است). برای طبق رابطه (۱۳)، نمره نهایی سوخت‌ها، ۲/۲۸۲ برای گاز طبیعی فشرده، ۲/۳۵۵ برای گاز طبیعی مایع، ۱/۸۰۰ برای دی‌متیل‌اتر و ۱/۷۳۲ برای گاز به مایع محاسبه شد. همان‌طورکه مشاهده می‌شود، مدل پیشنهادی، گاز طبیعی مایع‌شده را برای کشور ایران انتخاب می‌کند. لیکن به جهت تصمیم‌گیری نهایی، دست اندرکاران ذی‌ربط می‌توانند برخی جنبه‌های حاشیه‌ای دیگر مثل بودجه در دسترس و ریسک‌های سیاسی را مدنظر قرار دهد.

۷. مقایسه

با توجه به وجود تحقیقات مشابه درخصوص شناسایی شاخص‌های تصمیم‌گیری انتخاب سوخت، در این قسمت در قالب جدول ۱۲ برخی موارد مربوطه، با کار حاضر مقایسه شده است.

جدول ۱۲. مقایسه معیارها (بررسی محقق)

تحقیق انجام شده	تکنیک استفاده شده	معیارهای شناسایی شده
پوه و انگ[1] (۱۹۹۹)	فرایند تحلیل سلسله مراتبی[2]	شیوه تأمین، خروجی‌های سوخت، تکنولوژی، روند مصرف، ایمنی
ژنک[3] و همکاران (۲۰۰۵)	فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی، تاپسیس[4]، ویکور	تأمین سوخت، کارایی انرژی، آلودگی هوا، آلودگی صوتی، ارتباط صنعتی، هزینه اجرا، هزینه تعمیرات، قابلیت‌های وسایل نقلیه، تسهیلات جاده ها، سرعت جریان ترافیک، احساساس راحتی.
پاتیل[5] و همکاران (۲۰۱٤)	تحلیل مزایا و معایب[6]	قیمت خرید سوخت، قابلیت دسترسی، تکنولوژی، ایمنی، عملکرد.
فارکاس[7] (۲۰۱۳)	ماروم[8]	همانند ژنک و همکاران (۲۰۰۵)
شاه[9] و همکاران (۲۰۱۷)	تحلیل مزایا و معایب	هزینه انرژی، هزینه تعرفه‌ها، ارزش افزوده.
هاتفی[10] (۲۰۱۸)	آراس[11]، مرکز ثقل	عملکرد، محیط زیست، جنبه اقتصادی، روند تمایل و مصرف جهانی، مباحث تکنولوژیک، بلوغ، ایمنی، ارتباط صنعتی، ریسک‌ها.
تحقیق حاضر	کوکازو، مرکز ثقل	بیست معیار به شرح جدول ۱۱

۸. بحث و نتیجه‌گیری

هدف این تحقیق، پیشنهاد و استفاده از یک مدل علمی برای تصمیم‌گیری به منظور انتخاب سوخت مناسب از خانواده گاز طبیعی برای کاربرد در ناوگان حمل و نقل است. بر اساس این مدل، هر کشور قادر به تعیین اولویت خود از طریق امتیازدهی تخصصی مبتنی بر نظرات خبرگان و اطلاعات عینی علمی است. مقاله، ابتدا ویژگی‌های هر سوخت را بررسی کرده و مزایا و معایب استفاده از هریک را در صنعت حمل و نقل مورد بررسی قرار داد. سپس بر اساس یک مطالعه جامع، تعداد بیست شاخص مؤثر بر انتخاب بهترین سوخت در

1. Poh and Ang
2 Analytical Hierarchy Process (AHP)
3 . Tzeng
4. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)
5. Patil
6. Pros and Cons analysis
7. Farkas
8. Multi-Attribute Object Measurement (MAROM)
9. Shah
10. Hatefi
11. Douvartzides

زنجیره ارزش گاز طبیعی تعیین شد. در ادامه، یک سیستم راهنمای امتیازدهی برای هر شاخص تدوین گشت. در نهایت، به عنوان نمونه موردی، کشور ایران مد نظر قرار گرفت و با بهره‌گیری از تکنیک کوکازو، بهترین سوخت در زنجیره ارزش گاز طبیعی پیشنهاد گشت. نتایج نشان داد که گاز طبیعی‌مایع گزینه مناسبی برای کشور ایران است و بعد از آن گاز طبیعی فشرده در رتبه دوم قرار می‌گیرد. واقعیت‌های موجود در ایران زیرا بیشتر کشورها در حال حرکت به سمت گاز طبیعی مایع و سپس گاز طبیعی فشرده هستند. برخی از این واقعیت‌ها عبارتند از:

- گاز طبیعی مایع، سوخت منعطفی است که در کشورها می‌تواند از طریق منابع مختلفی در اروپا، خاورمیانه و شاید روزی در آمریکا تأمین شود.
- بیشتر گاز طبیعی فروخته‌شده در دنیا از طریق خط لوله یا به عنوان گاز طبیعی مایع‌شده تحت قراردادهای بلندمدت به فروش می‌رسد و تحت تأثیر شاخص قیمت نفت است. به لحاظ تاریخی این دو نوع محصول در بازار به طور مستقیم بیش از گذشته با هم در ارتباطند.
- کشوری‌های توسعه‌یافته به دنبال استفاده بیشتر از گاز طبیعی مایع‌شده هستند، با توجه به کارایی بیشتر این سوخت به ویژه در وسایط نقلیه سنگین، برنامه‌های افزایش تولید خودروهای با سوخت گاز طبیعی مایع‌شده از برنامه‌های مهم به شمار می‌آید.
- پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد تقاضای سوخت گاز طبیعی مایع تا سال ۲۰۴۰ به ۷۰۰ میلیون تن خواهد رسید که این میزان ۳۶۰ تن در سال ۲۰۲۰ بوده است.

از تحلیل‌های انجام‌شده می‌توان نتیجه گرفت که گاز طبیعی مایع‌شده شانس بالایی جهت انتخاب به عنوان گزینه نسبتاً مناسب در آینده را دارد. با پذیرش این واقعیت، کشور ما نیز می‌تواد بر روی بازار گاز طبیعی مایع‌شده تمرکز کرده و از پتانسیل اقتصادی آن بهره‌مند شود.

مناسب است تا در انتها به دو موضوع اشاره شود. درخصوص موانع و محدودیت‌های تحقیق، صراحتاً باید گفت که مهم‌ترین سختی تحقیق حاضر، دسترسی به اطلاعات لازم و معتبر برای امتیازدهی به شاخص‌ها است. در حقیقت به دلیل اینکه بخش مهمی از اطلاعات مورد نیاز، مربوط به موضوعات کلان کشورها و دولت‌ها هستند، اغلب، دسترسی به این اطلاعات دشوار می‌باشد. محققان برای انجام پژوهش در ادامه تحقیق حاضر، می‌توانند مدل را با گستردگی بیشتر انجام دهند، شامل استفاده از طیف وسیع‌تری از خبرگان، و طبعاً

در نظر گرفتن طیف گسترده‌تری از شاخص‌ها، مثل شاخص‌های سیاسی و ملاحظات خاص مد نظر مراجع تصمیم‌گیری کلان کشوری. همچنین، مقایسه راهبرد کشورهای مختلف درخصوص برنامه‌های بلندمدت جهت‌گیری سوخت در حمل‌ونقل می‌تواند موضوع جذابی برای یک تحقیق توصیفی باشد. درواقع به این سؤالات پاسخ داده شود که کشورهای مختلف صنعتی و نیمه صنعتی، هر کدام چه انتخاب‌هایی را برای سال‌های آتی خود مد نظر قرار داده‌اند؟ و اینکه تمرکز انتخاب‌های کشورها به کدام سمت و سو می‌باشد؟

۹. تعارض منافع

تعارض منافع وجود ندارد.

ORCID

Ahmad Mousaei https://orcid.org/0000-0002-9151-9005
Mohammad Ali Hatefi https://orcid.org/0000-0001-8740-2392
Mohammad Mehdi Heidari Asl https://orcid.org/0000-0002-6639-9331

References

APEC Energy Overview (No. 221-RE). (2021, October) https://www.apec.org/docs/default-source/publications/2021/10/apec-energy-overview-2021/221_ewg_apec-energy-overview-2021.pdf?sfvrsn=45498925_1

Barron, F. and Barrett, B.E. (1996). Decision quality using ranked attribute weights. *Management Science*, 42(11), pp. 1515-1523.

Boehman, A., (2012). Dimethyl Ether, a Path to Use Natural Gas as a Transportation Fuel. a Report Published in www.energy.psu.edu (EMS Energy Institute).

Statistical Review of World Energy(No.70th).(2021) https://www.bp.com/content/dam/bp/business-sites/en/global/corporate/pdfs/energy-economics/statistical-review/bp-stats-review-2021-full-report.pdf

Cooke, R. M. and Probst, K.N. (2006). Highlights of the Expert Judgment Policy Symposium and Technical Workshop. Conference Summary.

Cunanan, C., Tran, M.K., Lee, Y., Kwok, S., Leung, V. and Fowler, M., (2021). A Review of Heavy-Duty Vehicle Powertrain Technologies: Diesel Engine Vehicles, Battery Electric Vehicles, and Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicles. *Clean Technology*, Vol. 3, pp. 474–489.

Price Forecast Oil, Gas & Chemicals. (2021b, June). https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/ca/Documents/REA/ca-en-o&g-price-forecast-q2-2021-aoda.pdf

Deveci, M., Pamucar, D. and Gokasar, I., (2021). Fuzzy Power Heronian function based CoCoSo method for the advantage prioritization of autonomous vehicles in real-time traffic management. *Sustainable Cities and Society*, Vol.69: 102846.

Douvartzides, S., Charisiou, N.D., Wang, W., Papadakis, V.G., Polychronopoulou, K. and Goula, M.A., (2022). Catalytic fast pyrolysis of agricultural residues and dedicated energy crops for the production of high energy density transportation biofuels. Part I: Chemical pathways and bio-oil upgrading. *Renewable Energy*, Vol.185, pp.483-505.

Commercial and Strategic Opportunities for LNG in China (No. PP018148). (2011, October). https://dokumen.tips/reader/f/dnv-china-lng-final-report

Ebadi Torkayesh, A., Pamucar, D., Ecar, F. and Chatterjee, P., (2021).An integrated BWM-LBWA-CoCoSo framework for evaluation of healthcare sectors in Eastern Europe. *Socio-Economic Planning Sciences*, Vol.78: 101052.

Farkas, A. (2013). A Comparison of MCDA Techniques TOPSIS and MAROM in Evaluating Bus Alternative-fuel Modes, 11thInternational Conference on Management, Enterprise and Benchmarking (MEB), Budapest, Hungary.

FPUC, (2011). Compressed Natural Gas (CNG), Retrieved from www. fpuc.com.

Franza, L. and Suryadi, B. (2021). Natural Gas in South-east Asia: Key Trends and Long-term Outlook.

Natural Gas as a Transportation Fuel Models for Developing Fueling Infrastructure. (2012). https://www.gasfoundation.org/wp-content/uploads/2019/11/agftransportationstudysept2012.pdf

Natural Gas Master Plan for Mozambique. (2012, August). ICF International. https://www.acismoz.com/wp-content/uploads/2017/06/Natural%20Gas%20Master%20Plan%20Aug%2012.pdf

Gyetvay, M. (2012). Russian Natural Gas Frontiers, Developing the Yamal and Gydan Peninsulas, a Report Published in www.novatek.ru.

Hatefi, M.A. (2018). A Multi-criteria Decision Analysis Model on the Fuels for Public Transport with the Use of Hybrid ROC-ARAS Method. *Petroleum Business Review*, 2(1), pp. 45-55.

LNG as fuel for ships in short sea shipping. (2009, May). https://sustainableworldports.org/wp-content/uploads/LNG-review.pdf

Gas Market Report, including Gas 2021 - Analysis and forecast to 2024. (No. Q3). (2021b). International Energy Agency (IEA). https://iea.blob.core.windows.net/assets/4fee1942-b380-43f8-bd86-671a742db18e/GasMarketReportQ32021_includingGas2021Analysisandforecastto2024.pdf

Ishak, A. and Rahman Barus, W.H. (2020). Application of the delphi method to new renewable energy assessments in power plants in North Sumatra

province, IOP Conference Series Materials Science and Engineering, 801(1):012037.

Tahata, K., Miyamoto, N. and Tomizawa, S. (2015). Decomposition of Independence Using the Logit Uniform Association Model and Equality of Concordance and Discordance for Two-Way Classifications. *Open Journal of Statistics*, 5(06), p. 514.

Khalili-Garakani, A., Iravaninia, M. and Nezhadfard, M. (2021). A review on the potentials of flare gas recovery applications in Iran. *Journal of Cleaner Production*, 79(10), pp. 273-284.

Koo, H. and Min, D. (2013). Forecasting Renewable Energy Using Delphi Survey and the Economic Evaluation of Long-Term Generation Mix, *Journal of Korean Institute of Industrial Engineers*, 39(3), pp. 183-191.

Kumar, V., Kalita, K., Chatterjee, P., Zavadskas, E.K. and Chakraborty, S. (2021). A SWARA-CoCoSo-Based Approach for Spray Painting Robot Selection, *Informatica*, 0(0): pp. 1-20.

Mi, X. and Liao, H. (2020). Renewable energy investments by a combined compromise solution method with stochastic information, *Journal of Cleaner Production*, 276(6):123351.

Morgan, G. (2014). Use (and abuse) of expert elicitation in support of decision making for public policy, *PNAS*, 111(20): 115-124.

National Petroleum Council (NPC) (2012). Advancing Technology for America's Transportation Future: Fuel and Vehicle System Analyses, a Report Published in http://www.npc.org.

Nylund, N. O. and Koponen, K. (2012). Fuel and Technology Alternatives for Buses: Overall Energy Efficiency and Emission Performance, a Report Published in http://www.biofuelstp.eu.

DME A Cleaner Alternative to Diesel. (2013). https://www.bio.org/sites/default/files/legacy/bioorg/docs/MON_SANTAFE2013%2012%2009%20Bio%20Pacific%20Rim.pdf

Patil, K.D., Pathan, F.U., Mahajan, S.M. and Satpute, D.R. (2014). Alternative Fuel Public Transport Buses. *International Journal of Engineering Research and Development*, 10(12), pp.29-35.

Poh, K.L., and Ang, B.W. (1999). Transportation fuels and policy for Singapore: an AHP planning approach, *Computers and Industrial Engineering*, 37(4), pp.507–525.

Power, N. and Lowe, M. (2011). Liquefied Natural Gas; the Alternative Vehicle Fuel. a Report Published in https://www.boconline.co.uk.

Rani, P., Ali, J., Krishankumar, R., Mishra, A.R., Cavallaro, F. and Ravichandran, K.S., (2021). An Integrated Single-Valued Neutrosophic Combined Compromise Solution Methodology for Renewable Energy Resource Selection Problem, *Energies*, 14:4594.

Rouch, D.L., and Stienecker, A. (2007). A Delphi study to project the future of alternative energy and its application to engineering technology, *Engineering*, 12(33), pp. 1-22.

Seguineau, J.M., (2008). About Gas Valorization Routes, 4th GGFR Amsterdam Conference, December.

Seisler, J. (2012). Prospects and Development and Use of CNG in Transport: Integrating Petroleum and NGV Infrastructures in Europe. a Report Published in www.ngvglobal.com.

Shah, M.S., Halder, P.K., Shamsuzzaman, A.S.M., Hossain, M.S., Pal, S.K., and Sarker, E., (2017). Perspectives of Biogas Conversion into Bio-CNG for Automobile Fuel in Bangladesh, *Journal of Renewable Energy*, 4385295, pp. 1-14.

Shell LNG Outlook. (2021). https://www.shell.com/promos/energy-and-innovation/download-the-shell-lng-outlook-2021/_jcr_content.stream/1614823770264/2b5b3fdaa9feba85dadc9b3408c200f26eadf85f/lng-outlook-2021-final-pack-updated.pdf

Sinthumule, M. (2021). Petroleum value chain, Department of Energy of South Africa. http://www.energy.gov.za/files/careers-and-economic-opportunities/Petroleum-Value-Chain.pdf

Taupy, J.A. (2011). DME Global Activity Update, 7th Asian DME Conference, Niigata.

Tzeng, G.H., Lin, C.W. and Opricovic, S. (2005). multi-criteria analysis of alternative fuel buses for public transportation, Energy Policy, 33, pp.1373-1383.

Monthly Energy Review. (2021, December). U.S. Energy Information Administration. https://www.eia.gov/outlooks/steo/

Uz, V. (2012) CNG as a Feasible Replacement for the U.S. Transportation Sector, M.S. Thesis, Air University, Captain, 91 p.

Yazdani, M., Zarate, P., Zavadskas, E.K. and Turskis, Z. (2019). A combined compromise solution (COCOSO) method for multi-criteria decision-making problems. *Management Decision*, 57(9), pp.2501-2519.

Wood, D.A., Nwaoha, C. and Towler, B.F. (2012). Gas-to-liquids (GTL): a Review of an Industry Offering Several Routes for Monetizing Natural Gas. *Journal of Natural Gas Science and Engineering*, Vol. 9, pp.96-208.

استناد به این مقاله: موسایی، احمد، هاتفی، محمدعلی، حیدری اصل، محمدمهدی. (۱۳۹۹). طراحی مدل جامع انتخاب بهترین سوخت در زنجیره ارزش گاز طبیعی (مطالعه موردی: کشور ایران)، پژوهشنامه اقتصاد انرژی ایران، ۳۷ (۱۰)، ۱۲۹-۱۵۸.

Iranian Energy Economics is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.