



The University of Tehran Press

Futures Studies of Biodiesel Energy in Iran with a Scenario Planning Approach

Mohammad Reza Fathi¹ | Leila Amani² | Mohsen Torabi^{3*}

1. Associate Professor, College of Farabi, University of Tehran, Iran. Email: reza.fathi@ut.ac.ir

2. College of Farabi, University of Tehran, Iran. Email: amany.leila@ut.ac.ir

3. Corresponding Author, Assistant Professor, School of Management, University of Hormozgan, Iran. Email: m.torabi@hormozgan.ac.ir

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article History:
Received 03 February 2025
Revised 19 March 2025
Accepted 20 April 2025
Published Online 23 August 2025

Keywords:
Future studies,
Energy,
Scenario,
Biodiesel.

ABSTRACT

The aim of the present study is to design scenarios for biodiesel energy in Iran by applying the Cross-Impact Matrix approach. In this research, to develop probable scenarios, 25 factors influencing biodiesel energy were initially identified through a literature review and interviews with experts. Then, the direct and indirect impacts of these influencing variables on the future of biodiesel energy were calculated using a questionnaire and analyzed with MICMAC software. Among these factors, two key drivers—economic sanctions and government-controlled versus free markets—were identified as the most critical. Based on these drivers, plausible scenarios for the future of biodiesel energy in Iran were developed. The study selected these two uncertainties as critical factors for biodiesel energy in Iran. By combining the extreme states of these two uncertainties, four plausible scenarios emerged: 1) Super Paradise 2) Abandoned Harbor 3) Silent Treasure Island, 4) Cold Desert. Understanding each of these scenarios and the specific recommendations provided for them will assist decision-makers and policymakers in making better decisions in this field. This enables them to act proactively and influence the outcomes rather than being passive and reactive when faced with future opportunities and threats.

Cite this article: Fathi, M. R.; Amani, L. & Torabi, M. (2025). Futures Studies of Biodiesel Energy in Iran with a Scenario Planning Approach. *Journal of Sustainable Energy Systems*, 4 (4), 383-403. DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2025.389095.1117>



© Mohammad Reza Fathi, Leila Amani, Mohsen Torabi
DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2025.389095.1117>

Publisher: University of Tehran Press.

Introduction

Diversifying the country's energy consumption portfolio is a very vital and strategic matter, for at least two reasons; energy security and environmental protection. Among biofuels, biodiesel is considered one of the cleanest fuels. Therefore, this study attempts to present multiple programs by examining the drivers and key factors affecting the future of biodiesel energy in Iran, and identifying possible future scenarios. By considering the most probable situation, threats and opportunities can be identified and evaluated.

Methodology

The research method used is mixed and includes two main parts: In the first stage, a qualitative approach (in-depth interviews) was used to identify key factors affecting the future of biodiesel energy in Iran. In the second stage, using a quantitative approach (interaction analysis) and through the distribution of questionnaires, data were collected and used to develop realistic scenarios and select the most likely scenario for the future of biodiesel energy. The statistical population of this research includes 19 experts related to this field who were selected purposefully. These individuals include

renewable energy experts, biodiesel and biotechnology experts, chemical and environmental engineers, energy policymakers, energy economists, and sustainable development researchers.

Key Results

The present study seeks to identify plausible and probable scenarios for the future of biodiesel energy in Iran. After identifying the drivers affecting this area and analyzing the data obtained, four plausible scenarios were reached: 1- Paradise 2- Abandoned harbor 3- Silent treasure island and 4- Cold desert.

Paradise scenario: This scenario is the result of the intersection of two situations: the lifting of economic sanctions and the existence of state and free markets for biodiesel fuels, which would be the most ideal situation for biodiesel energy in Iran. Abandoned Harbor Scenario: This scenario is the result of the intersection of two situations: the lifting of economic sanctions and the absence of government and free markets for biodiesel fuels. In this scenario, sanctions and international pressures will be reduced, and the reduction of sanctions will play an important role in marketing and technology transfer, which will result in improving the quality of biodiesel industry products. Silent Treasure Island Scenario: This scenario is the result of the intersection of two situations: the existence of government and free markets for biodiesel fuels and the failure to lift economic sanctions and the imposition of new sanctions. In this situation, the willingness of international companies to invest and cooperate with domestic companies will decrease, and the country will face a decline in the productivity of the workforce and equipment used in this field due to the lack of access to world-class knowledge and technology; and many domestic experts and activists may try to leave the country due to the devaluation of the national currency. Cold Desert Scenario: This scenario is the worst possible outcome that will result from the intersection of two situations: failure to lift economic sanctions and the imposition of new sanctions, and the lack of government and free markets for the future of biodiesel fuels. In this scenario, the biodiesel energy sector will be further isolated and on the verge of destruction due to international sanctions and pressure and at the same time due to the lack of government and free markets. In such circumstances, severe sanctions will cause a decline in oil revenues, which will lead to a decrease in government resources and coffers, and the government will also be unable to support and plan for the development and growth of the biodiesel industry.



آینده‌پژوهی انرژی زیست‌دیزل در ایران با رویکرد سناریونویسی

محمد رضا فتحی^۱ | لیلا امانی^۲ | محسن ترابی^۳*۱. دانشیار، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشکده‌گان فارابی، دانشگاه تهران، ایران. رایانامه: reza.fathi@ut.ac.ir۲. کارشناس ارشد مدیریت صنعتی، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشکده‌گان فارابی، دانشگاه تهران، ایران. رایانامه: amany.leila@ut.ac.ir۳. نویسنده مسئول، استادیار، دانشکده مدیریت و حسابداری، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران. رایانامه: m.torabi@hormozgan.ac.ir

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

پژوهشی

تاریخ‌های مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۱۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۱۲/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۱/۳۱

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۶/۰۱

کلیدواژه:

آینده‌پژوهی،

انرژی،

سناریونویسی،

زیست‌دیزل.

هدف مطالعه حاضر، طراحی سناریوهای انرژی زیست‌دیزل در ایران با به‌کارگیری رویکرد ماتریس تأثیرات متقاطع است. در پژوهش حاضر برای طراحی سناریوهای احتمالی، ابتدا با مرور ادبیات و مصاحبه با خبرگان ۲۵ عامل مؤثر بر انرژی زیست‌دیزل استخراج شد. سپس، تأثیر متغیرهای مؤثر بر آینده انرژی زیست‌دیزل به صورت مستقیم و غیر مستقیم با استفاده از پرسشنامه و تحلیل به وسیله نرم‌افزار میک مک، محاسبه شد. از میان عوامل گفته‌شده در نهایت، با توجه به دو عامل کلیدی مهم‌تر تحت عنوان «تحریم‌های اقتصادی» و «بازارهای دولتی و آزاد»، به تدوین سناریوهای احتمالی مربوط به آینده انرژی زیست‌دیزل در ایران پرداخته شد. در این پژوهش، دو عدم قطعیت تحریم‌های اقتصادی و بازارهای دولتی و آزاد، به عنوان عدم قطعیت‌های بحرانی انرژی زیست‌دیزل در ایران، انتخاب شدند، تا از تلاقی وضعیت‌های حدی این دو عدم قطعیت، چهار سناریو باورپذیر: ۱- فراپردیس؛ ۲- بندرگاه متروک؛ ۳- جزیره گنج خاموش و ۴- کویر سرد از آینده انرژی زیست‌دیزل ایران، به دست آید. آشنایی با وضعیت هر یک از این سناریوها و پیشنهادهای ارائه‌شده مختص هر سناریو، تصمیم‌گیران و سیاست‌گذاران مربوط به آن را در اتخاذ تصمیمات بهتر در این حوزه یاری خواهد داد، تا در مواجهه با فرصت‌ها و تهدیدهای آینده، به جای تأثیرپذیری و منفعل بودن، کنشگر و تأثیرگذار ظاهر شوند.

استناد: فتحی، محمد رضا؛ امانی، لیلا و ترابی، محسن (۱۴۰۴). آینده‌پژوهی انرژی زیست‌دیزل در ایران با رویکرد سناریونویسی. *فصلنامه سیستم‌های انرژی پایدار*، ۴ (۴): ۳۸۳-۴۰۳.

DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2025.389095.1117>

ناشر: مؤسسه انتشارات دانشگاه تهران.

© محمد رضا فتحی، لیلا امانی، محسن ترابی

DOI: <http://doi.org/10.22059/ses.2025.389095.1117>

۱. مقدمه

امروزه مبحث انرژی، از مهم‌ترین و کلیدی‌ترین موضوعات جهانی به شمار می‌رود، که با توسعه پایدار و پیوستگی همه‌جانبه کشورهای جهان به یکدیگر، ارتباطی ساختاری دارد. وضعیت انرژی جهان به دلیل مشکلات زیست‌محیطی، اقتصادی و ژئوپلیتیکی ناپایدار است، و انتشار گازهای گلخانه‌ای ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی، سبب گرم شدن زمین، بارش باران‌های اسیدی، ایجاد تغییرات آب و هوایی، تخریب لایه اُزن و آسیب به تنوع زیستی شده است. منابع انرژی‌های نو، اساساً بدون کربن بوده و اغلب پایدارتر از سوخت‌های فسیلی و هسته‌ای است، اگرچه هنوز تمام فناوری‌های آن تکامل و توسعه نیافته و قیمت برخی از آن‌ها بالاست، ولی بهبود دیدگاه بسیاری از صاحب‌نظران و استادان، سیاستمداران و مردم در مورد انرژی‌های نو و اینکه قادر است بخش زیادی از نیازهای انرژی جهان را تا نیمه قرن بیست و یکم تأمین کند، موجب افزایش سرمایه‌گذاری در پژوهش، توسعه و به‌کارگیری آن‌ها می‌شود [۱]. بیوفیول^۱ یا سوخت زیستی نوعی سوخت جامد، مایع و یا گاز است که از دامنه وسیعی از منابع زیست‌توده شامل انواع محصولات زراعی، بقایای کشاورزی و جنگلی، گیاهان آبی، فضولات حیوانی، پسماندهای شهری و صنعتی، چربی‌ها و روغن‌های گیاهی، حیوانی و ضایعاتی به دست می‌آید. هرچند تنوع گسترده‌ای از سوخت‌های زیستی وجود دارد، اما پرکاربردترین آن‌ها، اتانل زیستی، دیزل زیستی و گاز زیستی هستند. در میان سوخت‌های زیستی، بیودیزل^۲ (زیست‌دیزل) به عنوان یکی از سوخت‌های پاک مطرح می‌شود. کلمه بیو، بیانگر تجدیدپذیر بودن منابع این سوخت؛ و کلمه دیزل، مربوط به استفاده از آن در موتورهای دیزلی می‌شود. استفاده از زیست‌دیزل به نسبت سوخت‌های فسیلی، اثرات محیط زیستی پایین‌تری دارد، چرا که در احتراق این سوخت، گازهای گلخانه‌ای، دی‌اکسید کربن و گوگرد کمتری تولید می‌شود. زیست‌دیزل را می‌توان از پسماندهای مواد غذایی، چربی حیوانی و یا فاضلاب شهری تولید کرد. تولید زیست‌دیزل از طرف بیشتر کشورهای صنعتی دنیا به‌ویژه آمریکا و اعضای اتحادیه اروپا مورد حمایت قرار گرفته است [۲].

ایران یکی از سه کشور بزرگ تولیدکننده نفت و فرآورده‌های نفتی در جهان به شمار می‌رود، اما متأسفانه بخش بزرگی از سوخت مورد نیاز خود را همچنان از خارج از کشور تأمین می‌کند. با وجود اتخاذ سیاست‌هایی همچون، سهمیه‌بندی کردن بنزین، خارج کردن خودروهای فرسوده و همچنین، گازسوز کردن خودروها، این شیوه‌ها در بلندمدت، مشکل‌گشا نخواهند بود، چراکه علاوه بر مسائلی مانند هزینه‌ها و میزان مصرف، مشکلات دیگری همچون پایان‌پذیری و آلاینده‌های سوخت‌های فسیلی، به طور روزافزون در حال شدت گرفتن است. به علت استفاده صنایع بزرگ و خودروهای سنگین از سوخت دیزل به عنوان سوخت اصلی، مشکل آلاینده‌ها در این بخش‌ها نیز یکی از معضلات جدی به حساب می‌آید. بنابراین، معرفی بیودیزل به عنوان سوختی جدید می‌تواند راه‌حلی برای بسیاری از مشکلات مطرح‌شده باشد [۳]. در خصوص ضرورت پرداخت در حوزه انرژی زیست‌دیزل، علاوه بر موارد یادشده، تعهد کشور به اجرای کنوانسیون‌های بین‌المللی، ازجمله ضمیمه ششم کنوانسیون مارپل^۳، مبنی بر الزام استفاده از سوخت کم سولفور در کشتی‌ها و شناورهای دریایی، که توسط سازمان بین‌المللی دریانوردی آی‌مو^۴ از سال ۲۰۲۰ میلادی، به اجرا درآمده است؛ اهمیت انجام تحقیقات مرتبط با این حوزه را به‌روشنی نمایان می‌سازد. با وجود فعالیت‌هایی که در حیطه انرژی‌های تجدیدپذیر و مصرف آن در دنیا انجام شده و یا در حال انجام است، متأسفانه هنوز در کشور ایران شاهد فعالیت‌های سازماندهی‌شده و درخور توجه در این زمینه نبوده‌ایم. درواقع، یکی از ضعف‌های بزرگ مدیریتی در ایران، عدم توجه به آینده و اتخاذ تصمیمات در لحظات واپسین به صورت انفعالی و واکنشی است. توجه به انرژی‌های نویی که هر یک خصوصیات و ویژگی‌های خاص خود را دارند، چه در موارد مصرف انرژی و چه در بخش تولید انرژی، بسیار حائز اهمیت است و درواقع، لازمه بقا و رشد این حوزه، به شمار می‌رود. متنوع کردن سبد انرژی مصرفی کشور امری بسیار حیاتی و استراتژیک بوده، و حداقل به دو دلیل حائز اهمیت است؛ یکی «امنیت انرژی» و دیگری «حفاظت از محیط زیست و بهبود سطح سلامت در کشور». بنابراین، با توجه به مواردی که گفته شد، تلاش می‌شود در پژوهش حاضر با بررسی پیشران‌ها و عوامل کلیدی مؤثر بر آینده انرژی

1. Biofuels
2. Biodiesel
3. MARPOL
4. IMO

زیست‌دیزل در ایران، و شناسایی سناریوهای محتمل آینده؛ برنامه‌های چندگانه ارائه داد، به طوری که با در نظر گرفتن محتمل‌ترین وضعیت، بتوان تهدیدها و فرصت‌ها را شناسایی و ارزیابی کرد و از این طریق، برای رسیدن به نتیجه مطلوب، با استفاده از چند برنامه و سیاست‌گذاری صحیح، که به فراخور هر وضعیت تدوین شده است، مانع از آزمون و خطا کردن شد و در مسیر درست هدف قرار گرفت.

آینده‌پژوهی را می‌توان مجموعه تلاش‌هایی دانست، که با استفاده از تجزیه و تحلیل منابع و الگوها، به تجسم آینده‌های بالقوه و برنامه‌ریزی برای آن‌ها می‌پردازد. در یک تعریف ساده و در عین حال بسیار ژرف، آینده‌پژوهی «علم و هنر کشف آینده و شکل بخشیدن به دنیای مطلوب فردا» عنوان شده است. در این تعریف، سه مؤلفه کلیدی وجود دارد؛ نخست آنکه، آینده‌پژوهی تنها یک علم صرف نیست، بلکه تلفیقی از علم و هنر است. مؤلفه مهم دیگر اشاره به «کشف آینده» است، در واقع در اینجا، تأکید بر شناسایی و کشف آینده بر مبنای روابط علت و معلولی معینی است. مؤلفه سوم و بسیار حائز اهمیت در این تعریف «شکل بخشیدن به دنیای مطلوب فردا» است، این مؤلفه کلیدی نشان دهنده آن است که آینده‌پژوهی در صدد است تا پا را فراتر از پیش‌بینی و کشف آینده بگذارد و بر شکل دادن به آینده تأکید کند [۴].

در سال ۱۳۸۴ مرکز انرژی‌های نو سازمان انرژی اتمی ایران در تهران، برای اولین بار سمینار بیوگاز را در محل آن سازمان برگزار کرد، که همین امر، موجب شروع حرکت منسجم علمی، برای گرد هم آوردن علاقه‌مندان و متخصصان تحقیق پیرامون سوخت‌های تجدیدپذیر بیولوژیک شد. بزرگ‌ترین تولیدکننده زیست‌دیزل جهان، اتحادیه اروپا است، که ۵۳ درصد از کل تولید زیست‌دیزل را در جهان به خود اختصاص داده است. طبق گزارش آژانس بین‌المللی انرژی، سوخت‌های زیستی پتانسیل رسیدن به بیش از یک چهارم درخواست جهانی برای سوخت‌های حمل‌ونقل را تا سال ۲۰۵۰ خواهند داشت. پیشگامان توسعه و استفاده از سوخت‌های زیستی در جهان عبارت‌اند از: برزیل، آمریکا، فرانسه، سوئد و آلمان. روسیه نیز با در اختیار داشتن ۲۲ درصد از جنگل‌های جهان، یک تأمین‌کننده بزرگ زیست‌توده است. سوخت‌های زیستی در حال حاضر ۳/۱ درصد از کل سوخت حمل‌ونقل جاده‌ای در انگلیس یا ۱۴۴۰ میلیون لیتر را تشکیل می‌دهند. در سال ۲۰۲۰، ۱۰ درصد از انرژی مورد استفاده در حمل‌ونقل جاده‌ای و ریلی در انگلیس، قرار است از منابع تجدیدپذیر فراهم آید [۱]. برای شناسایی سناریوهای محتمل انرژی بیودیزل، لازم است عوامل کلیدی تأثیرگذار بر آن مورد بررسی قرار گیرند. در این پژوهش، برای شناسایی عوامل کلیدی، مروری بر ادبیات مرتبط انجام شده است. پس از استخراج عوامل کلیدی، نظرات کارشناسان این صنعت در ایران نیز اضافه خواهد شد.

در ادامه پژوهش، به برخی از مطالعات انجام‌شده در این زمینه پرداخته خواهد شد. رحمت پناهی [۵] مقاله‌ای تحت عنوان «آخرین دستاوردها در تولید پایدار سوخت‌های زیستی بر پایه میکرو جلبک‌ها و نقش آن‌ها در کاهش آلودگی منابع آب و هوا»، انجام داده است و چنین نتیجه‌گیری می‌کند که با توجه به پیشرفت‌های زیست‌فناورانه در این حوزه، همچنین با استفاده از مهندسی ژنتیک، برای افزایش رشد، تولید و تسهیل شرایط رشد میکروجلبک‌ها، پیشرفت‌های چشمگیری حاصل شده است که نویدبخش افق روشن برای این صنعت در آینده است. شریفیان و رضایی [۶] در مقاله‌ای تحت عنوان «ارائه مدلی به منظور رتبه‌بندی پیشران‌های استراتژیک انرژی‌های تجدیدپذیر با استفاده از رویکرد ترکیبی دلفی، دیمتل و تحلیل شبکه‌ای فازی»، به رتبه‌بندی پیشران‌های اثرگذار حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران پرداختند. پیشران‌های توانمندی تکنولوژیک و ثبات سیاسی به عنوان بااهمیت‌ترین پیشران‌ها در تدوین سناریوهای آینده حوزه انرژی‌های تجدیدپذیر و خلق برنامه‌های استراتژیک قرار گرفتند. پالاک^۱ و همکارانش [۷] در مقاله‌ای با عنوان «تحلیل تأثیر مکانیزم‌های تنظیمی کربن بر تصمیمات انتخاب تأمین‌کننده و شیوه حمل‌ونقل: کاربردی در زنجیره تأمین سوخت زیستی» اشاره کرده‌اند که مکانیزم‌های تنظیمی کربن تأثیر قابل توجهی بر زمان‌بندی تأمین موجودی دارند و در نتیجه، بر هزینه‌ها و انتشار آلاینده‌ها در زنجیره تأمین اثر می‌گذارند. ایاکوو^۲ و همکاران [۸] در مقاله‌ای با عنوان «مدیریت زنجیره تأمین تبدیل زیست‌توده به انرژی: یک ترکیب انتقادی» نشان دادند تولید انرژی از زیست‌توده یک حوزه تحقیقاتی با رشد سریع است که عمدتاً بر فناوری‌های تولید انرژی از زیست‌توده تمرکز دارد. با این حال، تعداد بسیار کمی از مطالعات به مسائل

مهم مدیریت زنجیره تأمین پرداخته‌اند و آن‌هایی که به این موضوع می‌پردازند، عمدتاً بر ارزیابی زیست‌توده بالقوه و تخصیص مکان‌های جمع‌آوری زیست‌توده و تأسیسات تولید انرژی تمرکز دارند. آگول^۱ و همکارانش [۹] در مقاله‌ای با عنوان «مدلی MILP برای طراحی استراتژیک زنجیره تأمین بیواتانول در انگلستان» چارچوبی بهینه‌ساز برای شبکه زنجیره تأمین بیواتانول ترکیبی نسل اول/دوم ارائه کردند. یک سناریوی تقاضا بر اساس هدف تعیین‌شده اتحادیه اروپا برای سوخت‌های زیستی در سال ۲۰۲۰ مورد بررسی قرار گرفته است. واردات زیست‌توده نیز به عنوان گزینه‌ای ممکن برای تأمین تقاضای داخلی اتانول در نظر گرفته شده است. استفاده پایدار از محصولات زیست‌توده نسل اول نیز در نظر گرفته شده تا از هر گونه تأثیر منفی بر تولید مواد غذایی جلوگیری شود. در تحقیقی که منظور و نیاکان [۱۰] با عنوان «توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور: موانع و راهبردها» انجام داده‌اند، سعی شد که به بررسی موانع توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور پرداخته شود. در این تحقیق آمده است که لازمه استفاده از فناوری‌های انرژی‌های تجدیدپذیر و توسعه بازار این نوع از انرژی‌ها، رفع موانع قانونی و سازمانی موجود در کشور است. و در نهایت نقشه راه توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر را در رویکرد سه‌مرحله‌ای، به شرح زیر توصیف کردند: استفاده از محرک‌های سیاسی - تشویقی، بهبود رقابت و مقررات فضای بازار و افزایش بیش از پیش فعالیت‌های مربوط به توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر. ون دائل^۲ و همکاران [۱۱] در مقاله‌ای با عنوان «تعیین مکان‌های بالقوه برای ارزش‌آفرینی زیست‌توده با استفاده از یک رویکرد غربالگری کلان» بیان کردند که سیاست اروپایی اعلام می‌دارد که تا سال ۲۰۲۰ حداقل ۲۰ درصد از مصرف نهایی انرژی باید از منابع انرژی تجدیدپذیر تأمین شود. در این مطالعه، یک رویکرد غربالگری کلان برای تعیین مکان‌های بالقوه به منظور ارزش‌آفرینی زیست‌توده در یک منطقه مشخص توسعه داده شد. نتایج به‌دست‌آمده، اسکن اولیه‌ای متعادل از امکانات تولید انرژی با استفاده از زیست‌توده منطقه‌ای ارائه می‌دهد. به این ترتیب، سیاست‌گذاران و سرمایه‌گذاران می‌توانند برای بررسی جزئی‌تر امکان ساخت نیروگاه‌های تولید انرژی در مکان‌های خاص، که می‌توان آن را به عنوان «غربالگری خرد» توصیف کرد، حمایت و انگیزه دریافت کنند. گلزاری و همکاران [۱۲] در مقاله‌ای با عنوان «تولید گازوئیل زیستی از جلبک و تولید برق و حرارت از لجن در تصفیه‌خانه فاضلاب شهری» به بررسی قابلیت‌های تولید زیست‌دیزل در ایران، پرداختند و عنوان کردند که زیست‌دیزل، به عنوان یک منبع جایگزین سوختی در ایران، می‌تواند نقش مؤثری را، در برآورد تقاضای انرژی ایفا کند. آن‌ها چارچوبی منطقی از پارامترهای اقتصادی، کشاورزی، تکنولوژیکی و اقتصادی زنجیره تأمین زیست‌دیزل در ایران، که شامل منابع، تولید، توزیع و مصرف می‌شود را ارائه دادند و همچنین، به ارزیابی تولید زیست‌دیزل در مکان‌های مختلف جغرافیایی در ایران پرداختند. عرب و براتی ملابری [۱۳] در مقاله‌ای با عنوان «مقایسه تطبیقی سیاست‌های انرژی ایران با سیاست‌های انرژی در کشورهای عضو آژانس بین‌المللی انرژی»، به این نتیجه دست یافتند که هدف اصلی در ایران، متنوع کردن حامل‌های انرژی و افزایش امنیت عرضه انرژی بوده و سیاست‌های بهبود کارایی انرژی و اثرات زیست‌محیطی چندان مورد توجه قرار نگرفته است. نائینی و همکاران [۱۴] مقاله‌ای با عنوان «تحلیل توسعه تولید بیودیزل نسل سوم از ریزجلبک‌ها با یک روش نوین تصمیم‌گیری ترکیبی: مورد ایران» منتشر کردند. آن‌ها برای انجام تحلیلی جامع از توسعه بیودیزل در ایران، در این مقاله از ساختار قوت - ضعف - فرصت - تهدید برای دستیابی به استراتژی‌های مناسب استفاده کردند. این استراتژی‌ها با استفاده از یک روش تصمیم‌گیری گروهی در محیط زبانی فازی رتبه‌بندی شدند. نتایج پژوهش یادشده نشان داد حمایت دولت با یارانه و سیاست‌های مالی، یک ضرورت در تولید بیودیزل نسل سوم از ریزجلبک‌ها محسوب می‌شود. علاوه بر این، توسعه فناوری‌ها و تشویق بخش خصوصی به سرمایه‌گذاری در این حوزه نیز از استراتژی‌های مهم به شمار می‌روند. وینل و مورتاز [۱۵] در مقاله‌ای با عنوان «تجمع بهینه منابع انرژی تجدیدپذیر با رویکرد ریسک‌گریز: پیامدها برای سبد انرژی ایالات متحده» نشان دادند با برنامه‌ریزی استراتژیک برای تنوع جغرافیایی و فناوری ظرفیت تولید انرژی تجدیدپذیر، می‌توان ریسک‌های مربوط به یک سبد انرژی مبتنی بر منابع تجدیدپذیر در ایالات متحده را کاهش داد. در این مطالعه، باد و خورشید به عنوان تنها منابع تولید در نظر گرفته شدند و از بهینه‌سازی تصادفی ریسک‌گریز با استفاده از مقدار شرطی در معرض ریسک برای بهینه‌سازی مکان‌ها و ظرفیت‌های تولید انرژی در یک مطالعه موردی ایده‌آل استفاده شد. سبدهای بهینه منابع انرژی تجدیدپذیر، بهبود قابل توجهی در

1. Akgul

2. Van Dael

3. Macro screening

پروفایل تولید نسبت به گزینه‌های غیرتجمعی یا غیربهمینه نشان می‌دهند. این نتایج تأیید می‌کند که با برنامه‌ریزی سیاستی هوشمند، می‌توان محدودیت‌های ریسک عدم تعادل در سبدهای مبتنی بر انرژی تجدیدپذیر در ایالات متحده قاره‌ای را کاهش داد و بر اهمیت تفکر سیستمی در طراحی یک سبد انرژی بزرگ‌مقیاس تأکید می‌کند. لی و چانگ^۱ [۱۶]، مقاله‌ای با عنوان «تحلیل مقایسه‌ای روش‌های MCDM برای رتبه‌بندی منابع انرژی تجدیدپذیر در تایوان» منتشر کردند. هدف این مطالعه، رتبه‌بندی اولویت‌های مختلف منابع انرژی تجدیدپذیر و ارائه توصیه‌هایی برای توسعه انرژی تجدیدپذیر در تایوان بود. نتایج رتبه‌بندی نشان داد انرژی آبی بهترین گزینه در تایوان است و پس از آن به ترتیب انرژی خورشیدی، بادی، زیست‌توده و زمین‌گرمایی قرار دارند. علاوه بر این، تحلیل حساسیت وزن معیارها انجام شد، زیرا نتایج رتبه‌بندی به شدت به وزن معیارها وابسته است. نتایج تحلیل حساسیت نشان داد هنگامی که بر جنبه‌های مالی یا فنی تمرکز می‌شود، انرژی آبی بهترین گزینه است، زیرا فناوری آن بالغ‌ترین و هزینه آن در تایوان پایین‌ترین است. همچنین، از منظر زیست‌محیطی، انرژی بادی بهترین انتخاب است و از منظر اجتماعی، انرژی خورشیدی فتوولتائیک بهترین گزینه محسوب می‌شود. چولاک^۲ و کایا [۱۷] در مقاله‌ای با عنوان «اولویت‌بندی گزینه‌های انرژی تجدیدپذیر با استفاده از یک مدل MCDM فازی یکپارچه: یک مطالعه موردی واقعی برای ترکیه»، یک مدل MCDM یکپارچه مبتنی بر مجموعه‌های فازی برای اولویت‌بندی گزینه‌های انرژی تجدیدپذیر در ترکیه پیشنهاد دادند. مدل فازی پیشنهادی MCDM، فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی مبتنی بر مجموعه‌های فازی نوع ۲ فاصله‌ای و روش‌های فازی مردد TOPSIS را ترکیب می‌کند. از آنجا که مجموعه‌های فازی نوع ۲ که توابع عضویت آن‌ها نیز فازی هستند و مجموعه‌های فازی مردد که امکان مدیریت موقعیت‌هایی را فراهم می‌کنند که یک عنصر دارای چندین مقدار عضویت است، بهتر قادر به مدل‌سازی عدم قطعیت‌ها در فرایند تصمیم‌گیری هستند، در این مقاله یک روش‌شناسی MCDM مبتنی بر این دو روش برای ارزیابی گزینه‌های انرژی تجدیدپذیر در ترکیه پیشنهاد شد. عابدی و ابراهیمی‌نیا [۱۸] پژوهشی با عنوان «ارزیابی پتانسیل انرژی‌های تجدیدپذیر در استان سیستان و بلوچستان: منابع انرژی خورشیدی، بادی، زمین‌گرمایی و زیستی» انجام دادند. نتایج این پژوهش نشان داد انرژی تولیدشده در طراحی سیستم هیبرید زمین‌گرمایی و خورشیدی با تقاضای خانگی در منطقه به ترتیب معادل ۸۶۳۷ KWh و ۸۸۵۸ KWh در سال است که به صرفه‌جویی معادل ۲۲۵۶۶ KWh انرژی و جلوگیری از انتشار ۵۵۸۵ Kg دی‌اکسید کربن در سال منجر می‌شود. نتایج حاصل از این مطالعه، کارایی و پتانسیل قابل توجه انرژی‌های تجدیدپذیر در تأمین انرژی مورد نیاز در استان سیستان و بلوچستان را نشان داد که می‌تواند به عنوان راهکار ارزشمندی به منظور برون‌رفت از چالش‌های تأمین تقاضای انرژی و توسعه پایدار منطقه مورد توجه قرار گیرد.

در این قسمت پیشینه مربوط به آینده‌پژوهی مورد بررسی قرار می‌گیرد، چرا که پژوهش حاضر بر آن است تا با استفاده از آینده‌پژوهی و سناریونویسی، ضمن شناسایی عوامل مؤثر بر انرژی زیست‌دیزل، به روندهای تأثیرگذار بر آینده این حوزه، تحلیل اثرات این عوامل بر یکدیگر و دسته‌بندی آن‌ها بپردازد. قنبری و همکاران [۱۹] در مقاله‌ای تحت عنوان «تحلیلی بر وضعیت مصرف انرژی در چارچوب آینده‌پژوهی؛ مطالعه موردی: شهرستان تبریز»، به بررسی و شناسایی مهم‌ترین پیشران‌ها یا عوامل مؤثر، و تدوین سناریوهای مطلوب و مؤثر در وضعیت آینده مصرف انرژی در شهرستان تبریز پرداخته‌اند. نتیجه اصلی این تحقیق حاکی از آن است که وضعیت آینده مصرف انرژی در شهرستان تبریز، بیشتر ادامه‌دهنده شرایط فعلی با روندی نامطلوب و نامساعد شدن شرایط خواهد بود، از این‌رو نیازمند توجه ویژه مسئولان و نهادهای مدیریتی و مرتبط در جهت بهبود شرایط است. مینو و همکاران [۲۰] مقاله‌ای با عنوان «ارائه چارچوب فرایندی شناسایی عدم قطعیت‌ها و پیشران‌ها (مورد مطالعه: نفت و انرژی)» منتشر کردند. این پژوهش، به منظور رفع مشکلات روش‌های موجود شناسایی پیشران‌ها و عدم قطعیت‌ها که عمدتاً زمان‌بر و مبتنی بر مراحل و فرایندهای متوالی و پیچیده هستند، صورت گرفت. در طراحی چارچوب پیشنهادی، ابتدا سناریوهای موجود بررسی، و عدم قطعیت‌های کلیدی استخراج و دسته‌بندی شدند سپس به موازات آن، نیروهای پیشران نیز مورد شناسایی قرار گرفتند. در پایان نیروهای پیشران به تفکیک عدم قطعیت‌ها دسته‌بندی شدند. چهارسوقی و رحمتی [۲۱] در پژوهشی تحت عنوان «آینده‌پژوهی در حوزه انرژی و بررسی مقوله امنیت

انرژی کشور» با توجه به نقش اساسی آینده‌پژوهی در حوزه انرژی، به «فرایند برنامه‌ریزی سناریو» به منظور «بررسی مقوله امنیت انرژی کشور» پرداختند. نتایج تحقیق یادشده نشان داد مقوله امنیت انرژی، تحت الشعاع عوامل متعدد از جمله روابط سیاسی، تحریم‌ها، تأمین منابع مالی و غیره، قرار می‌گیرد. بنابراین به منظور تأمین امنیت انرژی، نیاز به استراتژی‌های چندوجهی که بتوانند در موقعیت‌های متفاوت پاسخ‌گو باشد، ضروری به نظر می‌رسد. فیروز [۲۲] در مقاله‌ای با عنوان «ایران و انرژی‌های تجدیدپذیر؛ بررسی آینده با روش برنامه‌ریزی مبتنی بر سناریو» به بررسی اصول برنامه‌ریزی مبتنی بر سناریو، در مبحث انرژی پرداخت. در بخش پایانی این مقاله، چهار سناریو محتمل در بحث انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران بیان شد و نحوه تأثیر این سناریوها در برنامه‌ریزی استراتژیک انرژی کشور مشخص شد. ابراهیم‌زاده و همکاران [۲۳] پژوهشی با عنوان «آینده‌پژوهی تحولات ژئوپلیتیک انرژی در ایران، با تأکید بر جایگاه انرژی‌های پاک»، انجام دادند. بر اساس سناریو مطلوب تدوین‌شده در این تحقیق، بهبود بهره‌برداری از انرژی‌های پاک، موجب افزایش تولیدکنندگان و به تبع آن، افزایش اشتغال‌زایی، افزایش گزینه‌های پیش روی مصرف‌کنندگان و همچنین، گسترش همکاری‌های بین‌المللی و نقش پررنگ در بهره‌برداری و صادرات انرژی‌های پاک می‌شود. هرسچ ثانی و رضایی [۲۴] در مقاله‌ای با عنوان «توسعه انرژی خورشیدی در چارچوب آینده‌پژوهی (مطالعه موردی: کشور ایران)» به بررسی و شناسایی مهم‌ترین عوامل مؤثر بر توسعه انرژی خورشیدی و میزان چگونگی تأثیرگذاری این عوامل بر یکدیگر با استفاده از نرم‌افزار MICMAC و تبیین وضعیت‌های محتمل، پرداختند. نتایج حاصل از این پژوهش، پیشران‌های کلیدی توسعه انرژی خورشیدی در ایران را نشان داد. خاتمی نیا و ایوبی [۲۵] پژوهشی با عنوان «تحلیل سناریوهای آینده انرژی جهان، موردکاوی انرژی‌های نو و تجدیدپذیر در سید انرژی ایران» انجام دادند. در این پژوهش، ضمن پرداختن به مفاهیم سناریونویسی و روش‌های نگارش آن، سناریوهای آینده‌پژوهی حوزه انرژی در دنیا، مورد بررسی قرار گرفت. همچنین در این تحقیق به سناریوهای آینده‌پژوهی در ایران نیز پرداخته شد و درنهایت، در قالب یک مدل پیشنهادی، آینده انرژی جهان و ایران به تصویر کشیده شد. گندم‌زاده و همکاران [۲۶] در مقاله‌ای با عنوان «سناریوهای توسعه برای ذخیره‌سازی انرژی الکتریکی در کشور ایران با روش ماتریس اثر متقابل»، در قالب ۹ سناریو، مسیری را برای رسیدن به اهداف متفاوت در فضای حالت معرفی کردند: ۷ سناریو توسعه فناوری در بخش انرژی را دنبال کردند و ۲ سناریو، توسعه فناوری در بخش راهبردی صنعت و معدن را در پیش گرفتند. طبق نتایج، مشخص شد ۸ توصیف‌کننده فقط در یک حالت سازگار شدند و ۵ توصیف‌کننده باقی‌مانده در بیشتر از یک حالت سازگار معنا پیدا کردند. رشد منابع تولید پراکنده تا ۱۵ هزار مگاوات برای گسترش سامانه‌های تولید هم‌زمان برق و حرارت و همچنین، استفاده در مناطق دور از شبکه و تعیین ضریب نفوذ منابع تجدیدپذیر به میزان ۱۰ هزار مگاوات در شبکه انرژی الکتریکی کشور از حالت‌های مهم کمی برگزیده‌شده در توصیف‌کننده‌ها بودند.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود، در سال‌های اخیر، تحقیقات گسترده‌ای درخصوص آینده انرژی، در سراسر جهان توسط دولت‌ها، شرکت‌ها و سازمان‌های غیردولتی انجام پذیرفته است، که در بیشتر آن‌ها، به نقش مهم و در حال گسترش انرژی‌های نو اشاره شده است. در ایران نیز مانند سایر کشورهای دنیا تولید و گسترش استفاده از سوخت‌های تجدیدپذیر رو به افزایش است. در میان انرژی‌های تجدیدپذیر سوخت‌های زیستی از جمله سوخت زیستی مایع با شیب کمتری در حال پیشرفت است. و با وجود گذشت چند دهه از تولید، توزیع، و کاربرد سوخت‌های بیوفیول مایع در کشورهای جهان، تحقیقات انجام‌شده پیرامون این نوع از سوخت‌ها در ایران قدمت زیادی ندارند. می‌توان چنین بیان کرد که اگر بیوفیول در جهان، دوران نوجوانی و حتی در بعضی از کشورها نظیر برزیل دوران جوانی خود را می‌گذراند، در ایران در حال سپری کردن دوران طفولیت است. بنابراین، با توجه به مواردی که گفته شد، تلاش می‌شود در پژوهش حاضر با بررسی پیشران‌ها و عوامل کلیدی مؤثر بر آینده انرژی زیست‌دیزل در ایران، و شناسایی سناریوهای محتمل آینده؛ برنامه‌های چندگانه ارائه داد، به طوری که با در نظر گرفتن محتمل‌ترین وضعیت، بتوان تهدیدها و فرصت‌ها را شناسایی و ارزیابی کرد و از این طریق، برای رسیدن به نتیجه مطلوب، با استفاده از چند برنامه و سیاست‌گذاری صحیح، که به فراخور هر وضعیت تدوین شده است، مانع از آزمون و خطا کردن شد و در مسیر درست هدف قرار گرفت.

۲. مواد و روش

این پژوهش به لحاظ هدف، یک مطالعه کاربردی است و از نظر ماهیت و روش گردآوری داده‌ها، توصیفی بوده و به صورت مطالعه موردی انجام شده است. روش تحقیق به‌کاررفته، ترکیبی است و شامل دو بخش اصلی می‌شود: در مرحله نخست، از

رویکرد کیفی (مصاحبه‌های عمیق) برای شناسایی عوامل کلیدی تأثیرگذار بر آینده انرژی زیست‌دیزل در ایران استفاده شده است. در مرحله دوم، با بهره‌گیری از رویکرد کمی (تحلیل تأثیرات متقابل) و از طریق توزیع پرسش‌نامه، داده‌ها جمع‌آوری شده و برای تدوین سناریوهای واقع‌گرایانه و انتخاب محتمل‌ترین سناریوی آینده انرژی زیست‌دیزل مورد استفاده قرار گرفته‌اند. جامعه آماری این تحقیق، شامل ۱۹ نفر از متخصصان مرتبط با این حوزه است که به صورت هدفمند انتخاب شده‌اند. این افراد شامل کارشناسان انرژی‌های تجدیدپذیر، متخصصان در زمینه بیودیزل و زیست‌فناوری، مهندسان شیمی و محیط زیست، سیاست‌گذاران انرژی، اقتصاددانان حوزه انرژی، و پژوهشگران توسعه پایدار هستند. شایان یادآوری است که در روش‌های مبتنی بر نظر خبرگان، تعداد نمونه آماری به صورت دقیق یا از طریق فرمول مشخص تعیین نمی‌شود.

۳. یافته‌ها

در این بخش ابتدا عوامل مؤثر بر آینده انرژی زیست‌دیزل در ایران از ادبیات تحقیق و مصاحبه با خبرگان استخراج شد که تعداد آن‌ها ۲۵ عدد بود. جدول ۱ پیشران‌های تأثیرگذار بر حوزه انرژی زیست‌دیزل را نشان می‌دهد. برای تأیید این پیشران‌ها، پرسش‌نامه خبره‌سنجی پنج‌گزینه‌ای لیکرت که شامل ۲۵ سؤال از عوامل مؤثر بر آینده انرژی زیست‌دیزل در ایران بود، طراحی شد. سپس، پرسش‌نامه در اختیار ۱۹ نفر از خبرگان قرار گرفت که همه خبرگان به پرسش‌نامه جواب دادند. نتایج پرسش‌نامه با نرم‌افزار Spss تحلیل شد و ۱۰ پیشران کلیدی، با توجه به فرض‌های آماری مربوط به آن‌ها در سطح خطای ۰/۰۵، بر اساس نظر خبرگان انتخاب شد. جدول ۲ پیشران‌های نهایی غربال شده را نشان می‌دهد.

جدول ۱. فهرست پیشران‌های تأثیرگذار بر حوزه انرژی زیست‌دیزل

پیشران	منبع
۱ کارایی انرژی‌های نو	Wu et al. [27], Arab and Barati Malayeri [13]
۲ میزان پایداری زیست‌محیطی	Baudry et al. [28]
۳ فعالیت‌های سیاسی و اجتماعی مدافع محیط زیست	Amiri and Nilipour Tabatabai [29]; Sharifian and Rezaei [6]
۴ قوانین زیست‌محیطی	Chaharsooqi and Rahmati [21]; Amiri and Nilipour Tabatabai [29]; Manzoor and Niakan [10]; Palak et al. [7]; مصاحبه
۵ سرمایه‌گذاری داخلی و خارجی	Esmaeili Razavi and NasrEsfahani [30]; Chaharsooqi and Rahmati [21]
۶ میزان تقاضای انرژی	Voser [31]; مصاحبه
۷ بازارهای تجارت منطقه‌ای انرژی‌های نو	Paltsev and Reily [32]; Voser [31]
۸ میزان رشد فناوری صنعت انرژی زیست‌دیزل	Rezaian Ghiebashhi and Marzban [33]; Sharifian and Rezaei [6]; Voser [31]; Naeini et al. [14]
۹ سطح دانش در حوزه انرژی زیست‌دیزل	Harsij Sani and Rezaei [24]; مصاحبه
۱۰ سهم زیست‌دیزل در سبد انرژی کشور	Amiri and Nilipour Tabatabai [29]; Rezaian Ghiebashhi and Marzban [33]; Naeini et al. [14]
۱۱ بهره‌وری اقتصادی	Ghanbari et al. [19]; Golzari et al. [12]
۱۲ آلودگی ناشی از سوخت‌های فسیلی	Harsij Sani and Rezaei [24]; Rahmat Panahi [5]; Arab and Barati Malayeri [13]
۱۳ میزان توجه به محیط زیست (سیاست‌گذاری سطح کلان در حوزه زیست‌دیزل)	Naeini et al. [14]; Vinel and Mortaz [15]; Ghanbari et al. [19]
۱۴ قیمت سوخت و حامل‌های انرژی	Rezaian Ghiebashhi and Marzban [33]; مصاحبه
۱۵ نقش ایران در مؤسسات بین‌المللی انرژی	Amiri and Nilipour Tabatabai [29]
۱۶ میزان سرانه مصرف انرژی	Rezaian Ghiebashhi and Marzban [33]
۱۷ بازار دولتی	مصاحبه
۱۸ منابع انرژی	Çolak and Kaya [17]; Voser [31]
۱۹ تحریم‌های اقتصادی	Ahmadi et al. [34]; Maleki et al. [35]; Rashid Ardeh and Khazaei [36]; Chaharsooqi and Rahmati [21]; مصاحبه
۲۰ قیمت انرژی زیست‌دیزل	Harsij Sani and Rezaei [24]; Lee and Chang [16]; مصاحبه
۲۱ سهم زیست‌دیزل در معادلات بین‌المللی	Amiri and Nilipour Tabatabai [29]; Interview
۲۲ صادرات و واردات زیست‌دیزل و تولیدات آن	Harsij Sani and Rezaei [24]; Akgul et al. [9]; مصاحبه
۲۳ مشارکت بخش خصوصی در حوزه انرژی زیست‌دیزل	Harsij Sani and Rezaei [24]; Naeini et al. [14]; مصاحبه
۲۴ مدیریت زنجیره تأمین	Iakovou et al. [8]; Akgul et al. [9]; Golzari et al. [12]
۲۵ مکان‌هایی برای ارزش‌آفرینی زیست‌توده	Van Dael et al. [11]; Iakovou et al. [8]; Golzari et al. [12]; Harsij Sani and Rezaei [24]

جدول ۲. لیست مهم‌ترین عوامل غربال‌شده تأثیرگذار بر آینده انرژی زیست‌دیزل در ایران

ردیف	پیشران‌های نهایی غربال‌شده
۱	مشارکت بخش خصوصی در حوزه انرژی زیست‌دیزل
۲	سهم زیست‌دیزل در سبد انرژی کشور
۳	بهره‌وری اقتصادی
۴	میزان توجه به محیط زیست
۵	قیمت سوخت و حامل‌های انرژی
۶	میزان سرانه مصرف انرژی
۷	بازار دولتی و آزاد
۸	تحریم‌های اقتصادی
۹	سطح دانش در حوزه انرژی زیست‌دیزل
۱۰	سرمایه‌گذاری داخلی و خارجی

پس از شناسایی فهرست پیشران‌های تأثیرگذار، این پیشران‌ها برای تحلیل و اولویت‌بندی در ماتریس تحلیل تأثیر متقابل قرار گرفتند. در این مرحله، یک پرسشنامه استاندارد طراحی و در اختیار خبرگان قرار داده شد تا نظرات آن‌ها گردآوری شود. سپس، میانگین پاسخ‌های دریافتی محاسبه شد و به صورت جدول ۳ برای ورود به نرم‌افزار Mic Mac آماده شد.

جدول ۳. ماتریس تأثیرات متقابل پیشران‌های کلیدی

10 : سرمایه‌گذا	9 : سطح دانش	8 : تحریم‌های	7 : بازار دولتی	6 : میزان سوخت	5 : قیمت سوخت	4 : میزان توجه	3 : بهره‌وری	2 : سهم زیست	1 : مشارکت بخش
0	2	2	0	0	0	2	0	2	0
0	0	1	0	0	3	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0	3	0	0	0
0	1	0	0	2	0	0	0	0	0
1	0	0	3	0	0	3	0	2	0
0	0	1	0	0	3	0	1	0	1
1	0	2	0	0	0	3	0	3	1
3	1	0	2	0	0	1	0	2	3
0	0	2	0	0	0	2	0	0	0
0	0	0	0	2	0	0	0	0	1

© LIPSOR-EPTA-MICMAC

پس از اینکه داده‌های پرسشنامه وارد نرم‌افزار شد، تأثیرات پیشران‌های مؤثر بر آینده انرژی زیست‌دیزل در ایران به صورت مستقیم و غیر مستقیم محاسبه شد. که در جدول‌های ۴ و ۵ ماتریس تأثیرات پیشران‌های مؤثر بر آینده انرژی زیست‌دیزل در ایران به صورت مستقیم و غیرمستقیم و امتیاز هر پیشران در ستون و ردیف ماتریس نشان داده شده است. درخور یادآوری است که محاسبات و اعداد بر اساس معادلات ریاضی توسط نرم‌افزار محاسبه می‌شود و بیشتر برای مقایسه پیشران‌ها به صورت نسبی است و ارزش واقعی اعداد را نشان نمی‌دهد.

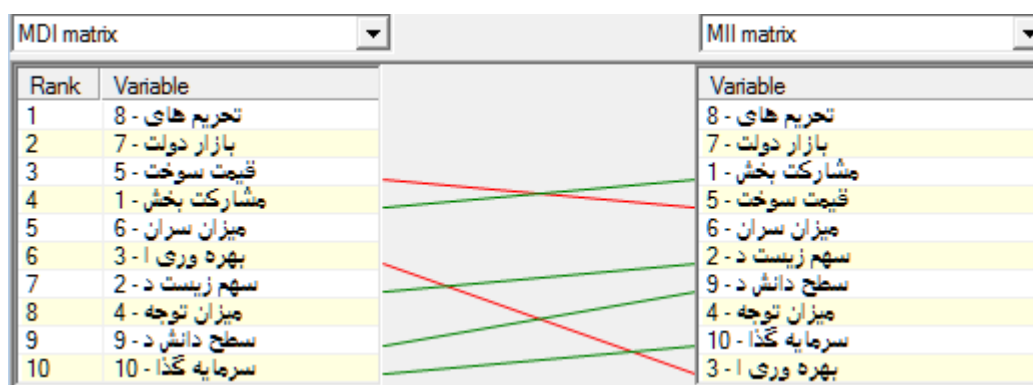
نرم‌افزار، پیشران‌ها را در دو حالت تأثیرگذار و تأثیرپذیر به صورت مستقیم و غیرمستقیم طبقه‌بندی و رتبه‌بندی می‌کند که نتیجه آن در شکل‌های ۱ و ۲ نشان داده شده است.

جدول ۴. ماتریس تأثیرات مستقیم پیشران‌های مؤثر بر آینده انرژی زیست‌دیزل در ایران

پیشران	مجموع ستون‌ها	مجموع ردیف‌ها
مشارکت بخش خصوصی در حوزه انرژی زیست‌دیزل	۶	۸
سهم زیست‌دیزل در سبد انرژی کشور	۹	۴
بهره‌وری اقتصادی	۴	۵
میزان توجه به محیط زیست	۱۳	۴
قیمت سوخت و حامل‌های انرژی	۸	۹
میزان سرانه مصرف انرژی	۵	۶
بازار دولتی و آزاد	۵	۱۰
تحریم‌های اقتصادی	۸	۱۵
سطح دانش در حوزه انرژی زیست‌دیزل	۴	۴
سرمایه‌گذاری داخلی و خارجی	۶	۴
مجموع	۶۸	۶۸

جدول ۵. ماتریس تأثیرات غیرمستقیم پیشران‌های مؤثر بر آینده انرژی زیست‌دیزل در ایران

پیشران	مجموع ستون‌ها	مجموع ردیف‌ها
مشارکت بخش خصوصی در حوزه انرژی زیست‌دیزل	۲۵۵	۳۸۸
سهم زیست‌دیزل در سبد انرژی کشور	۴۱۴	۲۴۸
بهره‌وری اقتصادی	۱۷۴	۱۵۰
میزان توجه به محیط زیست	۵۴۲	۲۰۱
قیمت سوخت و حامل‌های انرژی	۴۱۸	۳۷۴
میزان سرانه مصرف انرژی	۲۵۳	۳۲۳
بازار دولتی و آزاد	۲۷۷	۴۵۳
تحریم‌های اقتصادی	۳۲۷	۵۹۰
سطح دانش در حوزه انرژی زیست‌دیزل	۱۹۵	۲۲۸
سرمایه‌گذاری داخلی و خارجی	۲۶۴	۱۶۴
مجموع	۶۸	۶۸

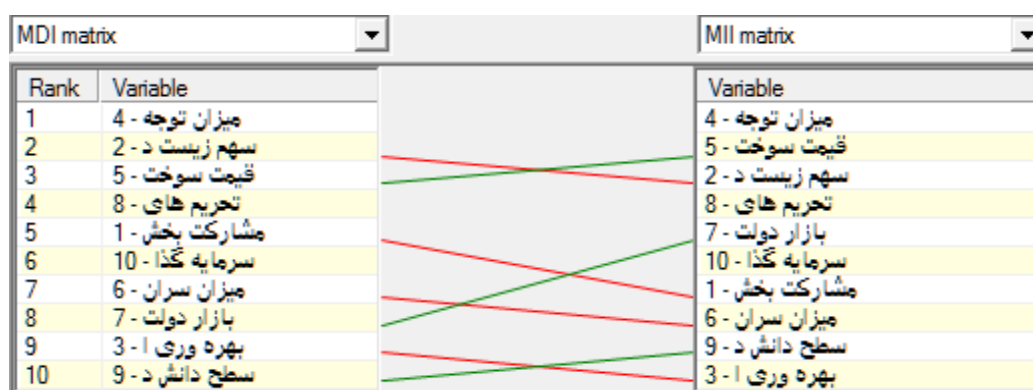


شکل ۱. طبقه‌بندی پیشران‌ها بر اساس میزان تأثیرگذاری آن‌ها به صورت مستقیم و غیر مستقیم

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، براساس رتبه‌بندی «میزان تأثیرگذاری» مستقیم و غیرمستقیم متغیرها، پیشران کلیدی «تحریم‌های اقتصادی»، «بازار دولتی و آزاد» و «قیمت سوخت و حامل‌های انرژی» در رتبه‌بندی تأثیرات مستقیم به‌ترتیب رتبه‌های اول تا سوم را به صورت مشابه کسب کرده‌اند.

در شکل ۲ مشاهده می‌شود که پیشران کلیدی «میزان توجه به محیط زیست»، «قیمت سوخت و حامل‌های انرژی» و «سهم زیست‌دیزل در سبد انرژی کشور» به‌ترتیب در رتبه‌های اول تا سوم و در تأثیرپذیری غیرمستقیم نیز در همین رتبه‌ها قرار

گرفته‌اند. در جدول ۶ پیشران‌های مؤثر بر آینده انرژی زیست‌دیزل در ایران بنا به تأثیرپذیری و تأثیرگذاری به صورت مستقیم و غیرمستقیم رتبه‌بندی شده است.

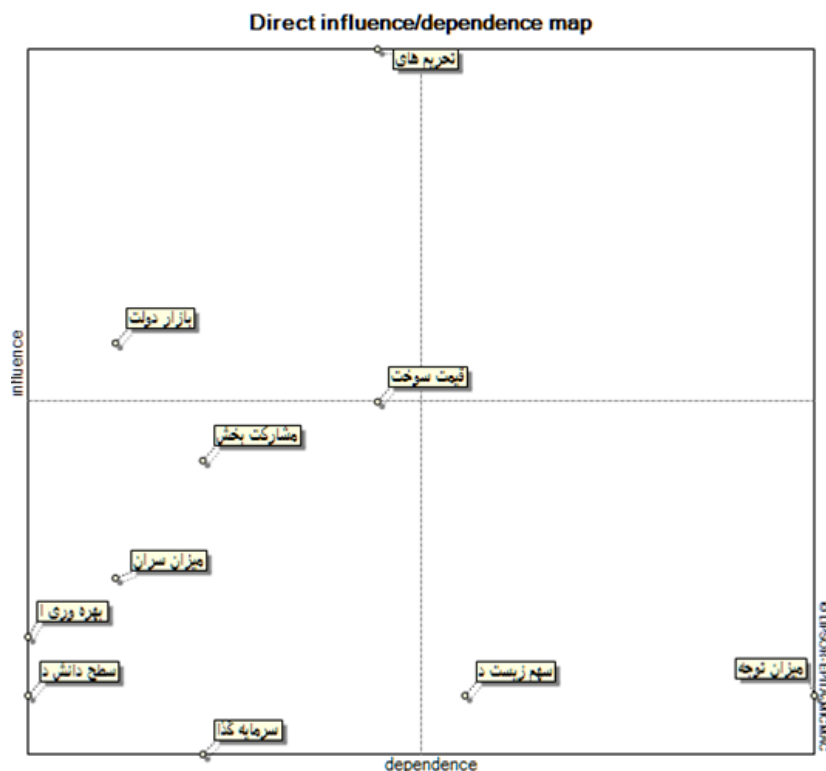


شکل ۲. طبقه‌بندی پیشران‌ها بر اساس میزان تأثیرپذیری آن‌ها به صورت مستقیم و غیرمستقیم

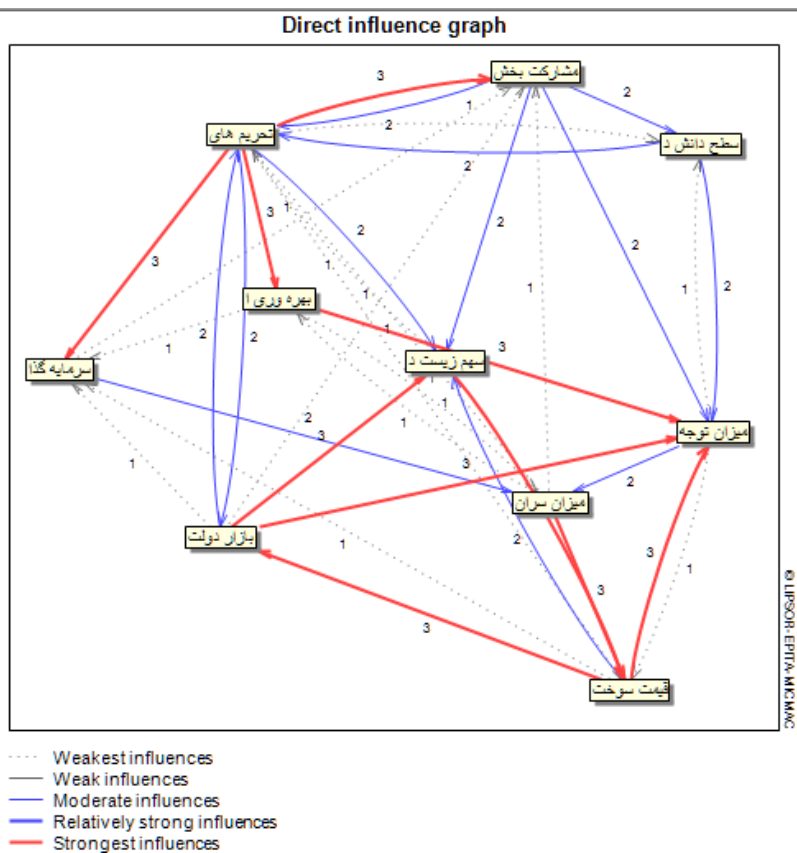
جدول ۶. امتیاز تأثیرگذاری و تأثیرپذیری پیشران‌ها به صورت مستقیم و غیرمستقیم

Rank	Label	Direct influence	Label	Direct dependence	Label	Indirect influence	Label	Indirect dependence
۱	تحریم های	۲۲۰۵	میزان توجه	۱۹۱۱	تحریم های	۱۸۹۱	میزان توجه	۱۷۳۷
۲	بازار دولت	۱۴۷۰	سهم زیست د	۱۳۲۳	بازار دولت	۱۴۵۲	قیمت سوخت	۱۳۴۰
۳	قیمت سوخت	۱۳۲۳	قیمت سوخت	۱۱۷۶	مشارکت بخش	۱۲۴۳	سهم زیست د	۱۳۲۷
۴	مشارکت بخش	۱۱۷۶	تحریم های	۱۱۷۶	قیمت سوخت	۱۱۹۹	تحریم های	۱۰۴۸
۵	میزان سران	۸۸۲	مشارکت بخش	۸۸۲	میزان سران	۱۰۳۵	بازار دولت	۸۸۸
۶	بهره‌وری ا	۷۳۵	سرمایه غذا	۸۸۲	سهم زیست د	۷۹۵	سرمایه‌گذار	۸۴۶
۷	سهم زیست د	۵۸۸	میزان سران	۷۳۵	سطح دانش د	۷۳۱	مشارکت بخش	۸۱۷
۸	میزان توجه	۵۸۸	بازار دولت	۷۳۵	میزان توجه	۶۴۴	میزان سران	۸۱۱
۹	سطح دانش د	۵۸۸	بهره‌وری ا	۵۸۸	سرمایه‌گذار	۵۲۵	سطح دانش د	۹۲۵
۱۰	سرمایه غذا	۴۴۱	سطح دانش د	۵۸۸	بهره‌وری ا	۴۸۰	بهره‌وری ا	۵۵۷

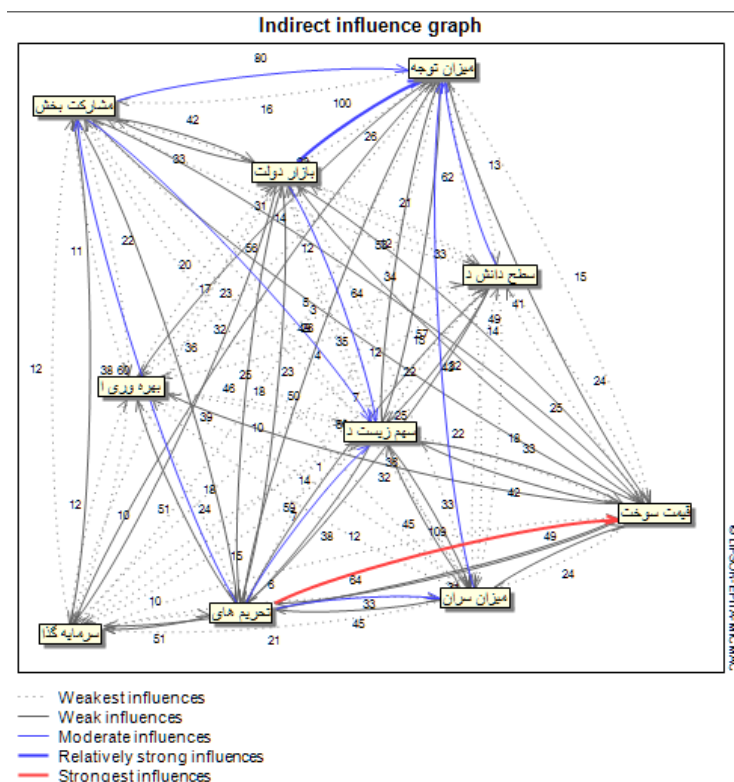
براساس شکل ۳، تأثیرگذارترین و مهم‌ترین پیشران‌ها در آینده انرژی زیست‌دیزل در ایران شامل بازار دولتی و آزاد و تحریم‌های اقتصادی هستند. شاخص‌های شناسایی‌شده در این ناحیه متغیرهای ورودی سیستم به حساب می‌آیند و به وسیله سیستم قابل کنترل نیستند چون بیرون از سیستم قرار دارند و به شکل شاخص‌های باثبات عمل می‌کنند. پس از مشخص کردن وضعیت پیشران‌های مؤثر بر آینده انرژی زیست‌دیزل در ایران، روابط این پیشران‌ها در نرم‌افزار میک مک مورد بررسی قرار گرفت که روابط تأثیرات پیشران‌ها به صورت مستقیم و غیرمستقیم در شکل‌های ۴ و ۵ نشان داده شده‌اند.



شکل ۳. نمودار وضعیت پیشران‌های کلیدی در خروجی نرم‌افزار میک‌مک

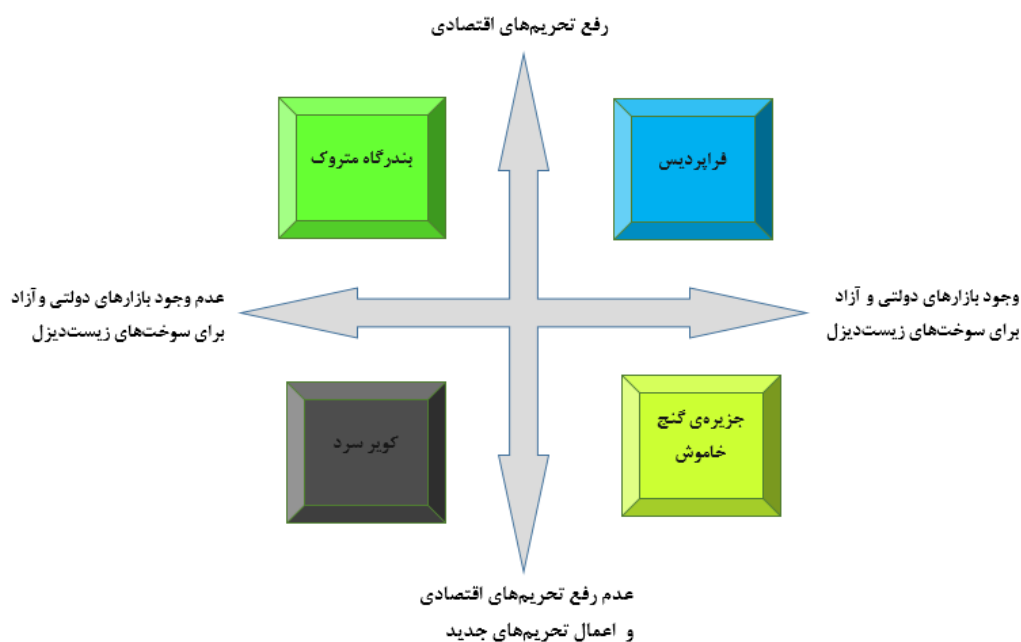


شکل ۴. تأثیرات مستقیم پیشران‌ها (تأثیرات بسیار ضعیف تا بسیار قوی)



شکل ۵. تأثیرات غیرمستقیم پیشران‌ها (تأثیرات بسیار ضعیف تا بسیار قوی)

با توجه به پیشران‌های اثرگذار، دو پیشران بازار دولتی و آزاد و تحریم‌های اقتصادی برای شکل‌گیری سناریوهای تحقیق مورد استفاده قرار می‌گیرند. از ترکیب دو حالت هر پیشران، چهار سناریو برای آینده انرژی زیست‌دیزل در ایران شکل می‌گیرد. پیشران بازار دولتی و آزاد و تحریم‌های اقتصادی هر یک دارای دو حالت متضاد است. شکل ۶ چهار سناریو و عناوین آن‌ها را نشان می‌دهد. اسامی سناریوها با توجه به محتویات و اتفاقاتی که در هر سناریو رخ می‌دهد تشریح شده است.



شکل ۶. سناریوهای باورپذیر پیش روی انرژی زیست‌دیزل در ایران

سناریوی فراپردیس: این سناریو نتیجه تلاقی دو وضعیت رفع تحریم‌های اقتصادی و وجود بازارهای دولتی و آزاد، برای سوخت‌های زیست‌دیزل است که ایده‌آل‌ترین وضعیت برای انرژی زیست‌دیزل در ایران، خواهد بود. با رفع تحریم‌های خارجی، و ایجاد همکاری با شرکت‌ها و مؤسسات بین‌المللی، و همچنین با ورود تکنولوژی‌های روز دنیا به کشور، می‌توان امید داشت که تولید و بهره‌برداری از سوخت‌های زیستی و به تبع آن زیست‌دیزل، افزایش چشمگیری پیدا کند همچنین با تشریک دانش و تجربه فعالان و متخصصان داخلی و خارجی، بهره‌وری و بازدهی استفاده از این انرژی‌ها هم، رشد فزاینده‌ای خواهد داشت. با از بین رفتن محدودیت‌های بین‌المللی، امکان کسب درآمد بیشتر برای شرکت‌ها و مؤسسه‌های فعال در این حوزه فراهم می‌شود. در چنین شرایطی، با وجود فرصت‌های پیش‌آمده در حوزه زیست‌دیزل، باید برنامه‌ریزان و مدیران با در نظر گرفتن شرایط گذشته، برای آینده و تغییرات پیش روی آن، برنامه‌ای را طرح‌ریزی کنند که از گشایش‌های پیش‌آمده، به سرعت و بدون فوت وقت برای توانمند کردن هرچه بیشتر این صنعت، برای آینده بهره ببرند. این برنامه می‌تواند شامل اقدامات زیر باشد:

افزایش حجم تولید انرژی زیست‌دیزل، با توجه به وجود بازارهای دولتی، آزاد و بین‌المللی؛ استفاده از روش‌های بازاریابی نوین، برای فروش محصولات با طیف تنوع بالا، در داخل کشور و بازارهای خارجی؛ وارد کردن فناوری‌ها و تجهیزات لازم برای ارتقای سطح فناوری و ماشین‌آلات مورد استفاده در این حوزه؛ همکاری با شرکت‌ها و مؤسسه‌های بین‌المللی در زمینه تحقیق و توسعه انرژی زیست‌دیزل؛ و از همه مهم‌تر، آماده‌سازی بستر سرمایه‌گذاری گسترده، در انواع سوخت‌های زیستی، به‌خصوص زیست‌دیزل.

سناریوی بندرگاه متروک: این سناریو نتیجه تلاقی دو وضعیت رفع تحریم‌های اقتصادی و نبود بازارهای دولتی و آزاد، برای سوخت‌های زیست‌دیزل است. در این سناریو، تحریم‌ها و فشارهای بین‌المللی کاهش می‌یابد و کاهش تحریم‌ها، نقش مهمی در بازاریابی و انتقال فناوری خواهد داشت، که در نتیجه آن، کیفیت محصولات صنعت زیست‌دیزل، ارتقا پیدا خواهد کرد. همچنین، به دلیل بهبود روابط با شرکت‌های خارجی، دسترسی به متخصصان بین‌المللی افزایش می‌یابد. در این وضعیت به علت رفع تحریم‌ها و مستعد بودن شرایط محیطی ایران، برای بهره‌مندی هرچه بیشتر از انرژی زیست‌دیزل، امکان برقراری مراودات و سرمایه‌گذاری‌های خارجی بسیاری وجود خواهد داشت. سرمایه‌گذاری خارجی، از طریق ایجاد پایگاه‌های بهره‌برداری از منابع زیست‌دیزل، اشتغال، انتقال فناوری‌های تولید و گسترش منابع مالی و بین‌المللی، می‌تواند در سطح کلان، اثرات بسیاری بر عملکرد اقتصاد ایران، به علت محدودیت‌هایی که در موجودی سرمایه کشور وجود دارد، بگذارد. اما با وجود عدم محدودیت برای تعامل اقتصادی با دنیا، این آینده، با تنگنای نبود بازار دولتی و آزاد مواجه است، که می‌تواند به از دست رفتن منافع حاصل از این نوع سوخت‌ها برای صنایع بسیاری همچون کشاورزی، محیط زیست و... شود. همچنین نبود بازارهای دولتی و آزاد داخلی، موجب دلسردی فعالان خرد در این صنعت خواهد بود. بنابراین، حتی اگر به علت نبود تحریم‌ها، امکان استفاده از تجهیزات و ماشین‌آلات پیشرفته دنیا، مهیا شود و پروژه‌های مهمی هم راه‌اندازی شده باشد، تا زمانی که بازاری در داخل برای این تقاضاها وجود نداشته باشد، با از بین رفتن فرصت رفع تحریم‌ها، کشور با انبوهی از پروژه‌های نیمه‌تمام مواجه خواهد بود که اثراتی همچون بیکاری و هدر رفت منابع را در پی خواهد داشت. مشکل بزرگی که در این آینده وجود دارد، نبود برنامه‌ریزی برای تکان‌ها و تهدیدهای آتی است. در این سناریو، به دلیل نبود برنامه‌های بلندمدت و عملیاتی در صنعت زیست‌دیزل، در حوزه‌هایی مانند تحقیق و توسعه و تجهیزات و فناوری، به محض بازگشت تحریم‌ها، صنعت زیست‌دیزل با مشکلات بسیاری مواجه می‌شود. پیامد این سناریو، شکنندگی صنعت زیست‌دیزل در مقابل تکان‌های خارجی و عدم پیشرفت پایدار در این صنعت خواهد بود.

سناریوی جزیره گنج خاموش: این سناریو نتیجه تلاقی دو وضعیت وجود بازار دولتی و آزاد برای سوخت‌های زیست‌دیزل و عدم رفع تحریم‌های اقتصادی و اعمال تحریم‌های جدید است. در این وضعیت، تمایل شرکت‌های بین‌المللی برای سرمایه‌گذاری و همکاری با شرکت‌های داخلی کاهش خواهد یافت، و کشور به علت عدم دسترسی به دانش و فناوری روز دنیا، با افت بهره‌وری نیروی کار و تجهیزات به کارگرفته شده در این حوزه، مواجه خواهد بود؛ و ممکن است که بسیاری از متخصصان و فعالان داخلی، به علت کاهش ارزش پول ملی، در صدد ترک کشور باشند. اما علی‌رغم این حالت، و با وجود محدودیت‌ها و تحریم‌های بین‌المللی، می‌توان به دلیل وجود استعدادهای بالقوه در منابع طبیعی، از ظرفیت بازارهای دولتی و آزاد داخلی، حداکثر استفاده را

برد و با توانمند کردن بخش خصوصی، و همچنین با ایجاد ظرفیت‌های شغلی متعدد، می‌توان از توان متخصصان داخلی، در راستای توسعه و رشد سوخت‌های زیست‌دیزل، بهره جست؛ که این موارد، موجب کمتر شدن اثر تحریم‌ها خواهد شد. بنابراین با توجه به فراهم بودن شرایط وجود بازار دولتی و آزاد برای سوخت‌های زیست‌دیزل در داخل کشور، لزوم ارزیابی فرصت‌های موجود و کمک به توسعه پایدار کشور و ایجاد بستر مناسب، به منظور بهره‌مندی از این فرصت‌ها و استفاده هر چه بیشتر از منافع این موقعیت، بیش از پیش ضروری به نظر می‌رسد.

سناریوی کویر سرد: این سناریو بدترین نتیجه ممکن است که حاصل تلاقی دو وضعیت عدم رفع تحریم‌های اقتصادی و اعمال تحریم‌های جدید و نبود بازارهای دولتی و آزاد برای آینده سوخت‌های زیست‌دیزل خواهد بود. حوزه انرژی زیست‌دیزل در این سناریو، به علت تحریم‌ها و فشارهای بین‌المللی و هم‌زمان به دلیل نبود بازار دولتی و آزاد، بیشتر به انزوا و ورطه نابودی خواهد رفت. در چنین شرایطی، تحریم‌های شدید، باعث افت درآمدهای نفتی خواهد شد که این موضوع، به کاهش منابع و خزانه دولت، منجر خواهد شد و دست دولت نیز برای حمایت و برنامه‌ریزی در جهت توسعه و رشد صنعت زیست‌دیزل کوتاه می‌شود. بنابراین، دولت که حال با کسری بودجه مواجه شده است در مواجهه با این وضعیت، با روندی دوسویه روبه‌رو خواهد بود؛ اینکه یا باید از بانک مرکزی استقراض کند، یا اینکه سیاست مالی انقباضی اتخاذ کند. در صورت انتخاب وضعیت اول، دولت با اتخاذ سیاست‌های پولی انبساطی، موجب افزایش نرخ تورم می‌شود. نرخ ارز هم به علت کاهش عرضه ارز ناشی از فروش نفت، به صورت چشمگیری افزایش خواهد یافت؛ از طرفی، اگر دولت تصمیم به اتخاذ سیاست‌های مالی انقباضی، به منظور کاهش هزینه‌های دولت و افزایش درآمد دولت داشته باشد، موجب افزایش نرخ بهره و مالیات می‌شود که از تبعات آن، ایجاد شدن رکود در اقتصاد خواهد بود. بنابراین، انگیزه سرمایه‌گذاری خصوصی از بین خواهد رفت و سرمایه‌گذاری داخلی و خارجی روی زیرساخت‌های این صنعت از میان رفته و تأمین مالی بسیاری از پروژه‌ها متوقف خواهد شد. نبود برنامه‌ریزی راهبردی برای شرایط بحران از سوی ذی‌نفعان داخلی در حوزه سوخت‌های زیست‌دیزل، باعث خواهد شد تا کشور در این صنعت با مشکلات بسیاری مواجه شود. تشدید تحریم‌ها در این سناریو، ضعف‌ها و مشکلات را بیش از پیش خواهد کرد؛ و مشکلاتی مانند تکنولوژی فرسوده، مهاجرت نخبگان صنعت، عدم اجرایی شدن پروژه‌های مهم در انرژی‌های تجدیدپذیر به همراه عدم آمادگی و شکنندگی آن، حتی ممکن است باعث فروپاشی صنعت زیست‌دیزل شود.

۴. بحث و نتیجه‌گیری

بحرانی که امروزه، دنیا با آن مواجه است، بحران کمبود انرژی است که جهان صنعتی را نیز با چالش بزرگی روبه‌رو کرده است. بنابراین، یافتن جانشین برای سوخت‌های فسیلی، به یک امر حیاتی بدل شده است. یکی از گزینه‌های مطلوب جایگزینی، سوخت‌های زیستی هستند؛ و یکی از سوخت‌هایی که پتانسیل بسیار زیادی برای تولید سوخت زیستی دارد، زیست‌دیزل است. پژوهش حاضر به دنبال شناسایی سناریوهای باورپذیر و محتمل آینده انرژی زیست‌دیزل در ایران است. بعد از شناسایی پیشران‌های تأثیرگذار بر این حوزه، و تجزیه و تحلیل داده‌های به‌دست‌آمده، به ۴ سناریو باورپذیر ۱- فراپردیس؛ ۲- بندرگاه متروک؛ ۳- جزیره گنج خاموش و ۴- کویر سرد، دست پیدا کرد. در ادامه به تجزیه و تحلیل هر یک از سناریوها و راه‌حل‌های پیشنهادی برای هر یک از آن‌ها پرداخته خواهد شد. در سناریو فراپردیس، از یک سو، با برداشته شدن تحریم‌های اقتصادی و رفع محدودیت‌ها، مراودات و همکاری‌های بین‌المللی به طرز چشمگیری افزایش پیدا خواهد کرد؛ و از سوی دیگر، رونق بازارهای دولتی و آزاد، وضعیتی ایده‌آل و پردیس‌وار را، برای حوزه سوخت‌های زیستی و زیست‌دیزل فراهم می‌کند. در این آینده، با فراهم شدن امکان انتقال تجربه، دانش و تجهیزات پیشرفته مربوط به صنعت زیست‌دیزل، تلاش می‌شود که کشور در مقابل برگشت تحریم‌ها، تاب‌آور شود. همچنین با مشارکت دادن شرکا و کشورهای بیشتری در امر سرمایه‌گذاری، به منظور استفاده از ظرفیت‌های بی‌نظیر کشور در حوزه انرژی زیست‌دیزل، ضمن فواید بسیاری که از این سرمایه‌گذاری‌ها، و ارزآوری‌ها، عاید کشور خواهد شد، بخشی از هزینه برگشت تحریم‌ها و اعمال تحریم‌های جدید را هم، می‌توان به این کشورها و شرکا تحمیل کرد. در این سناریو، دولت بر اساس شرایط پیش‌آمده، با سیاست‌گذاری‌های درست در بخش‌هایی همچون آموزش، برای پرورش متخصصان این حوزه و ارتقای سطح کیفی دانش آنان و حمایت از شرکت‌های دانش‌بنیان، زیرساخت‌های لازم برای بهره‌مندی

هرچه بیشتر از فرصت‌های بی‌نظیر این موقعیت را، فراهم خواهد کرد. در این وضعیت که شرایط بسیار مطلوب و ایده‌آلی را برای رشد و توسعه حوزه انرژی زیست‌دیزل در کشور فراهم کرده است، اقدامات زیر پیشنهاد می‌شود:

- فراهم کردن شرایط مناسب توسط دولت، برای برقراری هرچه بهتر مراودات بین المللی، به منظور تبادل دانش و اطلاعات و به‌کارگیری علم روز جهانی، در حوزه انرژی زیست‌دیزل در راستای اعتلای سطح کیفی دانش این حوزه، در کشور.
 - به‌کارگیری نیروهای متخصص خارجی برای آموزش و انتقال تجربه آنان به متخصصان و فعالان داخلی، به منظور ارتقای بهره‌وری و کارایی.
 - اعزام دانشجویان و پژوهشگران داخلی به خارج از کشور به منظور کسب تجربه و دانش روز انرژی زیست‌دیزل
 - فراهم کردن شرایط مناسب، جهت تشویق سرمایه‌گذاران خارجی به منظور ارزآوری به کشور و سرمایه‌گذاران داخلی در راستای رونق بخشیدن به صنعت زیست‌دیزل و بهره‌گیری هرچه بیشتر این حوزه در داخل کشور.
 - برنامه‌ریزی در جهت متنوع‌سازی سید محصولات سوخت‌های زیستی، در راستای تولید محصولاتی با پیچیدگی بیشتر و ارزش افزوده بالاتر، به جای تمرکز بر محصولات ساده.
 - ایجاد شرایط همکاری شرکت‌ها و فعالان داخلی با شرکت‌های بین المللی در راستای پرورش نیروهای انسانی زنده در بخش‌های استراتژیک مانند واحدهای فنی و مهندسی و مدیریت.
 - سیاست‌گذاری صحیح در جهت انتقال فناوری‌های کلیدی در حوزه سوخت‌های زیستی و زیست‌دیزل.
 - به‌کارگیری ظرفیت‌های روز فناوری اطلاعات، در راستای حفظ امنیت اطلاعات استراتژیک کشور در حین برقراری ارتباطات با شرکت‌ها و کشورهای خارجی.
- در آینده بندرگاه متروک، با وجود امتیاز کاهش تحریم‌های خارجی و عدم محدودیت‌های اقتصادی، و همچنین بهبود روابط و همکاری‌های بین‌المللی، به علت محدودیتی که بر اثر نبود بازارهای آزاد و دولتی وجود دارد، نمی‌توان از این فرصت‌های ممتاز پیش رو، بهره جست. بنابراین چنین شرایطی، به علت ناکارآمدی سیستم‌های درگیر در عرصه عرضه و تقاضای سوخت‌های زیستی، می‌تواند باعث دلسردی متخصصان و فعالان این حوزه شود و آن‌ها را به سمت مهاجرت سوق دهد، که از تبعات آن، از دست رفتن سرمایه‌های فکری و مالی کشور، و عدم استفاده مناسب از ظرفیت‌های بالقوه طبیعی کشور در حوزه سوخت‌های زیست‌دیزل است، که این مسائل این حوزه را همچون بندرگاهی متروک، بسیار آسیب‌پذیر خواهد کرد. با توجه به این وضعیت پیشنهادهای زیر ارائه می‌شود:
- تلاش برای ورود به بازارهای منطقه‌ای و جهانی به منظور دستیابی به مناطقی که مستعد عرضه انرژی زیست‌دیزل تولید داخلی هستند مانند ترکیه، هند، ژاپن، آلمان و....
 - تسهیل قوانین و مقررات دولتی ورود سرمایه‌گذاران خارجی، در راستای تشویق سرمایه‌گذاری و ارزآوری در داخل کشور.
 - توجه به ملاحظات و قوانین زیست‌محیطی در تولید فرآورده‌های زیستی، به منظور پذیرش صادرات محصولات داخلی در بازارهای بین‌المللی.
 - تشکیل مراکز علمی در دانشگاه‌ها، در راستای متمرکز کردن فعالیت‌های متخصصان و پژوهشگران داخلی و خارجی در زمینه‌های علمی و تخصصی، که کشور به آن نیازمند است.
 - تقویت مراکز علمی و تحقیقاتی نظیر دانشگاه‌ها، به وسیله همکاری با مراکز علمی بین‌المللی در راستای انجام پروژه‌ها و پژوهش‌های مشترک تحقیق و توسعه.
 - بخش‌بندی کشورهای مختلف، از نظر اعتماد و قابلیت اطمینان در میان مدت و بلندمدت، برای عرضه محصولات داخلی و بازگشت مبالغ حاصل از فروش آن، به داخل کشور.
 - فراهم کردن زیرساخت‌های مناسب، برای احداث نمایشگاه‌ها و بازارهای داخلی برای فروش محصولات و فرآورده‌های شرکت‌های تولیدی در داخل کشور توسط دولت.

- انتقال آن سطح از فناوری و دانش بین‌المللی، که قابلیت بازتولید و بومی‌سازی شدن داشته باشد.
 - به‌کارگیری روش‌های نوین بازاریابی، در راستای شناسایی بازارها و مشتریان خارجی و بین‌المللی.
 - تسهیل مجوزهای ورود به بازار و شرایط اعطای تسهیلات، و همچنین حمایت از انرژی زیست‌دیزل در جهت تشویق سرمایه‌گذاران داخلی برای ورود به بازار.
 - ایجاد محرک‌ها و صندوق‌های حمایتی قوی برای تولیدکنندگان و فعالان حوزه زیست‌دیزل.
 - شناسایی ظرفیت‌های تولیدی و توسعه تعاونی‌های مرتبط با انرژی زیست‌دیزل در نواحی مستعد کشور.
- در آینده جزیره گنج خاموش، علی‌رغم حضور بازارهای دولتی و آزاد، به علت افزایش تحریم‌های اقتصادی و قطع روابط همکاری با نقاط دیگر جهان، وضعیت پیش رو برای سوخت‌های زیستی و زیست‌دیزل، همچون جزیره‌ای خواهد بود، که نمی‌تواند از ظرفیت‌های مربوط به بازارهای خود، استفاده کند. درواقع، امکان خارج کردن گنج این جزیره وجود ندارد. این شرایط به منع توسعه دانش، در بهره‌برداری از سوخت‌های زیستی و زیست‌دیزل منجر خواهد شد، که تبعاتی همچون افت بهره‌وری در تجهیزات و نیروی کار و کاهش کیفیت محصولات تولیدی را در پی خواهد داشت. اما از طرفی، این بازارهای انحصاری می‌تواند فرصت‌های زیادی برای بهره‌مندی از ظرفیت‌های محیطی مناسب سوخت‌های زیستی در کشور، ایجاد کند؛ از جمله، همدلی و همکاری بیشتر در بخش‌های مختلف حوزه سوخت‌های زیستی و زیست‌دیزل، برای اتکا به توانمندی‌های داخلی، افزایش سرمایه‌گذاری‌ها در بخش‌های پژوهشی و فعالیت‌های تحقیق و توسعه، تقویت آموزش‌های کاربردی برای پرورش متخصصان و نیروی کار ماهر و همچنین حمایت‌های دولت از بخش‌های خصوصی فعال در این حوزه. با توجه به وضعیت گفته‌شده، موارد زیر پیشنهاد می‌شود:
- شناسایی شاخص‌های اساسی تاب‌آوری و مقاوم‌سازی، در بخش‌های مختلف سوخت‌های زیستی و زیست‌دیزل، به منظور پایش و بهبود مستمر، در راستای تاب‌آور کردن حوزه انرژی زیست‌دیزل در کشور در مقابل تکانه‌هایی همچون تحریم‌های اقتصادی.
 - حمایت و تأمین منابع مالی شرکت‌ها و افراد فعال در حوزه سوخت‌های زیستی، به‌خصوص سوخت زیست‌دیزل، به منظور ایجاد انگیزه برای ادامه فعالیت‌ها در شرایط وجود تحریم‌های اقتصادی و تشدید محدودیت‌ها.
 - قیمت‌گذاری مناسب فرآورده‌های حاصله از سوخت‌های زیستی و دیزل زیستی توسط دولت؛ در راستای تشویق تولیدکنندگان و فعالان این حوزه در داخل کشور و ایجاد انگیزه به کسانی که قصد ورود به این عرصه را دارند.
 - کاهش هزینه‌های مالیات و ارزش افزوده محصولات و فرآورده‌های سوخت زیست‌دیزل، توسط دولت.
 - حمایت دولت از شرکت‌های دانش‌بنیان و استارت‌آپ فعال، در بخش‌های گوناگون انرژی‌های زیست‌دیزل در داخل کشور.
 - توجه جدی به تهیه برنامه‌های جامع و مشخص برای ایجاد و توسعه واحدهای کشت مواد اولیه حوزه انرژی‌های زیستی، همچون محصولات کشاورزی و دانه‌های گیاهی در نواحی مستعد کشور.
- در سناریو کویر سرد، به علت اعمال تحریم‌ها و تشدید محدودیت‌ها، وضعیت پیش رو برای سوخت زیست‌دیزل، همانند کویری دورافتاده خواهد بود که امکان برقراری هرگونه ارتباطی با آن، بسیار سخت است. همچنین رکود و نبود بازارهای دولتی و آزاد، این کویر را، از هرگونه نعمت و برکتی، دور نگه داشته است. تحریم‌ها، به از بین رفتن منابع مالی و فرصت‌های سرمایه‌گذاری شرکت‌های بین‌المللی منجر خواهد شد، و نبود بازارهای دولتی و آزاد، علاوه بر از دست دادن افراد متخصص این حوزه، منجر به وابستگی شدید به شرکت‌های خارجی، برای رفع نیازهای عرضه و تقاضای انرژی‌های زیستی کشور خواهد بود. این موضوع حوزه انرژی سوخت‌های زیستی و به تبع آن، زیست‌دیزل را در ورطه انحطاط و انزوا قرار خواهد داد. با توجه به وضعیت گفته‌شده، موارد زیر پیشنهاد می‌شود:
- بهره‌گیری از ظرفیت‌های مراکز رشد در جهت پیاده‌سازی ایده‌ها، به منظور تجاری‌سازی آن، در بخش‌های مختلف مربوط به سوخت زیست‌دیزل در داخل کشور.

- فراهم کردن شرایط مطلوب از طریق اعطای تسهیلات و یارانه‌های دولتی، در راستای تشویق و ایجاد انگیزه متخصصان و پژوهشگرانی که در حوزه سوخت‌های زیستی و زیست‌دیزل فعال هستند و تمایل به راه‌اندازی کسب‌وکارهای مرتبط با این حوزه را دارند.
- رفع موانع صنعت زیست‌دیزل از طریق تسهیل مجوزهای ورود به بازار، و حمایت از این صنعت با اعطای یارانه دولتی و کاهش مالیات، توسط دولت.
- فراهم کردن زیر ساخت‌های مناسب برای برگزاری نمایشگاه‌ها و همایش‌ها، در راستای معرفی و تقویت فعالیت‌های مربوط به صنعت زیست‌دیزل.
- فراخوان و برگزاری کنفرانس‌های علمی مربوط به حوزه انرژی‌های زیستی و زیست‌دیزل در سراسر کشور، در راستای شناسایی فرصت‌ها و ایده‌های مناسب.

محدودیت‌های پژوهش

- با وجود گسترش مطالعات آینده‌پژوهی در ایران طی سال‌های اخیر، همچنان نیاز به انجام اقدامات اساسی در راستای توسعه و تعمیق این حوزه احساس می‌شود. به‌ویژه، ارتقای نگرش مدیران و سیاست‌گذاران به تفکر آینده‌پژوهانه و آشنایی آن‌ها با مفاهیم و اصول بنیادین این رویکرد، از جمله چالش‌های اساسی است که باید به آن پرداخته شود. در این راستا، پژوهش حاضر نیز با برخی محدودیت‌ها مواجه بوده است که بر فرایند تحقیق تأثیر گذاشته‌اند. مهم‌ترین این محدودیت‌ها عبارت‌اند از:
- کمبود منابع علمی و پژوهشی در حوزه آینده‌پژوهی زیست‌دیزل
 - آینده‌پژوهی در حوزه سوخت‌های زیستی، به‌ویژه زیست‌دیزل، تا کنون کمتر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است. این مسئله باعث شده است که منابع علمی معتبر و پژوهش‌های پیشین در این زمینه محدود باشند. نبود پیشینه تحقیقاتی قوی در این حوزه، کار بررسی و تحلیل آینده‌های ممکن را دشوارتر کرده و پژوهش حاضر را ناگزیر به اتکا بر روش‌های جایگزین و تکمیلی، نظیر مطالعات تطبیقی و بهره‌گیری از نظریات مرتبط، ساخته است.
 - محدودیت در دسترسی به متخصصان و خبرگان:
 - یکی از چالش‌های مهم این پژوهش، دشواری در برقراری ارتباط و تعامل با متخصصان و صاحب‌نظران حوزه زیست‌دیزل بوده است. از یک‌سو، تعداد کارشناسانی که در این زمینه تخصص داشته باشند، محدود است.
 - زمان‌بر بودن فرایند تحقیقات آینده‌پژوهی:
 - ماهیت پژوهش‌های آینده‌پژوهی به گونه‌ای است که انجام آن‌ها مستلزم صرف زمان قابل‌توجهی است. تحلیل روندها، بررسی سناریوهای ممکن، و ارزیابی عدم قطعیت‌ها نیازمند مطالعه عمیق و گردآوری داده‌های گسترده از منابع مختلف است. در این پژوهش نیز، زمان‌بر بودن این فرایند یکی از چالش‌های اصلی بوده که بر سرعت پیشرفت تحقیق تأثیر گذاشته است.
- با وجود این محدودیت‌ها، پژوهش حاضر تلاش کرده است تا با بهره‌گیری از روش‌های جایگزین و اتخاذ رویکردهای تطبیقی، بر چالش‌های موجود غلبه کند و تصویری جامع از آینده انرژی زیست‌دیزل ارائه دهد. امید است که نتایج این تحقیق بتواند مسیر پژوهش‌های آینده در این حوزه را هموارتر سازد و زمینه‌ساز مطالعات عمیق‌تر و گسترده‌تری باشد.

منابع

- [1] Partovi, A.R. *New energies; Energy for a sustainable future*. Tehran: University of Tehran, Publishing and Printing Institute, fifth edition 2016. [Persian].
- [2] Jorasthi, M., Helmi, M., Hemati, A., and Rahbar, A. *Use of biodiesel as an alternative fuel in the automotive industry. First Conference on Recent Advances and Future Trends in the Automotive Industry*, Tehran. 2021. [Persian].
- [3] Haqiqat Shoare Asl, F., and Najfi, B. *Comparison of biodiesel production methods towards replacing green fuel*. Third International Conference on Applied Research in Agricultural, Natural Resources and Environmental Sciences, Hamedan. 2019. [Persian].
- [4] Yousefi, A. B., and Kelyvand Abdollahi, A. *The outlook of the Iranian automotive industry in the face of global challenges (Futures studies with a focus on scenario planning)*. Second National Futures Studies Conference. 2014. [Persian].
- [5] Rahmat Panahi, A. *The latest achievements in the sustainable production of biofuels based on microalgae and their role in reducing water and air pollution*. Ninth National Conference on Environment, Energy and Sustainable Natural Resources, Tehran. 2019. [Persian].
- [6] Sharifian, A., and Rezaei Dolatabadi, H. Energy policy and planning research. *Journal of Energy Policy and Planning*, vol. 2, no. 2, pp. 143-167, 2017. [Persian].
- [7] Palak G, Ekşioğlu SD, Geunes J. Analyzing the impacts of carbon regulatory mechanisms on supplier and mode selection decisions: An application to a biofuel supply chain. *International Journal of Production Economics*. 2014 Aug 1;154:198-216.
- [8] Iakovou E, Karagiannidis A, Vlachos D, Toka A, Malamakis A. Waste biomass-to-energy supply chain management: A critical synthesis. *Waste management*. Oct 1;30(10):1860-70, 2010.
- [9] Akgul O, Shah N, Papageorgiou LG. An MILP model for the strategic design of the UK bioethanol supply chain. *In Computer Aided Chemical Engineering* 2011 Jan 1 (Vol. 29, pp. 1799-1803). Elsevier.
- [10] Manzoor, D., and Niakan, L. Development of renewable energies in the country: Barriers and strategies. *Iranian Energy Journal*. vol. 15, no. 3, 2013. [Persian].
- [11] Van Dael M, Van Passel S, Pelkmans L, Guisson R, Swinnen G, Schreurs E. Determining potential locations for biomass valorization using a macro screening approach. *Biomass and bioenergy*. 2012 Oct 1;45:175-86.
- [12] Golzari, S., Moghaddam, M., and Owami, A. *Production of biodiesel from algae and production of electricity and heat from sludge in urban wastewater treatment plants*. 26th Annual International Conference of the Iranian Society of Mechanical Engineers, Semnan. 2019. [Persian].
- [13] Arab, Q., and Barati Malayeri, A. *Comparative analysis of Iran's energy policies with energy policies in member countries of the International Energy Agency*, Seventh National Energy Conference (Energy Sustainability, Supply Security, Demand Management and Consumption Pattern Reform), Tehran. 2010. [Persian].
- [14] Naeini MA, Zandieh M, Najafi SE, Sajadi SM. Analyzing the development of the third-generation biodiesel production from microalgae by a novel hybrid decision-making method: The case of Iran. *Energy*. 2020 Mar 15;195:116895.
- [15] Vinel A, Mortaz E. Optimal pooling of renewable energy sources with a risk-averse approach: Implications for US energy portfolio. *Energy Policy*. 2019 Sep 1;132:928-39.
- [16] Lee HC, Chang CT. Comparative analysis of MCDM methods for ranking renewable energy sources in Taiwan. *Renewable and sustainable energy reviews*. 2018 Sep 1;92:883-96.
- [17] Çolak M, Kaya İ. Prioritization of renewable energy alternatives by using an integrated fuzzy MCDM model: A real case application for Turkey. *Renewable and sustainable energy reviews*. 2017 Dec 1;80:840-53.
- [18] Abedi, Sepideh, Ebrahimi Nia, Danial. Evaluation of renewable energy potential in Sistan and Baluchestan Province: Solar, wind, geothermal and bioenergy resources. *Journal of Sustainable Energy Systems*, vol. 2, no.4, pp. 353-367, 2023.
- [19] Qanbari, Abulfazl, Vaezi Musa, Amjadi, Zahra. An analysis of the state of energy consumption in the framework of future studies of a case study: Tabriz city, *Journal of future studies of management*. vol. 29, no. 3, pp. 53-73, 2017. [Persian].

- [20] Mino, F., Shavardi, T., and Chavoshi, S. K. A Processual Framework for Identifying Uncertainties and Drivers (Case Study: Oil and Energy). *Management Research Journal*. vol. 105, no. 6, pp. 1-16. 2015. [Persian].
- [21] Chaharsoqi, S. K., and Rahmati, M. *Foresight in the Energy Sector and Examining the Issue of National Energy Security*, First National Conference on Foresight, Tehran. 2012. [Persian].
- [22] Firouz, M. Iran and Renewable Energies; *A Future Study Using Scenario Planning*, 8th National Energy Conference, Tehran. 2011. [Persian].
- [23] Ebrahimzadeh, A., Akbari, M., Yousefi, A., and Ghorbanzadeh, R. Foresight of Geopolitical Energy Transformations in Iran, with Emphasis on the Role of Clean Energies, *New Perspectives in Human Geography*. Vol. 12, no. 3, pp. 641-658. 2020. [Persian].
- [24] Hersij Sani, Z., and Rezaei, M. *Solar energy development within the framework of foresight (Case study: Iran)*. Third International Conference on Business Management, Tehran. 2020. [Persian].
- [25] Khatami Nia, A., and Ayubi, S. *Analysis of future energy scenarios of the world, a case study of new and renewable energies in Iran's energy basket*. Third International Conference on Industrial Management and Engineering, Tehran. 2017. [Persian].
- [26] Gandomzadeh, Mehdi, Mahmoudian Younesi, Sara, Mosaibi, Abolghasem, Zandi, Majid. Development scenarios for electrical energy storage in Iran using the interaction matrix method. *Journal of Sustainable Energy Systems*, vol1, no. 4, pp. 373-396. 2022. [Persian].
- [27] Wu Y, Geng S, Zhang H, Gao M. Decision framework of solar thermal power plant site selection based on linguistic Choquet operator. *Applied energy*. 2014 Dec 31;136:303-11.
- [28] Baudry G, Macharis C, Vallée T. Can microalgae biodiesel contribute to achieve the sustainability objectives in the transport sector in France by 2030? A comparison between first, second and third generation biofuels though a range-based Multi-Actor Multi-Criteria Analysis. *Energy*. 2018 Jul 15;155:1032-46.
- [29] Amiri, H., and Nilipour Tabatabaei, S. A. Identifying key drivers affecting the future of crude oil in the horizon of 1414 using the 4-cross impact analysis method. *Quarterly Journal of Business Management*. No. 34, 2016. [Persian].
- [30] Esmaeili Razavi, H., and Nasrafsfahani, A. Examining the future scenarios of Iran's economy and its security effects with a critical uncertainty approach. *Quarterly Journal of Foresight Management*. vol. 113, no. 29, 29(113), 2018. [Persian].
- [31] Voser, P. (2011). *Energy in 2050: Shell's Peter Voser*. Shell Energy Scenarios to 2050.
- [32] Paltsev S, Reilly J. *Energy Scenarios for East Asia, 2005–2025. In From Growth to Convergence: Asia's Next Two Decades 2009 Feb 25 (pp. 211-242)*. London: Palgrave Macmillan UK.
- [33] Rezaian Gheyebashi, A., and Marzban, E. Identifying drivers, uncertainties, and future scenarios of Iran's environment. *Quarterly Journal of Health and Environment*. Vol. 12, no. 4, pp. 554-531. 2019. [Persian].
- [34] Ahmadi, S., Melki, M. H., Thanovi Fard, R., and Fathi, M. R. Foresight of the oil industry supply chain with a scenario-based approach. *Iran Foresight Biannual*. Vol. 5, no. 1, pp. 81-104, 2020. [Persian].
- [35] Melki, M. H., Khashei, V., Fathi, M. R., and Safariniya, M. Foresight of religious tourism in Qom province with a scenario-based approach. *Quarterly Journal of Tourism and Development*. Vol. 8, no. 3, pp. 184-205, 2019. [Persian].
- [36] Rashid Aardeh, H., and Khazaei, S. Analysis of macro trends affecting the future of the banking industry market with a structural analysis/impact analysis approach. *Quarterly Journal of New Marketing Research*. Vol. 6, no. 3. 2016. [Persian].