

## بررسی پایایی سوخت‌های گازوئیل، بیودیزل و هیدروژن در موتورهای دیزلی با رویکرد تحلیل توسعه پایدار

محمد رضا صابری<sup>۱</sup>، امیر محمد قندهاریون<sup>۲\*</sup>، احسان نقاش زاده<sup>۳</sup>

۱- کارشناس کیفیت مواد و قطعات CKD، شرکت ایران خودرو خراسان (IKKCO)، مشهد، ایران.

۲- استادیار، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران.

۳- مدیر واحد کیفیت، شرکت ایران خودرو خراسان (IKKCO)، مشهد، ایران.

## چکیده

در یک دهه اخیر با توسعه تکنولوژی و افزایش ضریب رفاه انسانی شاهد رشد چشمگیر استفاده از منابع انرژی در جهان هستیم. در این بین صنعت حمل و نقل شامل گونه زمینی، دریایی و هوایی بیشترین ضریب مصرف انرژی در جهان را دارا است. به طوری که با توسعه و فراگیری صنایع مذکور در اکثر مناطق دنیا، مشکلاتی از قبیل افزایش دمای کره زمین، تغییرات اقلیمی و افزایش آلاینده‌های زیست محیطی بروز نموده است. این پدیده موجب جلب توجهات به سوی استفاده از منابع انرژی پایدار و سازگار با محیط زیست گردیده است. هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی و مقایسه‌ی شاخص پایایی سه سوخت دیزل، بیودیزل و هیدروژن برای موتورهای احتراق داخلی با استفاده از معیارهای توسعه‌ی پایدار است. این روش ابزاری برای مقایسه و تحلیل سیستم‌های مبتنی بر انرژی و شامل سه دسته اصلی شاخص‌های زیست محیطی، اجتماعی و فناوری بوده که میزان امتیاز هر شاخص نشان‌دهنده سطح سازگاری فرآیند مورد بررسی است. به طوری که هر عنصر یا فرآیند که دارای پایایی بیشتر باشد، امتیاز بیشتری کسب می‌کند. به این ترتیب امتیازات در بازه ۰ و ۱ تخصیص داده می‌شوند. نتایج این تحقیق نشان داد که سوخت دیزل از حیث شاخص‌های فناوری (مانند آلودگی و رسالت زیست محیطی) دارای هیدروژن از حیث شاخص‌های زیست محیطی و اجتماعی (مانند نرخ آلاینده‌ها، قابلیت توسعه و رسالت زیست محیطی) دارای برتری نسبی هستند. به این ترتیب می‌توان انتظار داشت که با توسعه، بهینه‌سازی و تکمیل زنجیره استخراج، فرآوری و توزیع، در آینده نزدیک شاهد جایگزینی نسبی این سوخت‌ها با سوخت فسیلی باشیم.

کلمات کلیدی:

تغییرات اقلیمی، منابع انرژی پایدار، معیارهای توسعه‌ی پایدار، بررسی پایایی.

## Investigating the sustainability of diesel, biodiesel and hydrogen fuels in diesel engines with the approach of sustainable development analysis

Mohammad Reza Saberi<sup>1</sup>, Amirmohammad Ghandehariun<sup>2\*</sup>, Ehsan Naghashzadeh<sup>3</sup>

1- Quality Expert of Materials and Components, Iran Khodro Khorasan Company (IKKCO)

2- Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Ferdowsi University of Mashhad

3- Quality Manager, Iran Khodro Khorasan Company (IKKCO)

## Abstract

The limitation of global fossil fuel resources has had a significant impact in recent years. Iran wastes 570 million barrels of oil out of the allocated 1463 million barrels for the residential, industrial, and transportation sectors. The cement industry, as one of the high-energy consumers, accounts for approximately 14% of the country's industrial energy consumption, with about 40% of this energy being lost during production processes. This study aims to recover the waste heat from the cement industry using the Rankine cycle and simulate it using the Engineering Equation Solver (EES) software. Additionally, a thermal oil loop has been employed to prevent corrosion of heat exchangers and control the organic fluid evaporation process. Ethanol has been selected as the suitable working fluid, with a net power production capacity of 6213 kW, a thermal efficiency of 91.22%, and an exergy efficiency of 18.24%, outperforming R123, R1233zd(E), R1234ze(Z), and R600a. Increasing the turbine's inlet pressure by 100 kPa increases thermal and exergy efficiencies by 2.7% and 2.67%, respectively, while decreasing the mass flow rate into the evaporator by 5.6%. Increasing the condenser temperature by one degree results in approximately a 5.6% reduction in thermal efficiency and a 5.5% reduction in exergy efficiency.

## Keywords

Cement industry, Waste heat recovery, Organic rankine cycle, Climate change, Thermal oil loop.

\*امیر محمد قندهاریون، aghandehariun@um.ac.ir

## ۱- مقدمه

در سال های اخیر و با رشد جمعیت در سراسر جهان، میزان مصرف انرژی و در نتیجه میزان آلاینده های زیست محیطی به طور چشمگیری افزایش یافته است. به این ترتیب نگرانی هایی در مورد تغییرات آب و هوایی، آلاینده های زیست محیطی و عدم توسعه پایدار منابع انرژی به وجود آمده است. در این بین صنعت حمل و نقل سهم قابل توجهی در مصرف منابع انرژی و همچنین تولید آلاینده های زیست محیطی دارد. در نتیجه، دولت ها در سطوح مختلف اقدامات متنوعی را جهت توسعه پایدار فعالیت های حوزه انرژی و در نتیجه کاهش آلاینده های زیست محیطی انجام داده اند. به طوری که اکثر کشورهای جهان به فکر جایگزینی سوخت های فسیلی با سوخت های پاک هستند [۱و۲].

تامین پایدار منابع انرژی موضوعی استراتژیک در قرن حاضر است. رشد سریع جمعیت و سطح تکنولوژی میزان مصرف جهانی انرژی را به طور چشمگیری افزایش داده است که منجر به کاهش سریع منابع سوخت های فسیلی می شود. براساس گزارش آژانس بین المللی انرژی<sup>۱</sup>، میزان تقاضای منابع انرژی در جهان تا سال ۲۰۴۰ حدود ۳۸ درصد افزایش خواهد یافت و سهم سوخت های فسیلی برای پاسخگویی به این نیاز حدود ۷۸ درصد است. این افزایش تقاضا و میزان مشارکت منابع تجدیدناپذیر سوخت های فسیلی منجر به عدم تامین پایدار منابع انرژی و افزایش قابل توجه آلاینده های زیست محیطی خواهد شد. در این بین با تولید و فرآوری سوخت های پاک از منابع تجدیدپذیر موجود در سطح زمین، می توان به طور قابل توجهی بر این معضلات فائق آمد. هیدروژن و بیوسوخت ها به عنوان دو جایگزین مطمئن برای

امیر محمد قندهاریون و همکاران

سوخت های فسیلی قابلیت تامین پایدار منابع انرژی را در دراز مدت دارا بوده و علاوه بر سازگاری با معیارهای زیست محیطی قابلیت تامین امنیت انرژی در حوزه های مختلف از جمله صنعت حمل و نقل را دارا هستند [۱-۴]. تاکنون تحقیقات زیادی در زمینه تحلیل و ارزیابی موتورهای احتراق داخلی انجام شده است. عمده این تحقیقات شامل تحلیل های تجربی و عددی و بخشی شامل ارزیابی و تحلیل پایایی سوخت های مورد استفاده است. ساریکو<sup>۲</sup> و همکاران [۵] با استفاده از ترکیب سوخت دیزل، بیودیزل و بوتانول به بررسی عملکرد موتور، شاخص آگزرژی<sup>۳</sup> و پایایی<sup>۴</sup> این سوخت ها پرداختند. آزمایشات بر روی یک موتور دیزل تک سیلندر تزریق مستقیم و تحت گشتاورهای به ترتیب ۱۴۰۰ و ۲۸۰۰ دور در دقیقه انجام شد. نتایج آنان نشان داد که شاخص آگزرژی و پایایی بیودیزل در ترکیب B۱۰۰ بیشتر از دو سوخت دیگر است. آنان همچنین دریافتند که خواص بیودیزل و بوتانول تاثیرات قابل ملاحظه ای بر عملکرد بهینه موتور دارد. آمید<sup>۵</sup> و همکاران [۶] با استفاده از ترکیب سوخت دیزل و بیودیزل، به بررسی میزان آلاینده های زیست محیطی و عملکرد موتور دیزل پرداختند. نتایج آنان نشان داد که در هنگام ترکیب بیودیزل با سوخت دیزل، میزان انتشار اکسیدهای نیتروژن (NOX) و دی اکسید کربن (CO<sub>2</sub>) کاهش می یابد. شارما<sup>۶</sup> و همکاران [۷] با استفاده از سوخت دیزل و بیودیزل و همچنین ترکیب روش های پاسخ سطح و تاگوچی، به تحلیل عملکرد موتور دیزل پرداختند. پارامترهای ورودی در این تحقیق شامل فشار و زمان تزریق سوخت، درصد ترکیب بیودیزل و بار موتور و پارامترهای خروجی شامل راندمان حرارتی، دمای گاز خروجی و میزان انتشار آلاینده های زیست محیطی است. نتایج این تحقیق نشان داد که ترکیب بهینه در پارامترهای ورودی شامل

<sup>۱</sup> International Energy Agency

<sup>۲</sup> Sarikoc

<sup>۳</sup> Exergy

<sup>۴</sup> Sustainability

<sup>۵</sup> Amid

<sup>۶</sup> Sharma

این پالایشگاه‌ها بایستی سیاست‌های عمومی دولت‌ها و سازمان‌های بین‌المللی و همچنین تحقیقات و نوآوری‌های تکنولوژیکی به سمت تکمیل زنجیره ارزش و تولید سوخت‌های اقتصادی و دوستدار محیط زیست هدایت شود. توسعه پالایشگاه‌های زیستی در گرو اعمال سیاست‌های حمایتی و همراه با یارانه دولت‌ها، آموزش نیروی انسانی متخصص، شناخت و ارتقاء مزیت‌های رقابتی و همکاری بین بخش‌های مختلف (محققان، دانشگاه‌ها، دولت‌ها، سرمایه‌گذاران و جامعه) است. در مطالعه دیگری آکار و دینسر<sup>۵</sup> [۱۲]، به بررسی و امکان‌سنجی استفاده از سوخت هیدروژن به عنوان سوخت اصلی برای سیستم‌های حمل و نقل جاده‌ای پرداختند. نتایج آنان نشان داد که با توجه به ویژگی‌هایی مانند چگالی انرژی، فراوانی، سهولت حمل و نقل، طیف گسترده‌ای از روش‌های تولید با ضریب انتشار آلاینده‌ی حداقلی، به نظر می‌رسد هیدروژن یک سوخت شیمیایی مناسب است که به‌طور بالقوه می‌تواند جایگزین سوخت‌های فسیلی در موتورهای احتراق داخلی شود. استفاده از هیدروژن در موتورهای احتراق داخلی می‌تواند کارایی سیستم را افزایش دهد، توان خروجی بالاتری را برای وسیله نقلیه ارائه دهد و مقادیر کمتری از گازهای گلخانه‌ای را منتشر کند. در بخش دیگری از این تحقیق موتورهای احتراق داخلی، هیبریدی، سوخت زیستی، پیل سوختی و هیدروژنی از نظر نرخ انتشار آلاینده‌های CO<sub>2</sub> و SO<sub>2</sub>، هزینه اجتماعی کربن، بازده انرژی و اگزرژی، مصرف سوخت و قیمت سوخت با یکدیگر مقایسه شده‌اند. نتایج این ارزیابی نشان می‌دهد که خودروهای پیل سوختی با کسب امتیاز ۴/۹۷ از ۱۰ بالاترین رتبه عملکردی و پس از آن خودروهای سوخت هیدروژنی با کسب امتیاز ۴/۸۱ از ۱۰ در مقام دوم و سپس خودروهای سوخت زیستی با کسب

فشار تزریق سوخت ۲۱/۵۲ مگاپاسکال، ترکیب ۲۴ درصدی بیودیزل و بار موتور ۸۰ درصد است. هاناچ<sup>۱</sup> و همکاران [۸] با استفاده از ترکیب سوخت دیزل و هیدروژن، به بررسی میزان آلاینده‌ی‌های زیست محیطی در موتور دیزل کلاس ۸ پرداختند. نتایج آنان نشان داد که در هنگام ترکیب هیدروژن با سوخت دیزل با نسبت‌های ۳۰، ۴۰ و ۵۰ درصد، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای تا ۵۰ درصد کاهش می‌یابد.

ناناکی و کورونیس<sup>۲</sup> [۹] با استفاده از تکنیک تحلیل چرخه عمر به تحلیل پایایی دو سوخت دیزل و بیودیزل پرداختند. نتایج آنان نشان داد که استفاده از بیوسوخت‌ها در صنعت حمل و نقل موجب کاهش قابل توجه گازهای گلخانه‌ای و اثرات مخرب زیست محیطی و همچنین افزایش ضریب امنیت انرژی می‌شود. دینسر و روزن<sup>۳</sup> [۱۰] با استفاده از تکنیک تحلیل چرخه عمر و ارزیابی راندمان یک سلول سوخت PEM به مطالعه اثرات مختلف سوخت هیدروژن برای موتورهای احتراق داخلی پرداختند. نتایج آنان نشان داد که میزان مصرف انرژی و همچنین تولید گازهای گلخانه‌ای در هنگام استفاده از هیدروژن تقریباً ۵۰ درصد کاهش می‌یابد. از طرفی برای افزایش بهره‌وری و تکمیل زنجیره کارایی این سوخت، نیاز به انجام تحقیقات گسترده‌تر در این زمینه است. کلازر<sup>۴</sup> و همکاران [۱۱] با رویکرد فنی، اقتصادی و زیست محیطی به تحلیل پالایشگاه‌های زیستی به عنوان یک عامل استراتژیک برای افزایش اقتصاد زیستی پرداختند. نتایج تحقیقات آنان نشان داد که پالایشگاه‌های زیستی آینده امیدوار کننده‌ای دارند. به‌طوری که با اجرای زیرساخت پالایشگاه‌های زیستی، می‌توان به استراتژی تولید پایدار دست یافت. با این وجود، برای بهره‌برداری بهینه از پتانسیل کامل

<sup>۱</sup> Hannach

<sup>۲</sup> Nanaki and Koroneos

<sup>۳</sup> Dincer and Rosen

<sup>۴</sup> Clauser

<sup>۵</sup> Acar and Dincer

امتیاز ۴/۷۱ از ۱۰ در رتبه سوم قرار دارند. شاخص های فناوری در ارتباط می باشد. به این معنا که با توجه به استفاده گسترده از سه سوخت دیزل، پیشرفت های فناوری باید منجر به استفاده مسئولانه از بیودیزل و هیدروژن در صنعت حمل و نقل، هدف از انجام منابع زیست محیطی و آسیب های ناچیز به محیط زیست این پژوهش تحلیل توسعه پایدار و ارزیابی این سه سوخت گردند. همچنین شاخص های فناوری از طریق اقتصاد با از دیدگاه پایایی است. پس از مقایسه و بررسی عملکرد این شاخص های اجتماعی مرتبط هستند. به این معنا که سه سوخت از نقطه نظرات زیست محیطی، اجتماعی و تحولات اقتصادی ناشی از پیشرفت های فناوری، زمینه ساز فناوری، سازگارترین سوخت با معیارهای توسعه پایدار افزایش رفاه و آسایش زندگی مردم می شود.

۳- نتایج و بحث معرفی می شود. به این ترتیب وجه نوآوری پژوهش حاضر

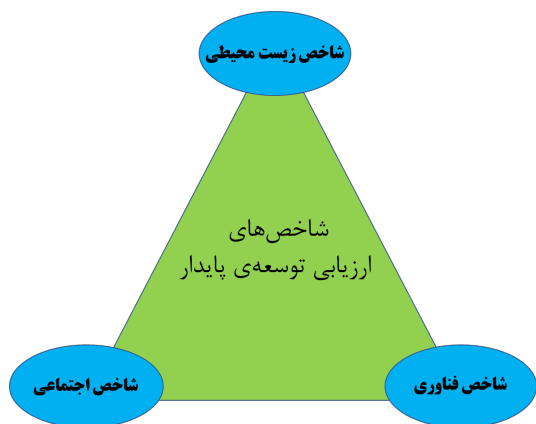
۳-۱- شاخص های ارزیابی توسعه پایدار

۳-۱-۱- شاخص های زیست محیطی

شاخص های دسته ی زیست محیطی به ارزیابی فعالیت های انسانی (که می تواند محلی، منطقه ای یا ملی باشد) و تأثیر آن ها بر اکوسیستم جهانی کمک می کند. شاخص های توسعه پایدار مورد استفاده در موتورهای دیزلی و در نتیجه توسعه سوخت های اقتصادی و سازگار با محیط زیست دانست.

۲- روش ارزیابی توسعه پایدار

تحلیل توسعه پایدار، یک روش کیفی- کمی است که به منظور ارزیابی پایایی سیستم های مبتنی بر انرژی استفاده می شود. این روش اولین بار توسط نیرمال<sup>۱</sup> و همکاران ارائه شده است [۱۳]. هدف استفاده از این روش، ارزیابی، مقایسه و بهبود سیستم های انرژی برای کاهش آلاینده های زیست محیطی و حرکت به سمت توسعه پایدار است. این روش ارزیابی، شامل سه دسته شاخص زیست محیطی، اجتماعی و فناوری و ۱۰ شاخص در هر دسته است. هر شاخص معیاری برای تحلیل توسعه پایدار موضوع مسئله در آن حوزه است. انتخاب و گروه بندی معیارها بر اساس اطلاعات ارائه شده در پیشینه پژوهش و استدلال و داوری است. امتیازدهی هر شاخص به صورت عددی بین ۰ و ۱ است. به طوری که عدد ۱ نشانگر بیشترین میزان پایایی، و عدد ۰ نشانگر کمترین میزان پایایی در آن شاخص است. در شکل ۱ سه شاخص اصلی و موضوعات مرتبط با آن ها نشان داده شده است. شاخص های زیست محیطی نشانگر میزان سازگاری فرآیند مورد بررسی با معیارهای محیط زیستی می باشد. این شاخص با



شکل ۱: شاخص های ارزیابی توسعه پایدار و حوزه های مرتبط.

وجود دارد. از طرفی با توجه به منابع تجدیدپذیر، فراوانی نسبی و امکان ایجاد تحولات قابل توجه در چرخه تولید بیودیزل، این سوخت حائز کسب بیشترین امتیاز می‌شود [۱۸-۱۶].

۵- شاخص نرخ ماده<sup>۴</sup>: این شاخص میزان اثربخشی و راندمان یک واحد محصول را معرفی می‌کند. به عنوان مثال، گازوئیل با توجه به خواص شیمیایی و ارزش بالای حرارتی خود، حائز کسب بیشترین امتیاز می‌شود که از طرفی این خاصیت در سوخت بیودیزل و هیدروژن کمتر است [۱۴ و ۱۳].

۶- شاخص نرخ انرژی: این شاخص میزان تولید انرژی و راندمان حرارتی یک عنصر را نشان می‌دهد. این شاخص میزان چگالی انرژی و یا میزان انرژی موجود در واحد حجم هر عنصر را اندازه‌گیری می‌کند. به عنوان مثال، فرآیندهای احتراق به دلیل سرعت بالاتر واکنش شیمیایی، میزان انرژی بسیار بالایی را نسبت به سایر فرآیندهای دیگر دارند. در نتیجه گازوئیل امتیاز بیشتری را به نسبت دو سوخت دیگر کسب می‌کند [۱۴ و ۱۳].

۷- شاخص نرخ آلاینده‌گی: این شاخص میزان تولید آلاینده‌گی‌های زیست محیطی مرتبط با یک عنصر را نشان می‌دهد. به عنوان مثال، در هنگام احتراق سوخت دیزلی، آلاینده‌های زیادی از جمله (Co, Co<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> و Hc) تولید می‌گردند که موجب افزایش گازهای گلخانه‌ای و افزایش دمای کره زمین می‌شوند. از طرفی حاصل فرآیند احتراق سوخت هیدروژن تنها بخار آب است. به این ترتیب سوخت هیدروژن امتیاز بیشتری را در این شاخص کسب می‌کند [۲۱ و ۱۳].

۸- شاخص مکان<sup>۵</sup>: این شاخص نشان دهنده میزان فاصله مکانی منبع تولید یک عنصر یا فرآیند تا محل

در مقابل سوخت‌های هیدروژن و بیودیزل فاقد این ویژگی هستند. از این‌رو گازوئیل بیشترین امتیاز در این شاخص را کسب می‌نماید [۱۳-۱۵].

۲- شاخص قابلیت سازواری<sup>۱</sup>: این شاخص نشان دهنده میزان سهولت دستیابی و پردازش یک عنصر است. به طوری که فرآیند تولید یک سوخت دارای پیچیدگی، هزینه و پتانسیل تولید زباله کمتری باشد. به عنوان مثال با توجه به فرآیندهای پیچیده، طولانی و هزینه‌بر استخراج و پالایش نفت، سوخت دیزل در این شاخص، امتیاز کمتری به نسبت دو سوخت دیگر کسب می‌کند. در مقابل تولید و پالایش زیست توده‌ها<sup>۲</sup> مقرون به صرفه و دارای پیچیدگی کمتری است [۱۴ و ۱۳].

۳- شاخص ظرفیت زیست محیطی: این شاخص میزان ظرفیت زیست محیطی یک عنصر و یا مدت زمان تأمین پایدار یک عنصر توسط اکوسیستم جهانی (بدون ایجاد عدم تعادل قابل توجه در اکوسیستم) را نشان می‌دهد. به عنوان مثال، با توجه به تجدیدناپذیر بودن سوخت‌های فسیلی و رو به اتمام بودن آن‌ها، سوخت دیزل دارای ظرفیت زیست محیطی کمتر و در نتیجه دارای امتیاز کمتری در این بخش می‌باشد. از طرفی با توجه به تجدیدپذیر بودن منابع تولید سوخت‌های بیودیزل و هیدروژن و فراوانی نسبی آن‌ها در سطح کره زمین، این سوخت‌ها حائز کسب امتیاز بیشتری می‌شوند [۱۵ و ۱۴].

۴- شاخص بازه زمانی<sup>۳</sup>: این شاخص نشان دهنده میزان بلوغ یا سطح جایگاه تثبیت شده یک عنصر در بازار جهانی است. به عنوان مثال، سوخت‌های فسیلی به عنوان یک محصول تجاری، دوران بلوغ خود را طی کرده و به دلیل رو به پایان بودن منابع آن در جهان، از این پس رو به افول است. لذا امکان ایجاد تحولات نوآورانه در آن کمتر

۱ Adaptability

۲ Biomasses

۳ Time Line

۴ Material Rate

۵ Location

جدول ۱: شاخص های زیست محیطی و میزان امتیاز هر سوخت.

شاخص ها	دیزل	بیودیزل	هیدروژن
دسترسی	۰/۸۵	۰/۶۰	۰/۵۵
سازواری	۰/۳۰	۰/۷۰	۰/۶۵
ظرفیت زیست محیطی	۰/۳۰	۰/۸۵	۰/۷۵
بازه زمانی	۰/۲۵	۰/۷۵	۰/۷۰
نرخ ماده	۰/۷۵	۰/۵۵	۰/۵۰
نرخ انرژی	۰/۷۰	۰/۵۵	۰/۵۰
نرخ آلاینده‌گی	۰/۱۵	۰/۸۰	۰/۹۰
مکان	۰/۴۰	۰/۵۰	۰/۷۵
بالانس اکولوژیکی	۰/۰۵	۰/۸۰	۰/۸۵
تحمل	۰/۴۵	۰/۶۵	۰/۷۵
جمع کل	۰/۴۲	۰/۶۷	۰/۶۹

۳-۱-۲- شاخص های اجتماعی

شاخص های اجتماعی به ارزیابی میزان تأثیر فعالیت های بشری بر موضوعات اجتماعی و جامعه شناختی کمک می کند. هر جامعه به طور مستقیم یا غیرمستقیم در معرض نتایج ناشی از فعالیت های صنعتی قرار دارد. این شاخص ها موجب جلوگیری از ایجاد اثرات نامطلوب بر اجتماع خواهند شد [۱۳]. در زیر به تشریح هر یک از این شاخص ها پرداخته شده است.

۱- شاخص اقتصاد: این شاخص نشان دهنده میزان منافع اقتصادی و مالی یک عنصر در جامعه است. به عنوان مثال، استخراج و پالایش نفت به عنوان یک ذخیره ملی، برای کشورهای دارای منابع نفتی یک درآمد قابل توجه به حساب می آید و بر رشد اقتصادی آن ها موثر است. از طرفی با توجه به نوظهور بودن و کمبود زیرساخت های لازم برای تولید و پالایش سوخت های پاک، می توان نتیجه گرفت که در حال حاضر سوخت های فسیلی از لحاظ اقتصادی و درآمدزایی رتبه بالاتری را دارند [۱۳ و ۲۶].

۲- شاخص سیاست: سیاست ها و ضوابط اجرایی

پالایش یا توزیع آن است. به طوری که اگر منبع تولید عناصر از محل پالایش یا توزیع آن دور باشد، هزینه های حمل و نقل و تامین و نگهداری آن افزایش می یابد. به این ترتیب، سوخت هیدروژن به دلیل نزدیکی محل تولید با پالایش آن حائز کسب امتیاز بیشتری می شود [۱۴ و ۱۳].

۹- شاخص بالانس اکولوژیکی: این شاخص میزان تأثیر یک عنصر در ایجاد عدم تعادل اکوسیستمی را نشان می دهد. این شاخص همچنین میزان قابلیت بازیافت یا استفاده مجدد از یک عنصر را نیز نشان می دهد. به عنوان مثال، استخراج سوخت های فسیلی از اعماق زمین موجب ایجاد مشکلاتی از جمله رانش و نشست زمین و همچنین تخریب زیست بوم جانوران آن منطقه می گردد. همچنین در فاز استفاده از این سوخت نیز آلاینده های زیست محیطی فراوانی تولید می شوند که تأثیر مخربی بر تعادل اکوسیستم جهانی دارند. بنابراین سوخت دیزل حائز کسب کمترین امتیاز و سوخت هیدروژن (به دلیل عدم ایجاد آلاینده گی و آسیب های زیست محیطی) بیشترین امتیاز را کسب می نماید [۲۳-۲۲ و ۱۳].

۱۰- شاخص تحمل: این شاخص میزان تعمیر و نگهداری تجهیزات و زیرساخت های مرتبط با یک عنصر را نشان می دهد. عناصری که نیاز به تعمیر و نگهداری کمتری داشته باشند دارای امتیاز بالاتری خواهند بود. به عنوان مثال سوخت های فسیلی متناسب با تاسیسات و زیرساخت های زیادی که در هنگام استخراج و پالایش دارند، به نسبت دو سوخت دیگر، نیاز به تعمیر و نگهداری بیشتری نیز دارند. به این ترتیب گازوئیل کمترین امتیاز در این شاخص را کسب می کند [۲۵-۲۴ و ۱۳]. در جدول ۱ شاخص های زیست محیطی و میزان امتیاز هر یک از آن ها شرح داده شده است.

یک فرآیند، امری مهم است. اگر عملکرد فرآورده‌های یک عنصر از نظر محیط زیستی خوش خیم باشند امتیاز بالاتری را کسب خواهند کرد و بالعکس. به عنوان مثال، تبدیل CO<sub>2</sub> به بیودیزل با استفاده از نور خورشید یا مواد مغذی از نظر زیست محیطی بسیار خوب است زیرا نه تنها CO<sub>2</sub> از بین می‌رود بلکه سوختی پاک نیز تولید می‌شود. همچنین تولید هیدروژن از زباله کارخانه‌های محصولات شیمیایی موجب عدم رهاسازی این زباله‌ها در طبیعت و همچنین تولید سوختی پاک نیز می‌شود. بنابراین تولید و استفاده از سوخت‌های بیودیزل و هیدروژن تقریباً عاری از مخاطرات زیست محیطی و منطبق بر ارزش‌های محیط زیستی می‌باشد [۲۹].

۶- شاخص استاندارد زندگی<sup>۱</sup>: میزان تأثیر یک عنصر یا فرایند بر استانداردهای زندگی انسان، با تمرکز بر نیازهای اساسی مانند خوراک، پوشاک و مسکن شاخصی مهم است. اگر یک عنصر یا فرایند موجب افزایش استانداردهای زندگی انسان بشود، حائز کسب امتیاز بالاتری خواهد شد و بالعکس. به عنوان مثال، گازوئیل به دلیل دارا بودن چگالی انرژی بالاتر، در حال حاضر می‌تواند خدمات بیشتری را در مقایسه با زیست توده به سیستم‌های حمل و نقل و تولید انرژی ارائه دهد و از این طریق استانداردهای اساسی زندگی بشر را به خوبی تامین کند. هر چند که ممکن است این زنجیره تامین پایدار نباشد [۳۰ و ۳۱].

۷- شاخص رفاه انسانی<sup>۲</sup>: این شاخص نشان دهنده تأثیر یک عنصر یا فرآیند بر راحتی انسان (افزایش رفاه زندگی و آسایش فراتر از نیازهای اساسی) است. هرچه یک عنصر یا فرایند در فراهم آوردن آسایش‌های انسانی موثرتر باشد، حائز کسب امتیاز بیشتری می‌شود. میزان امتیاز این شاخص نیز مشابه شاخص قبلی است [۳۱ و ۳۲].

۸- شاخص قابلیت توسعه: این شاخص نشان دهنده میزان پتانسیل رشد و توسعه یک عنصر یا فرآیند در

دولت‌ها بر میزان در دسترس بودن یک عنصر یا فرآیند تأثیر می‌گذارد. به طوری که با پشتیبانی و حمایت قوانین دولتی می‌توان شاهد رشد و توسعه تولید یک محصول بود. ملاک این حمایت و پشتیبانی، پیشرفت‌های فناورانه و پایداری زیست محیطی و اقتصادی یک فرآیند است. به عنوان مثال، ابتکار دولت برای افزایش بودجه تحقیقاتی در زمینه سوخت‌های پاک، به بهبود پایداری و چابک‌تر شدن فرآیند تولید و توزیع سوخت بیودیزل و هیدروژن کمک می‌کند [۲۷ و ۱۳].

۳- شاخص منابع انسانی: میزان به کارگیری مستقیم نیروی انسانی در تولید و توزیع یک عنصر یا فرآیند، در ایجاد اشتغال و در نتیجه منافع اقتصادی برای جامعه، تأثیرگذار است. به عنوان مثال، با توجه به تولید روزانه میزان قابل توجهی از نفت خام و سپس پالایش و توزیع آن، افراد زیادی در سراسر دنیا در این صنعت فعال هستند. از طرفی با توجه به نوظهور بودن و کمبود زیرساخت لازم برای تولید و پالایش سوخت‌های پاک، می‌توان نتیجه گرفت که در حال حاضر سوخت فسیلی ضریب اشتغال‌زایی بالاتری را دارد [۲۷ و ۱۳].

۴- شاخص افکار عمومی: ماهیت افکار عمومی در مورد نحوه عملکرد یک عنصر یا فرآیند، فاکتوری تأثیرگذار است. اگر اکثریت جامعه نظر مثبتی راجع به یک عنصر یا فرآیند داشته باشند به آن عنصر امتیاز بالاتری تعلق می‌گیرد. به عنوان مثال، انتشار آلاینده‌های خطرناک زیست محیطی در هنگام تولید سوخت‌های فسیلی و همچنین آثار تخریب گونه آن بر زیست بوم جهانی، عاملی برای کاهش محبوبیت سوخت دیزل در افکار عمومی شده است. به این ترتیب مردم خواهان جایگزینی سوخت‌های فسیلی با سوخت‌های پاک هستند [۲۸ و ۱۳].

۵- شاخص رسالت زیست محیطی: انتظارات اجتماعی در مورد تعهدات و سازگاری زیست محیطی یک عنصر یا

<sup>۱</sup> Living standard

<sup>۲</sup> Human convenience

یک از آن‌ها شرح داده شده است.

جدول ۲: شاخص‌های اجتماعی و میزان امتیاز هر سوخت.

شاخص‌ها	دیزل	بیودیزل	هیدروژن
اقتصاد	۰/۸۰	۰/۶۵	۰/۶۰
سیاست	۰/۵۵	۰/۷۵	۰/۷۵
منابع انسانی	۰/۷۵	۰/۶۰	۰/۵۵
افکار عمومی	۰/۲۰	۰/۷۵	۰/۷۵
رسالت زیست محیطی	۰/۲۵	۰/۷۵	۰/۷۵
استاندارد زندگی	۰/۷۵	۰/۵۰	۰/۴۵
رفاه انسانی	۰/۷۵	۰/۵۵	۰/۵۵
قابلیت توسعه	۰/۳۵	۰/۸۰	۰/۸۵
میزان تقاضا	۰/۷۵	۰/۵۰	۰/۴۰
لابی‌گری	۰/۹۰	۰/۵۰	۰/۴۰
جمع کل	۰/۶۰	۰/۶۳	۰/۶۰

### ۳-۱-۳ شاخص‌های فناوری

شاخص‌های فناوری به ارزیابی جنبه‌های مرتبط با فناوری یک عنصر یا فرآیند کمک می‌کنند. این شاخص‌ها توانایی‌های فنی و تخصصی هر عنصر را با در نظر گرفتن محدودیت‌های زیست‌محیطی، قابلیت تجاری‌سازی و پیشرفت‌های بالقوه ارزیابی می‌کند [۱۳]. در زیر به تشریح هر یک از این شاخص‌ها پرداخته شده است.

۱- شاخص مصرف انرژی: این شاخص نشان دهنده میزان مصرف انرژی یک عنصر در هنگام تولید و بهره‌برداری از آن است. هر چه فرآیند تولید و توزیع یک عنصر به انرژی کمتری نیاز داشته باشد حائز کسب امتیاز بیشتری می‌گردد. به عنوان مثال، فرآیند استخراج و پالایش سوخت‌های فسیلی دارای راندمان و اثربخشی پایین‌تری نسبت به سوخت هیدروژن می‌باشد. به این ترتیب تولید یک لیتر سوخت دیزل نیازمند صرف ۳۳ مگا ژول انرژی است، در حالی که برای تولید همین میزان

گذر زمان می‌باشد. بدین ترتیب عناصری که قابلیت رشد و توسعه بیشتری را دارند حائز کسب امتیاز بیشتری می‌شوند. به عنوان مثال، با توجه به ماهیت آلاینده‌سازی سوخت‌های فسیلی و همچنین رو به اتمام منابع تولید آن‌ها، دیگر قابلیت توسعه و سازگاری قابل توجهی را نداشته و به عبارتی در دوران کهن سالی به سر می‌برند. اما از طرف دیگر سوخت‌های پاک (از جمله بیودیزل و هیدروژن) دارای منابع تجدید پذیر و عدم آلاینده‌گی زیست محیطی می‌باشند. بنابراین تحقیقات بسیار زیادی بر روی بهینه‌سازی و تجاری‌سازی این سوخت‌ها در حال انجام است و آینده بسیار درخشانی برای این سوخت‌ها پیش‌بینی می‌شود [۱۳ و ۳۳].

۹- شاخص میزان تقاضا: این شاخص نشان‌دهنده میزان تقاضا برای استفاده از یک عنصر یا فرآیند می‌باشد. به عنوان مثال، با توجه به فراوانی نسبی و قیمت ارزان سوخت‌های فسیلی، در حال حاضر در بیشتر صنایع شاهد استفاده از این سوخت هستیم. البته این شاخص در زمان حال سنجیده می‌شود و ممکن است در آینده متفاوت باشد [۳۴ و ۳۵].

۱۰- شاخص لابی‌گری<sup>۱</sup>: این شاخص نشان‌دهنده میزان تاثیر فشار خارجی بر تولید یک عنصر یا فرآیند، از طریق لابی‌های سیاسی و اقتصادی است. اگر یک عنصر دارای لابی مؤثر و تاثیر گذار باشد، حائز کسب امتیاز بیشتری می‌شود. به عنوان مثال، صنعت تولید سوخت‌های فسیلی، دارای تاسیسات بسیار عظیم و شرکت‌های سرمایه‌گذاری بسیار بزرگی در سراسر دنیا می‌باشد. از این رو مفید یا مضر بودن تولید این سوخت‌ها در بیشتر مواقع در هاله‌ای از ابهام قرار دارد. لابی‌های قدرتمند حاضر به چشم پوشی از سود قابل توجه خود نیستند و با استفاده از ابزارهای تبلیغاتی، معایب و تاثیرات مخرب سوخت‌های فسیلی بر محیط زیست را توجیه و به کار خود ادامه می‌دهند [۳۰ و ۲۹]. در جدول ۲ شاخص‌های اجتماعی و میزان امتیاز هر

۱ Lobbying



می‌کنند. به عنوان مثال، از سال ۱۹۹۰ تا کنون بیش از هزاران پروژه تحقیقاتی بر روی بهینه‌سازی و تجاری‌سازی سوخت‌های پاک و جایگزینی آن‌ها با سوخت‌های فسیلی اجرا شده است [۳۹-۳۸ و ۱۳].

۶- شاخص اثبات<sup>۱</sup>: این شاخص نشان دهنده میزان محقق شدن تحقیقات نظری در مورد یک فرآیند یا عنصر است. از اینرو عناصری که بیشترین آمار تبدیل فرضیات و تحقیقات به عمل را دارند، حائز کسب امتیاز بیشتری می‌شوند. به عنوان مثال، از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۹ بیش از هزار مورد پروژه تحقیقاتی بر روی تجاری‌سازی سوخت‌های پاک انجام شده است که بخش عظیمی از آن نتیجه‌بخش بوده و در عمل به کارگیری شده است [۳۹-۳۸ و ۱۳].

۷- شاخص تجاری‌سازی: این شاخص نشان دهنده میزان پتانسیل و قابلیت تجاری‌سازی یک فرآیند یا عناصر را نشان می‌دهد. به این ترتیب عناصری که ظهور موفق‌تری در بازار تجاری داشته‌اند حائز کسب امتیاز بالاتری می‌شوند. به عنوان مثال، سوخت‌های پاک اولین بار در سال ۱۹۹۲ مورد استفاده قرار گرفتند. از آن سال تاکنون بیودیزل‌ها و سوخت‌های هیدروژنی رشد فراوانی داشته و در روش‌های تولید و پالایش خود پیشرفت‌های چشمگیری داشته‌اند [۴۰ و ۱۳].

۸- شاخص تاثیر<sup>۲</sup>: این شاخص نشان دهنده میزان تاثیر تحقیقات و نوآوری‌های مرتبط با یک عنصر در زمینه کاهش آلاینده‌گی و انرژی مصرفی آن عنصر است. بنابراین عناصری که باز طراحی و بهینه‌سازی آنان بر میزان آلاینده‌گی و انرژی مصرفی‌شان موثر است حائز کسب امتیاز بیشتری می‌شوند. به‌طور مثال باز طراحی و بهینه‌سازی فرآیند تولید سوخت هیدروژن، می‌تواند نرخ تولید این سوخت را افزایش دهد [۴۱ و ۴۰].

سوخت هیدروژن، تنها ۱۰ مگاژول انرژی مصرف می‌شود [۳۷ و ۳۶].

۲- شاخص آگزرژی: این شاخص نشان دهنده نرخ آگزرژی نسبی یک عنصر یا فرآیند با توجه به سیستم و محیط کاری آن فرآیند است. به عنوان مثال، فرآیند احتراق نسبت به گاززدایی از میزان آگزرژی بالاتری برخوردار است. بنابراین گازوئیل حائز کسب امتیاز بالاتری در این شاخص می‌شود [۲۰ و ۱۴ و ۱۳].

۳- شاخص راندمان: این شاخص نشان دهنده میزان راندمان و کارایی (نسبت ورودی به خروجی، با توجه به انرژی و آگزرژی) یک عنصر یا فرآیند است. به‌طوری که عناصر دارای راندمان بالاتر، امتیاز بیشتری را کسب می‌کنند. به عنوان مثال، یک لیتر سوخت فسیلی قابلیت تولید ۳ کیلو وات توان در موتور را دارد، در صورتی که یک لیتر بیودیزل و هیدروژن به ترتیب ۱٫۳ و ۰٫۹۵ کیلو وات توان ایجاد می‌کنند [۲۰ و ۱۴ و ۱۳].

۴- شاخص طراحی: این شاخص نشان دهنده تأثیر طراحی یک فرآیند یا عنصر بر عملکرد پایدار آن است. عناصری که طراحی و باز طراحی آن‌ها موجب افزایش پایداری و سازگاری‌شان می‌شود حائز کسب امتیاز بیشتری می‌شوند. به عنوان مثال، با توجه به ماهیت سوخت‌های فسیلی و رو به اتمام بودن آن‌ها، دیگر تحقیقات و پژوهش قابل توجهی بر روی این سوخت‌ها اجرا نمی‌گردد. از طرفی با توجه به عدم آلاینده‌گی و تجدیدپذیر بودن نسبی منابع تولید سوخت‌های بیودیزل و هیدروژن، این سوخت‌ها قابلیت طراحی پایدارتری را دارند و امتیاز بیشتری را در این بخش کسب می‌کنند [۳۹-۳۸ و ۱۳].

۵- شاخص تحقیق: این شاخص نشان دهنده میزان تحقیقات اجرا شده بر روی یک فرآیند یا عنصر است. به‌طوری که عناصر دارای پتانسیل پایداری، تحقیقات بیشتری را به خود اختصاص داده و امتیاز بیشتری را کسب

<sup>۱</sup> Demonstration

<sup>۲</sup> Impact

۹- شاخص تکامل: این شاخص نشان دهنده ظرفیت توسعه فناوریانه یک محصول به منظور بهبود سازگاری و رشد و ارتقاء آن در بازار جهانی است. به طور مثال، با توجه به مشکلات امروزه آلودگی هوا در کلان شهرهای دنیا، موضوع کاهش آلاینده های زیست محیطی به اصلی مهم تبدیل گشته است. به این ترتیب محققان و پژوهشگران در سراسر دنیا به دنبال ارتقاء و تکمیل زنجیره تولید و توزیع سوخت های پاک هستند [۴۱- ۴۰ و ۱۳].

۱۰- شاخص محدودیت های زیست محیطی: این شاخص نشان دهنده میزان محدودیت های محیط زیستی یک عنصر یا فرآیند بر روی کره زمین است. به طوری که پایایی یک عنصر تا حد زیادی به میزان منابع در دسترس آن عنصر بستگی دارد. به طور مثال برآورد می شود که منابع سوخت های فسیلی در بیشتر کشورهای دنیا تا ۵۰ سال دیگر به پایان خواهد رسید. بنابراین ضروری است که برای جلوگیری از تعطیلی بسیاری از صنایع بایستی به دنبال تولید سوخت از منابع تجدیدپذیر باشیم. سوخت های بیودیزل و هیدروژن راه حل مناسبی برای این امر می باشند [۱۷ و ۱۴ و ۱۳]. در جدول ۳ شاخص های تکنولوژیکی و میزان امتیاز هر یک از آنها شرح داده شده است.

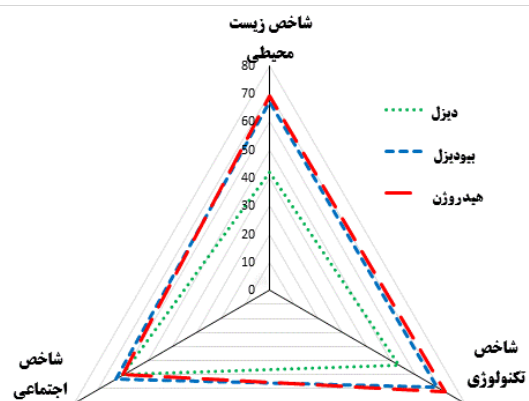
جدول ۳: شاخص های فناوری و میزان امتیاز هر سوخت.

شاخص ها	دیزل	بیودیزل	هیدروژن
مصرف انرژی	۰/۴۰	۰/۶۵	۰/۷۵
اگرژی	۰/۷۵	۰/۵۵	۰/۵۰
راندمان	۰/۷۰	۰/۵۵	۰/۵۰
طراحی	۰/۵۰	۰/۷۵	۰/۷۵
تحقیق	۰/۴۵	۰/۷۵	۰/۸۰
اثبات	۰/۴۵	۰/۶۵	۰/۶۵
تجاری سازی	۰/۵۵	۰/۷۵	۰/۸۵
تاثیر	۰/۵۰	۰/۷۰	۰/۷۵
تکامل	۰/۵۵	۰/۷۵	۰/۵۸
محدودیت ها زیست محیطی	۰/۴۵	۰/۸۵	۰/۸۰
جمع کل	۰/۵۳	۰/۶۹	۰/۷۲

در شکل ۲ نمودار تحلیل توسعه ای پایدار سه سوخت رسم شده است. همان طور که مشاهده می شود، سوخت دیزل به طور میانگین کمترین امتیاز را کسب نموده است. از طرفی سوخت بیودیزل صرفاً در شاخص اجتماعی به نسبت دو سوخت دیگر حائز کسب بیشترین امتیاز گردیده است. بنابراین به طور متوسط، در هر سه شاخص پایایی سوخت هیدروژن بیشترین امتیاز و در نتیجه بیشترین سازگاری با معیارهای توسعه ای پایدار را دارا است. البته باید به این موضوع توجه نمود که چرخه عمر هر سوخت از دیدگاه های متنوعی مورد بررسی قرار گرفته است. لذا ممکن است هر سوخت در موردی خاص برتری نسبی به سوخت دیگر داشته باشد. اما به طور کلی و از دیدگاه هر ۳۰ شاخص توسعه پایدار می توان گفت که سوخت هیدروژن دارای بیشترین ضریب پایایی است.

#### ۴- نتیجه گیری

امروزه شاهد روند صعودی شاخص های آلودگی هوا و بحران انرژی می باشیم. این روند با گذر زمان نه تنها بهبود پیدا نمی کند، بلکه افزایش نیز می یابد. تولید و



شکل ۲: شاخص های ارزیابی توسعه ای پایدار برای سه سوخت دیزل، بیودیزل و هیدروژن.

- [2] Ahmed A, Al-Amin A. Q, Ambrose A. F, & Saidur R. Hydrogen fuel and transport system: A sustainable and environmental future. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2016, 41(3), 1369-1380.
- [3] Chandran D, Khalid M, Raviadaran R., Lau H. L, Liang Yung C., Kanesan D, & Salim, M. Sustainability of water in diesel emulsion fuel: An assessment of its corrosion behaviour towards copper. *Journal of Cleaner Production*, 2019, 220, 1005-1013.
- [4] Das S, Kashyap D, Kalita P, Kulkarni V, & Itaya Y, Clean gaseous fuel application in diesel engine: A sustainable option for rural electrification in India. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2020, 117, 109485.
- [5] Sarıkoç S, Örs İ., & Ünalın S. An experimental study on energy-exergy analysis and sustainability index in a diesel engine with direct injection diesel-biodiesel-butanol fuel blends. *Fuel*, 2020, 268, 117321.
- [6] Amid S, Aghbashlo M, Tabatabaei M, Hajiahmad A, Najafi B, Ghaziaskar H. S, Raštegari H, Hosseinzadeh-Bandbafha H, & Mohammadi P, Effects of waste-derived ethylene glycol diacetate as a novel oxygenated additive on performance and emission characteristics of a diesel engine fueled with diesel/biodiesel blends, *Energy Conversion and Management*, 2020, 203, 112245.
- [7] Sharma A, Singh Y, Singh N. K, & Singla A. Sustainability of joboba biodiesel/diesel blends for DI diesel engine applications- taguchi and response surface methodology concept, *Industrial Crops and Products*, 2019, 139, 111587.
- [8] Hannach M, Ahmadi E. P, Guzman L, Pickup S, & Kjeang E, Life cycle assessment of hydrogen and diesel dual-fuel class 8 heavy duty trucks, *International Journal of Hydrogen Energy*, 2019, 44(16), 8575-8584.
- [9] Nanaki E. A, & Koroneos C. J, Comparative LCA of the use of biodiesel, diesel and gasoline for transportation. *Journal of Cleaner Production*, 2012, 20(1), 14-19.
- [10] Dincer I, & Rosen M. A, Sustainability aspects of hydrogen and fuel cell systems, *Energy for Sustainable Development*, 2011, 15(2), 137-146.
- [11] Clauser N. M, González G, Mendieta C. M, & Vallejos M. E, Biomass Waste as Sustainable Raw Material for Energy and Fuels, *Journal of Sustainability*, 2021, 13, 794.
- [12] Acar C & Dincer I, The potential role of hydrogen as a

استفاده از سوخت‌های فسیلی به عنوان مهم‌ترین منبع تولید آلاینده‌های زیست محیطی موجب اختلال در بالانس اکولوژیکی گردیده است. از طرفی تولید سوخت از منابع تجدیدناپذیر، موجب ایجاد نگرانی‌هایی در خصوص تامین پایدار منابع انرژی مورد نیاز صنایع مختلف از جمله صنعت حمل و نقل شده است. به این ترتیب جایگزینی سوخت‌های فسیلی با سوختی پاک و پایدار ضروری است. در این تحقیق با استفاده از ابزار پایایی که ابزاری سودمند برای مقایسه و بهبود سیستم‌های مبتنی بر انرژی است، به بررسی و مقایسه میزان سازگاری سه سوخت دیزل، بیودیزل و هیدروژن با معیارهای توسعه‌ی پایدار پرداخته شد. نتایج این تحقیق نشان داد که سوخت دیزل دارای ارزش حرارتی و آگزرژی بالاتری نسبت به سوخت‌های پاک است. همچنین دارای قابلیت دسترسی و به کارگیری منابع انسانی بالایی است. از طرفی بیودیزل و هیدروژن بر خلاف سوخت دیزل، عاری از آلاینده‌های زیست محیطی و دارای منابع تجدیدپذیر هستند. بنابراین در شاخص‌های زیست محیطی و اجتماعی دارای بیشترین سازگاری با معیارهای توسعه‌ی پایدار هستند. از طرفی سوخت‌های پاک می‌توانند به جدال سیاسی و لابی‌های موجود در صنعت سوخت فسیلی تا حد زیادی پایان دهند. در نهایت با توجه به توسعه و بهینه‌سازی سیستم‌های استخراج، فرآوری و توزیع سوخت‌های پاک، در آینده نزدیک شاهد جایگزینی نسبی این سوخت‌ها با سوخت فسیلی خواهیم بود. نتیجه این جایگزینی به‌طور قابل توجهی بر کاهش آلاینده‌های زیست محیطی و انتشارات سمی، بهبود وضع آب و هوایی و افزایش تامین و توسعه پایدار انرژی مورد نیاز در صنعت حمل و نقل موثر است.

## ۵- مراجع

- [1] Acar C, & Dincer I, The potential role of hydrogen as a sustainable transportation fuel to combat global warming. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2020, 45(5), 3396-3406.

- and exhaust gas recirculation (EGR), *Applied Thermal Engineering*, 2017, 113, 1505-1513.
- [23] Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Tabatabaei, M., Aghbashlo M, Khanali M, Khalife E, RoodbarShojaei T, & Mohammadi P, Consolidating emission indices of a diesel engine powered by carbon nanoparticle-doped diesel/biodiesel emulsion fuels using life cycle assessment framework, *Fuel*, 2020, 267, 117296.
- [24] Shulga R. N, Petrov A. Y, & Putilova I.V, The Arctic: Ecology and hydrogen energy, *International Journal of Hydrogen Energy*, 2020, 45(11), 7185-7198.
- [25] Viornery-Portillo E. A, Bravo-Díaz B, & Mena-Cervantes V. Y, Life cycle assessment and emission analysis of waste cooking oil biodiesel blend and fossil diesel used in a power generator, *Fuel*, 2020, 281, 118739.
- [26] Rajaeifar M. A, Tabatabaei M, Aghbashlo, M, Hemayati S. S, & Heijungs R, Biodiesel production and consumption: life cycle assessment (LCA) approach, 2019, India: Springer.
- [27] Shukla S. K, & Rathore P. K, Production of biodiesel and its application in engines, 2020, India: Elsevier.
- [28] Karagoz M, Uysal C, Agbulut U, & Saridemir S, Energy, exergy, economic and sustainability assessments of a compression ignition diesel engine fueled with tire pyrolytic oil–diesel blends, *Journal of Cleaner Production*, 2020, 264, 121724.
- [29] Lin J, Gauštd G, & Trabold T. A, Profit and policy implications of producing biodiesel–ethanol–diesel fuel blends to specification, *Applied Energy*, 2013, 104, 936-944.
- [30] Mintz-Habib N, Malaysian biofuels industry experience: a socio-political analysis of the commercial environment, *Energy Policy*, 2013, 56, 88-100.
- [31] Järvensivu P, A post-fossil fuel transition experiment: Exploring cultural dimensions from a practice-theoretical perspective, *Journal of Cleaner Production*, 2017, 169, 143-151.
- [32] Sharma P, & Kolhe M. L, Review of sustainable solar hydrogen production using photon fuel on artificial leaf, *International Journal of Hydrogen Energy*, 2017, 42(36), 22704-22712.
- [33] Cetinkaya E, Dincer I, & Naterer G. F, Life cycle sustainable transportation fuel to combat global warming, *International Journal of Hydrogen Energy*, 2018, 45 (2), 3396-3406.
- [13] Gnanapragasam N. V, Reddy B. V, & Rosen M. A. A methodology for assessing the sustainability of hydrogen production from solid fuels, *Sustainability*, 2010, 2(6), 1472-1491.
- [14] Furuholt E, Life cycle assessment of gasoline and diesel, *Resources, Conservation and Recycling*, 1995, 14(3), 251-263.
- [15] Li T, Liu Z. C, Zhang H. C, & Jiang Q. H, Environmental emissions and energy consumptions assessment of a diesel engine from the life cycle perspective, *Journal of Cleaner Production*, 2013, 53, 7-12.
- [16] Schmidt Rivera X. C, Topriska E, Kolokotroni M, & Azapagic A, Environmental sustainability of renewable hydrogen in comparison with conventional cooking fuels, *Journal of Cleaner Production*, 2018, 196, 863-879.
- [17] Larnaudie V, Bule M, San K. Y, Vadlani P.V, Mosby J, Elangovan S, Karanjikar M, & Spatari S, Life cycle environmental and cost evaluation of renewable diesel production, 2020, *Fuel*, 279, 118429.
- [18] Nordelöf A, Romare M, & Tivander J, Life cycle assessment of city buses powered by electricity, hydrogenated vegetable oil or diesel, *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2019, 75, 211-222.
- [19] Esan A. O, Adeyemi A. D, & Ganesan S, A review on the recent application of dimethyl carbonate in sustainable biodiesel production, *Journal of Cleaner Production*, 2020, 257, 120561.
- [20] Hoseinpour M, Sadrnia H, Tabasizadeh M, & Ghobadian B, Energy and exergy analyses of a diesel engine fueled with diesel, biodiesel-diesel blend and gasoline fumigation, *Energy*, 2017, 141, 2408-2420.
- [21] Zhao G, & Pedersen A. S, Life Cycle Assessment of Hydrogen Production and Consumption in an Isolated Territory, *Procedia CIRP*, 2018, April, 30, Copenhagen, Denmark.
- [22] Depoures M. V, Sathiyagnanam A. P, Rana D, Rajesh Kumar B, & Saravanan S, 1-Hexanol as a sustainable biofuel in DI diesel engines and its effect on combustion and emissions under the influence of injection timing

assessment of various hydrogen production methods, *International Journal of Hydrogen Energy*, 2012, 37(3), 2071-2080.

[34] Halewadimath S. S, Yaliwal V. S, Banapurmath N. R, & Sajjan A. M, Influence of hydrogen enriched producer gas (HPG) on the combustion characteristics of a CRDI diesel engine operated on dual-fuel mode using renewable and sustainable fuels, *Fuel*, 2020, 270, 117575.

[35] Xu C, Paone E, Rodríguez-Padrón D, Luque R, & Mauriello F, Reductive catalytic routes towards sustainable production of hydrogen, fuels and chemicals from biomass derived polyols, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2018, 127, 109852.

[36] Szymkowicz P. G, & Benajes J, Development of a Diesel Surrogate Fuel Library, *Fuel*, 2018, 222, 21-34.

[37] Borole A. P, & Greig A. L, Life-Cycle Assessment and Systems Analysis of Hydrogen Production, 2019, United States: Elsevier.

[38] Zareei J, & Rohani A, Optimization and study of performance parameters in an engine fueled with hydrogen, *Hydrogen Energy*, 2019, 0360-3199.

[39] Ross M. T, & Murray B. C, What is the fuel of the future? Prospects under the Clean Power Plan, *Energy Economics*, 2016, 60, 451-459.

[40] Sáinz D, Diéguez P. M, Sopena C, Urroz J. C, & Gandía L. M, Conversion of a commercial gasoline vehicle to run bi-fuel (hydrogen-gasoline), *International Journal of Hydrogen Energy*, 2012, 37(2), 1781-1789.

[41] Habibi A, Farahmand S, & Mohammadi M, Convert waste oil into biofuel, *Journal of Technical and Vocational University*, 2018, 44 (4), 67-78.