دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر
فصلنامه‌ی کاربرد شیمی در محیط زیست

سال چهاردهم، شماره‌ی ٥٤
تابستان ١٤٠٢، صفحات ١٣-١

جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی و زیست محیطی استفاده از سوخت‌های زیستی

محمد صفری
دانشکده پزشکی، واحد کرمان، دانشگاه آزاد اسلامی، کرمان، ایران
غلامحسین صفری *
مرکز تحقیقات سلامت و محیط زیست، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران
Email: hsafari13@yahoo.com

دریافت: ۱۴۰۱/۱۲/۲۳ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۷/۲۴

چکیده

یکی از مهم‌ترین مسائل زیست محیطی امروزی آلودگی‌های ناشی از ترافیک و حمل و نقل است. شکی نیست که آلاینده‌های موتور، به ویژه از خودروها و کامیون‌ها، با آسیب‌های شدید به محیط زیست و سلامت انسان مرتبط بوده است. جایگزینی سوخت‌های معمولی (بنزین، دیزل) توسط سوخت‌های زیستی به عنوان یک راه بالقوه برای کاهش آلودگی و حمایت از کشاورزی پایدار در نظر گرفته می‌شود. استفاده از سوخت-های زیستی دوستدار محیط زیست در نظر گرفته می‌شود. جایگزینی سوخت‌های فسیلی با سوخت‌های زیستی این پتانسیل را دارد که برخی از اثرات نامطلوب زیست‌محیطی تولید و استفاده از سوخت‌های فسیلی، از جمله انتشار آلاینده‌های متعارف و گازهای گلخانه‌ای، کاهش منابع پایان‌پذیر، و وابستگی به تامین‌کنندگان خارجی ناپایدار را کاهش دهد. فراتر از مزایای زیست محیطی، استفاده از سوخت‌های زیستی مناسب می‌تواند مزایای اقتصادی از قبیل کاهش ذخایر مازاد کشاورزی، کاهش بیکاری و وابستگی به نفت وارداتی، توسعه روستایی، کشاورزی پایدار و غیره را به همراه داشته باشد. با این‌حال، سوخت‌های زیستی بسته به نحوه تولید، می‌توانند معایب زیست‌محیطی جدی نیز داشته باشند. هدف از این مقاله مروری بررسی جنبه‌های مثبت و منفی اثرات اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی استفاده از سوخت‌های زیستی است.

کلیدواژه: سوخت‌های زیستی، بازیابی انرژی، زیست توده، بیودیزل، جنبه‌های اقتصادی-اجتماعی.

مقدمه

امروزه جهان با سه مشکل اساسی قیمت بالای سوخت، تغییرات آب و هوایی و آلودگی هوا مواجه است. منابع انرژی به دو دسته فسیلی و تجدیدپذیر تقسیم می‌شوند. منابع انرژی فسیلی نفت، زغال سنگ و گاز طبیعی و منابع انرژی تجدیدپذیر خورشیدی، زیست توده، باد و انرژی آبی و انرژی‌های هسته ای و زمین گرمایی هستند [۲- ۱]. تقاضای جهانی انرژی در حال رشد است، بنابراین کمبود انرژی عامل اصلی محدود کردن توسعه اقتصاد جهانی است. استفاده از انرژی با طیف وسیعی از مسائل اجتماعی مرتبط است، از جمله فقرزدایی، رشد جمعیت، شهرنشینی و کمبود فرصت برای زنان. اگرچه این مسائل بر تقاضای انرژی تأثیر می-گذارد، اما این رابطه دو طرفه است: کیفیت و کمیت خدمات انرژی و نحوه دستیابی به آن‌ها که بر مسائل اجتماعی نیز تأثیر دارد [۲]. انتشار گازهای گلخانه‌ای (GHG[1]) از بخش حمل و نقل با سرعت بیش‌تری نسبت به هر بخش دیگری در حال افزایش است. این بخش به شدت به سوخت های فسیلی متکی است که ۹۶/۳ درصد از کل سوخت‌های حمل و نقل را در سال ۲۰۱۸ به خود اختصاص داده است. حمل و نقل همچنین مسئول ۱۵ درصد از انتشار گازهای گلخانه ای در جهان و ۲۳ درصد از کل انتشار CO_2 مربوط به انرژی است. برای کاهش وابستگی به سوخت‌های مبتنی بر نفت و همچنین کاهش تغییرات آب و هوایی، سوخت‌های زیستی به طور گسترده به عنوان سوخت‌های جایگزین امیدوار کننده در حمل و نقل در نظر گرفته می‌شوند [۴- ۳]. سوخت‌های زیستی از روزهای اولیه صنعت خودروسازی مورد استفاده قرار گرفته‌اند. به عنوان مثال، رودولف دیزل اولین موتور خود را روی روغن بادام زمینی آزمایش کرد، زیرا زغال سنگ پودر شده نامناسب بود. با این وجود، توسعه بیش‌تر سوخت‌های زیستی پس از جنگ جهانی دوم متوقف شد زیرا سوخت مشتق شده از نفت ارزان تر شد. در طول بحران نفت در دهه ۱۹۷۰، بسیاری از کشورها علاقه مجددی به تولید سوخت های زیستی تجاری نشان دادند. علاقه به سوخت های زیستی در دهه گذشته با توسعه سیاست های کاهش تغییرات آب و هوایی و استراتژی‌هایی برای کاهش انتشار گازهای گلخانه ای از بخش حمل و نقل افزایش یافته است. بیش از ۶۰ کشور از آن زمان برنامه های سوخت زیستی را راه اندازی کرده‌اند و اهدافی را برای ترکیب سوخت های زیستی در مخازن سوخت خود تعیین کرده‌اند [۶- ۵- ۳]. با توجه به این سیاست ها، تولید بیواتانول جهانی در طول دهه ۲۰۰۸-۲۰۱۸، ۶۷ درصد یعنی از ۶۷ به ۱۱۰/۴میلیارد لیتر افزایش یافت. در همین مدت، تولید بیودیزل بیش از سه برابر شده و از ۱۲ به ۴۱ میلیارد لیتر رسید. در حال حاضر، سوخت های زیستی حدود ۳/۴ درصد از کل سوخت‌های حمل و نقل در سراسر جهان را تشکیل می‌دهند. آژانس بین‌المللی انرژی (IEA[2]) تخمین می‌زند که تا سال ۲۰۵۰، یک سوم سوخت حمل‌ونقل از سوخت‌های زیستی تامین می‌شود [۷-۹]، در حالی که سازمان همکاری و توسعه اقتصادی (OECD[3]) پیش‌بینی می‌کند تا سال ۲۰۳۰ تقریباً ۷ درصد از سوخت‌های زیستی سهم داشته باشند [۹]. یک ارزیابی اخیر همچنین نشان می‌دهد که دستیابی به پیش‌بینی‌های آژانس بین‌المللی انرژی ممکن است غیرممکن باشد و حداکثر پتانسیل سوخت‌های زیستی حمل‌ونقل تا سال ۲۰۵۰، حداقل ۳۰ درصد کمتر از میزان پیش‌بینی شده توسط آژانس بین‌المللی انرژی باشد [۱۰]. سوخت های زیستی را می توان با توجه به تعدادی از ویژگی های کلیدی، از جمله نوع ماده اولیه، فرآیند تبدیل، مشخصات فنی سوخت و استفاده از آن متمایز کرد.

[1] Greenhouse Gas

[2] International Energy Agency

[3] Organization for Economic Co-operation and Development

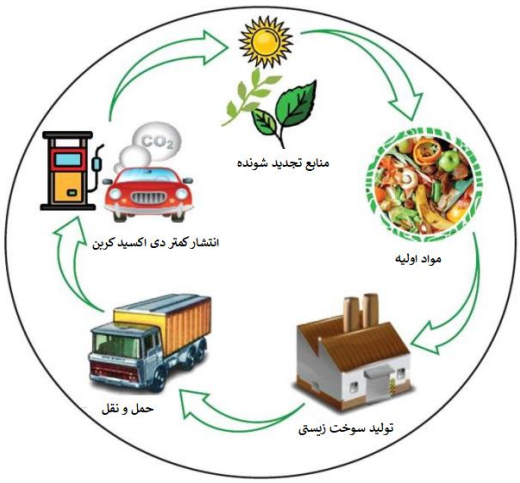
با توجه به این انبوهی از تمایزات ممکن، طبقه بندی‌های مختلفی برای انواع سوخت‌های زیستی استفاده می‌شود. دو نوع طبقه‌بندی رایج مورد استفاده عبارتند از: " سوخت‌های نسل اول، دوم و سوم" و "سوخت‌های زیستی متعارف و پیشرفته". یک ویژگی کلیدی برای سوخت‌های زیستی نسل دوم این است که آن‌ها از مواد اولیه غیرغذایی، مانند محصولات انرژی زا و سایر گیاهان لیگنوسلولزی، بقایای کشاورزی، بقایای جنگل ها و سایر ضایعات مشتق می‌شوند. سوخت‌های زیستی نسل دوم و سوم اغلب به عنوان «سوخت‌های زیستی پیشرفته» نامیده می‌شود زیرا تکنیک‌ها یا مسیرهای تولید آن‌ها هنوز در مرحله تحقیق و توسعه، آزمایشی یا نمایشی هستند.

چرخه تولید و مصرف سوخت‌های زیستی در شکل ۱ نشان داده شده است. سوخت‌های زیستی تولید شده از محصولات غذایی یا خوراک دام به عنوان سوخت های زیستی نسل اول شناخته می شوند.

از آنجایی که سوخت های زیستی نسل اول از طریق فناوری-ها و فرآیندهای به خوبی تثبیت شده، مانند تخمیر، تقطیر و ترانس استریفیکاسیون تولید می‌شوند، معمولاً به آنها سوخت‌های زیستی معمولی نیز گفته می‌شود [۶].

بطور کلی اصطلاح سوخت زیستی به سوخت‌های جامد، مایع یا گازی گفته می‌شود که عمدتاً از زیست توده تولید می‌شوند. سوخت‌های زیستی مایع یا گازی بسیار مهم هستند زیرا در بخش حمل و نقل جایگزین سوخت‌های نفتی می-شوند.

سوخت‌های زیستی به طور کلی به عنوان اولویت‌های بسیاری از جمله پایداری، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای، توسعه منطقه‌ای، ساختار اجتماعی و کشاورزی و امنیت عرضه در نظر گرفته می‌شوند [۱۱].



شکل ۱: چرخه تولید و مصرف سوخت‌های زیستی [۱۲]

دو سوخت زیستی رایج بیودیزل (دیزل زیستی) و بیواتانول (اتانول زیستی) هستند. بیودیزل با استفاده از روغن‌های گیاهی، چربی‌های حیوانی، جلبک ها یا حتی گریس‌های آشپزی بازیافتی ساخته می‌شود.

می‌توان از آن به عنوان افزودنی دیزل یا به شکل خالص آن برای سوخت خودرو استفاده کرد. بیواتانول از تخمیر هر زیست توده‌ای که سرشار از کربوهیدرات است ساخته می شود. بیش‌تر به عنوان افزودنی سوخت استفاده می‌شود. فراتر از مزایای انرژی، توسعه سوخت های زیستی باعث ارتقای اقتصاد روستایی می‌شود که محصولات زراعی مورد استفاده برای سوخت‌های زیستی تولید می‌کنند [۱۳].

بیواتانول و بیودیزل دو سوخت جهانی مایع مبتنی بر زیست توده هستند که ممکن است در فرایند حمل و نقل جایگزین بنزین و سوخت دیزل شوند. فرض بر این است که بیودیزل به عنوان جایگزین دیزل فسیلی و بیواتانول به عنوان جایگزین بنزین استفاده می‌شود. منابع انرژی مبتنی بر زیست توده برای گرما، برق و سوخت‌های حمل و نقل به طور بالقوه دی اکسید کربن خنثی هستند و همان اتم‌های کربن را بازیافت می‌کنند. با توجه به فرصت‌های در دسترس بودن گسترده منابع زیست توده، فناوری سوخت مبتنی بر زیست توده به طور بالقوه

فرصت‌های شغلی بیشتری را نسبت به فناوری مبتنی بر سوخت فسیلی ایجاد می‌کند [۱۴]. کاهش گازهای گلخانه ای ناشی از استفاده از سوخت‌های زیستی مختلف در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- کاهش گازهای گلخانه‌ای ناشی از استفاده از سوخت‌های زیستی مختلف [۱۵]

سوخت زیستی با مواد اولیه	کاهش گازهای گلخانه ای نسبت به خودروهای بنزینی/دیزلی
اتانول سلولزی	٪۸۸-۸۶
اتانول نیشکر	٪۳۹-۲۸
اتانول	٪ ۱۴
بیودیزل (سویا)	٪۴۰
بیودیزل (کانولا)	٪۵۰
اتانول ذرت	٪۳۹-۲۸

مواد و روش‌ها

پژوهش حاضر یک مطالعه توصیفی- مروری است که داده-های آن از طریق مطالعات کتابخانه‌ای به دست آمده و از منابع مختلف به منظور پردازش مطالب استفاده شده است. با توجه به اهمیت استفاده از سوخت‌های زیستی سعی گردید تا حد امکان از مرتبط‌ترین و به‌روزترین منابع حاوی نکات ارزنده در جنبه‌های اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی استفاده از سوخت‌های زیستی استفاده شود. در این مطالعه مروری ابتدا به مزایا و معایب کلی استفاده از سوخت‌های زیستی پرداخته شده است. سپس جنبه‌های مثبت و منفی اثرات اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی استفاده از سوخت های زیستی مورد مطالعه قرارگرفت.

- بیواتانول

بیواتانول یک سوخت موتور امیدوارکننده برای آینده است. به نظر می‌رسد این سوخت یک سوخت زیستی مهم است و اخیراً به دلیل مزایای زیست محیطی آن جذاب‌تر شده است. این سوخت پتانسیل کاهش انتشار ذرات در موتورهای احتراق تراکمی را در نتیجه اکسیژن دار شدن فراهم می‌کند [۱۶] و می توان از آن در هر نوع موتور خودرو بدون تغییر استفاده کرد. استفاده از بیودیزل در موتورهای دیزلی معمولی منجر به کاهش قابل توجهی در انتشار هیدروکربن های نسوخته، مونوکسید کربن و ذرات می شود. علاوه بر این، بیواتانول دارای عدد اکتان بالاتر (۱۰۸)، محدودیت اشتعال پذیری گسترده تر، سرعت شعله بالاتر و گرمای تبخیر بالاتر نسبت به بنزین است. این ویژگی‌ها باعث می‌شود نسبت تراکم بالاتر، زمان سوختن کوتاه‌تر و موتور سوخت کمتری وجود داشته باشد که منجر به مزایای نظری راندمان نسبت به بنزین در موتورهای احتراق داخلی می‌شود [۱۶- ۲]. با توجه به اهمیت جایگزین نمودن یک سوخت تجدیدپذیر به‌جای سوخت‌های‌فسیلی، تانول زیستی مورد توجه بسیاری از محققان و دولت‌ها قرار گرفته است. ویژگی‌ها و موارد مصرف این سوخت باعث شده است تا بیش از ۸۰ درصد از تولید و مصرف سوخت‌های‌زیستی مایع در جهان را به خود اختصاص دهد. تولید و مصرف بیواتانول به عنوان مهم‌ترین و پرمصرف‌ترین سوخت‌زیستی در جهان، در دو دهه اخیر، گسترش و افزایش قابل توجهی یافته است. افزایش بیش از ۵ برابری تولید و مصرف بیواتانول در جهان در طی دو دهه اخیر و گسترش بهره‌گیری از بیواتانول در بخش بزرگی از کشورهای جهان، همگی نشان‌دهنده اهمیت استراتژیک سوخت‌های‌زیستی مایع به ویژه بیواتانول در جهان می‌باشد [۱۸- ۱۷].

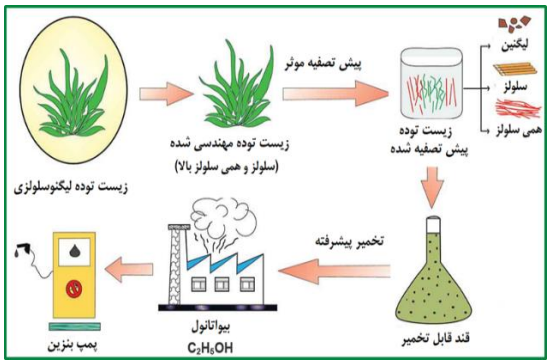
اتانول‌زیستی از سه گروه مواد قندی، مواد نشاسته‌ای و مواد سلولزی تهیه می‌شود که هریک از این منابع شامل زیرمجموعه‌ای از مواد دیگر می‌شوند. از جمله مواد قندی می‌توان به شربت نیشکر، ملاس نیشکر، ملاس چغندرقند، خرما، میوه‌های شیرین و... اشاره کرد.

هم‌چنین مواد نشاسته‌ای شامل ذرت، گندم، سایر غلات، برنج و ... می‌شوند. باگاس نیشکر، کاه گندم و سایر غلات، ضایعات چوبی، کاغذ ضایعاتی، ضایعات کارخانه چوب و پسماندهای شهری در گروه مواد سلولزی قرار می‌گیرند [۱۹,

۲۰]. با توجه به مزایا و ویژگی‌های منحصر به فرد بیواتانول، کاربردهای زیادی می‌توان برای این سوخت تعریف کرد، از مهم‌ترین کاربردهای آن می‌توان به مصرف آن به عنوان سوخت اشاره کرد، به گونه‌ای که بیش از ۸۰ درصد بیواتانول تولیدی در جهان از نوع اتانول‌سوختی می‌باشد و این روند یعنی مصرف آن به عنوان سوخت روز به روز در حال افزایش است. یکی از موارد سوختی بیواتانول در سوخت بنزین-الکل می‌باشد.

بسیاری از ماشین‌ها می‌توانند مخلوطی از ۸۵ درصد بیواتانول و ۱۵ درصد بنزین را که به آن E85 می‌گویند را بسوزانند. این سوخت عدد اکتان بالاتری نسبت به بنزین خالص دارد و کامل‌تر از بنزین معمولی می‌سوزد، بنابراین میزان گازهای آلاینده کم‌تری تولید می‌کند. البته این سوخت‌ها مشکلات خاص خود را هم دارند، بیواتانول ممکن است به برخی از بخش‌های موتور مثل واشرهای لاستیکی آسیب بزند. همچنین از بیواتانول به دلیل کارایی بالا و داشتن کم‌ترین اثر مضر به عنوان ضدعفونی کننده دست در محیط‌های بیمارستانی و زندگی روزمره مورد استفاده قرار می‌گیرد و از بیماری‌های عفونی و بیماری‌های واگیردار جلوگیری می‌کند.

علاوه بر کاربردهای بیان شده، بیواتانول زیستی در صنایع مختلف مانند صنایع دارویی، صنایع بهداشتی و آرایشی، صنایع شیمیایی، صنایع غذایی و ... نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد و کاربردهای فراوانی دارد [۱۷-۲۰]. نحوه تولید بیودیزل از زیست توده سلولزی در شکل ۲ نشان داده شده است.



شکل۲: پیشرفت‌های اخیر در تولید بیواتانول از زیست توده لیگنوسلولزی [۲۱]

- بیو دیزل

بیو دیزل دومین سوخت زیستی مایع است که توانایی کاربرد به عنوان یک سوخت مایع تجدیدپذیر و امیدبخش برای جایگزینی سوخت‌های فسیلی را دارد. بیو دیزل نیز همانند بیواتانول قابلیت استفاده به عنوان سوخت منفرد در خودروها و هم‌چنین قابلیت استفاده در ترکیب با سوخت دیزل نفتی را دارد. بیو دیزل، مونوآلکیل‌استر اسیدهای چرب است که عموماً از روغن‌های گیاهی در حضور کاتالیست به دست می‌آید. جذابیت استفاده از دیزل‌زیستی به دلیل شباهت ذاتی آن با سوخت‌های‌نفتی است که علاوه بر داشتن همه خصوصیات اصلی و مهم سوخت‌های نفتی، دارای ویژگی-های خاصی چون زیست تجزیه‌پذیر، غیرسمی و از همه مهم‌تر کربن خنثی نیز می‌باشد. در واقع موتورهای احتراق داخلی جدید، بدون نیاز به اصلاح یا نیاز به اندکی اصلاح برای تغییر از حالت مصرف سوخت‌نفتی به سوخت‌زیستی طراحی می‌شوند. بیودیزل از روغن‌های گیاهی و چربی حیوانی که شامل مولکول‌های تری‌گلیسیرید هستند، تشکیل می‌شود. روغن‌های گیاهی خوراکی تصفیه شده معمولی‌ترین نوع ماده اولیه برای تولید بیودیزل، هستند که از دانه‌هایی هم‌چون سویا، کلزا، دانه آفتاب‌گردان، خرما، نارگیل و دانه

کتان حاصل می‌شوند. چرخه تولید بیودیزل از روغن‌های گیاهی در شکل ۳ نشان داده شده است [۲۴-۲۲].

شکل۳: چرخه تولید بیودیزل از روغن‌های گیاهی [۲۵]

مزایای استفاده از سوخت‌های زیستی

اطلاعات و تفسیرهای فراوانی در مورد مزایا و معایب استفاده از سوخت‌های زیستی به ویژه در بخش حمل و نقل وجود دارد.

اما به طور کلی مزایای سوخت‌های زیستی را می‌توان به صورت زیر در جدول ۲ خلاصه کرد.

جدول ۲- مزایای استفاده از سوخت‌های زیستی [۲۶]

مزایا	توصیف
آلودگی کم‌تر	ایجاد آلودگی بسیار کم‌تری نسبت به بنزین و گازوئیل (همه انواع آلاینده‌های هوا از جمله مونوکسید و دی اکسید کربن و گازهای گلخانه‌ای تا حد زیادی کاهش می‌یابند).
مصرف سوخت	از آن‌ها می‌توان هم به عنوان سوخت کامل و هم به عنوان دوگانه سوز (با بنزین و دیزل) استفاده کرد.
بدون نیاز به ساخت پمپ بنزین های جدید	برای تامین آن‌ها نیازی به ساخت پمپ بنزین های جدید نیست.
بدون نیاز به تغییر موتور خودروها	برای مصرف آن‌ها، نیازی به تغییر موتور خودروهای فعلی نیست، برای گازوئیل تا ۲۰ درصد، برای اتانول- بنزین تا ۱۰ درصد بیواتانول (به عنوان مثال سوخت های E5 و E10 که به ترتیب حاوی ۵ و ۱۰ درصد اتانول هستند).
عدد اکتان	تقویت کننده عدد اکتان
حذف آلاینده سرطان زای متیل ترشیو بوتیل اتر (MTBE)	امکان حذف آلاینده سرطان زای MTBE (مصرف متیل ترشیو بوتیل اتر در آمریکا ممنوع و در اتحادیه اروپا به حداقل رسیده و در حال حذف شدن است).
کاهش عوارض ناشی از ضربه زدن	عوارض ناشی از ضربه در موتور را کاهش میدهد.
قیمت	هزینه سوخت های زیستی کم‌تر از بنزین و سایر سوخت‌های فسیلی است.
مواد خام	در حالی که نفت منبع محدودی است و از مواد خاصی به دست می‌آید، سوخت های زیستی از طیف وسیعی از مواد اولیه از قبیل محصولات زائد، کودها و سایر محصولات جانبی به دست می آیند که یک گام موثر در بازیافت مواد است.

تجدید پذیری	تولید سوخت های فسیلی زمان بر است، اما سوخت‌های زیستی را می‌توان با تولید محصولات و جمع آوری مواد زائد تولید کرد. سوخت‌های زیستی زیست تخریب‌پذیر، پایدار و از نظر زیست محیطی بی خطر هستند.
امنیت	سوخت‌های زیستی عمدتاً از منابع محلی در دسترس و با استفاده از روش‌های تولید ایمن تولید می‌شوند. که این امر وابستگی به کشورهای دیگر را کاهش می‌دهد. با کاهش وابستگی به منابع سوخت خارجی، کشورها می‌توانند استفاده از منابع انرژی خود را حفظ کرده و از خود در برابر تأثیرات خارجی محافظت کنند. از نظر اقتصادی، سوخت زیستی به تثبیت قیمت انرژی، حفظ ارز خارجی و ایجاد اشتغال در سطح اقتصاد کلان کمک می‌کند.
مزایای ویژه	اگر سوخت تولید شده بیوچار (زیست زغال) باشد، دارای مزایای ویژه‌ای مانند مدیریت کشاورزی، تاثیر آن بر کیفیت خاک است که شامل افزایش نگهداشت آب، ظرفیت تبادل کاتیونی و محتوای کربن خاک می‌شود. علاوه بر این، ممکن است باعث حاصلخیزی خاک شود.

- معایب استفاده از سوخت‌های زیستی

علیرغم بسیاری از ویژگی‌های مثبت سوخت‌های زیستی، معایب زیادی نیز در رابطه با مصرف این انرژی وجود دارد.

معایب استفاده از سوخت‌های زیستی به اختصار در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- معایب استفاده از سوخت‌های زیستی [۲۷- ۲۶]

معایب	توصیف
بازده انرژی	سوخت‌های زیستی بازده انرژی کم‌تری نسبت به سوخت‌های سنتی دارند، بنابراین برای تولید همان مقدار انرژی باید از منابع انرژی بیش‌تری استفاده کرد.
تولید انتشار کربن	مطالعات متعددی برای تجزیه و تحلیل کربن حاصل از سوخت‌های زیستی انجام شده است، و در حالی که ممکن است برای سوزاندن پاک باشند، دلایل قوی وجود دارد که چرا فرآیند تولید سوخت - از جمله ماشین آلات برای رشد محصولات و گیاهان - برای تولید سوخت - انتشار کربن بالایی دارد.
هزینه بالا	سرمایه گذاری اولیه بالایی برای تصحیح و پالایش سوخت های زیستی برای خروجی کارآمدتر انرژی و ساخت کارخانه هایی برای افزایش سوخت های زیستی مورد نیاز است.
کمبود مواد غذایی	نگرانی هایی وجود دارد که استفاده بیش از حد از مزارع گندم برای محصولات سوختی می‌تواند بر هزینه های مواد غذایی تأثیر بگذارد و به طور بالقوه منجر به کمبود مواد غذایی شود.
مصرف آب	مقادیر زیادی آب برای آبیاری مناسب و همچنین تولید محصولات گروه بیولوژیکی مورد نیاز است که می تواند منابع آب محلی و منطقه ای را تهدید کند.

تنوع زیستی	افزایش کشت زمین برای توسعه سوخت زیستی می‌تواند به طور قابل بحثی بر تنوع زیستی تأثیر منفی بگذارد. به خصوص از آنجایی که برخی از محصولات سوخت زیستی در نقاط حساس تنوع زیستی (مانند برزیل یا غرب آفریقا) بهترین رشد را دارند. سیاست اتحادیه اروپا در استفاده از زمین‌های کنار گذاشته شده برای تامین نیازهای سوخت زیستی نیز مورد انتقاد قرار گرفته است زیرا چنین زمین‌هایی به خانه بسیاری از گونه‌های حیات وحش تبدیل شده است.
تغییر کاربری زمین	تغییر کاربری مستقیم زمین به تبدیل زمین بکر به زمین کشت محصول اشاره دارد - فرآیندی که کربن را از طریق کشت خاک و تجزیه گیاه به اتمسفر آزاد می‌کند. تغییر غیرمستقیم کاربری زمین فرض می‌کند که گسترش تولید سوخت زیستی باعث می‌شود کشاورزان محصولات غذایی را به محصولات سوخت زیستی تبدیل کنند، قیمت کالاها را بالا ببرد و کشاورزان را در جاهای دیگر ترغیب کنند تا زمین‌های بکر را به محصولات غذایی تبدیل کنند تا منجر به کمبود عرضه مواد غذایی شود.

- ملاحظات اقتصادی-اجتماعی و زیست محیطی استفاده از سوخت‌های زیستی

سوخت‌های زیستی و غذا برای تولید به منابع یکسانی وابسته هستند: زمین، آب و انرژی. ترکیب بحران‌های غذا، انرژی و آب و هوا نیازمند جهت‌گیری جدید در نحوه استفاده از کشاورزی برای وظایف مشترک صرفه‌جویی در انرژی، کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و امنیت غذایی است. جنبه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی جهانی سوخت‌های زیستی بر مسئله مهم کارآمدی سوخت‌های زیستی به عنوان راه‌حلی برای مشکل انرژی جهانی تمرکز دارد. در ارزیابی مزایای اقتصادی سوخت های زیستی، انرژی مورد نیاز برای تولید آنها باید در نظر گرفته شود. به عنوان مثال، فرآیند کشت ذرت برای تولید اتانول، منجر به مصرف سوخت‌های فسیلی در تجهیزات کشاورزی، تولید کود، حمل و نقل ذرت و تقطیر اتانول می‌شود. از این نظر، اتانول ساخته شده از ذرت نشان دهنده افزایش انرژی نسبتاً کمی است. انرژی حاصل از نیشکر بیشتر است و انرژی حاصل از اتانول سلولزی یا بیودیزل ناشی از جلبک می تواند حتی بیشتر باشد. سوخت‌های زیستی مزایای زیست‌محیطی را نیز به همراه دارند، اما بسته به نحوه تولید، می‌توانند معایب زیست‌محیطی جدی نیز داشته باشند. به عنوان یک منبع انرژی تجدیدپذیر، سوخت های زیستی مبتنی بر گیاه در اصل سهم خالص کمی در گرم شدن کره زمین و تغییرات آب و هوا دارند. دی اکسید کربن (اصلی‌ترین گاز گلخانه ای) که در طی فرایند احتراق وارد هوا می شود، زودتر از هوا حذف می شود زیرا گیاهان در حال رشد درگیر فرایند فتوسنتز می شوند. گفته می شود که چنین ماده‌ای "کربن خنثی" است. با این حال، در عمل، تولید صنعتی سوخت‌های زیستی کشاورزی می‌تواند منجر به انتشار گازهای گلخانه‌ای اضافی شود که ممکن است مزایای استفاده از سوخت تجدیدپذیر را خنثی کند. این انتشارات شامل دی اکسید کربن ناشی از سوزاندن سوخت های فسیلی در طول فرآیند تولید سوختهای زیستی و همچنین اکسید نیتروژن ناشی از خاکی اصلاح شده با کود نیتروژن. در این زمینه، زیست توده سلولزی مفیدتر از بقیه زیست توده ها در نظر گرفته می‌شود [۲۹- ۲۸].

کاربری زمین نیز یک عامل اصلی در ارزیابی مزایای سوخت های زیستی است. استفاده از مواد اولیه معمولی، مانند ذرت و سویا، به عنوان جزء اصلی سوخت های زیستی نسل اول، منجر به ایجاد بحث "غذا در مقابل سوخت" می‌گردد. در انحراف زمین های زراعی و مواد اولیه از زنجیره غذایی انسان، تولید سوخت زیستی می تواند بر اقتصاد قیمت مواد غذایی و در قابلیت دسترسی آن تأثیر بگذارد. علاوه بر این،

محصولات انرژی‌زای کشت داده شده برای تولید سوخت-های زیستی می‌توانند برای زیستگاه‌های طبیعی جهان رقابت کنند. به عنوان مثال، تاکید بر اتانول مشتق شده از ذرت در حال تغییر علفزارها و مزارع به کشت‌های تک ذرتی است و تاکید بر تولید بیودیزل، جنگل های استوایی باستانی را نابود می کند تا مسیر را برای مزارع نخل روغنی در راستای تولید بیودیزل هموار کند. از دست دادن زیستگاه طبیعی می تواند منجر به تغییر هیدرولوژی و افزایش فرسایش شود و به طور کلی تنوع زیستی مناطق حیات وحش را کاهش دهد. همچنین پاکسازی زمین می تواند منجر به آزاد شدن ناگهانی مقدار زیادی دی اکسید کربن شود زیرا ماده گیاهی موجود در آن سوخته یا پوسیده می‌شود [۳۰- ۲۹].

برخی از مضرات سوخت‌های زیستی عمدتاً به منابع سوخت زیستی با تنوع کم از قبیل ذرت، سویا، نیشکر و نخل روغنی که محصولات کشاورزی سنتی هستند، مربوط می‌شود. یک جایگزین شامل استفاده از مخلوط‌های بسیار متنوع گونه‌ها، با چمنزار علف بلند آمریکای شمالی به عنوان یک نمونه خاص است. تبدیل زمین‌های کشاورزی تخریب شده که خارج از تولید هستند به چنین منابع سوخت زیستی با تنوع بالا می‌تواند باعث افزایش سطح حیات وحش، کاهش فرسایش، پاکسازی آلاینده‌های موجود در آب، ذخیره دی اکسید کربن از هوا به عنوان ترکیبات کربنی در خاک و در نهایت بازگرداندن باروری به زمین‌های تخریب شده شود. چنین سوخت‌های زیستی می‌توانند مستقیماً برای تولید برق سوزانده شوند یا با توسعه فناوری‌ها به سوخت‌های مایع تبدیل شوند [۲۸].

یکی از وعده‌های متمایز سوخت‌های زیستی این است که فرآیند تولید و استفاده از سوخت‌های زیستی در ترکیب با یک فناوری نوظهور به نام جذب و ذخیره‌سازی کربن، ممکن است قادر به حذف دائمی دی اکسید کربن از جو باشد. بر اساس این چشم انداز، محصولات سوخت زیستی در حین رشد، دی اکسید کربن را از هوا حذف می‌کنند و تأسیسات انرژی، دی اکسید کربنی را که هنگام سوزاندن سوخت‌های زیستی برای تولید انرژی تولید می‌شود، جذب می‌کنند. دی اکسید کربن جذب شده را می‌توان در مخازن طولانی مدت مانند سازندهای زمین شناسی در زیر زمین، در رسوبات اعماق اقیانوس، یا به طور قابل تصور به صورت جامداتی مانند کربنات ها جدا (ذخیره) کرد [۳۰- ۲۸].

– مزایای زیست محیطی سوخت‌های زیستی [۳۲- ۳۱]:

- سوخت‌های زیستی با کاهش گازهای گلخانه‌ای و کاهش آلودگی محلی به محیط زیست کمک می‌کنند.

– بیواتانول محلول در آب، غیر سمی و زیست تخریب پذیر است.

- اتانول می تواند بدون پاکسازی بیشتر جنگل های بارانی و با آسیب کم‌تر به محیط زیست نسبت به کشاورزی فعلی جایگزین ۱۰ درصد از بنزین جهان شود.

- سوخت های زیستی سطوح پایینی از انتشار دی اکسید کربن را ارائه می‌دهند.

– سوخت‌های مبتنی بر هیدروکربن در مقایسه با سوخت‌های زیستی که ترکیباتی مانند اکسیدهای نیتروژن تولید می‌کند، با تولید ترکیباتی مانند مونوکسید کربن، دارای مضرات بیش‌تری هستند و محصولات جانبی سوخت‌های زیستی برای سلامت انسان و محیط زیست کم‌تر خطرناک هستند.

– مشکلات زیست محیطی سوخت‌های زیستی [۳۱, ۳۲]:

- تحقیقات اخیر نشان داده است که سوخت‌های زیستی، به ویژه بیودیزل ناشی از نخل ممکن است سرطان زاتر از سوخت‌های معمولی باشند.

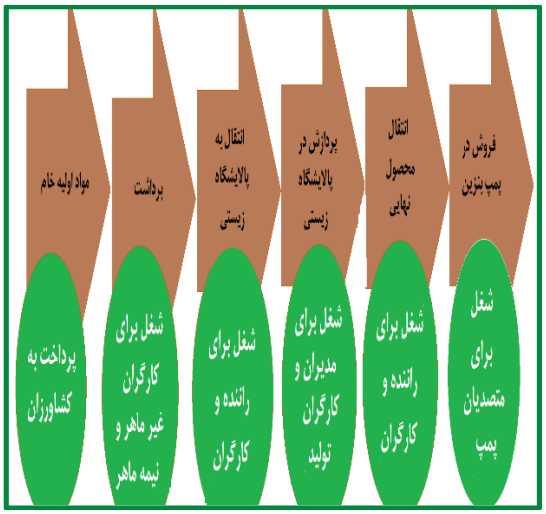
- سوخت‌های حاصل از انرژی زیست توده را نمی‌توان واقعاً کربن خنثی در نظر گرفت زیرا مراحل تولید، حمل و نقل و پردازش به انرژی تجدید ناپذیر نیاز دارند.

- روشن نیست که آیا انرژی مصرف شده در شیوه‌های کشاورزی روزانه، تولید و کاربرد کود، آفت کش‌ها و علف کش‌ها، و همچنین تولید خود اتانول زیستی، بخش زیادی از معامله حاصل از سوزاندن بیواتانول را خنثی می کند یا خیر.
- مطالعات نشان داده است که تخمیر و تقطیر سوخت‌های زیستی نسل اول انرژی خالص منفی ایجاد می کند.

– جنبه‌های اجتماعی–اقتصادی سوخت‌های زیستی

انرژی یک ورودی بسیار حیاتی برای رشد اجتماعی و اقتصادی است به ویژه زیست توده به منابع انرژی زیستی بسیار مهم است زیرا آنها ارزش اضافی حاصل از محصولات موجود در اقتصاد را ارائه می‌دهند [۲].

اثرات اجتماعی و اقتصادی صنعت سوخت زیستی را می توان با تاثیر مثبت آن بر درآمد و اشتغال سنجید. صنعت سوخت زیستی کمک های قابل اندازه گیری به درآمد و اشتغال فردی و همچنین اقتصاد جهانی می‌کند. اکثر کشورهای جهان سوم دارای مقدار قابل توجهی از بقایای کشاورزی و زمین‌های حاشیه‌ای هستند. درحا حاضر، بقایای زراعت جنگلی از نظر ارزش اقتصادی ناچیز می‌باشد، اما در صورت استفاده برای تولید سوخت‌های زیستی، تقاضای آن‌ها برای تولید سوخت زیستی داخلی و یا برای صادرات به عنوان مواد اولیه افزایش می‌یابد [۳۳]. انحراف بقایای اگروفارستری با ایجاد تعادل بین نیروهای عرضه و تقاضا، ارزش اقتصادی قابل توجهی برای بقایای زراعت جنگلی ایجاد می کند [۳۴]. قیمت‌هایی که به عنوان پرداخت بقایای زراعت جنگل‌ها به افزایش درآمد کشاورزان کمک می کند و تأثیر مثبتی بر رشد اقتصادی، کاهش فقر و امنیت غذایی خواهد داشت [۳۵]. کشت مواد اولیه هدفمند از قبیل محصولات انرژی‌زا، تأثیر مثبت قابل توجهی بر درآمد جوامع کشاورزی دارد. پتانسیل ایجاد شغل در طول زنجیره تامین سوخت زیستی پیشرفته قابل توجه است (شکل ۴). مشاغل با کشت مواد اولیه ایجاد می شوند و کارگران کم مهارت مناطق روستایی را جذب می کنند. کیفیت مشاغل به دلیل پایین بودن عنصر فصلی با امکان افزایش دستمزد در طول زمان برای آن‌ها بهتر است. علاوه بر این، به دلیل کشت در زمین‌های حاشیه‌ای، محصولات انرژی زا با منابع مورد استفاده برای تولید غذا رقابت نمی کنند. در واقع، آنها ممکن است به بهبود امنیت غذایی کمک کنند که به جلوگیری از فشار بر مصرف کنندگان کم درآمد، به ویژه در کشورهای در حال توسعه کمک می کند [۳۶]. جنبه های اجتماعی و اقتصادی سوخت‌های زیستی با تقاضای سوخت مایع در آینده مرتبط است که برای تشویق ثروت و درآمد و مزایای اجتماعی– اقتصادی پیشنهاد شده است. سوخت زیستی فرصت‌های شغلی زیادی را فراهم می کند که در رشد و برداشت زیست توده، حمل و نقل و جابجایی، عملیات کارخانه، تولید تجهیزات و نگهداری به وجود می‌آیند. بر اساس برآوردهای آماری (۲۰۲۰)، ۲۰۶۳۰۰۰ شغل مرتبط با سوخت های زیستی در سراسر جهان در سال ۲۰۱۸ ایجاد شده است. تولید سوخت زیستی و استفاده از آن به امنیت انرژی محلی و ملی، رشد اقتصادی از طریق کسب و کار و اشتغال، تنوع بخشی به اقتصاد روستایی، جایگزینی واردات با اثرات مستقیم و غیرمستقیم بر تراز تجاری، تامین انرژی و تنوع از طریق ایجاد صنایع جدید کمک می کند [۳۷].



شکل ۴: پتانسیل ایجاد شغل در طول زنجیره تامین سوخت زیستی پیشرفته

– مزایای اجتماعی-اقتصادی سوخت‌های زیستی [۳۱-۳۲]:

- کاهش قیمت نفت: اتانول ارزان‌تر، تقاضای نفت و قیمت نفت را کاهش می‌دهد.

- کاهش واردات سوخت‌های فسیلی: استفاده از اتانول می تواند مصرف بنزین را کاهش دهد. کاهش استفاده از بنزین تا حدودی وابستگی به منابع خارجی ناپایدار نفت را کاهش می‌دهد.

- کاهش نرخ فقر: اکثر کارخانه‌های اتانول در جوامع روستایی هستند و تولید اتانول به دلیل ساخت، بهره برداری و نگهداری کارخانه باعث افزایش مشاغل می‌شود.

- افزایش ارزش زمین کشاورزی: تقاضای زیاد ذرت منجر به افزایش ارزش زمین کشاورزی می‌شود.

- مزایای سلامتی ناشی از کاهش گرمایش جهانی

- استفاده کارآمدتر از بنزین و محافظت از وسایل نقلیه: اتانول می‌تواند به جلوگیری از ضربه زدن موتور کمک کند و روانکاری بنزین را افزایش می‌دهد.

- هزینه پذیرش پایین: اتانول می‌تواند توسط تمام خودروهای بنزینی در ایالات متحده در غلظت‌های تا حدود ۱۰٪ استفاده شود. اتانول آلایندگی کم‌تری از خودرو را بدون نیاز به خرید خودروی هیبریدی فراهم می‌کند.

– هزینه‌های اجتماعی-اقتصادی سوخت‌های زیستی [۳۱-۳۲]:

- افزایش قیمت آب: محصرف آب بیش‌تر برای تولید محصول می‌تواند منجربه کم آبی شود.

- ایجاد مشکل بهداشتی جدید: اگر اجازه تولید فرمالدئید در حین استفاده از اتانول داده شود، سوخت زیستی کیفیت هوای خودرو را کاهش می‌دهد.

- برای تولید سوخت زیستی نسبت به تولید سوخت‌های معمولی انرژی بیش‌تری مورد نیاز است: محققین گزارش داده‌اند که تولید اتانول از ذرت به ۲۹ درصد انرژی بیش‌تر از آنچه که خود محصول نهایی قادر به تولید آن است، نیاز دارد.

- هزینه بالای تغییر (گذر) از بنزین به سوخت‌های زیستی: با توجه به تعداد خودروهای فقط گازی موجود در جاده‌ها و کمبود پمپ‌های اتانول یا بیودیزل در ایستگاه‌های بنزین موجود، گذر از بنزین به سوخت‌های زیستی، مدت زمانی طول می‌کشد.

– مشکلات اجتماعی-اقتصادی ناشی از تجزیه خاک و جنگل‌زدایی [۳۱- ۳۲]:

- با افزایش تقاضا برای منابع انرژی جایگزین، تقاضا برای زمین‌های کشاورزی می‌تواند افزایش یابد.

- افزایش تقاضا برای سوخت زیستی ناشی از محصولات موجود از قبیل نیشکر، چغندرقند، ذرت منجر به تغییرات عمده در کاربری های فعلی زمین می‌شود.

- باید نوعی مقررات وجود داشته باشد تا اطمینان حاصل شود که جنگل‌زدایی بیش‌تر، تجزیه زمین‌های خاک‌های استوایی کم حاصلخیزی و افزایش همزمان تولید CO_2 وجود ندارد.

– جنگل زدایی منجر به انقراض گونه‌ها، تغییر الگوهای آب و هوا، تجزیه و فرسایش خاک خواهد شد.

- جنگل زدایی در نتیجه تلاش‌های گسترده کشاورزان، باعث تغییر اقلیم محلی می‌شود و استفاده از زمین در آینده را تحت تأثیر قرار می‌دهد و بر سطح بارندگی تأثیر می‌گذارد.

نتیجه‌گیری

اخیراً موضوعی که در سراسر دنیا مورد توجه قرار گرفته، راهکارهایی برای کاهش مصرف سوخت و انرژی است. تحقیق و اجرای پروژه‌های در زمینه جایگزینی سوخت‌های فسیلی با سوخت‌های جایگزین طبیعی ضروری است زیرا در صورت تداوم روند فعلی، سوخت‌های فسیلی درکمتر از ۵ دهه به پایان می رسد. در سال‌های اخیر، بررسی‌های

کارشناسان بر روی میادین نفت و گاز در جهان نشان می‌دهد که ذخایر گاز و نفت در چند دهه آینده رو به اتمام خواهد بود، بنابراین دانشمندان در حال تحقیق برای یافتن راه‌هایی برای جایگزینی سوخت‌های فسیلی با سوخت‌های جایگزین و پایدار هستند. جایگزینی سوخت‌های فسیلی با سوخت‌های زیستی این پتانسیل را دارد که برخی از اثرات نامطلوب زیست‌محیطی تولید و استفاده از سوخت‌های فسیلی را از قبیل انتشار آلاینده‌های متعارف و گازهای گلخانه‌ای کاهش دهد و تاثیر مثبتی بر افزایش درآمد کشاورزان و ایجاد فرصت‌های شغلی داشته باشد. همچنین استفاده از سوخت زیستی نیاز به واردات سوخت‌های نفتی را کاهش می‌دهد و مزایای اقتصادی و امنیتی ملی بالقوه‌ای نیز ایجاد می‌کند. با این وجود، تولید و استفاده از سوخت زیستی نیز دارای معایبی است و می‌تواند اثرات نامطلوبی بر محیط زیست از قبیل نیاز به منابع زمین و آب، کمبود مواد غذایی، آلودگی هوا و آب های زیرزمینی داشته باشد. بسته به مواد اولیه و فرآیند تولید، سوخت‌های زیستی می‌توانند حتی بیش‌تر از برخی سوخت‌های فسیلی گازهای گلخانه‌ای را بر اساس انرژی معادل تولید کنند.

منابع

[1] Sevim, C., 2010, Rapid climate change problem and wind energy investments for Turkey. Energy Education Science and Technology Part A-energy Science and Research. 25(1-2): p. 59-67.

[2] Demırbas, A., 2017, The social, economic, and environmental importance of biofuels in the future. Energy Sources, Part B: Economics, Planning, and Policy, 12(1): p. 47-55.

[3] hange, I.C., 2014, Mitigation of climate change. Contribution of working group III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change, 1454: p. 147.

[4] Kusch-Brandt, S.,2019, Urban Renewable Energy on the Upswing: A Spotlight on Renewable Energy in Cities in REN21's "Renewables 2019 Global Status Report". MDPI.

[5] Agency, I.R.E., 2016, Innovation outlook: advanced liquid biofuels, International Renewable Energy Agency Abu Dhabi, UAE.

[6] Jeswani, H.K., A. Chilvers, and A. Azapagic., 2020, Environmental sustainability of biofuels: a review. Proceedings of the Royal Society A. 476(2243): p. 20200351.

[7] Jagger, A., 2011, Biofuels for transport in 2050. Biofuels, Bioproducts and Biorefining, 5(5): p. 481-485.

[8] Nogueira, L.A.H., 2020, et al., Biofuels for transport, in Future Energy, Elsevier. p. 173-197.

[9] Timilsina, G.R., 2006, Biofuels in the long-run global energy supply mix for transportation. Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 2014. 372: p. 20120323.

[10] Searle, S. and Malins, C., 2015, A reassessment of global bioenergy potential in 2050. Gcb Bioenergy :(۲)۷ .p. 328-336.

[11] Reijnders, L., 2006, Conditions for the sustainability of biomass based fuel use. Energy policy. 34(7): p. 863-876.

[12] Malode, S.J., 2021, et al., Recent advances and viability in biofuel production. Energy Conversion and Management: X , p. 100070.

[13] Puppan, D., 2002, Environmental evaluation of biofuels. Periodica polytechnica social and management sciences, 10(1): p. 95-116.

[14] Kartha, S. and Larson, E.D., 2000, Bioenergy Primer: Modernised Biomass Energy for Sustainable Development. United Nations Development Programme. Energy and Atmosphere Programme, New York.

[15] Wang, M., M. Wu, and H. Huo., 2007, Life-cycle energy and greenhouse gas emission impacts of different corn ethanol plant types. Environmental Research Letters, p. 024001.

[16] Agarwal, A.K., 2007, Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. Progress in energy and combustion science, 33(3): p. 233-271.

[17] Zhou, Y., 2016, et al., A comprehensive review on densified solid biofuel industry in China. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 54: p. 1412-1428.

[۱۸] زیست- فن، سوخت زیستی (سوخت سبز) چیست؟ کاربردها و انواع سوخت زیستی (۲۰۲۱)، https://zist-fan.ir/biopedia, 2021.

[19] Bernier-Oviedo, D.J., 2018, et al ,.Comparison of two pretreatments methods to produce second-generation bioethanol resulting from sugarcane bagasse. Industrial crops and products, 122: p. 414-421.

[20] Neto, A.C., M.J.O. Guimarães, and Freire, E., 2018, Business models for commercial scale second-generation bioethanol production. Journal of cleaner production. 184: p. 168-178.

[21] Lamichhane, G., 2021, et al., Recent advances in bioethanol production from lignocellulosic biomass. International Journal of Green Energy. 18(7): p. 731-7.۴۴

[22] Gebremariam, S.N. and Marchetti, J.M., 2018, Economics of biodiesel production. Energy Conversion and Management,. 168: p. 74-84.

[23] Ma, Y., 2018, et al., Biodiesels from microbial oils: opportunity and challenges. Bioresource technology.

[24] Szulczyk, K.R. and Khan, M.A.R., 2018, The potential and environmental ramifications of palm biodiesel: evidence from Malaysia. Journal of Cleaner Production. 203: p. 260-272.

[25] Technology, I.E., 2015, http://www.alternative-energy-news.info/wp-content/uploads/2015/02/BiodieselCycle.

[26] Torkashvand, M., A. Hasan-Zadeh, and Torkashvand, A., 2022, Mini Review on Importance, Application, Advantages and Disadvantages of Biofuels. J. Mater. Environ. Sci, 2022.

[27] Ashwath, N. and Kabir, Z., 2019, Environmental, economic, and social impacts of biofuel production from sugarcane in Australia. Sugarcane Biofuels: Status, Potential, and Prospects of the Sweet Crop to Fuel the World,: p. 267-284.

[28] Lehman, C.a.S., 2023, Noelle Eckley. , "biofuel." Encyclopedia Britannica. tps://www.britannica.com/technology/biofuel., 2023.

[29] Andreoli, C., D. Pimentel, and Souza, S., 2012, Net energy balance and carbono footprint of biofuel from corn and

sugarcane. Global economic and environmental aspects of biofuels. CRC Press, Boca Raton, p. 221-248.

[30] Demirbas, A., 2009, Political, economic and environmental impacts of biofuels: A review. Applied energy, 86: p. S108-S117.

[31] Mousdale, D.M., 2010, Introduction to biofuels. CRC Press.

[32] Nan Shi, D.C.Y., Hui (Becky) Li, Songxu (Daniel) Wu., 2009, Introduction to Biofuel.

[33] IEA. World energy outlook 2011: executive summary. 2011. IEA Paris.

[34] Eisentraut, A., 2010, Sustainable production of second-generation biofuels: potential and perspectives in major economies and developing countries.

[35] Organization, A., 2008, The state of food and agriculture 2008: Biofuels: Prospects, risks and opportunities. Vol. 38.: Food & Agriculture Org.

[36] Usmani, R.A., 2020, Advanced biofuels: Review of effects on environment and socioeconomic development. European Journal of Sustainable Development Research. 4.(۴)

[37] Ambaye, T.G., 2021, et al., Emerging technologies for biofuel production: A critical review on recent progress, challenges and perspectives. Journal of environmental management. 290: p. 112627.