دوازدهمین کنگره ملی
مهندسی مکانیک بیوسیستم
و مکانیزاسیون ایران
دانشگاه شهید چمران اهواز ۱۶ - ۱۸ بهمن ماه ۱۳۹۸

بررسی سوخت‌های زیستی نسل اول تا چهارم و معرفی سوخت‌های زیستی نسل پنجم

محمدرضابراتی [۱،*]، مائده براتی [۲]، مجیدرسولی [۳،*]

۱. فارغ التحصیل کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه تهران (m.r.barati10@alumni.ut.ac.ir)
۲. دانشجوی کارشناسی رشته مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه بوعلی سینا همدان (m.barati@agr.basu.ac.ir)
۳. عضو هیات علمی گروه مهندسی مکانیک بیوسیستم دانشگاه بوعلی سینا همدان (m.rasouli@basu.ac.ir)

چکیده

با توجه به رشد قابل توجه در جمعیت، بهبود استانداردهای زندگی، شهرنشینی و صنعتی شدن، مصرف جهانی انرژی به‌طور قابل‌توجهی افزایش یافته است که وابستگی برای تولید انرژی را به شدت افزایش می‌دهد. استفاده از سوخت‌های جایگزین از جمله سوخت‌های زیستی و افزایش بهره‌وری دو راهکار پیش رو در برون رفت از بحران گرمایش زمین و امنیت تأمین انرژی هستند. تولید سوخت‌های زیستی از مواد اولیه کاملاً زیستی فرآیندهایی ساده دارد اما انتخاب ماده‌ی اولیه‌ی زیستی کارآمد و پربازده برای تولید این سوخت‌ها کار دشواری است. زیست توده یکی از منابع انرژی تجدیدپذیراست که می‌توان با استفاده از فناوری‌های متفاوت از این منبع برای تولید سوخت‌های زیستی استفاده نمود. در این مقاله منابع سوخت‌های زیستی در چهار نسل بررسی و نسل پنجم سوخت‌های زیستی معرفی می‌شود. سوخت-های زیستی بر پایه مهندسی ژنتیک، سوخت‌های زیستی نسل پنجم محسوب می‌شوند. نسل پنجم سوخت‌های زیستی با تغییرات ژنتیکی و یا تغییرات مهندسی در واکنش‌های بیوشیمیایی و ترموشیمیایی با استفاده از کربن دی اکسید موجود و هیدروژن به بهبود کیفیت سوخت-های نسل‌های دیگر کمک می‌نماید. مواد اولیه پایدار در دراز مدت، عدم نیاز به زمین و آب، فاقد رقابت غذایی و مواد با بازده بالای روغنی از مزایای سوخت‌های زیستی نسل پنجم است.

کلمات کلیدی

سوخت‌های زیستی، مهندسی ژنتیک، زیست توده، پسماندهای کشاورزی و غذایی، انرژی تجدیدپذیر

*نویسنده مسئول: (m.r.barati10@alumni.ut.ac.ir) (m.rasouli@basu.ac.ir)

بررسی سوخت‌های زیستی نسل اول، دوم، سوم و چهارم و معرفی سوخت‌های زیستی نسل پنجم

مقدمه

انرژی یکی از مهم‌ترین عوامل در توسعه کشورها به شمار می‌آید به‌نحوی‌که امروزه متخصصان، انرژی را موتور محرکه و عمده‌ترین عامل در توسعه اقتصادی کشورها به شمار می‌آورند. در حال حاضر میزان مصرف سوخت‌های جهان در بخش حمل‌ونقل در حدود ۵۰ میلیون بشکه در روز می‌باشد که ۹۵ درصد از این میزان را مشتقات نفتی تشکیل می‌دهند. قسمت عمده آن توسط ۱,۲ میلیارد خودرو در جهان مصرف می‌شود و پیش‌بینی‌ها حاکی از رشد این تعداد به ۲,۴ میلیارد خودرو تا پایان سال ۲۰۳۵ میلادی است. علاوه بر این، در همین مدت تولید ناخالص ملی جهان و میزان کربن‌دی‌اکسید تولیدی از بخش حمل‌ونقل دو برابر خواهد شد[۳] . وابستگی شدید به سوخت‌های فسیلی موجب افزایش بی‌حد و اندازه در قیمت فروش منابع فسیلی و کاهش ذخایر آن‌ها گردیده است. هم‌چنین، به‌کارگیری این نوع از حامل‌های انرژی موجب تولید و انتشار مقادیر قابل‌توجهی از آلاینده‌های سمی و خطرناک به محیط‌زیست می‌گردد که منجر به تغییرات جوی و تشدید پدیده گرمایش زمین می‌شود. اگرچه سوخت‌های فسیلی نقش به سزایی در رشد صنعتی و اقتصادی کشورها داشته است، اما پیش‌بینی‌ها با توجه به افزایش وابستگی به سوخت‌های فسیلی حاکی از آن است که این سوخت‌ها مانند نفت و گاز تا سال ۲۰۴۲ به پایان می‌رسند و در نتیجه نمی‌توانند به‌طور نامحدودی اقتصاد جهانی را حفظ کرده و ادامه دهند. لذا، بحران جهانی انرژی و تغییرات آب و هوایی ناشی از فعالیت‌های انسان یکی از موضوعات کلیدی و مهم در طول دهه‌ی اخیر بوده است. بنابراین نیاز مبرم و شدیدی برای یافتن منابع انرژی جایگزین جهت کاهش وابستگی به سوخت‌های فسیلی در امور انرژی و حمل‌ونقل و هم‌چنین کاهش انتشار گاز دی اکسید کربن وجود دارد[۱۹,۱۰].

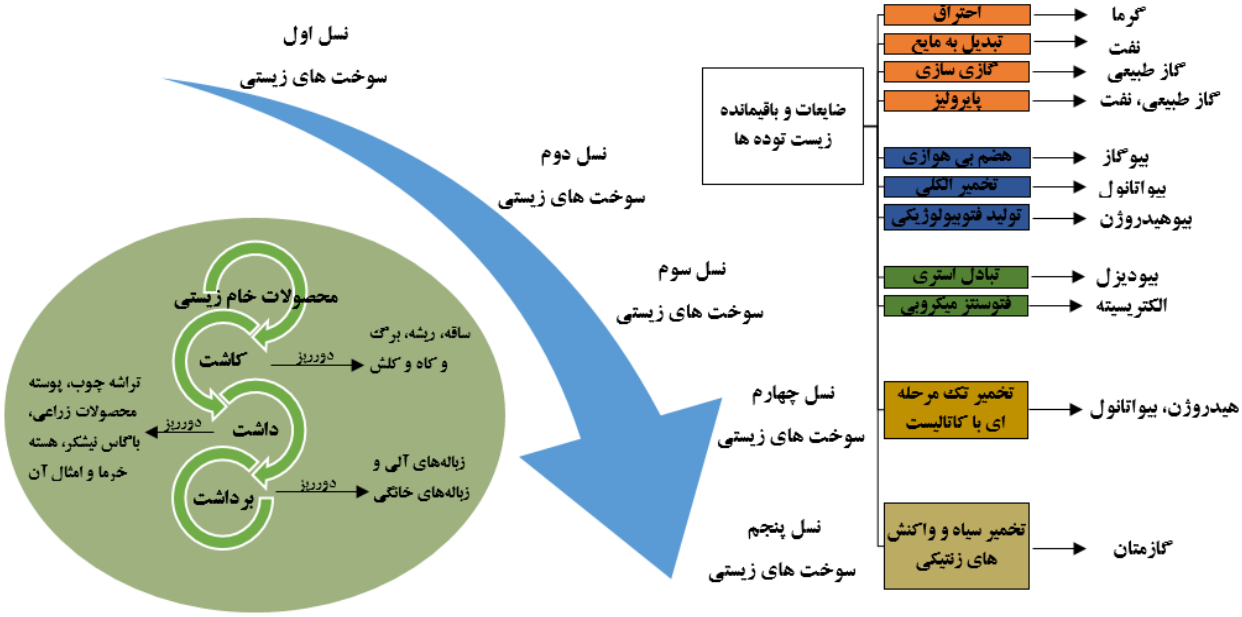
زیست توده

رشد سریع علم و پیشرفت در فناوری‌های نوین جهت استحصال انرژی در کنار تغییرات زیست‌محیطی و افزایش پیوسته قیمت به همراه کاهش ذخایر سوخت‌های فسیلی زمینه استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر را در کشورهای توسعه‌یافته و درحال‌توسعه فراهم کرده است. از علل گرایش به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، می‌توان به مقرون به صرفه بودن و پایین بودن هزینه‌های عملیاتی جهت استحصال انرژی از منابع انرژی تا مصرف کننده اشاره کرد. انرژی‌های تجدیدپذیر برخلاف انرژی‌های فسیلی و تجدیدناپذیر با بحران محدودیت و پایان پذیری مواجه نیستند و قابلیت بازیابی در چرخه طبیعت را دارا هستند. ازجمله این انرژی‌ها می‌توان به انرژی خورشیدی، بادی، زیست توده، زمین‌گرمایی، هیدرروژن و پیل سوختی، اقیانوسی و آبی اشاره کرد. تکنولوژی استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر نسبتاً نو بوده و پرداختن به این انرژی‌ها از نظر پژوهشی و کسب دانش فنی و اقتصادی کردن آن‌ها امری اجتناب‌ناپذیر برای هر کشوری است. بنابراین، متخصصان و برنامه‌ریزان انرژی در تمام دنیا اتفاق‌نظر دارند که انرژی‌های تجدید پذیر باید نقشی بهتر از آنچه را که امروزه در دنیا برای تأمین انرژی مورد نیاز جوامع بشری دارند، ایفا نماید. در حال حاضر جهان به‌طور متوسط ۲۵ درصد انرژی مصرفی خود را از انرژی‌های تجدید پذیر تأمین می‌نماید. این در حالی است که در کشور ما ایران، ۹۸ درصد انرژی مصرفی از سوخت‌های تجدید ناپذیر نفت و گاز طبیعی حاصل می‌شود و انرژی‌های تجدید پذیر تقریباً سهمی از سبد انرژی کشورمان ندارند. لذا، نیازی مبرم به سرمایه‌گذاری، تحقیقات و به‌کارگیری انرژی‌های تجدیدپذیر وجود دارد تا کشور عزیزمان ایران کمتر تحت شرایط سیاسی، اجتماعی و اقتصادی منطقه‌ای و بین‌المللی قرار گیرد و به افزایش امنیت ملی کشور و رسیدن به توسعه پایدار کمک شایانی نماید[۵].

زیست‌توده‌ها از منابع غنی کربن و یک منبع تجدید پذیر انرژی است. مواد زیستی شامل موجودات زنده یا بقایای آن‌ها است که نمونه این مواد، چوب، زباله و الکل هستند، همچنین زیست توده معمولاً شامل بقایای گیاهی نیز می‌باشد که به‌عنوان‌مثال می‌توان از بقایای

درختان جنگلی، مواد هرس شده از گیاهان و خرده‌های چوب نام برد که برای تولید الکتریسیته یا گرما به کار می‌روند. همچنین زیست توده به مواد گیاهی یا حیوانی که برای تولید الیاف و مواد شیمیایی به کار می‌روند نیز اطلاق می‌گردد. زیست توده شامل زباله‌های زیستی قابل سوزاندن هم می‌شود، اما شامل مواد زیستی مانند سوخت فسیلی که طی فرآیندهای زمین‌شناسی تغییر شکل یافته‌اند، مانند زغال‌سنگ یا نفت نمی‌شود. اگرچه سوخت‌های فسیلی ریشه در زیست‌توده‌های موجود در زمان بسیار قدیم دارند، به دلیل اینکه کربن موجود در آن‌ها از چرخه زیستی طبیعت خارج شده است و سوزاندن آن‌ها تعادل دی اکسید کربن موجود در جو را به هم می‌زند، عنوان زیست توده به آن‌ها اطلاق نمی‌گردد[۲۷].

برای تبدیل زیست توده به حاملان انرژی گازی، مایع و یا جامد از فرآیندهای مختلفی استفاده می‌گردد (شکل ۱) که عبارت‌اند از: احتراق، تبدیل ترموشیمیایی از طریق کربنی شدن، مایع سازی یا تبدیل به گاز، تبدیل فیزیکی-شیمیایی از طریق متراکم سازی، استخراج، ترانس استری کردن و تبدیل بیوشیمیایی از طریق تخمیر با الکل یا تجزیه هوازی و بی‌هوازی[۱۶].



شکل ۱- فناوری‌های کاربردی برای تبدیل زیست توده به حامل انرژی

در فرآیندهای تولید و تبدیل در صنایع غذایی و کشاورزی سالانه مقدار زیادی پسماندهای آلی جامد و مایع تولید می‌گردد که می‌تواند ماده اولیه مناسبی برای نیروگاه‌های زیست توده باشد. انرژی حاصل از این پسماندها می‌تواند در همان صنایع و یا صنایع دیگر مورد استفاده قرار گیرد. استفاده از این ضایعات در فرآیند تولید انرژی و احداث نیروگاه‌های زیست توده می‌تواند در راستای توسعه پایدار در صنعت کشاورزی مد نظر قرار گیرد[۵].

چوب یا همان سوخت‌های چوبی اصطلاحی است شامل انواع سوخت‌های حاصل از جنگل‌کاری، ضایعات حاصل از بهره‌برداری منابع جنگلی، ضایعات حاصل از صنایع تبدیلی چوب، صنایع چوب و کاغذ و تأسیسات پردازشی مجاور مناطق جنگلی که می‌تواند به‌عنوان یک ماده اولیه جهت احداث نیروگاه برای تأمین انرژی همان صنایع یا صنایع دیگر مورد استفاده قرار گیرد. زائدات کشاورزی نیز مواد سرشار از انرژی بوده که ارزش غذایی برای انسان ندارند. سالانه میزان زیادی از زائدات کشاورزی نظیر کاه و کلش غذایی، شاخه و برگ انواع گیاهان و محصولات باغی در مراحل مختلف کشاورزی تولید می‌گردد که می‌تواند در فرآیند تولید انرژی مورد استفاده قرار گیرد[۲۴].

در حال حاضر با توجه به اقتصادی بودن تولید انرژی و نیز برق از درختان در اروپا و آمریکای شمالی، کشاورزان بخش‌هایی از زمین-های کشاورزی خود را به کشت درختان سریع الرشد و انرژی‌زا اختصاص می‌دهند. از انواع مختلف محصولات انرژی‌زا می‌توان به کشت درختان سریع الرشد نظیر اکالیپتوس، کشت محصولات کشاورزی(گیاهان) انرژی‌زا(مثل سورگوم و نیشکر)،کشت گیاهان روغنی با محتوی انرژی مثل سویا و شلغم روغنی و درخت نخل اشاره کرد. این محصولات می‌توانند به‌عنوان سوخت امن و بی‌خطر در نیروگاه‌های زیست توده مورد استفاده قرار گیرند. توجه به این محصولات، می‌تواند ضمن تأمین قسمتی از انرژی مورد نیاز به‌طور پایدار و آسان، زمینه درآمدزایی برای کشاورزان با استفاده از زمین‌های خالی و غیرقابل استفاده و نیمه بایر باشد. جدول شماره ۱ دسته بندی کلیه محصولات کشاورزی را با توجه به هدف و دیدگاه انرژی بیان می‌کنند[۲] .

جدول۱ : دسته‌بندی محصولات کشاورزی و جنگلی از دیدگاه انرژی

محصولاتی که با اهداف کشت غذایی، صنعتی و علوفه‌ای	محصولاتی منحصراً با هدف تولید انرژی
غلات(گندم،جو،برنج و...)	گیاهان(نی،بوریا،علف فیل،نی غول‌آسا و...)
حبوبات(نخود،عدس،لوبیاو...)	
گیاهان صنعتی(چغندرقند،دانه‌های روغنی و...)	
سبزی‌ها(سیب‌زمینی،پیاز،گوجه‌فرنگی و...)	چوب درختان سریع الرشد(صنوبر،کاج،بید و...)
گیاهان جالیزی(خربزه،هندوانه،خیار و...)	
گیاهان علوفه‌ای(یونجه،شبدر و...)	
محصولات باغی(انواع درختان میوه، چای و...)	گیاهان هیدروکربن(درخت کائوچو)
محصولات جنگلی دست کاشت(صنوبر،بید و...)	
محصولات جنگلی طبیعی(راش،بلوط،افرا و ...)	

سوخت‌های زیستی

محتوای انرژی سوخت زیستی از منابع زیستی و مواد آلی که بدن موجودات زنده را می‌سازند به وجود آمده است. در واقع سوخت زیستی نوعی از سوخت است که از منابع زیست‌توده (بیومس) به وجود می‌آید. این بدان معناست که ماهیت سوخت زیستی به گیاهان برمی‌گردد و همین امر موجب تجدیدپذیر بودن آن می‌شود.

سوخت مایعی برای بخش حمل‌ونقل است که می‌تواند با بنزین و گازوییل مخلوط شود. سوخت‌های زیستی از گیاهانی که انرژی خورشید را جذب کرده و به فرم شیمیایی شکر یا سایر اشکال در خود ذخیره کرده‌اند، به دست می‌آید. در خصوص طبقه‌بندی انواع سوخت‌های زیستی بحث‌های متفاوتی وجود دارد. وجه تمایز انواع سوخت‌های زیستی در تکنولوژی تولید، میزان انتشار گازهای گلخانه-ای و نوع مواد اولیه مورد استفاده می‌باشد. بر اساس طبقه‌بندی آژانس بین‌المللی انرژی سوخت‌های زیستی در کل به دودسته‌ی سنتی و پیشرفته تقسیم‌بندی می‌شود. بر اساس تکنولوژی تولید و سایر وجوه تمایز اشاره شده سوخت‌های زیستی به پنج نسل مختلف تقسیم می-گردد. تکنولوژی سوخت‌های زیستی نسل اول معادل نوع سنتی و بایوفیول نسل‌های دوم تا چهارم معادل نوع پیشرفته هستند[۱] .

انواع سوخت زیستی

سوخت‌های زیستی دارای انواع مختلفی می‌باشند. تنوع در این مواد زیاد است لذا از جنبه‌های مختلفی دسته‌بندی می‌شوند؛ ازجمله دسته‌بندی‌هایی که برای سوخت زیستی وجود دارد دسته‌بندی بر اساس ماده اولیه و دسته‌بندی بر اساس حالت فیزیکی است که در ادامه به‌تفصیل به آن‌ها پرداخته خواهد شد.

انواع سوخت زیستی بر اساس ماده اولیه

سوخت‌های‌زیستی، به‌ویژه سوخت‌های‌زیستی مایع را بر اساس مواد اولیه مورد استفاده در تولید آن‌ها، به چند نسل تقسیم‌بندی نموده‌اند: نسل اول، دوم، سوم و چهارم که به شرح زیر می‌باشد که با رشد و ظهور هر نسل، بهبود و افزایش تولید این سوخت‌ها حاصل شده است.

الف) نسل اول سوخت زیستی

سوخت‌های نسل اول یا سوخت‌های‌زیستی معمولی، سوخت‌های تولید شده از محصولات غذایی و زراعی می‌باشد. با تولید این نوع از سوخت زیستی، امنیت غذایی و بحران‌های ناشی از آن ایجاد می‌شود.

نسل اول سوخت‌های‌زیستی از قند، نشاسته، روغن و چربی حیوانی و گیاهی و محصولاتی همانند ذرت، گندم، نیشکر، سویا، کلزا و تخم آفتابگردان به‌طور مستقیم از فرآیند تخمیر (از فناوری‌هایی که در حال حاضر شناخته شده است) تولید می‌شوند. این سوخت‌ها شامل دیزل‌زیستی، الکل زیستی، اتانول و گازهای زیستی مانند متان می‌باشند.

در این نسل مواد غذایی با ارزش و بعضاً استراتژیک فقط برای تولید سوخت زیستی باید کشت شود که این امر موجب به خطر انداختن امنیت چرخه غذایی می‌شود و هم‌چنین کشت محصولات برای تولید سوخت زیستی لزوماً اقتصادی نمی‌باشد[۱۷].

ب) نسل دوم سوخت زیستی

نسل دوم سوخت‌های‌زیستی از محصولات غیر غذایی یا ضایعات کشاورزی، به‌ویژه زیست‌توده‌های لیگنوسلولزی تولید می‌شوند. مواد اولیه این نسل از سوخت‌ها، جزو مواد غذایی محسوب نمی‌شوند.

مواد اولیه مورد استفاده در این نسل، می‌تواند ضایعات و پسماندهای محصولات کشاورزی و غذایی باشد و یا محصولاتی که ارزش تغذیه‌ای برای انسان ندارند و در زمین‌های نامرغوب با هزینه‌های جاری بسیار کم رشد می‌کنند. هم‌چنین ضایعات فضای سبز و جنگل‌ها نیز جزو مواد لیگنوسلولزی هستند که موجب تولید سوخت‌های‌زیستی نسل دوم می‌شوند.

با وجود مزایای فراوان این نسل از سوخت‌ها، ممکن است استخراج سوخت از مواد اولیه ذکر شده دشوار باشد. به‌عنوان‌مثال، ممکن است یک سری از پیش‌تیمارهای فیزیکی و شیمیایی برای تبدیل زیست‌توده لیگنوسلولوزی به سوخت‌های مایع مورد نیاز باشد[۱۷].

ج) نسل سوم سوخت زیستی

نسل سوم سوخت‌های زیستی بر اساس پیشرفت در تولید زیست توده بنا شده است. در این شیوه از جلبک (خزه) دریایی به‌عنوان منبع انرژی استفاده می‌کند. آزمایش‌های فراوانی بر روی جلبک‌ها به‌عنوان منبع غنی از چربی برای تولید سوخت‌های‌زیستی مایع انجام شده است. جلبک دریایی به‌عنوان یک خوراک کاملاً تجدیدشونده با انرژی بالا و هزینه پایین کشت می‌شود. جلبک دریایی همچنین قابلیت رشد در زمین و آب‌هایی که برای کشت مواد غذایی مناسب نیستند را دارد. بنابراین منجر به کاهش استفاده از منابع آب می‌شود. مزیت دیگر استفاده از جلبک دریایی این است که سوخت‌های زیستی تولیدی می‌توانند به اشکال متنوعی همچون دیزل، بنزین و سوخت جت فرآوری شود. میزان انرژی تولیدی از سوخت‌های زیستی نسل سوم تقریباً ۳۰ برابر انرژی در واحد سطح خوراک سوخت‌های زیستی نسل اول یا سوخت‌های زیستی سنتی است[۱۸,۹].

پرورش و کشت جلبک‌ها به‌عنوان منبع غنی از چربی برای اولین بار در سال‌های۱۹۷۸تا ۱۹۹۶در آمریکا مورد آزمایش قرار گرفته است. ایده پرورش این جلبک‌ها در تصفیه‌خانه فاضلاب نیز توسط محققان آمریکایی پیشنهاد شده است.

تولید جلبک برای تولید سوخت هنوز در مقیاس تجاری، جایگاه خود را نیافته است اما مطالعات امکان‌سنجی برای دستیابی به عملکرد بالا صورت گرفته است. تولید سوخت‌های نسل سوم باعث کاهش تولید مواد غذایی نمی‌شود و هم‌چنین نیازی به زمین‌های کشاورزی و آب شیرین نیست[۳۰].

د) نسل چهارم سوخت زیستی

نسل چهارم سوخت‌های زیستی از گیاهان مهندسی‌شده یا زیست‌توده که ممکن است عملکرد انرژی بیشتر داشته باشند، تشکیل شده است. این نوع از مواد نیاز کمتری به شکست سلولزی دارند و هم‌چنین قادر به رشد در زمین‌های غیر کشاورزی و بدون آب هستند. این نسل نه تنها در جهت تولید انرژی پایدار است بلکه روشی برای جذب دی‌اکسید کربن نیز می‌باشد. مواد زیست توده که در حال رشد هستند، دی اکسید کربن را جذب کرده و با استفاده از همان روش سوخت‌های زیستی نسل دوم را به سوخت تبدیل می‌کنند. این فرآیند از این جهت با نسل دوم و سوم متفاوت است که این سیستم نه تنها دی اکسید کربن را جذب و ذخیره می‌نماید بلکه با جایگزینی با سوخت‌های فسیلی انتشار آن را کاهش می‌دهد. دی‌اکسید کربن ذخیره شده نیز می‌تواند برای تزریق به میادین نفت و گاز استفاده شود [۱۲].

د) نسل پنجم سوخت‌های زیستی

نسل پنجم سوخت‌های زیستی به سوخت هایی گفته میشود که با تغییرات ژنتیکی و یا تغییرات مهندسی در واکنش‌های بیوشیمیایی و ترموشیمیایی است. در این نسل از سوخت ها با استفاده از کربن دی اکسید موجود و هیدروژن به بهبود کیفیت سوخت‌های نسل‌های دیگر کمک می‌نماید، به‌طور مثال در فرآیند تولید بیوگان با استفاده از کربن دی اکسید موجود در بیوگان تولیدی و هیدروژن به تولید بیشتر متان کمک نموده و کیفیت سوخت زیستی بیوگان را افزایش داد. از تکنولوژی این نسل همچنین می‌توان برای بهبود دیگر محصولات سوخت‌های زیستی نظیر بیودیزل و بیواتانول نیز استفاده نمود. از مزایا این سوخت ها به استفاده و ترکیب گاز کربن دی اکسید برای سوخت زیستی می‌توان در کنار بهبود تولید گاز متان نام برد ولی در کنار این مزایا به دلیل مساعد نبودن شرایط برای تولید صنعتی، این نومنه از سوخت ها تحت شرایط آزمایشگاهی قابل تولید هستند. جدول شماره ۲ فرآیند تولید، مزایا و معایب سوخت‌های زیستی را به‌طور خلاصه توضیح داده است[۲۵،۱۵،۱۴].

جدول ۲ : فرآیند تولید، مزایا و معایب سوخت‌های زیستی

	سوخت‌های نسل اول	سوخت‌های نسل دوم	سوخت‌های نسل سوم	سوخت‌های نسل چهارم	سوخت‌های نسل پنجم
نمونه محصولات تولیدی	- دیزل زیستی - اتانول زیستی	- بیوگان - بیواتانول - بیودیزل	- بیودیزل	- هیدروژن - بیواتانول	- گاز متان
مواد اولیه	- ذرت - روغن‌های گیاهی	لیگنوسلولز باقیمانده‌ها و ضایعات ارگانیک	- کربن دی اکسید - جلبک ها	- کربن دی اکسید - محصولات زیستی	- کربن دی اکسید - هیدروژن
تکنولوژی تولید	- تخمیر	روش‌های بیوشیمیایی یا ترموشیمیایی	- روش‌های بیوشیمیایی یا ترموشیمیایی	- تخمیرهای تک‌مرحله‌ای با کاتالیست های زیستی	- تخمیرسیاه به همراه واکنش‌های شیمیایی
مزایا	-تکنولوژی توسعه‌یافته	- عدم استفاده از غذا برای تولید سوخت	- عدم استفاده از غذا - عدم استفاده از زمین کشاورزی - قابلیت تولید در هر مکان	- امکان استفاده از کربن دی اکسید - قابلیت استفاده از ضایعات فرایند تولید اکسیژن	-مصرف کربن دی اکسید - بهبود بخشی به متان تولیدی در نیروگاه‌های بیوگان
معایب	- افزایش بهای غذا - افزایش تولید کربن دی اکسید	- تولید کربن در اکسید - تولید گوگرد و ایجاد آلودگی و خطر	- تکنولوژی جدید - غیرقابل استفاده در مقیاس بسیار بزرگ	- گران بودن تکنولوژی - تولید کم در مقایسه با مساحت مورد استفاده	- مقیاس آزمایشگاهی - شرایط تولید در صورت برابر بودن

نسبت کربن دی اکسید و هیدروژن			زیست‌محیطی		

انواع سوخت زیستی بر اساس حالت فیزیکی

سوخت زیستی استحصال شده از زیست‌توده‌ها با توجه به نوع فرآیند و هدف مورد نظر به صورت‌های مختلف می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. سوخت‌های‌زیستی از نظر خصوصیات فیزیکی به سه گروه جامد، مـایع و گاز دسته‌بندی می‌شوند که با توجه به ویژگی هرکدام از آن‌ها، کارایی متفاوتی را به خود اختصاص داده‌اند.

الف) سوخت زیستی جامد

یکی از راحت‌ترین روش‌های استحصال انرژی از زیست‌توده‌ها، سوزاندن و استفاده مستقیم از انرژی آن‌ها در حالت جامد می‌باشد. یکی از قدیمی‌ترین سوخت‌های مورد استفاده توسط انسان‌ها که امروزه به‌عنوان سوخت زیستی جامد شناخته می‌شود، ضایعات کشاورزی و گیاهان بوده است که برای تهیه انرژی گرمایی یا روشنایی از آن‌ها استفاده می‌کردند.

اصطلاح سوخت زیستی جامد می‌تواند در ظاهر کمی گمراه کننده باشد زیرا بسیاری از افراد گمان می‌کنند که سوخت‌های‌زیستی فقط با انجام برخی فرآیندهای پیشرفته تولید می‌شوند. اما در حقیقت، هر ماده تجدیدپذیر و زیستی که قابل سوختن باشد، به‌عنوان سوخت زیستی تلقی می‌شود. از منابع اولیه سوخت‌های‌زیستی می‌توان به ضایعات چوبی، تفاله‌های محصولات کشاورزی، نیشکر، غلات، زباله خانگی، زغال چوب، روغن گیاهان و سبزی‌ها اشاره کرد که همگی این منابع جامد بوده و قابلیت سوزاندن دارند.

امروزه نیز مانند گذشته مصرف زیست‌توده جامد به دلیل ارزانی و در دسترس بودن این نوع سوخت، بسیار گسترده است. خانواده‌های کوچک به خصوص در نواحی روستایی، ویلایی، واحدهای کوچک و بزرگ صنعتی و تجاری، دستگاه‌های زباله‌سوز در نیروگاه‌ها و حتی در رستوران‌ها برای طبخ طبیعی غذا می‌توانند از این سوخت به راحتی بهره‌مند شوند.

به دلیل آن که سوخت زیست‌توده جامد از ضایعات درختان و گیاهان است، پس از سوخته‌شدن همان مقدار کربن‌دی‌اکسید جذب شده توسط گیاهان را به محیط باز می‌گرداند و این ویژگی سبب پاک بودن این سوخت شده است. طبق اعلام وزارت انرژی ایالات متحده که در تحقیقاتی به بررسی تأثیر دو سوخت زیستی و سوخت‌های‌فسیلی بر گرمایش جهانی پرداخته است، هنگامی که تمام جوانب مورد توجه قرار می‌گیرند، استفاده از سوخت‌های‌زیستی به جای زغال‌سنگ در نیروگاه ، منجر به کاهش ۱۴۸ درصدی پتانسیل گرم شدن زمین می‌شود[۳۱,۲۸,۷].

ب) سوخت زیستی مایع

پرکاربردترین سوخت زیستی که در دهه‌های اخیر بسیار مورد توجه دانشمندان و دولت‌های سراسر جهان واقع شده است، سوخت‌های‌زیستی مایع می‌باشد. این سوخت‌ها توسط فرآیندهای مختلف شیمیایی و زیستی تولید می‌شوند که به دلیل افزایش روزافزون جوامع از سوخت‌های‌زیستی مایع، تحقیقات فراوانی در خصوص تولید آن‌ها صورت گرفته است.

مهم‌ترین و پرمصرف‌ترین سوخت‌های زیستی مایع عبارت‌اند از اتـانول‌زیستی، بـا سـهم بـیش از ۸۰ درصـد از تولیـد و مصرف سوخت‌های‌زیستی مایع در جهان، و پس از آن دیزل‌زیستی با سهم کم‌تر از ۲۰ درصد. سـایر سـوخت‌هـایی زیستی مایع از قبیل بوتانول زیستی، کروزین زیستی و ... سهم بسیار کوچکی در این میان دارند. در ادامه به توضیح درباره دو نوع از مهم‌ترین و پرکاربردترین سوخت‌های زیستی مایع می‌پردازیم[۳۱,۲۸,۷].

اتانول‌زیستی

با توجه به اهمیت جایگزین نمودن یک سوخت تجدیدپذیر به‌جای سوخت‌های‌فسیلی، اتانول‌زیستی 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.

اتانول‌زیستی از سه گروه مواد قندی، مواد نشاسته‌ای و مواد سلولزی تهیه می‌شود که هریک از این منابع شامل زیرمجموعه‌ای از مواد دیگر می‌شوند. در زیرمجموعه مواد قندی می‌توان به شربت نیشکر، ملاس نیشکر، ملاس چغندرقند، خرما، میوه‌های شیرین و... اشاره کرد و همچنین مواد نشاسته‌ای شامل ذرت، گندم، سایر غلات، برنج و ... می‌باشند. باگاس نیشکر، کاه گندم و سایر غلات، ضایعات چوبی، کاغذ ضایعاتی، ضایعات کارخانه چوب و پسماندهای شهری و روستایی در گروه مواد سلولزی قرار می‌گیرند.

به دلیل محدود بودن منابع قندی و نشاسته‌ای موجود در جهان، قیمت بالای این منابع از یک سو و تخریب جنگل‌ها و تبدیل آن‌ها به زمین‌های کشاورزی برای کشت دانه‌های نشاسته‌ای از سوی دیگر این دو منبع عمده تولید اتانول‌زیستی را به لحاظ اقتصادی و زیست‌محیطی به دو منبع نامناسب تبدیل کرده است و استفاده از مواد با پایه لیگنوسلولزی بسیار مورد توجه قرار گرفته است که تولید مقدار ۱۰ میلیون تن از این مواد در سال، آن‌ها را به فراوان‌ترین زیست‌توده تجدیدپذیر در جهان تبدیل کرده است.

از روش‌های تولید اتانول می‌توان به فرآیند تخمیر اشاره کرد که در این روش در اثر ساختار سلولی یک گونه از مخمرهای قندی، در غیاب اکسیژن، اتانول و کربن‌دی‌اکسید تولید می‌شود. اما با توجه به ساختمان مواد لیگنوسلولزی که از سه بخش سلولز، همی‌سلولز و لیگنین تشکیل شده است، به منظور تولید اتانول‌زیستی از مواد لیگنوسلولزی می‌بایست پیش از فرآیند تخمیر ابتدا با کمک فرآیند هیدرولیز آن‌ها را به گلوکز تبدیل کرده و سپس گلوکز را با فرآیند تخمیر به اتانول‌زیستی تبدیل شود.

با توجه به مزایا و ویژگی‌های منحصر به فرد اتانول‌زیستی، کاربردهای زیادی می‌توان برای این سوخت تعریف کرد، از مهم‌ترین کاربردهای آن می‌توان به مصرف آن به‌عنوان سوخت اشاره کرد، به‌گونه‌ای که بیش از ۸۰ درصد اتانول تولیدی در جهان از نوع اتانول-سوختی می‌باشد، همچنین از اتانول زیستی به دلیل کارایی بالا و داشتن کم‌ترین اثر مضر به‌عنوان 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، اتانول 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[۲۶,۲۲,۶].

دیزل زیستی

دیزل زیستی، همان مونوآلکیل‌استر اسیدهای چرب است که عموماً از روغن‌های گیاهی در حضور کاتالیست حاصل می‌شود. علاقه به استفاده از دیزل‌زیستی ناشی از شباهت ذاتی آن با سوخت‌های نفتی است که به آن اجازه می‌دهد همه خواص اصلی مهم این سوخت‌ها را داشته باشد و در عین حال زیست تجزیه‌پذیر، غیرسمی و از همه مهم‌تر اینکه کربن خنثی نیز می‌باشد.

دیزل‌زیستی از روغن‌های گیاهی و چربی حیوانی که شامل مولکول‌های تری‌گلیسرید هستند، تشکیل می‌شود. عمومی‌ترین نوع خوراک برای تولید دیزل‌زیستی، روغن‌های گیاهی خوراکی تصفیه شده هستند که از دانه‌هایی هم‌چون سویا، کلزا، دانه آفتاب‌گردان، خرما، نارگیل و دانه کتان به‌دست می‌آیند. واکنش بین تری‌گلیسیریدها و الکل‌های با زنجیره کربنی کوتاه، هم‌چون متانول و اتانول را تبادل‌استری می‌نامند. واکنش تبادل‌استری در حضور یک کاتالیست بازی، اسیدی یا آنزیمی انجام می‌شود. اغلب در صنعت از کاتالیست‌های بازی همگن مانند هیدروکسید سدیم و پتاسیم به علت ارزان و راحت بودن، برای تبادل‌استری استفاده می‌شود.

همانگونه که ذکر گردید سوخت‌های‌زیستی نسل سوم از جلبک‌ها به‌عنوان ماده اولیه تولید سوخت استفاده می‌کنند. ریزجلبک‌ها بزرگ‌ترین میکروارگانیسم‌های اتوتروفیک با زندگی گیاه مانند، در جهان هستند. ریز جلبک‌ها از طریق سنتز زندگی می‌کنند و به دلیل نرخ رشد بالای خود به سرعت می‌توانند مقادیر قابل ملاحظه‌ای چربی را نسبت به گیاهان زمینی جمع‌آوری کنند و هم‌زمان با تغییر

مسیرهای سنتتیک‌زیستی برای ذخیره‌سازی به‌عنوان چربی‌های طبیعی استفاده شوند. روغن ریزجلبک‌ها و زیست‌توده مصرفی به‌عنوان مواد اولیه و منابع بالقوه خوب برای دیزل‌زیستی پیشنهاد شده است. انرژی ذخیره‌شده در چربی موجود در ریزجلبک‌ها دو برابر اتم‌های کربن در کربوهیدرات‌ها است که به‌طور مستقیم به دو برابر انرژی سوختی تبدیل می‌شود و در نتیجه ریزجلبک‌ها بیش‌تر از گیاهان زمینی برای تولید سوخت‌های زیستی مناسب هستند.

با توجه به ویژگی‌های منحصر به فرد دیزل‌زیستی مانند خواص سوختی شبیه دیزل با پایه نفتی، عدد ستان و نقطه ابری شدن و خاصیت روان بودن بالا نسبت به سوخت‌های فسیلی، این سوخت به‌عنوان جایگزین و یا مکمل سوخت دیزل (گازوئیل) محسوب می‌شود. علاوه بر این کاربرد، از دیزل‌زیستی به‌عنوان روان‌کننده، ماده اولیه تولید هیدروژن در پیل‌های سوختی، پاک‌کننده لکه‌های روغن و... استفاده می‌کنند[۸, ۱۱].

ج) سوخت زیستی گازی

در میان منابع تجدیدپذیر، یکی از قدیمی‌ترین سوخت‌های مورد استفاده، گاز زیستی است که در بسیاری از نقاط جهان خصوصاً هند در حال استفاده می‌باشد. این سوخت که از فرآیند هضم بی‌هوازی به وجود می‌آید، سوخت تمیزی است که آلودگی زیست‌محیطی ایجاد نمی‌کند.

منابع زیست‌توده حاوی ترکیبات آلی با مولکول‌های درشت زنجیر می‌باشد که در طی فرآیندهای هضم، در نهایت به مولکول‌های ساده گازی تبدیل می‌شوند. گاز زیستی از تخمیر مواد زائد آلی در شرایط بی‌هوازی حاصل می‌شود و دارای ۶۰ تا ۷۰ درصد متان و ۳۰ تا ۴۰ درصد دی‌اکسید کربن و مقادیر ناچیزی از گازهای دیگر مانند هیدروژن، نیتروژن، اکسیژن، منواکسید کربن و سولفید هیدروژن است و همان‌طور که مشخص است قسمت اعظم این گاز از متان و دی‌اکسید کربن تشکیل شده است ولی در عین حال نسبت ترکیبات مختلف آن بستگی به نوع مواد اولیه و نیز تا حدودی به میزان حرارت محیط و زمان توقف مواد در مخزن تخمیر دارد. گاز زیستی منبع با ارزشی از انرژی است که اغلب به هدر می‌رود. اگر متان با ایمنی کامل جمع‌آوری شود و به‌درستی ذخیره گردد، می‌تواند منبع مهمی از انرژی باشد. از این گاز می‌توان به‌عنوان یک حامل انرژی مستقیماً در تأمین انرژی حرارتی و روشنایی ساختمان‌ها استفاده نمود یا اینکه جهت تولید برق در ژنراتورهای گازی آن را به‌کار برد. این مخلوط گازی دارای ارزش حرارتی ۱۵ الی ۲۵ مگاژول به ازای هر مترمکعب بوده (۴۰ تا ۷۰ درصد ارزش حرارتی گاز طبیعی) و در صورت تبدیل به برق با استفاده از موتورهای گاز زیستی سوز، از هر متر مکعب گاز طبیعی ۳ کیلووات ساعت برق حاصل می‌شود.

هضم بی‌هوازی، تجزیه بیولوژیکی مواد آلی در غیاب اکسیژن است که نتیجه این فرآیند تولید گاز زیستی و مواد تثبیت شده می‌باشد. بارزترین نمونه این فرآیند در دفنگاه های زباله است. از طرف دیگر هاضم‌های مخزنی نیز به علت سرعت هضم مواد آلی در برابر دفنگاه های زباله به‌شدت مورد توجه قرارگرفته‌اند. گاز زیستی تولیدی به خاطر داشتن درصد بالایی از متان دارای ارزش حرارتی متوسطی بوده و می‌تواند برای مصارف خانگی و صنعتی به‌کار رود. فضولات دامی و پسماندهای کشتارگاهی، زائدات کشاورزی، پسماندها و پساب‌های صنایع غذایی، فاضلاب و پسماندهای فسادپذیر شهری از جمله مواردی است که در فرآیند هضم بی‌هوازی برای تولید گاز زیستی به‌کار می‌روند[۴,۱۳,۲۰].

مزایا و معایب سوخت‌های زیستی

شواهد نشان می‌دهد که تولید سوخت‌های زیستی پیامدهای مثبت بسیاری در پی دارد که این مسأله باعث افزایش توجه به تولید سوخت‌های زیستی در جهان شده است. همان‌طور که در ابتدا اشاره شد، از جمله مهم‌ترین دلایل توجه به تولید سوخت‌های زیستی مسئله

امنیت انرژی و تلاش کشورهای مختلف برای کاهش انتشار گازهای آلاینده ناشی از مصرف سوخت‌های فسیلی است. جزییات بیشتر در این رابطه در جدول (۳) آمده است.

جدول ۳- منافع سوخت‌های زیستی به تفکیک اثرات اقتصادی، زیست‌محیطی و امنیت انرژی

اثرات اقتصادی	▪ پایداری ▪ تنوع سوختی ▪ افزایش شمار مشاغل تولیدی روستایی ▪ افزایش درآمدهای مالیاتی ▪ افزایش سرمایه‌گذاری در نیروگاه‌ها و تجهیزات ▪ توسعه اقتصادی ▪ رقابت‌پذیری بین‌المللی ▪ کاهش وابستگی به واردات و صادرات نفتی
اثرات زیست‌محیطی	▪ کاهش گازهای گلخانه‌ای ▪ کاهش آلودگی هوا ▪ تجزیه‌پذیری زیستی ▪ کارایی بالاتر احتراق ▪ بهبود استفاده از آب و زمین ▪ جلوگیری از انتشار کربن
اثرات مرتبط با امنیت انرژی	▪ اهداف داخلی ▪ امنیت عرضه ▪ کاهش استفاده از سوخت‌های فسیلی ▪ دسترسی بهتر ▪ توزیع داخلی ▪ تجدیدپذیری

با وجود بسیاری از ویژگی‌های مثبت سوخت‌های زیستی، هم‌چنین معایب بسیاری در مورد این انرژی وجود دارد:

- خروجی انرژی: سوخت‌های زیستی خروجی انرژی پایین‌تری از سوخت‌های فسیلی دارند و در نتیجه برای تولید همان مقدار انرژی، باید منابع انرژی بیشتری صرف شود.
- تولید انتشار کربن: مطالعات متعددی به تجزیه و تحلیل کربن از سوخت‌های زیستی انجام شده است و درحالی‌که آن‌ها ممکن است برای سوزاندن پاک باشند، دلایل قوی وجود دارد که روند تولید سوخت از جمله ماشین‌آلات لازم برای کشت محصولات زراعی و گیاهان، دارای انتشار کربن سنگین است.
- هزینه بالا: برای تصحیح و تصفیه سوخت‌های زیستی به خروجی انرژی کارآمدتر، و برای ساخت کارخانه‌های تولیدی لازم برای افزایش مقدار سوخت‌های زیستی،سرمایه‌گذاری اولیه بالایی مورد نیاز است.
- کمبود مواد غذایی: نگرانی‌هایی وجود دارد که استفاده بیش‌ازحد از گندم‌زار برای کشت محصولات سوخت می‌تواند بر هزینه‌های مواد غذایی تأثیر داشته باشد و احتمالاً می‌تواند به کمبود مواد غذایی منجر شود.

- مصرف آب: مقدار زیاد آب برای آبیاری مناسب محصولات سوخت‌های زیستی و همچنین برای تولید سوخت نیاز است که می‌تواند منابع آب محلی و منطقه‌ای را تهدید کند[۲۹,۲۳,۱].

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

بخش حمل‌ونقل تقریباً ۲۶٪ از تقاضای جهانی انرژی ، ۲۲٪ از انتشار جهانی CO_2 را تشکیل می‌دهد و تقریباً کاملاً (تقریباً ۹۴٪) به سوخت‌های مشتق از نفت وابسته است. نگرانی در مورد تغییر آب‌وهوا و اتکا به نفت (امنیت انرژی) منجر به علاقه به استفاده از سوخت‌های جایگزین در حمل‌ونقل شده است. همان‌طور که در مقاله اشاره شد از گزینه‌های جایگزینی برای نفت و سوخت‌های فسیلی، استفاده از سوخت‌های زیستی است و در همین راستا اتحادیه اروپا یک پیشنهاد قانونی برای دوره ۲۰۲۱ تا ۲۰۳۰ مبنی بر واردات زیست‌توده غیر غذایی ، مانند گلوله‌های چوبی برای کاهش استفاده از سوخت‌های زیستی بر پایه مواد غذایی با افزایش میزان ترکیب مورد نیاز سوخت-های زیستی غیر غذایی منتشر کرد تا به‌نوعی از لزوم جدا کردن مناطق قابل‌توجهی از زمین برای محصولات بیولوژیکی و رقابت با تولید مواد غذایی و فیبر جلوگیری کند. بنابراین با توجه روند کاهش منابع فسیلی می‌توان از سوخت‌های زیستی به‌عنوان سوخت‌های جایگزین و یا به‌عنوان سوخت ترکیبی در غیاب سوخت‌های فسیلی در برخی ترکیب‌ها استفاده نمود تا علاوه بر روی‌آوری به استفاده از این انرژی‌های تجدید پذیر، می‌توان عمر کوتاه منابع فسیلی را نیز اندکی افزایش داد. در همین راستا کلیه کشورهای تولیدکننده و مصرف کننده انرژی گام به‌سوی قرار دادن منابع انرژی تجدید پذیر در سبد انرژی کشور خود برداشتند.

منابع

۱. رشیدی کیا، م. و مرادی، م. ۱۳۹۵. سوخت زیستی جهت استفاده بهینه از پسماند محصولات کشاورزی و نقش آن در توسعه پایدار، ماهنامه شباک(شبکه اطلاع رسانی اجلاس‌های کشور)/ سال دوم/ شماره ۳ (پیاپی : ۱۰) /جلد ۳ / خرداد ۱۳۹۵

۲. مقدم، م. و غنیمی فرد، ح و مقدم،ح. ۱۳۹۵. بررسی صنعت سوخت زیستی(بایوفیول): چالش‌ها و موانع ، فصلنامه‌ی مطالعات اقتصاد انرژی/ سال دوازدهم / شمارهی ۵۰/پاییز ۱۳۹۵/صفحات ۸۴- ۵۳

3. Armstrong, R. C., Wolfram, C., De Jong, K. P., Gross, R., Lewis, N. S., Boardman, B., ... & Ramana, M. V. (2016). The frontiers of energy. Nature Energy, 1, 15020.
4. Aryal, N., et al., An overview of microbial biogas enrichment. Bioresource Technology, 2018. 264: p. 359-369.
5. Barati, M. R., Aghbashlo, M., Ghanavati, H., Tabatabaei, M., Sharifi, M., Javadirad, G., ... & Soufiyan, M. M. (2017). Comprehensive exergy analysis of a gas engine-equipped anaerobic digestion plant producing electricity and biofertilizer from organic fraction of municipal solid waste. Energy Conversion and Management, 151, 753-763.
6. Bernier-Oviedo, D.J., et al., Comparison of two pretreatments methods to produce second-generation bioethanol resulting from sugarcane bagasse. Industrial Crops and Products, 2018. 122: p. 414-421.
7. Bonassa, G., et al., Scenarios and prospects of solid biofuel use in Brazil. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018. 82: p. 2365-2378.
8. Chen, J., et al., The potential of microalgae in biodiesel production. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018. 90: p. 336-346.
9. Chisti, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. Biotechnology advances, 25(3), 294-306.
10. Dadak, A., Aghbashlo, M., Tabatabaei, M., Najafpour, G., & Younesi, H. (2015). Exergy analysis as a tool for decision making on substrate concentration and light intensity in photobiological hydrogen production. Energy Technology.

11. Gebremariam, S.N. and J.M. Marchetti, Economics of biodiesel production: Review. Energy Conversion and Management, 2018. 168: p. 74-84.
12. Gray, D., White, C., & Tomlinson, G. (2007). Increasing security and reducing carbon emissions of the US transportation sector: a transformational role for coal with biomass.
13. Herbes, C., V. Halbherr, and L. Braun, Factors influencing prices for heat from biogas plants. Applied Energy, 2018. 221: p. 308-318.
14. Hombach, L. E., Doré, L., Heidgen, K., Maas, H., Wallington, T. J., & Walther, G. (2019). Economic and environmental assessment of current (2015) and future (2030) use of E-fuels in light-duty vehicles in Germany. Journal of cleaner production, 207, 153-162.
15. Kalghatgi, G., Levinsky, H., & Colket, M. (2018). Future transportation fuels. Prog. Energy Combust. Sci, 69, 103-105.
16. Kaltschmitt, M. 2003. Possible applications of biomass in germany - potential and use. Blickpunkt Energiewirtschaft 1:1.
17. Larsen, U., Johansen, T., & Schramm, J. (2009). Ethanol as a fuel for road transportation. Main Report. IEA-AMF report, 100.
18. Larson, E. D. (2008). Biofuel production technologies: status, prospects and implications for trade and development. United Nations Conference on Trade and Development.
19. Liew, K. B., Daud, W. R. W., Ghasemi, M., Leong, J. X., Lim, S. S., & Ismail, M. (2014). Non-Pt catalyst as oxygen reduction reaction in microbial fuel cells: A review. International journal of hydrogen energy, 39(10), 4870-4883.
20. Lindkvist, E. and M. Karlsson, Biogas production plants; existing classifications and proposed categories. Journal of Cleaner Production, 2018. 174: p. 1588-1597
21. Mohd Azhar, S.H., et al., Yeasts in sustainable bioethanol production: A review. Biochemistry and Biophysics Reports, 2017. 10: p. 52-61.
22. Moka, S., Pande, M., Rani, M., Gakhar, R., Sharma, M., Rani, J., & Bhaskarwar, A. N. (2014). Alternative fuels: an overview of current trends and scope for future. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 32, 697-712.
23. Neto, A.C., M.J.O.C. Guimarães, and E. Freire, Business models for commercial scale second-generation bioethanol production. Journal of Cleaner Production, 2018. 184: p. 168-178.
24. Nogueira, L. A. H., Moreira, J. R., Schuchardt, U., & Goldemberg, J. (2013). The rationality of biofuels. Energy Policy, 61, 595-598.
25. Porqueras, E.M., Rittmann, S., and Herwig, C. 2012. Biofuels and CO2 neutrality: an opportunity. Biofuels, 3(4), 413–426
26. Szulczyk, K.R. and M. Atiqur Rahman Khan, The Potential and Environmental Ramifications of Palm Biodiesel: Evidence from Malaysia. Journal of Cleaner Production, 2018.
27. Vakkilainen, E.K., 2 – Solid Biofuels and Combustion, in Steam Generation from Biomass, E.K. Vakkilainen, Editor. 2017, Butterworth-Heinemann. p. 18-56.
28. Veljković, V.B., et al., Biodiesel production from corn oil: A review. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018. 91: p. 531-548.
29. Yevich, R., & Logan, J. A. (2003). An assessment of biofuel use and burning of agricultural waste in the developing world. Global biogeochemical cycles, 17(4).
30. Zhou, Y., et al., A comprehensive review on densified solid biofuel industry in China. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016. 54: p. 1412-1428.
31. https://www.irena.org/

Investigation of first to fourth generation biofuels and introduction of fifth generation biofuels

Mohammad Reza Barati[1*], maedeh barati [2], Majid Rasouli [3*]

1. MSc in Biosystems Engineering of Tehran University
2. BSc Student, Department of Biosystems Engineering, Bu-Ali Sina University
3. Faculty Member, Department of Biosystems Engineering, Bu-Ali Sina University

Abstract

Due to significant population growth, improved living standards, urbanization and industrialization, global energy consumption has increased significantly, increasing dependency on energy production. The use of alternative fuels, including biofuels and increased productivity, are two ways to overcome the global warming crisis and energy security. Producing biofuels from completely bio-based raw materials has simple processes, but choosing the efficient and high-quality bio-based raw material for production of these fuels is difficult. Biomass is one of the renewable energy sources that can be used to produce biofuels using different technologies. This paper reviews the biofuel sources in four generations and introduces the fifth generation of biofuels. The fifth generation of biofuels with genetic or engineering changes in biochemical and thermochemical reactions using available carbon dioxide and hydrogen helps improve the quality of other generation fuels. Genetically engineered biofuels are the fifth generation biofuels. Long-term sustainable raw materials, no need for land and water, no competition for food, and high oil-yielding materials are the benefits of fifth generation biofuels.

Key words: biofuels, genetic engineering, biomass, agriculture and food wastes, renewable energy

*Corresponding author
E-mail: m.r.barati10@alumni.ut.ac.ir
E-mail: m.rasouli@basu.ac.ir