وزارت نیرو
سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر
بهره‌وری انرژی برق (ساتبا)

پژوهشگاه نیرو

برونداد تخصصی

انرژی‌های تجدیدپذیر

شماره ۷ – دی ۱۴۰۲

برونداد تخصصی

انرژی‌های تجدیدپذیر

ویژه‌نامه انرژی زیست توده (۲)

عنوان پروژه: رصد فن‌آوری به‌منظور شناخت جدیدترین دستاوردها و فناوری‌های مرتبط با انرژی‌های تجدیدپذیر

کارفرما: سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق ایران (ساتبا)

پژوهشگر: پژوهشگاه نیرو

گروه پژوهشی پشتیبان: گروه انرژی‌های تجدیدپذیر

پژوهشکده پشتیبان: پژوهشکده انرژی و محیط‌زیست

مدیر پروژه: مهندس ثریا رستمی

مجری پروژه: دکتر حمیدرضا لاری

ناظر پژوهشگاه: دکتر محمد چمنی

ناظر کارفرما: دکتر اکبر شعبانی‌کیا

همکاران این گزارش:

مهندس ثریا رستمی – مهندس سارا جوکار – دکتر مهسا صدیقی

شماره ۷– دی‌ماه ۱۴۰۲

فهرست مطالب

عزم جدی دولت سیزدهم برای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر ٤

تحلیل روند و ارزیابی اقتصادی نیروگاه‌های زیست توده طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲ ..... ٦

تولید هیدروژن سبز با فتوکاتالیست نانوفیلامنت تک‌بعدی اکسید تیتانیوم ١٦

افق پیش‌روی انرژی‌های زیستی ١٩

گروه دراکس متعهد به تأمین زیست‌توده پایدار ٣١

پیل‌های سوختی میکروبی و تبدیل پسماند به انرژی ٣٨

جلبک‌ها و نقش آن‌ها در آینده انرژی ٤٥

بیوالکل‌ها، منابع انرژی سبز ٥٥

بیوهیدروژن، مقرون به صرفه، سبز و درعین‌حال نادیده گرفته‌شده ٦٣

ده شرکت برتر زیست‌توده در جهان ٧٠

MIDES یک معجزه میکروبی: نمکزدایی بدون انرژی ٧٥

تلاش غول نفتی بریتیش‌پترولیوم در راستای یکپارچه‌سازی انرژی سبز ٧٨

حمایت ویژه رئیس‌جمهور از توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر ٨٠

رشد ٥٠ درصدی حجم معاملات در تابلوی برق سبز بورس انرژی ٨٢

سخن آغازین

عزم جدی دولت سیزدهم برای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر

آقای مهندس کمانی، معاون وزیر نیرو و رئیس سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا) از تصویب توسعه ۱۵ هزار مگاوات انرژی تجدیدپذیر در شورای عالی انرژی با حضور معاون اول رئیس‌جمهور و امضای رئیس‌جمهور خبر داد و گفت: با جلساتی که با هماهنگی وزارت نیرو، سازمان برنامه و شورای اقتصاد، پیوسته در حال برگزاری است، برای توسعه۳۰ هزار مگاوات انرژی تجدیدپذیر طی ۵ سال برنامه‌ریزی‌شده است.

به گزارش پایگاه اطلاع‌رسانی دولت به نقل از وزارت نیرو (پاون)، محمود کمانی در نشست هم‌اندیشی شرکت‌های توزیع برق برای ساخت ۵۵۰ هزار سامانه خورشیدی حمایتی در کشور خاطرنشان کرد: قرار است ساخت ۱۱۰ هزار نیروگاه‌های خورشیدی انشعابی برای خانواده‌های تحت پوشش نهادهای حمایتی تا پایان امسال به نتیجه برسد و در طی ۵ سال ۵۵۰ هزار سامانه خورشیدی حمایتی ایجاد شود. وی ادامه داد: بر این اساس انتظار می‌رود که شرکت‌های توزیع در سراسر کشور حمایت کنند و تسهیل‌گر نصب سامانه‌های خورشیدی خانگی در خانه‌ها باشند. ایشان بر لزوم اصلاح ساختارهای توزیع نیروی برق در بخش انرژی‌های تجدیدپذیر، تأکید و عنوان کردند: با صحبت‌هایی که با وزیر نیرو شده است، قرار است ساختار بخش توزیع نیرو برای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر ایجاد شود. معاون وزیر نیرو با اشاره به حمایت مالی برای تأمین منابع مالی ساخت سامانه خورشیدی حمایتی تصریح کرد: درصورتی‌که پرونده مالی ارجاعی به بانک‌ها در موضوع توسعه نیروگاه‌های خانگی حمایتی زیاد شود، برای آن در سطح ملی جلسه برگزار می‌شود تا مسائل بانکی حل شود.

رئیس سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا) افزود: برای تأمین منابع مالی ساخت نیروگاه‌های تجدیدپذیر، چند قانون خوب در برنامه هفتم توسعه و ماده ۱۲ قانون رفع موانع تولید دیده شده است. وی با بیان اینکه کشور به این تصمیم رسیده است که انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور توسعه پیدا کند و برای این منظور عمده زیرساخت‌ها ایجاد شده است، عنوان کرد: در برنامه پنجم و ششم توسعه مصوبه‌ای برای توسعه تجدیدپذیر دیده شد، اما برنامه‌ای برای آن تا پیش از حضور مهندس محرابیان، وزیر نیرو، در وزارت نیرو تعریف نشده بود و تنها دستگاه‌های نظارتی پیگیر این موضوع بودند. وی از عزم جدی دولت سیزدهم و وزارت نیرو برای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در کشور خبر داد و گفت؛ در سال‌های پیشین با عزم ملی فعالیت‌هایی در ساتبا برای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر انجام شده بود، اما نه برنامه‌ای برای توسعه تجدیدپذیرها وجود داشت و نه سازوکارهای اجرای کار و نه منابع مالی و قوانین برای پیشبرد کارها تعریف شده بود.

کمانی درباره مدل‌های توسعه انرژی تجدیدپذیر اظهار کرد: با مدل خرید تضمینی برق نمی‌توانستیم تولید انرژی‌های تجدیدپذیر را توسعه دهیم، بنابراین مدل‌های مختلفی تعریف شد تا در قالب آن بخش صنعت، خانگی و خانواده‌های تحت پوشش و کم برخوردار بتوانند از آن بهره ببرند و در این زمینه کار بزرگی انجام شده است. علاوه بر آن، روش‌های جدید برای توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر در حال پیگیری است تا خلاءهای موجود، برطرف و تنوع بیشتری به مدل‌های موجود داده شود؛ در حال حاضر اما مصوبه‌های موجود را اجرا می‌کنیم.

وی با اشاره به مشکلات بخش اجرا و ساخت نیروگاه‌ها تصریح کرد: مسائل و مشکلاتی چون موضوعات مرتبط با استعلام‌های واگذاری زمین و اتصال به شبکه سراسری برق وجود دارد که اصلاح آیین‌نامه‌های آن با هماهنگی سازمان امور اراضی و سازمان محیطزیست در حال انجام است و در سطح ملی نیز با حضور معاون اول رئیس‌جمهور در کمیته ملی انرژی تجدیدپذیر، گره‌های کار، مطرح و حل می‌شود. وی از ابلاغ دستور وزیر نیرو به شرکت‌های برق منطقه‌ای سراسر کشور برای اتصال تولیدات نیروگاه‌های خورشیدی مشمول طرح ساخت ۴۵۰۰ مگاوات انرژی خورشیدی توسط سرمایه‌گذاران داخلی خبر داد و اظهار کرد: قرار است با استقبالی که از سوی سرمایه‌گذارها صورت گرفته، ظرف مدت کوتاهی نیروگاه‌ها ساخته شوند. وی ابزار امیدواری کرد با مدل‌های ترسیم‌شده برای توسعه نیروگاه‌های تجدیدپذیر، ناترازی سوخت و برق در کشور در مدت کوتاهی حل شود.

پایگاه اطلاع‌رسانی دولت – ۲۲ آذر ۱۴۰۲

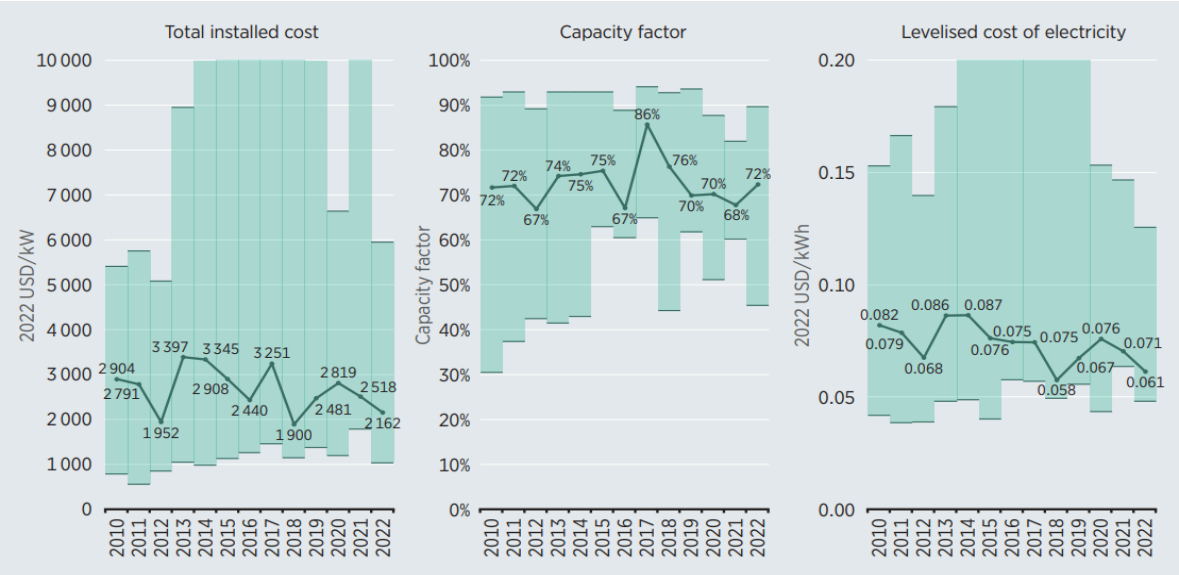
تحولات اقتصاد و بازار

تحلیل روند و ارزیابی اقتصادی نیروگاه‌های زیست توده طی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲

تولید برق از زیست‌توده می‌تواند به‌وسیله طیف وسیعی از مواد اولیه حاصل شود. به این منظور، می‌توان از انواع مختلف فناوری‌های احتراق بهره برد. برخی از فناوری‌های احتراق، بالغ و از منظر تجاری، قابل‌دسترسی و برخی دیگر سیستم‌های کم‌سابقه‌تر اما نوآورانه هستند؛ که هر دو در حوزه برق زیست‌توده به کار گرفته می‌شوند. از جمله فناوری گازی‌سازی که این فناوری‌ها هنوز در مرحله توسعه و یا در مقیاس تجاری آزمایشی هستند. فناوری‌های بالغ این عرصه عبارت‌اند از: احتراق مستقیم در بویلر[1]، هم‌سوزانی با درصد پایین[2]، هضم بی‌هوازی[3]، سوزاندن زباله‌های جامد شهری[4]، لندفیل[5] و سیستم‌های ترکیبی برق و حرارت[6]. برای تجزیه‌وتحلیل اقتصادی و فنی نیروگاههای زیست‌توده برای تولید برق، توجه به سه عامل اصلی ضروری است: نوع و روش تأمین مواد اولیه، فرآیند تبدیل و فناوری تولید برق. اگرچه در دسترس بودن مواد اولیه یکی از

[1] Direct Combustion in Stoker Boilers
[2] Low-Percentage Co-Firing
[3] Anaerobic Digestion
[4] Municipal Solid Waste Incineration
[5] Landfill Gas
[6] Combined Heat and Power (CHP)

عناصر اصلی موفقیت اقتصادی پروژه‌های زیست‌توده است، اما تحلیل این گزارش بر هزینه‌های فناوری‌های تولید برق و اقتصاد آن‌ها تمرکز دارد و تنها به‌طور خلاصه به هزینه‌های مواد اولیه پرداخته می‌شود.



میانگین وزنی جهانی کل هزینه‌های احداث، ضریب ظرفیت و هزینه ترازشده برق‌زیست توده، ۲۰۱۰–۲۰۲۲

❖ مواد اولیه زیست‌توده

اقتصاد تولید برق با زیست‌توده با اقتصاد انرژی بادی، خورشیدی یا برق‌آبی متفاوت است. دلیل این امر وابستگی زیست‌توده به در دسترس بودن منبعی از مواد اولیه است که در بلندمدت قابل پیش‌بینی، پایدار، کم‌هزینه و کافی باشد. پیچیدگی دیگری که وجود دارد این است که در برخی موارد، تولید برق فعالیت اصلی بهره‌برداری از این منبع نیست. به عبارتی وجود یک سایت میتواند به فعالیت‌های فرآوری جنگلداری یا کشاورزی وابسته باشد که این امر خود می‌تواند بر زمان و چرایی تولید برق تأثیر بگذارد. برای مثال، در نیروگاه‌هایی که با برق حاصل از کارخانه‌های خمیر و کاغذ کار می‌کنند، بخش قابل‌توجهی از برق تولیدی برای عملیات این تأسیسات استفاده می‌شود.

زیست‌توده، ماده آلی گیاهانِ تازه‌مرده مانند درختان، علف‌ها و محصولات کشاورزی است. بنابراین، مواد اولیه زیست‌توده بسیار ناهمگن هستند و ترکیب شیمیایی آن‌ها وابستگی زیادی به گونه گیاهی دارد. هزینه مواد اولیه به ازای واحد انرژی نیز بسیار متغیر است. این امر به این دلیل است که مواد اولیه می‌توانند از پسماندهای فرآوری در محل و یا محصولات اختصاصی برای تولید انرژی باشند. درخصوص محصولات اختصاصی برای تولید انرژی می‌بایست هزینه زمین مورداستفاده، برداشت و حمل‌ونقل و همچنین نگهداری در محل نیروگاه زیست‌توده نیز درنظر گرفته شود. برخی از نمونه‌های ضایعات زیست‌توده

کم‌هزینه که برای تولید برق و گرما سوزانده می‌شوند عبارت‌اند از: تفاله نیشکر، پوسته برنج، لیکور سیاه[7] و سایر پسماندهای فرآوری خمیر و کاغذ، ضایعات چوب‌بری و خاکاره و جریان‌های پسماند تجدیدپذیر شهری. علاوه بر هزینه، خواص فیزیکی مواد اولیه نیز حائز اهمیت است زیرا از نظر محتوای خاکستر، چگالی، اندازه ذرات و رطوبت متفاوت خواهند بود. این عوامل همچنین بر هزینه‌های حمل‌ونقل، پیش‌تصفیه و ذخیره‌سازی و همچنین تناسب فناوری‌های تبدیل مختلف تأثیر می‌گذارند. برخی از این فناوری‌ها نسبتاً قوی و انعطاف‌پذیر هستند و می‌توانند با مواد اولیه متنوعی سازگار شوند، درحالی‌که برخی دیگر به همگنی بیشتری نیاز دارند (به‌عنوان‌مثال، برخی از فرآیندهای گازسازی).

یک ملاحظه کلیدی در مورد هزینه برای زیست‌توده این است که اکثر اشکال آن چگالی انرژی نسبتاً پایینی دارند. بنابراین، هزینه‌های جمع‌آوری و حمل‌ونقل اغلب بر هزینه مواد اولیه مشتق شده از بقایای جنگلی و محصولات انرژی اختصاصی غالب است. پیامد این امر این است که هزینه‌های لجستیکی با افزایش فاصله نیروگاه برق از مواد اولیه‌ای که باید تهیه شوند، به‌طور قابل‌توجهی افزایش می‌یابد. از نظر عملی، این عامل اندازه اقتصادی نیروگاه‌های برق زیست‌توده را محدود می‌کند، زیرا کمترین هزینه برق زمانی به دست می‌آید که مواد اولیه در شعاع مشخصی از نیروگاه قابل‌دستیابی باشد. برای فناوری‌های زیست‌توده، سهم هزینه مواد اولیه در هزینه ترازشده کل بین ۲۰ تا ۵۰ درصد است. بااین‌حال، تخمین قیمت‌های مواد اولیه تهیه‌شده و مصرف‌شده دشوار است.

❖ هزینه‌های احداث نیروگاه زیست‌توده

هزینه‌های احداث نیروگاه‌های برق زیست‌توده در مناطق مختلف متفاوت است و هر دو مؤلفه نوع فناوری و هزینه مواد اولیه محلی، در هزینه کل نقش دارند. هزینه‌های سرمایه‌گذاری در پروژه‌های زیست‌توده در کشورهای درحال‌توسعه معمولاً کمتر از پروژه‌های کشورهای عضو سازمان همکاری اقتصادی و توسعه[8] است. دلیل این امر این است که اقتصادهای نوظهور اغلب از نیروی کار و کالاهای ارزان‌تر بهره می‌برند. این عامل امکان احداث فناوری‌های کم‌هزینه در کنترل آلاینده‌ها را فراهم می‌کند، اگرچه در برخی موارد با انتشار آلاینده‌های محلی بیشتر همراه است. دسته‌بندی‌های اصلی در کل هزینه

[7] Black Liquor

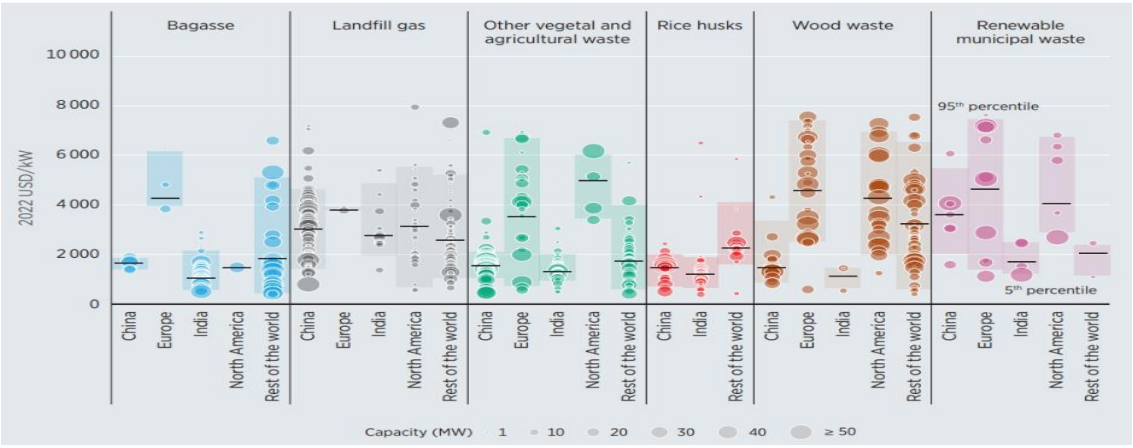
"لیکور سیاه" محصول جانبی در فرآیند ساخت خمیر کاغذ است و ترکیب لیگنین موجود در لیکور سیاه را می‌توان برای تولید سوخت زیستی استفاده کرد. در حال حاضر، تولید آن گران است ولی به گفته آژانس بین المللی انرژی، آینده استفاده از لیکور سیاه به عنوان سوخت زیستی امیدوارکننده است.

[8] Organisation for Economic Co-operation and Development(OECD)

سرمایه‌گذاری نیروگاه برق زیست‌توده عبارت‌اند از: هزینه‌های برنامه‌ریزی، مهندسی و ساخت، ماشین‌آلات حمل‌ونقل و آماده‌سازی سوخت، و سایر تجهیزات (سیستم تبدیل سوخت). هزینه‌های اضافی ناشی از اتصال به شبکه و عملیات زیرساخت (به‌عنوان‌مثال، کارهای عمرانی و جاده‌ها) است. به‌طورمعمول، هزینه‌های تجهیزات بخش عمده هزینه‌ها را به خود اختصاص می‌دهند؛ اما پروژه‌های خاص می‌توانند هزینه‌های بالایی برای زیرساخت و لجستیک یا برای اتصال به شبکه در مناطق دورافتاده داشته باشند.

تأسیسات زیست‌توده ترکیبی برق و حرارت[9] هزینه سرمایه‌گذاری بالاتری نیاز دارند. بااین‌حال، راندمان کلی بالاتر (حدود ۸۰ تا ۸۵ درصد)، توانایی در تولید گرما و یا بخار برای فرآیندهای صنعتی یا برای گرمایش فضا و آب از طریق شبکه‌های گرمایش منطقه‌ای، می‌تواند به‌طور قابل‌توجهی اقتصاد این نوع نیروگاه‌های زیست‌توده را بهبود ببخشد.

شکل زیر هزینه کل احداث پروژه‌های تولید برق با زیست‌توده را برای انواع مواد اولیه مختلف در بازه زمانی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ نشان می‌دهد.



هزینه کل احداث پروژه‌های تولید برق با زیست‌توده

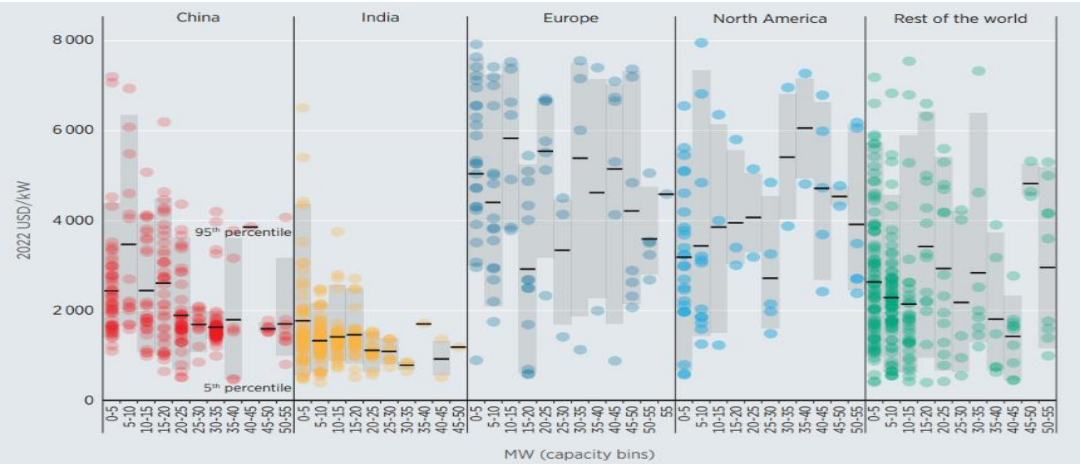
اگرچه الگوی هزینه احداث بر اساس مواد اولیه در کشورهای مختلف متفاوت است، اما واضح است که کل هزینه‌های احداث با توجه به مواد اولیه، در اروپا و آمریکای شمالی بالاتر و در آسیا و آمریکای جنوبی پایین‌تر است. این امر نشان‌دهنده این است که پروژه‌های زیست‌توده در کشورهای توسعه‌یافته اغلب بر پایه چوب هستند و یا از سوزاندن زباله‌های تجدیدپذیر شهری یا صنعتی حاصل می‌شوند. در این موارد، تولید انرژی (به‌طور بالقوه برق و گرما) نتیجه‌ای از این نکته است که تولید ترکیبی برق و حرارت ارزان‌ترین راه برای مدیریت زباله می‌باشد.

برای دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲، در چین و در صدک ۵ و ۹۵ پروژه‌ها در تمام انواع مواد اولیه، کل هزینه‌های احداث از ۷۰۲ دلار بر کیلووات برای پروژه‌های پوسته برنج تا ۵۴۸۱ دلار بر کیلووات برای پروژه‌های زباله‌های تجدیدپذیر شهری بوده است.

[9] CHP Biomass

در هند، این محدوده از ۵۷۲ دلار بر کیلووات برای پروژه‌های باگاس[10] تا ۴۸۷۱ دلار بر کیلووات برای پروژه‌های لندفیل می‌باشد. این محدوده برای پروژه‌ها در اروپا و آمریکای شمالی بالاتر است. هزینه‌ها در این دو منطقه جغرافیایی، در دوره موردنظر، از ۷۰۱ دلار بر کیلووات برای پروژه‌های لندفیل در آمریکای شمالی تا ۷۴۴۵ دلار بر کیلووات برای پروژه‌های زباله‌های تجدیدپذیر شهری در اروپا متغیر بوده است. دلیل این امر این است که در این مناطق، گزینه‌های فناوری مورداستفاده برای توسعه پروژه‌ها ناهمگون‌تر و به‌طور متوسط گران‌تر هستند.

داده‌های موجود بر اساس مواد اولیه برای سایر نقاط جهان محدودتر بود؛ اما گسترده‌ترین محدوده هزینه کل احداث (در صدک ۵ و ۹۵)[11] برای پروژه‌های ضایعات چوب بود. برای این موارد، داده‌ها از ۶۱۵ دلار بر کیلووات تا ۶۵۳۹ دلار بر کیلووات متغیر بوده است. برای دوره زمانی موردمطالعه، میانگین وزنی کل هزینه احداث برای پروژه‌ها در سایر نقاط جهان به‌طورمعمول بالاتر از مقادیر مشاهده‌شده در چین و هند و پایین‌تر از مقادیر رایج در اروپا و آمریکای شمالی بود.



هزینه کل احداث بر اساس منطقه و ظرفیت پروژه

شکل قبل، کل هزینه احداث را بر اساس منطقه پروژه و محدوده ظرفیت ارائه می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که در بخش برق، پروژه‌های زیست‌توده عمدتاً در مقیاس کوچک هستند و اکثر پروژه‌ها ظرفیت کمتر از ۲۵ مگاوات دارند. بااین‌حال، صرفه به مقیاس برای نیروگاه‌های بالاتر از ۲۵ مگاوات، در داده‌های چین و هند مشهود است.

[10] Bagasse

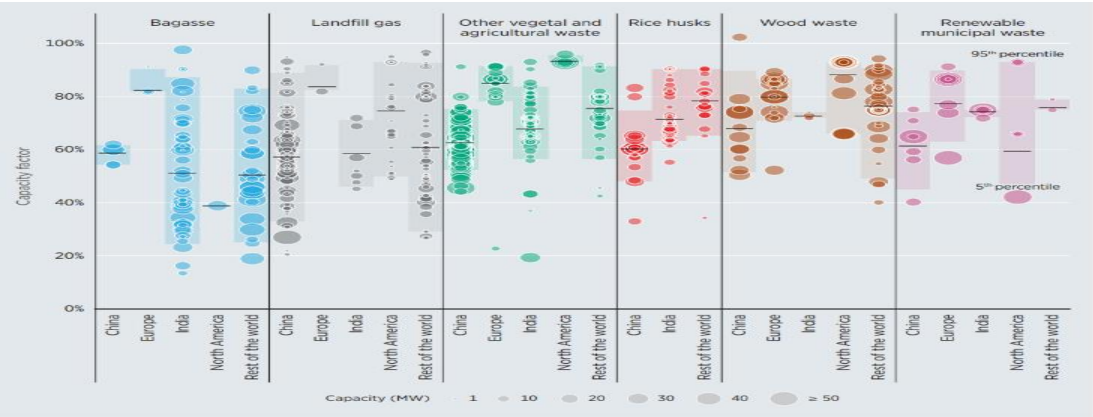
[11] مجموعه اعداد صدک پنجم و نود و پنجم به معنای یافتن دو عدد ویژه در گروه هزینه‌ها است. مجموعه صدک پنجم به معنای یافتن میزان هزینه‌ای است که بیشتر از ۵٪ دیگر اعداد هزینه است و مجموعه صدک نود و پنجم به معنای یافتن میزان هزینه‌ای است که از ۹۵٪ دیگر اعداد هزینه بیشتر است. بنابراین، با دانستن مجموعه صدک پنجم و نود و پنجم، می‌توان ایده‌ای از توزیع هزینه به دست آورد. به عنوان مثال این بدان معنی است که بیشتر پروژه‌های ضایعات چوب، هزینه‌ای بین این دو نقطه دارند.

❖ دلایل کوچک مقیاس بودن نیروگاه‌های زیست‌توده

اندازه نسبتاً کوچک نیروگاه‌های زیست‌توده ناشی از چگالی انرژی پایین مواد اولیه زیست‌توده و افزایش تصاعدی هزینه‌های لجستیکی مرتبط با گسترش منطقه جمع‌آوری با هدف تأمین حجم بیشتری از مواد اولیه برای پشتیبانی از نیروگاه‌های بزرگ است. دستیابی به اندازه بهینه یک نیروگاه با هدف به حداقل رساندن هزینه ترازشده، با برقراری تعادل بین صرفه به مقیاس و هزینه‌های مواد اولیه میسر می‌شود و هزینه‌ی مواد اولیه با افزایش میانگین فاصله تا محل تأمین، افزایش می‌یابد.

❖ ضریب ظرفیت[۱۲] و راندمان

زمانی که دسترسی به مواد اولیه در طول سال یکنواخت باشد، نیروگاه‌های برق زیست‌توده می‌توانند ضرایب ظرفیت بسیار بالایی (در محدوده ۸۵ تا ۹۵ درصد) داشته باشند. بااین‌حال، هنگامی‌که دسترسی به مواد اولیه بر اساس برداشت‌های فصلی کشاورزی باشد، ضرایب ظرفیت به‌طورمعمول پایین‌تر هستند. چالش نوظهور برای نیروگاه‌های برق زیست‌توده، تأثیری است که تغییرات اقلیمی بر دسترسی به مواد اولیه دارند و اینکه چگونه این امر ممکن است بر حجم کل سالانه در دسترس و همچنین توزیع آن در طول سال تأثیر بگذارد. این حوزه با تغییر آب‌وهوا، نیازمند تحقیقات مداوم است.



ضرایب ظرفیت پروژه و مواد اولیه منتخب برای پروژه‌های تولید برق زیست‌توده بر اساس کشور و منطقه، ۲۰۰۰–۲۰۲۲

شکل زیر نشان می‌دهد که نیروگاه‌های زیست‌توده‌ای که به باگاس، گاز محل دفن زباله و سایر بیوگازها متکی هستند، به‌طورکلی در هر منطقه، ضریب ظرفیت پایین‌تری (معمولاً در حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد) دارند. اما نیروگاه‌هایی که به چوب، هیزم[۱۳]، پوسته برنج، و سایر زباله‌های گیاهی و کشاورزی، صنعتی و تجدیدپذیر شهری متکی هستند، از ضرایب ظرفیت میانگین وزنی در محدوده ۶۰ تا ۹۳ درصد برخوردار می‌شوند.

[12] Capacity Factor
[13] Fuel Wood

پس از مساله مواد اولیه، بازده الکتریکی محرک اصلی (ژنراتور) به‌طور متوسط حدود ۳۰ درصد است. بااین‌حال، این مقدار از ۲۵ درصد تا حدود ۳۶ درصد متغیر است. نیروگاه‌های ترکیبی برق و حرارت که گرما و برق تولید می‌کنند، بازده بالاتری دارند و سطح کلی ۸۰ تا ۸۵ درصد برای آن‌ها دور از انتظار نیست. در کشورهای درحال‌توسعه، فناوری‌های کمتر پیشرفته منجر به بازدهی کلی پایین‌تر می‌شود که می‌توانند در حدود ۲۵ درصد باشند، اما بسیاری از فناوری‌ها با بازده بالاتر نیز در دسترس هستند. بازده بالاتر می‌تواند از ۳۱ درصد برای گازی‌سازهای چوب[۱۴] تا ۳۶ درصد برای سیستم‌های مدرن بستر سیال گردشی[۱۵]، بستر سیال حبابی[۱۶] و هاضم‌های بی‌هوازی[۱۷] متغیر باشد.

ضرایب ظرفیت پروژه‌های تولید برق با زیست‌توده، ۲۰۰۰–۲۰۲۲

	2000-2022		
	5th percentile (%)	Weighted average (%)	95th percentile (%)
China	39	**66**	82
Europe	52	**81**	93
India	32	**68**	86
North America	43	**85**	94
Rest of the world	30	**68**	91

جدول فوق اطلاعاتی در خصوص ضرایب ظرفیت برای پروژه‌های تولید برق با زیست‌توده در دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲ ارائه می‌کند. طبق پایگاه داده هزینه ایرِنا، آمریکای شمالی بالاترین ضریب ظرفیت یعنی حدود ۸۵ درصد و به دنبال آن اروپا ۸۱ درصد و سپس چین ۶۶ درصد را به خود اختصاص داده‌اند.

❖ هزینه‌های عملیات و نگهداری

هزینه‌های عملیات و نگهداری به دو دسته کلی هزینه‌های ثابت و هزینه‌های متغیر تقسیم می‌شوند:

- هزینه‌های ثابت عملیات و نگهداری شامل نیروی کار، بیمه، تعمیر و نگهداری برنامه‌ریزی‌شده و جایگزینی منظم اجزای نیروگاه (به‌عنوان‌مثال دیگ بخار)، تجهیزات حمل‌ونقل مواد اولیه و سایر موارد است. در مجموع، این بخش از هزینه‌ها سالانه بین ۲ تا ۶ درصد از کل هزینه‌های احداث را تشکیل می‌دهد. نیروگاه‌ها زیست‌توده بزرگ به دلیل صرفه به مقیاس، هزینه‌های ثابت عملیات و نگهداری پایین‌تری به ازای هر کیلووات دارند.

[14] Wood Gasifiers
[15] Circulating Fluidised Bed (CFB)
[16] Bubbling Fluidised Bed (BFB)
[17] Anaerobic Digestion Systems

- هزینه‌های متغیر عملیات و نگهداری برای نیروگاه‌های زیست‌توده در مقایسه با هزینه‌های ثابت، رقم پایینی دارند و به‌طورمعمول با میانگین ۰.۰۰۵ دلار بر کیلووات ساعت برآورد می‌شوند. قطعات کوچک جایگزین و هزینه‌های سرویس‌دهی، اجزای اصلی هزینه‌های متغیر عملیات و نگهداری هستند، این هزینه‌ها همچنین شامل هزینه‌های سوخت غیر زیست‌توده[18] مانند دفع خاکستر[19] می‌شود. به دلیل ماهیت خاص پروژه و در دسترس بودن محدود داده‌ها، در این گزارش، هزینه‌های عملیات و نگهداری متغیر با هزینه‌های ثابت عملیات و نگهداری ادغام‌شده‌اند.

❖ قیمت ترازشده برق[20]

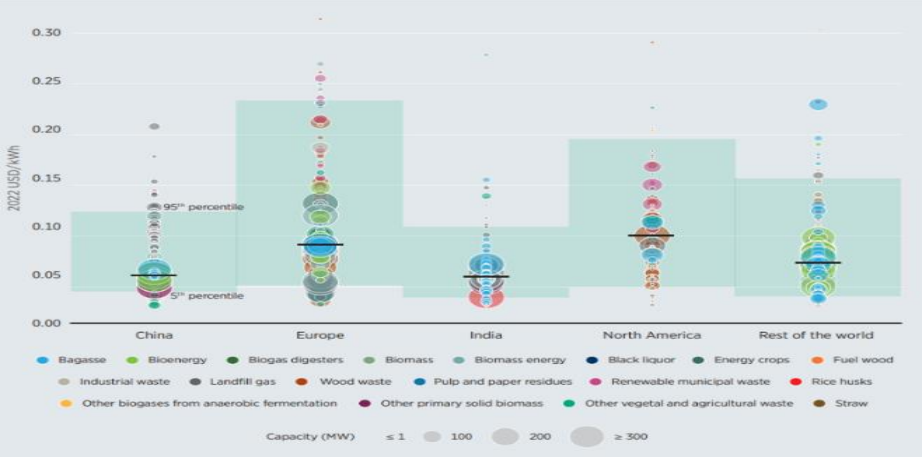
دامنه وسیع فناوری‌های تولید برق زیست‌توده، هزینه‌های احداث، ضرایب ظرفیت و هزینه‌های مواد اولیه منجر به تنوع هزینه تراز مشاهده‌شده در برق زیست‌توده می‌شود. شکل زیر طیف تخمینی هزینه ترازشده را برای فناوری‌های تولید برق زیست‌توده بر اساس مواد اولیه و کشور/منطقه خلاصه می‌کند. شایان ذکر است که این تصویر شامل مناطقی است که پایگاه داده هزینه‌های تجدیدپذیر ایرِنا داده‌های کافی برای تحلیل معنادار در اختیار داشته است.

با نگاهی به کل مجموعه داده برای دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۲، کمترین میانگین وزنی هزینه ترازشده تولید برق با زیست‌توده در هند یافت شد (۰.۰۶۰ دلار بر کیلووات ساعت). علاوه بر این، مقادیر صدک پنجم و نود و پنجم هند به ترتیب ۰.۰۴۰ دلار بر کیلووات ساعت و ۰.۱۰۹ دلار بر کیلووات ساعت بود. بالاترین میانگین وزنی برای این دوره زمانی، ۰.۱۰۱ دلار بر کیلووات ساعت بود که در آمریکای شمالی به ثبت رسید. در این منطقه صدک پنجم و نود و پنجم پروژه‌ها بین ۰.۰۵۰ دلار بر کیلووات ساعت و ۰.۱۹۵ دلار بر کیلووات ساعت قرار داشت. هم‌چنین، میانگین وزنی هزینه ترازشده پروژه‌های زیست‌توده در چین ۰.۰۶۲ دلار بر کیلووات ساعت بود (صدک پنجم و نود و پنجم پروژه‌ها: ۰.۰۴۶ و ۰.۱۲۴ دلار بر کیلووات ساعت). میانگین وزنی در اروپا در طول این دوره نیز ۰.۰۹۲ و در سایر نقاط جهان ۰.۰۷۴ دلار بر کیلووات ساعت گزارش شد.

زیست‌توده می‌تواند در مواقعی که هزینه‌های سرمایه‌گذاری کم و مواد اولیه کم‌هزینه در دسترس باشد، برق بسیار رقابتی ارائه دهد. در واقع این فناوری می‌تواند تولید برق با هزینه ترازشده پایین‌تر از حدود ۰.۰۴۰ دلار بر کیلووات ساعت را امکان‌پذیر سازد. رقابتی‌ترین پروژه‌ها از بقایای کشاورزی یا جنگلی که در محل موجود است، استفاده می‌کنند. به‌این‌ترتیب، هزینه‌های مواد اولیه ناچیز یا حتی صفر است. در صورت نیاز به بخار یا حرارت در محل، سیستم‌های ترکیبی برق و حرارت زیست‌توده می‌توانند هزینه ترازشده برق را تا ۰.۰۳ دلار بر کیلووات ساعت کاهش دهند. لازم به ذکر است که تحقق این امر، بستگی به هزینه‌های جایگزین گرما یا بخار موجود در محل دارد. بااین‌حال، حتی پروژه‌های با هزینه بالاتر در برخی از کشورهای درحال‌توسعه نیز قابل‌توجه هستند، زیرا امنیت عرضه را با هدف جلوگیری از خاموشی‌های کوتاه‌مدت و بلندمدت، فراهم

[18] Non-Biomass Fuel
[19] Ash Disposal
[20] Levelised Cost Of Electricity

می‌کنند. پروژه‌هایی که از مواد اولیه کم‌هزینه (مانند بقایای کشاورزی یا جنگلی یا باقی‌مانده فرآوری محصولات کشاورزی یا جنگلی) استفاده می‌کنند، هزینه ترازشده پایین‌تری دارند. در پروژه‌های موجود در پایگاه داده هزینه‌های تجدیدپذیر ایرِنا، میانگین وزنی هزینه ترازشده پروژه بر اساس مواد اولیه برای استفاده از لیکور سیاه، زیست‌توده جامد اولیه (معمولاً چوب یا تراشه چوب)، زباله جامد شهری تجدیدپذیر و سایر زباله‌های گیاهی و کشاورزی، ۰.۰۶ دلار بر کیلووات ساعت یا کمتر است.

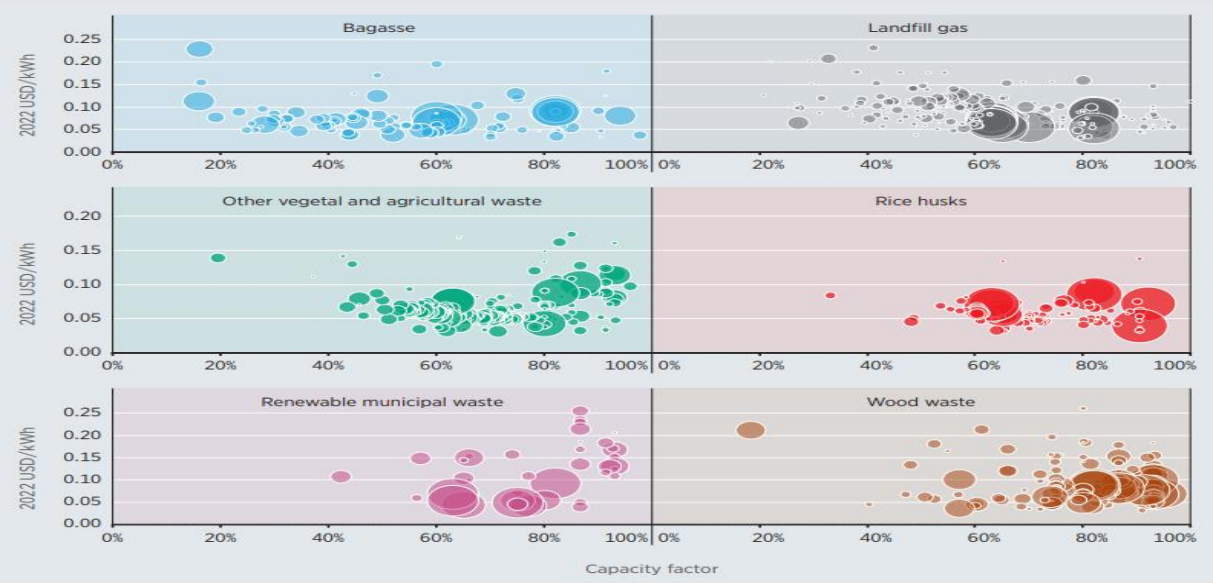


هزینه ترازشده بر اساس پروژه و میانگین وزنی پروژه‌های تولید برق از زیست‌توده بر اساس مواد اولیه و کشور/منطقه، ۲۰۰۰–۲۰۲۲

❖ پروژه‌های زباله شهری و هزینه تراز شده برق

پروژه‌های متکی به زباله‌های شهری با ضرایب ظرفیت بالا همراه هستند و به‌طورکلی منبع اقتصادی برای تأمین برق به شمار می‌روند. بااین‌حال، هزینه ترازشده پروژه‌ها در آمریکای شمالی به‌طور قابل‌توجهی بالاتر از میانگین سایر مناطق است. شایان ذکر است، این پروژه‌ها در درجه اول برای حل مسائل مدیریت زباله توسعه‌یافته‌اند و نه برای رقابت‌پذیری تولید برق، اما این موضوع لزوماً مانعی برای عملیاتی بودن آن‌ها نیست. در اروپا، چنین پروژه‌هایی گرمای لازم برای کاربران صنعتی محلی یا شبکه‌های گرمایش منطقه‌ای را تأمین می‌کنند و درآمد حاصل از این فروش‌ها، هزینه ترازشده را به سطحی پایین‌تر از آنچه در اینجا ارائه شده است، می‌رساند. بسیاری از پروژه‌های با هزینه بالاتر در اروپا و آمریکای شمالی که از زباله‌های جامد شهری به‌عنوان مواد اولیه استفاده می‌کنند، به فناوری‌هایی با هزینه‌های سرمایه‌گذاری بالاتر متکی هستند. دلیل این امر این است که از فناوری‌های گران‌تر برای اطمینان از کاهش آلاینده‌های محلی به سطوح قابل‌قبول استفاده می‌شود. حذف این پروژه‌ها میانگین وزنی هزینه ترازشده را در اروپا و آمریکای شمالی حدود ۰.۰۱ دلار بر کیلووات ساعت کاهش می‌دهد و اختلاف هزینه ترازشده با مناطق غیر عضو سازمان همکاری اقتصادی و توسعه را کاهش می‌دهد.

شکل زیر هزینه ترازشده و ضریب ظرفیت را بر اساس پروژه برای باگاس[۲۱]، لندفیل، پوسته برنج و سایر ضایعات گیاهی و کشاورزی که به‌عنوان مواد اولیه برای پروژه‌های تولید برق با زیست‌توده استفاده می‌شود، نشان می‌دهد. این شکل بیانگر این است که چگونه رابطه پویا بین در دسترس بودن مواد اولیه بر بهینه‌سازی اقتصادی یک پروژه تأثیر می‌گذارد. در دسترس بودن جریان پیوسته مواد اولیه اجازه می‌دهد تا ضرایب ظرفیت بالاتر باشد. بااین‌حال، اگر به این معنی باشد که بقایای فصلی کشاورزی ارزان‌قیمت باید با مواد اولیه گران‌تر تکمیل شوند، لزوماً اقتصادی نیست. نکته مهم این است که هزینه ترازشده این پروژه‌ها با پروژه‌هایی که بر مواد اولیه زیست‌توده چوبی (مانند پِلِت‌ها و تراشه‌های چوب)، متکی هستند، قابل‌مقایسه است که می‌توان در تمام طول سال به‌راحتی آنها را خریداری کرد.



هزینه ترازشده و ضریب ظرفیت بر اساس مواد اولیه منتخب برای پروژه‌های تولید برق زیست‌توده، ۲۰۰۰–۲۰۲۲

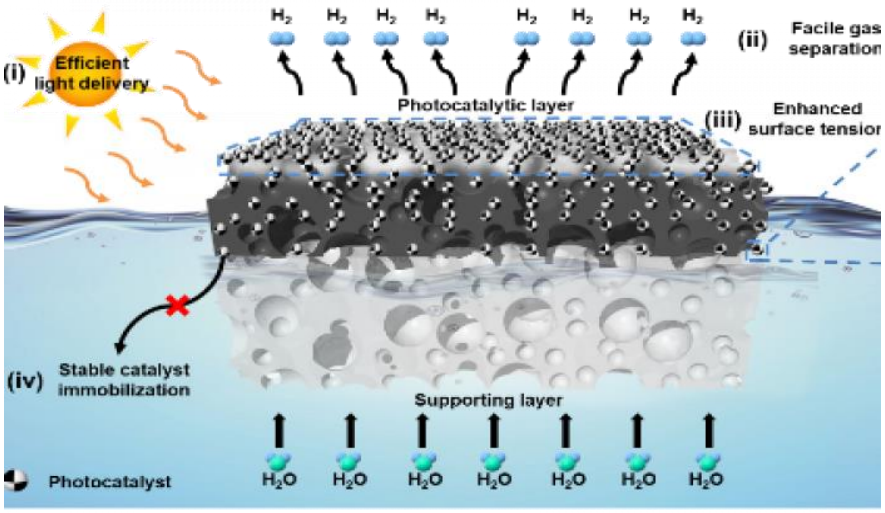
بنابراین، دسترسی به مواد اولیه کم‌هزینه، تأثیر کمبود ضرایب ظرفیت بر هزینه ترازشده را جبران می‌کند. برای پروژه‌هایی که از سایر ضایعات گیاهی و کشاورزی به‌عنوان مواد اولیه اصلی استفاده می‌کنند، داده‌ها نشان می‌دهند که بین ضرایب ظرفیت بالاتر و هزینه ترازشده پایین‌تر در کشورهای درحال‌توسعه، همبستگی وجود دارد؛ زیرا پروژه‌های با هزینه بالاتر با ضرایب ظرفیت بالاتر از ۸۰ درصد، همگی در کشورهای عضو سازمان همکاری اقتصادی و توسعه قرار دارند.

منبع: IRENA Renewable power generation costs in 2022

[21] Bagasse

تحولات فناورانه

تولید هیدروژن سبز با فتوکاتالیست نانوفیلامنت تک‌بعدی اکسید تیتانیوم



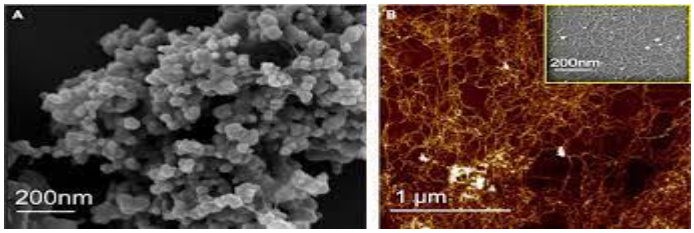
به عنوان بخشی از تلاش‌های مداوم برای توسعه موادی که می‌توانند منابع انرژی جایگزین را فعال کنند، محققان کالج مهندسی دانشگاه درکسل[۲۲] یک ماده نانو رشته‌ای اکسید تیتانیوم تولید کرده‌اند که می‌تواند از نور خورشید برای تولید هیدروژن سبز استفاده نماید. این کشف جایگزینی برای روش‌های فعلی است که گازهای گلخانه‌ای تولید می‌کنند و به مقدار زیادی انرژی نیاز دارند. فتوکاتالیزور[۲۳]، فرآیندی که می‌تواند هیدروژن را از آب با استفاده از نور خورشید تجزیه کند، برای چندین دهه مورد بررسی قرار گرفته است. اما مواد کاتالیزوری موردنیاز این فرآیند فقط برای یک یا دو روز می‌توانند زنده بمانند. همین امر کارایی طولانی‌مدت و در نتیجه قابلیت تجاری آن را محدود می‌سازد.

گروه درکسل به رهبری محققان کالج مهندسی، دکتر میشل بارسوم[۲۴] و دکتر حسین او بدر[۲۵] با همکاری دانشمندان موسسه ملی فیزیک مواد در بخارست رومانی، از کشف نانورشته تک‌بعدی مبتنی بر اکسید تیتانیوم فوتوکاتالیستی خبر دادند. ماده‌ای که می‌تواند به نور خورشید کمک کند تا هیدروژن را برای ماه‌ها از آب جمع‌آوری کند. به گفته محققین، این پروژه، راهکاری پایدار و مقرون به صرفه برای ایجاد سوخت هیدروژنی ارائه می‌دهد.

[22] Drexel University's College of Engineering
[23] Photocatalysis
[24] Michel Barsoum
[25] Hussein O. Badr

دکتر بدر معتقد است: «فتوکاتالیست نانوفیلامنت تک‌بعدی اکسید تیتانیوم[۲۶] ما عملکردی دارد که به میزان قابل‌توجهی بهتر از همتای تجاری آن، اکسید تیتانیوم، است. علاوه بر این، مشخص شد که فوتوکاتالیست ما به مدت ۶ ماه در آب پایدار است. این نتایج نشان‌دهنده نسل جدیدی از فوتوکاتالیست‌ها است که در نهایت می‌توانند انتقال نانومواد مورد انتظار را از آزمایشگاه به بازار در پی داشته باشد.

گروه دکتر برسوم دو سال پیش، زمانی که در حال کار بر روی فرآیند جدیدی برای ساخت مواد MXene[27] بودند، نانوساختارهای مشتق از هیدروکسید[۲۸] (خانواده نانومواد اکسید تیتانیوم، که ماده فوتوکاتالیستی به آن تعلق دارد) را کشف کردند. طی این کشف، رشته‌های نازک و فیبری مبتنی بر اکسید تیتانیوم تولید شد. در ادامه، تیم تحقیقاتی به این نتیجه رسیدند که این مواد قابلیت تسهیل واکنش شیمیایی را دارند تا هیدروژن را از مولکول‌های آب در هنگام قرار گرفتن در معرض نور خورشید جدا نمایند. دکتر بارسوم معتقد است: «پیش‌ازاین نیز، قابلیت‌های فوتوکاتالیستی مواد اکسید تیتانیوم کشف شده بود. اما نتایج آزمایشات نشان داد که مواد جدید، نه‌تنها فوتوکاتالیستی هستند، بلکه کاتالیزورهای بسیار پایدار و مولد برای تولید هیدروژن از مخلوط آب و متانول نیز می‌باشند.»



نانو ماده جدید فوتوکاتالیستی مبتنی بر اکسید تیتانیوم

این گروه پنج ماده فوتوکاتالیست (HDN های مبتنی بر اکسید تیتانیوم، مشتق شده از مواد اولیه مختلف ارزان‌قیمت و در دسترس) را آزمایش کردند و آنها را با ماده اکسید تیتانیوم Evonik Aeroxide به نام P25 (که به طور گسترده به عنوان ماده فوتوکاتالیست با قابلیت تجاری پذیرفته شده است) مقایسه کردند. هر ماده در محلول آب–متانول غوطه‌ور شد و در معرض نور مرئی–ماوراء بنفش تولید شده توسط یک لامپ روشن‌کننده قابل تنظیم (شبیه‌ساز طیف خورشید) قرار گرفت. محققان هم مقدار هیدروژن تولید شده و مدت‌زمان فعالیت در هر مجموعه راکتور، و هم‌چنین تعداد فوتون‌های نوری که هنگام برهمکنش با ماده کاتالیست هیدروژن تولید می‌کردند، اندازه‌گیری نمودند. این موارد، معیارهایی برای درک بازده کاتالیزوری هر ماده فرض شدند. محققین دریافتند که هر پنج فوتوکاتالیست HDN مبتنی بر اکسید تیتانیوم در استفاده از نور خورشید برای تولید هیدروژن عملکرد مؤثرتری نسبت به ماده P25 داشتند. یکی از این مواد که از کاربید تیتانیوم دوتایی[۲۹]

[26] Titanium Oxide One-Dimensional Nanofilaments Photocatalyst
[27] MXene Materials
[28] Hydroxides-Derived Nanostructures (HDNs)
[29] Binary Titanium Carbide

مشتق شده است، ۱۰ برابر کارآمدتر از P25 است که فوتون‌ها را قادر می‌سازد هیدروژن را از آب جدا سازند. این تیم گزارش می‌دهد که این پیشرفت به‌خودی‌خود بسیار قابل توجه است، اما یافته مهم‌تر این بود که این ماده پس از بیش از ۱۸۰ روز قرار گرفتن در معرض نور خورشید شبیه‌سازی‌شده، فعال باقی ماند.

دکتر بدر می‌گوید: «این واقعیت که مواد ما از نظر ترمودینامیکی پایدار هستند و از نظر فتوشیمیایی در مخلوط‌های آب و متانول برای مدت طولانی فعال هستند، نمی‌توان بیش‌ازحد تأکید کرد. ازآنجایی‌که ساختن مواد ما پرهزینه نیست، افزایش مقیاس آن آسان و در آب نیز بسیار پایدار است، کاربردهای آن در فرآیندهای مختلف فوتوکاتالیستی ارزش کاوش دارد.»

گام بعدی برای تحقیق درک بهتر این است که چرا ماده به این شکل رفتار می‌کند. به‌این‌ترتیب می‌توان آن را بیشتر به عنوان یک فوتوکاتالیست بهینه ساخت. تئوری فعلی این گروه بیان می‌کند که ماهیت یک‌بعدی ماده به فعالیت پایدار آن کمک می‌کند، اما آزمایش‌های بیشتری برای تأیید این پیشنهادات مورد نیاز است. این گروه همچنین در حال کار بر روی یافتن افزودنی‌های دیگری، به غیر از متانول، است که به‌عنوان «رفع‌کننده‌های حفره»[30] عمل می‌کنند. رفع‌کننده‌های حفره، مواد شیمیایی هستند که از تغییر مسیر واکنش تجزیه آب جلوگیری می‌کنند. این امر به دلیل ماهیت تا حدودی آشفته واکنش‌های فوتوکاتالیستی، یک رویداد رایج است. نتایج این مطالعات آن‌قدر امیدوارکننده است که این گروه، یک استارت‌آپ هیدروژن سبز را پیرامون این فناوری تأسیس نموده است و با دفتر نوآوری درکسل و سپاه نوآوری بنیاد ملی علوم[31] برای حرکت به سمت تجاری‌سازی آن همکاری می‌کند.

دکتر بارسوم بیان می کند: «ما در مورد این کشف بسیار هیجان‌زده هستیم. جهان به سوخت‌های پاک جدید و عظیمی نیاز دارد که بتواند جایگزین سوخت‌های فسیلی شود. ما معتقدیم که این ماده می‌تواند پتانسیل هیدروژن سبز را ارتقا دهد.»

علاوه بر این، این گروه در حال بررسی تعدادی از کاربردهای دیگر برای HDN ها از جمله استفاده از آنها در باتری‌ها، سلول‌های خورشیدی، تصفیه آب و درمان‌های پزشکی است. به گفته دکتر بدر، توانایی آنها برای تولید آسان و ایمن در مقادیر زیاد، HDN ها را از سایر نانومواد متمایز می‌کند. همین امر، این دسته از مواد را برای استفاده‌های مختلف ممکن می‌سازد. خانواده نانوساختارهای HDN جوامع بسیار متفاوتی تحت تأثیر قرار می‌دهد. این نانو رشته‌های اکسید تیتانیوم را می‌توان برای چندین کاربرد از جمله تصفیه آب، تخریب رنگ، سلول‌های خورشیدی پروسکایت، باتری‌های لیتیوم یون و لیتیوم سولفور، دیالیز اوره و درمان سرطان سینه و بسیاری موارد دیگر مورد استفاده قرار داد.

منبع :

- hydrogentechworld.com – Newly discovered TiO_2-based material lets sunlight drive green hydrogen production - 2023
- Drexel University – Drexel’s Titanium Oxide Material Lets Sunlight Drive Green Hydrogen Productio- 2023n

[30] Hole Quenchers
[31] National Science Foundation’s Innovation Corps

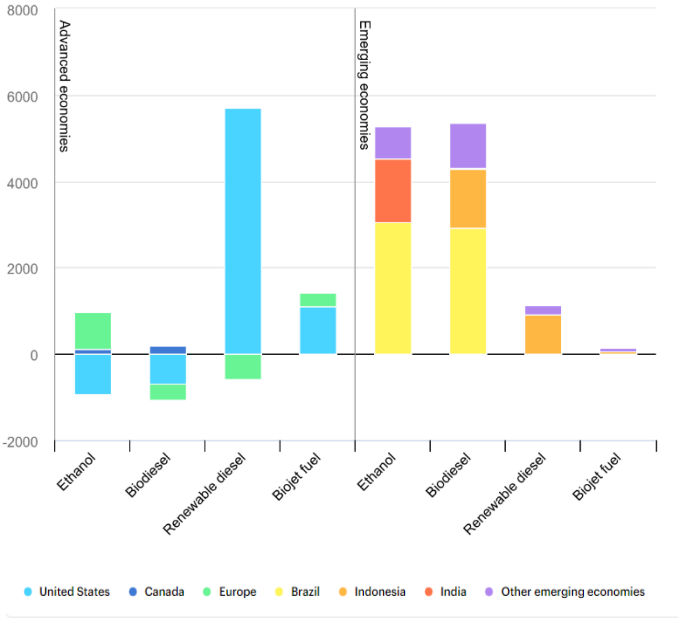
تحولات راهبردی

افق پیش‌روی انرژی‌های زیستی

امروزه انرژی زیستی مدرن بزرگ‌ترین منبع انرژی تجدیدپذیر در سطح جهان است که ۵۵ درصد از انرژی تجدیدپذیر و بیش از ۶ درصد از عرضه جهانی انرژی را به خود اختصاص داده است. سناریوی انتشار صفر خالص[۳۲] تا سال ۲۰۵۰ شاهد افزایش سریع استفاده از انرژی زیستی برای گذار سوخت‌های فسیلی تا سال ۲۰۳۰ است. استفاده از انرژی زیستی مدرن به طور متوسط حدود ۳ درصد در سال، بین سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۲، افزایش یافته است و در یک‌روند صعودی قرار دارد. تلاش‌های بیشتری برای تسریع استقرار انرژی‌زیستی مدرن موردنیاز است تا در مسیر سناریوی انتشار صفر خالص قرار گیرد. این امر مستلزم افزایش ۸ درصدی استقرار در سال، بین سال‌های ۲۰۲۲ تا ۲۰۳۰، است، درحالی‌که به طور هم‌زمان تضمین شود که تولید انرژی زیستی پیامدهای منفی اجتماعی و زیست‌محیطی را در پی نخواهد داشت.

نزدیک به دوسوم رشد تقاضای سوخت زیستی در اقتصادهای نوظهور، عمدتاً هند، برزیل و اندونزی رخ خواهد داد. هر سه کشور دارای مواد اولیه داخلی کافی، ظرفیت تولید اضافی، هزینه‌های تولید نسبتاً پایین و بسته‌ای از سیاست‌هایی هستند که می‌توانند برای افزایش تقاضا از آن‌ها استفاده کنند. سیاست‌ها در هر سه کشور نیز ریشه در ملاحظات امنیت انرژی‌دارند، زیرا استفاده بیشتر از سوخت زیستی برخی از واردات نفت را جبران می‌کند.

[32] Net Zero Emissions (NZE) Scenario



رشد تقاضای سوخت زیستی ، ۲۰۲۲-۲۰۲۴

❖ انتشار گاز کربن‌دی‌اکسید

انرژی زیستی نقش مهمی در رسیدن به سناریوی انتشار صفر خالص دارد. انرژی زیستی یک رکن مهم کربن‌زدایی در گذار انرژی به‌عنوان یک سوخت با انتشار تقریباً صفر است. انرژی زیستی انعطاف‌پذیر است و در زمینه‌های مختلفی کاربرد دارد ازجمله بیوانرژی جامد و بیوگازهایی که برای انرژی و گرما در خانه‌ها و کارخانه‌های صنعتی احتراق می‌شوند تا سوخت‌های زیستی مایع مورداستفاده در خودروها، کشتی‌ها و هواپیماها. علاوه بر این، اغلب می‌تواند از زیرساخت‌های موجود استفاده کند. برای مثال، بیومتان می‌تواند از خطوط لوله گاز طبیعی موجود و تجهیزات کاربر نهایی استفاده کند. بسیاری از سوخت‌های زیستی مایع می‌توانند از شبکه‌های توزیع نفت موجود استفاده کنند و در وسایل نقلیه تنها با تغییرات جزئی مورداستفاده قرار گیرند. استفاده از انرژی زیستی باید تا سال ۲۰۳۰ در طیف گسترده‌ای از کاربردها افزایش یابد تا در مسیر سناریوی انتشار صفر خالص قرار گیرد، ازجمله موارد زیر:

- نفت سفید بایوجت[۳۳] مورد استفاده در سفرهای هوایی از حدود صفر در سال ۲۰۲۲ افزایش می‌یابد و ۱۰٪ از کل تقاضای سوخت هواپیما در سال ۲۰۳۰ را تشکیل می‌دهد.

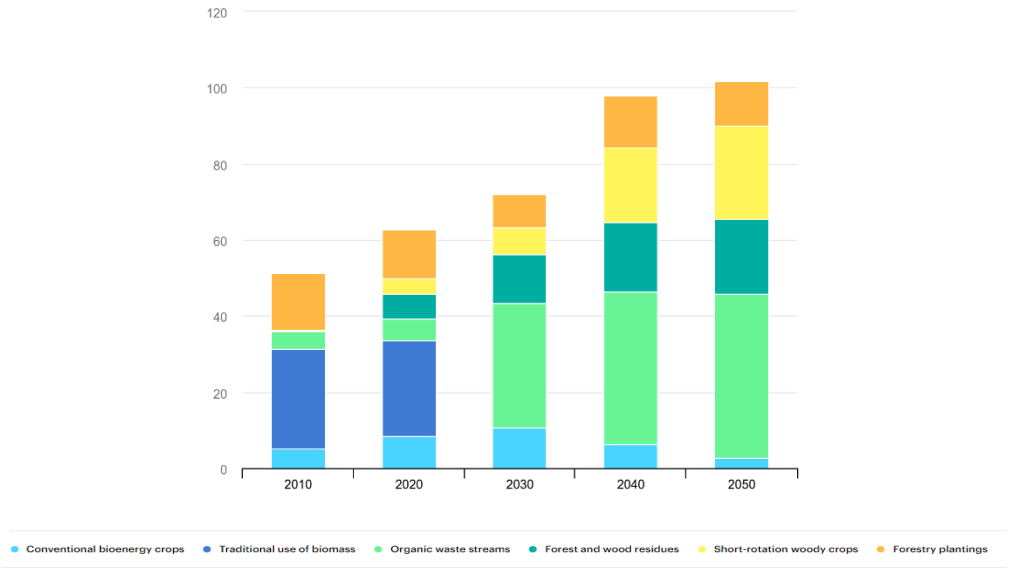
[33] Biojet kerosene

- مصرف سوخت زیستی مایع از ۲.۲ میلیون بشکه معادل نفت در روز[۳۴] (۴.۳ اگزاژول[۳۵]) در سال ۲۰۲۲ به بیش از ۵ میلیون بشکه معادل نفت در روز (۱۰ اگزاژول) در سال ۲۰۳۰، عمدتاً برای حمل‌ونقل جاده‌ای، بیش از دو برابر خواهدشد.
- استفاده از انرژی زیستی در صنعت به طور قابل‌توجهی افزایش می‌یابد. از عرضه بیش از ۱۱ اگزاژول (۷٪ مصرف انرژی) انرژی در سال ۲۰۲۲ به بیش از ۱۷ اگزاژول (۱۰٪) در سال ۲۰۳۰ (بیشتر در بخش سیمان، خمیرکاغذ، صنایع سبک و سایر صنایع) خواهد رسید.
- بیومتان مورد استفاده در شبکه گاز برای گرم کردن ساختمان‌ها امروزه سهم بسیار کمی دارد و در سال ۲۰۳۰ به حدود ۱.۵ اگزاژول خواهد رسید.
- انرژی زیستی مورد استفاده برای تولید الکتریسیته، برق کم انتشار را برای تکمیل تولید برق ناپایدار و متغیر از انرژی‌های تجدیدپذیر مثل باد و خورشید فراهم می‌سازد. استفاده از انرژی زیستی در این حوزه تقریباً دو برابر می‌شود، از تولید حدود ۷۰۰ تراوات ساعت برق (حدود ۲.۵ درصد از کل تقاضا) در سال ۲۰۲۲ به حدود ۱۳۰۰ تراوات ساعت (حدود ۳.۵ درصد از کل تقاضا) در سال ۲۰۳۰.
- انرژی زیستی با جذب و ذخیره کربن[۳۶] که با جذب و ذخیره انتشارات انرژی زیستی، انتشارات منفی ایجاد می‌کند. BECCS در سال ۲۰۲۲، ۱.۵ میلیون تن کربن دی‌اکسید را جذب و ذخیره کرد. این مقدار، در سال ۲۰۳۰ به حدود ۱۹۰ میلیون تن دی‌اکسید کربن افزایش می‌یابد. این امر، انتشار گازهای گلخانه‌ای از بخش‌هایی را که کاهش در آن‌ها دشوارتر خواهد بود، جبران می‌کند.

❖ مزایای کاربری مفید زمین و انتشار صفر آلاینده ها

در سناریوی انتشار صفر خالص، بیش از ۶۰٪ از ۱۰۰ اگزاژول عرضه جهانی انرژی زیستی در سال ۲۰۵۰ از جریان زباله‌های پایداری می‌آید که نیازی به استفاده از زمین اختصاصی ندارند (در مقایسه با ۲۰٪ امروز). این میزان، شامل بقایای کشاورزی، زباله‌های شهری آلی و بقایای صنعت جنگلداری است. از میان جریان‌های زباله پایدار، بقایای جنگل‌داری حاصل از فرآوری چوب و برداشت جنگل، ۲۰ اگزاژول انرژی زیستی در سال ۲۰۵۰، در سناریوی انتشار صفر خالص، فراهم می‌سازد. این میزان کمتر از نیمی از بهترین برآوردهای فعلی از کل پتانسیل فنی است. سرمایه‌گذاری در جمع‌آوری و دسته‌بندی جامع زباله در سناریوی انتشار صفر خالص نزدیک به ۴۵ اگزاژول تأمین انرژی زیستی را از جریان‌های مختلف زباله پایدار خارج از بخش جنگل‌داری ممکن می‌کند. این امر در درجه اول برای تولید گازهای زیستی و سوخت‌های زیستی پیشرفته استفاده می‌شود.

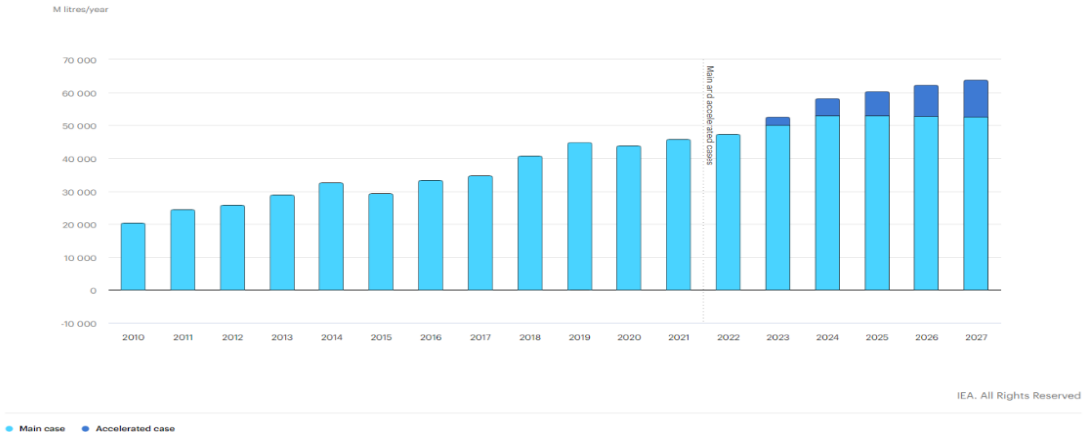
[34] Million Barrels of Oil eEquivalent per Day(mboe/d)
[35] ExaJoule (EJ)
[36] Bioenergy with Ccarbon Capture and Storage (BECCS)



عرضه جهانی انرژی زیستی در سناریوی صفر خالص، ۲۰۱۰–۲۰۵۰

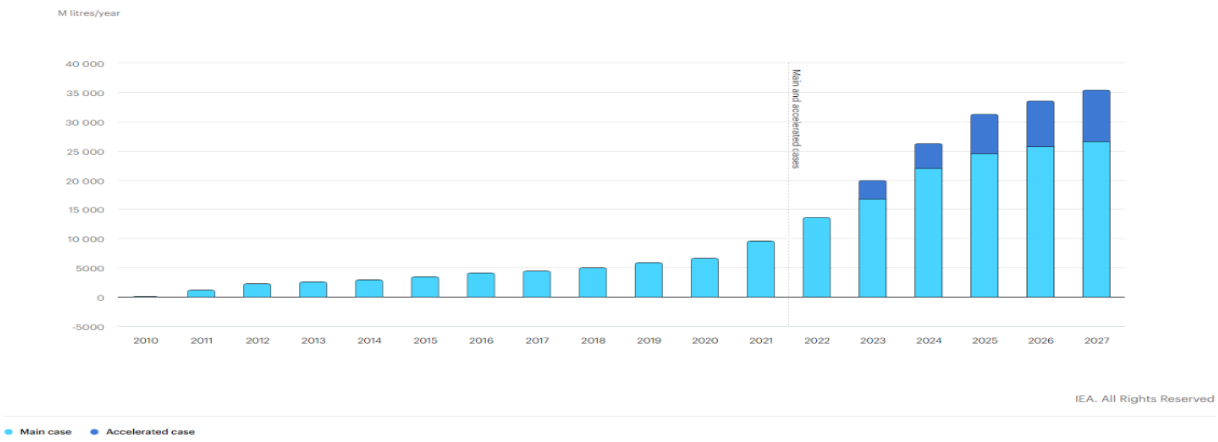
❖ سوخت‌های زیستی حمل‌ونقل

تقاضای جهانی سوخت زیستی در سال ۲۰۲۲، ۶ درصد یا ۹۱۰۰ میلیون لیتر در سال[۳۷]بیشتر از سال ۲۰۲۱ می‌باشد. به دلیل سیاست‌های جذاب در ایالات‌متحده، دیزل تجدیدپذیر بیشترین سهم را در این توسعه سال‌به‌سال تشکیل می‌دهد. در هند و برزیل ملزومات ترکیبی و مشوق‌های مالی از رشد تقاضا حمایت می‌کند و نیاز ۳۰ درصدی ترکیب بیودیزل اندونزی نیز استفاده از بیودیزل را در آن کشور افزایش می‌دهد.

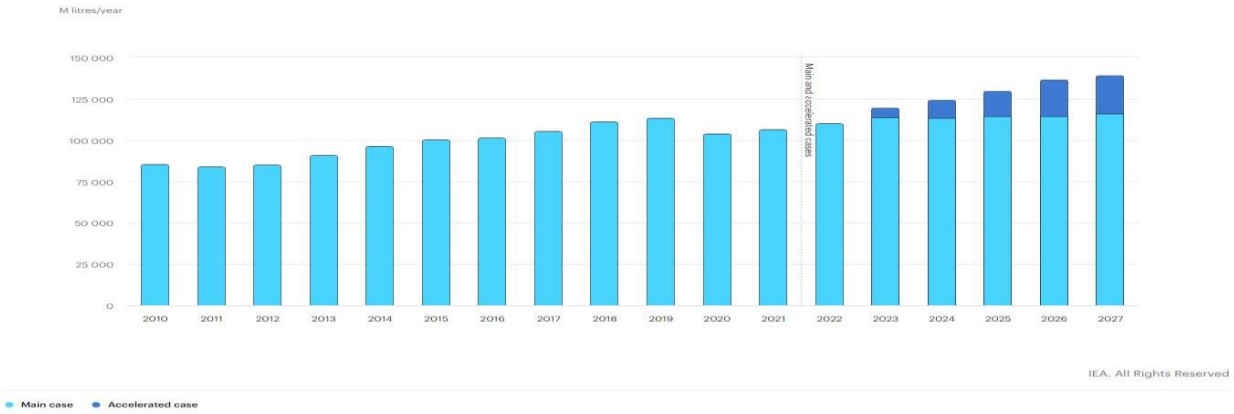


تولید بیودیزل در جهان، ۲۰۱۰–۲۰۲۷

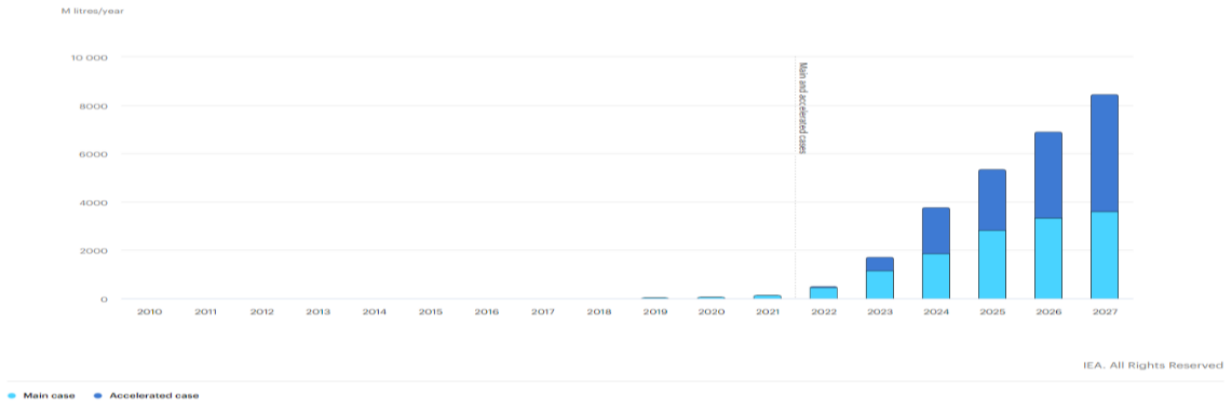
[37] Million Litres Per Year (MLPY)



تولید دیزل تجدیدپذیر در جهان، ۲۰۱۰–۲۰۲۷



تولید اتانول در جهان، ۲۰۱۰–۲۰۲۷

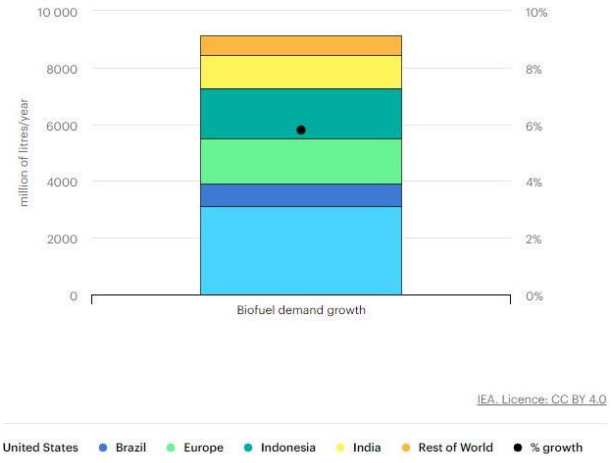


تولید بایوجت در جهان، ۲۰۱۰–۲۰۲۷

درحالی‌که قیمت‌های بالای بیودیزل باعث شد دولت برزیل نیازهای خود را برای ترکیب بیودیزل برای سال ۲۲/۲۰۲۱ کاهش دهد، در فنلاند قیمت‌های بالای سوخت باعث شد تا دولت به طور موقت تعهدات توزیع انرژی‌های تجدیدپذیر خود را برای سال ۲۳/۲۰۲۲ کاهش دهد. سوئد اهداف گازهای گلخانه‌ای سال ۲۰۲۳ برای سوخت‌های حمل‌ونقل را در سطح ۲۰۲۲ مسدود کرد.

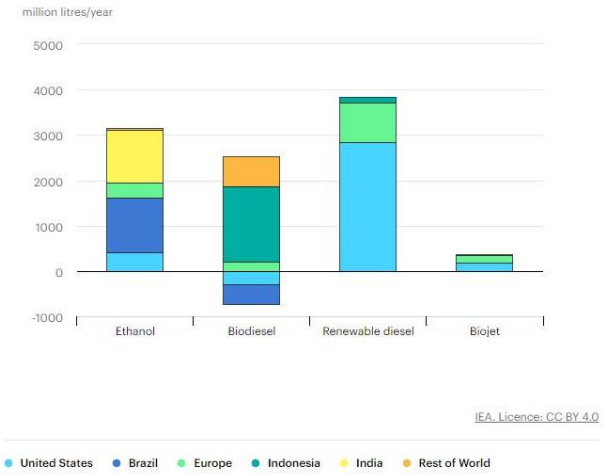
❖ رشد چشمگیر طی پنج سال آینده به تحقق اهداف امنیت آب‌وهوا و انرژی کمک خواهد کرد.

کل تقاضای جهانی سوخت زیستی به میزان ۳۵۰۰۰ میلیون لیتر در سال یا ۲۰ درصد در طول سال‌های ۲۰۲۲–۲۰۲۷ افزایش می‌یابد. رشد مصرف سوخت دیزل تجدیدپذیر و بایوجت تقریباً به طور کامل در اقتصادهای پیشرفته است. سیاست‌های طراحی‌شده برای کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای باعث افزایش تقاضا می‌شود، زیرا این سوخت‌ها را می‌توان با انتشار گازهای گلخانه‌ای پایین تولید و در سطوح بالا مخلوط و حتی از ضایعات و پسماندها تهیه کرد. در واقع، نزدیک به ۷۰ درصد از گازوئیل تجدیدپذیر و سوخت بایوجت از زباله‌ها و پسماندها در سال ۲۰۲۱ به دست آمد.



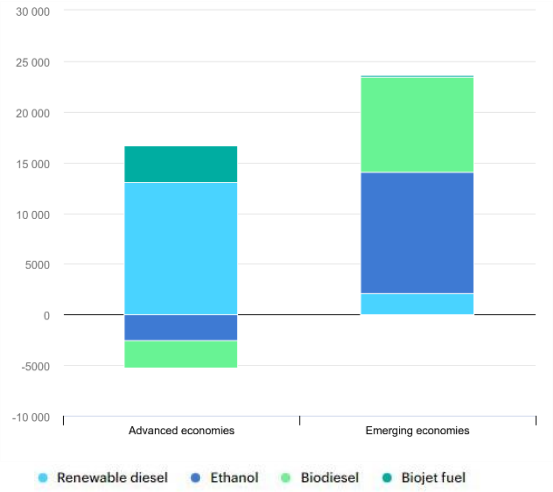
رشد تقاضای جهانی سوخت زیستی بر اساس منطقه، ۲۰۲۱–۲۰۲۲

در همین حال، افزایش مصرف اتانول و بیودیزل تقریباً به طور کامل در اقتصادهای نوظهور با هدف کاهش واردات نفت اتفاق می‌افتد و درعین‌حال حداکثر استفاده از منابع بومی را به نفع اقتصاد محلی می‌کنند. به‌علاوه، استفاده از سوخت زیستی به کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در این کشورها کمک می‌کند.



رشد تقاضای سوخت زیستی بر اساس سوخت و منطقه، ۲۰۲۱–۲۰۲۲

ایالات متحده، کانادا، برزیل، اندونزی و هند ۸۰ درصد از سهم جهانی استفاده از سوخت زیستی را تشکیل می‌دهند، زیرا هر پنج کشور بسته‌های سیاستی جامعی دارند که از رشد حمایت می‌کند. در برزیل، اندونزی و هند، افزایش مصرف بنزین و گازوئیل نیز تقاضا برای سوخت‌های زیستی را تسریع می‌کند، درحالی‌که در ایالات متحده و کانادا کاهش تقاضای بنزین و گازوئیل، رشد سوخت زیستی را کند کرده و حتی استفاده از برخی سوخت‌ها را کاهش می‌دهد. در اروپا، کاهش تقاضای سوخت حمل‌ونقل تقریباً رشد را متوقف می‌کند، حتی اگر سیاست‌های دولتی به‌طور فزاینده‌ای سخت‌گیرانه باشد. در سطح جهانی، سهم سوخت زیستی در مصرف سوخت حمل‌ونقل از ۴.۳ درصد به ۵.۴ درصد طی سال‌های ۲۰۲۲–۲۰۲۷ افزایش خواهد یافت.



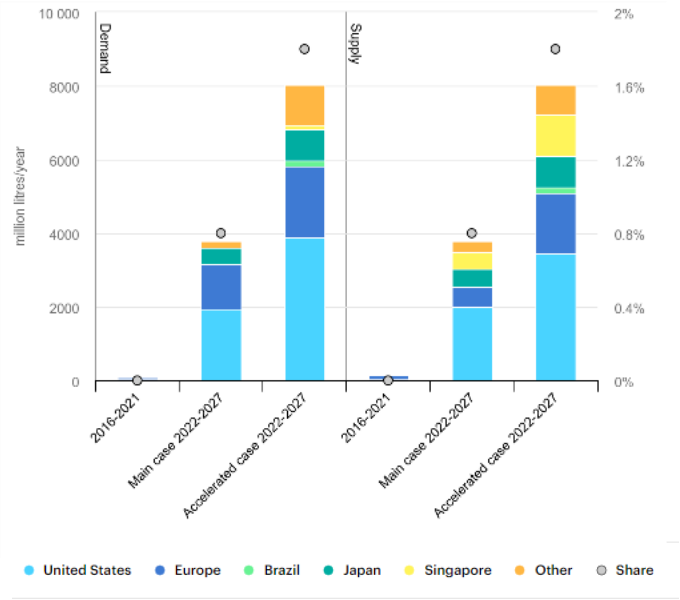
رشد تقاضای سوخت زیستی در اقتصادهای پیشرفته و نوظهور از طریق سوخت، ۲۰۲۲–۲۰۲۷

- سوخت بایوجت تا سال ۲۰۲۷، ۱ تا ۲ درصد سوخت جت در جهان را تشکیل می‌دهد

تقاضای سوخت بایوجت در پیش‌بینی‌ها به ۳۹۰۰ میلیون لیتر در سال افزایش می‌یابد(۳۷ برابر سطح ۲۰۲۱) تا تقریباً ۱٪ از کل مصرف سوخت جت را به خود اختصاص دهد. سیاست‌های اخیر ایالات متحده و اتحادیه اروپا باعث رشد بیشتر می‌شود.

تولید سوخت بایوجت در درجه اول به در دسترس بودن ضایعات و روغن‌ها و چربی‌های باقی‌مانده (۵۲٪) و روغن‌های گیاهی (۳۶٪) بستگی دارد. اتانول، بقایای چوب و ضایعات، سایر ملزومات را فراهم می‌سازد. در اروپا، کمیسیون اروپا مقدار خوراک واجد شرایط موجود برای تولید سوخت هوانوردی پایدار[۳۸] را محدود می‌کند.درحالی‌که روغن‌های گیاهی مانند روغن سویا از تولید سوخت هوانوردی پایدار در ایالات متحده پشتیبانی می‌کنند. اگر سیاست‌های موجود باعث رشد سریع‌تر شود، تقاضا به ۸۱۰۰ میلیون لیتر سوخت هوانوردی پایدار (۲٪ مصرف جهانی سوخت جت) افزایش می‌یابد.

[38] Sustainable Aviation Fuel (SAF)



پیش‌بینی رشد سوخت بایوجت، پیش‌بینی اصلی و شتاب‌یافته، ۲۰۱۶–۲۰۲۷

- ایالات‌متحده، چین، اروپا و هند ۸۰ درصد از رشد مصرف سوخت‌زیستی را به خوداختصاص‌داده‌اند.

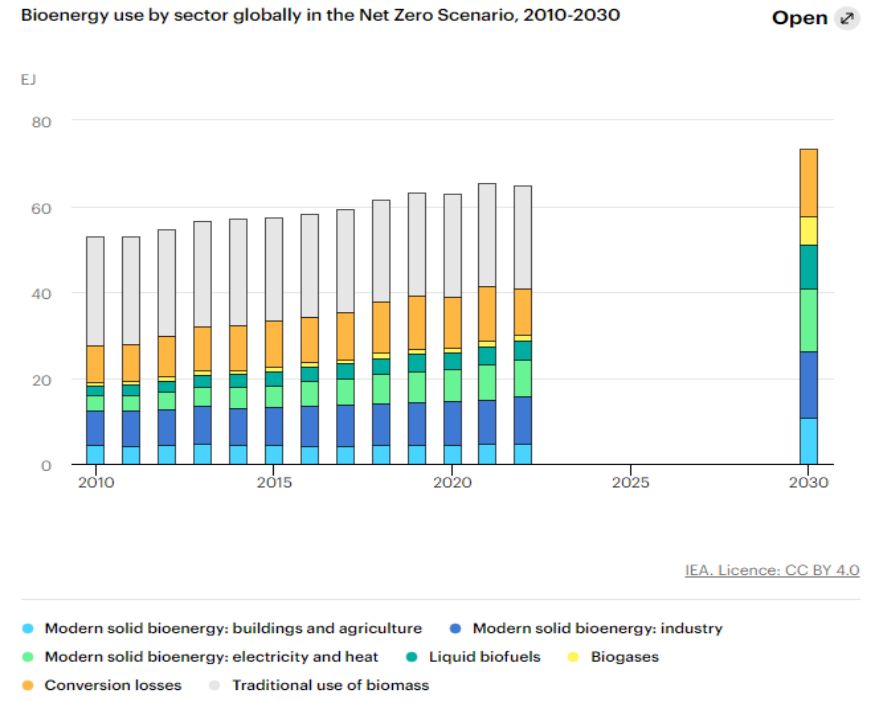
کل تقاضای سوخت زیستی در حالت تسریع شده به ۲۴۰۰۰۰ میلیون لیتر در سال می‌رسد که ۲۵ درصد بیشتر از میزان اصلی است. این سطح از رشد بر این اساس است که چین، اروپا، هند و ایالات متحده سیاست‌های سخت‌گیرانه‌تری را برای افزایش تقاضا اجرا می‌کنند. همچنین فرض می‌کند که تلاش‌ها برای افزایش ترکیب اتانول در ایالات متحده و هند موفقیت‌آمیز است. علاوه بر این، هر چهار کشور باید ذخایر خوراک خود، به‌ویژه پسماندها را افزایش دهند تا تولید گازوئیل تجدید پذیر، سوخت بایوجت و بیودیزل را توسعه دهند.

❖ انرژی

همسویی با سناریوی انتشار صفر خالص نه‌تنها مستلزم افزایش سریع استفاده از انرژی زیستی مدرن است، بلکه به حذف تدریجی استفاده سنتی از زیست‌توده نیز نیاز دارد. کل مصرف جهانی انرژی زیستی در سال ۲۰۳۰ تحت سناریوی انتشار صفر خالص تنها حدود ۱۲ درصد بیشتر از سال ۲۰۲۲ است. بیش از ۳۵ درصد از انرژی زیستی استفاده‌شده در سال ۲۰۲۲ از زیست‌توده برای روش‌های پخت سنتی مانند پخت روی آتش[۳۹] بود. این قبیل روش‌ها، ناپایدار، ناکارآمد، آلوده‌کننده هستند. تنها در سال ۲۰۲۱ بیش از ۳ میلیون مرگ زودرس ناشی از آلودگی هوای داخلی گزارش شده است. استفاده از زیست‌توده

[39] Over Open Fires

سنتی در سناریوی انتشار صفر خالص، مطابق با هدف ۷ توسعه پایدار سازمان ملل، تا سال ۲۰۳۰ به صفر می‌رسد. استفاده مدرن از انرژی زیستی، که استفاده‌های سنتی از زیست‌توده را حذف می‌کند، از حدود ۴۱ اگزاژول در سال ۲۰۲۲ (۶.۵ درصد کل مصرف نهایی) تقریباً دو برابر شده و به تقریباً ۷۵ اگزاژول در سال ۲۰۳۰ (حدود ۱۳ درصد کل مصرف نهایی) رسیده است. این امر مستلزم آن است که متوسط نرخ سالانه رشد از ۳ درصد طی سال‌های ۲۰۱۰–۲۲ به ۸ درصد در سال‌های ۲۰۲۳–۳۰ افزایش یابد.



استفاده از انرژی زیستی در سطح جهانی در سناریوی خالص صفر، ۲۰۱۰–۲۰۳۰

سناریوی انتشار صفر خالص نشان می‌دهد که استفاده سنتی از زیست‌توده در مناطق روستایی تا حدودی با هاضم‌های بیوگاز، بیواتانول و زیست‌توده جامد مورداستفاده در اجاق‌های آشپزی مدرن جایگزین می‌شود و منبعی برای پخت‌وپز تمیز برای تقریباً ۱.۲ میلیارد نفر تا سال ۲۰۳۰ فراهم می‌کند. انرژی زیستی پایدار همچنین منبع ارزشمندی برای اشتغال و درآمد برای جوامع روستایی است. به‌این‌ترتیب در جوامع روستایی، مسئولیت زنان برای جمع‌آوری سوخت کاهش می‌یابد. هم‌چنین مزایای سلامتی ناشی از کاهش آلودگی هوا و مدیریت صحیح زباله‌ها را به همراه دارد و انتشار متان ناشی از تجزیه زباله را کاهش می‌دهد. برای حذف تدریجی استفاده سنتی از زیست‌توده می‌بایست کارهای بیشتری انجام شود، زیرا استفاده از آن به‌صورت مطلق از سال ۲۰۱۶ نسبتاً ثابت مانده است.

❖ نکات برجسته کشوری و منطقه‌ای

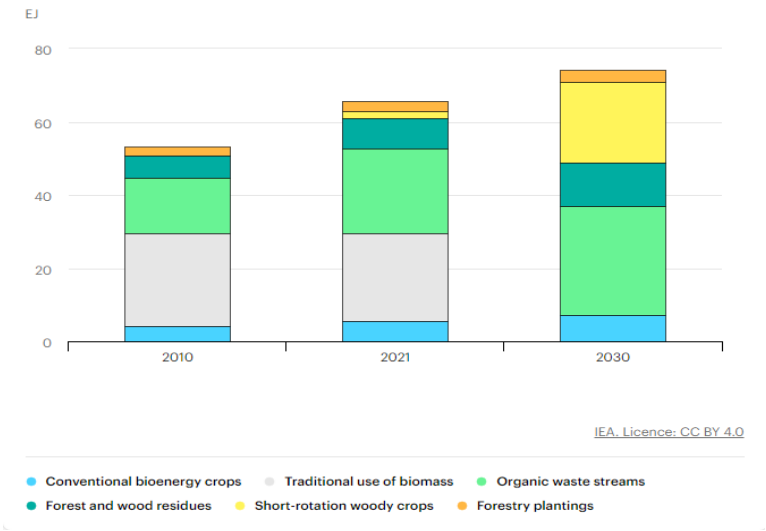
اتحادیه اروپا، ایالات متحده و هند سیاست‌های مهمی را برای حمایت از انرژی زیستی اتخاذ نموده‌اند. کشورها و مناطقی که پیشرفت قابل‌توجهی در پیشبرد انرژی زیستی دارند عبارت‌اند از:

- در مارس ۲۰۲۳، اتحادیه اروپا به یک توافق موقت بین شورا و پارلمان درباره به‌روزرسانی دستورالعمل انرژی‌های تجدیدپذیر[۴۰] دست یافت. این توافقنامه شامل تقویت معیارهای پایداری در مورداستفاده از زیست‌توده برای انرژی با استفاده از اصل «آبشاری[۴۱]» است. اتحادیه اروپا همچنین در سال ۲۰۲۲ هدفی را برای دستیابی به تولید سالانه ۳۵ میلیارد مترمکعب بیومتان تا سال ۲۰۳۰ تعیین نمود (در مقایسه با ۳.۵ میلیارد مترمکعب امروز) و مشارکت صنعتی بیومتان را در سپتامبر ۲۰۲۲ راه‌اندازی کرد تا به این هدف کمک کند.
- ایالات متحده بودجه جدید مهمی را در سال ۲۰۲۲ تحت قانون کاهش تورم[۴۲] برای چندین مرحله در طول زنجیره ارزش انرژی زیستی اعلام نمود. ازجمله افزایش استفاده از زیست‌توده پایدار و منابع ضایعات در ایالات متحده برای تولید سوخت‌های هوایی پایدار، مواد شیمیایی و مواد زیستی ازجمله کودهای پیشرفته و نوآوری در فناوری‌های تبدیل.
- هند برنامه زیست‌توده خود را در سال ۲۰۲۲ برای حمایت از تولید و استفاده از بیوگاز جامد و گاز خانگی تا سال ۲۰۲۶ تمدید کرد.
- استرالیا در سال ۲۰۲۲ تصمیم گرفت سوزاندن چوب جنگلی بومی برای تولید برق را از اهداف انرژی‌های تجدیدپذیر خود حذف کند. به‌این‌ترتیب، تصمیم سال ۲۰۱۵ را معکوس و درنتیجه به پایداری منابع انرژی زیستی کمک کرد.

❖ استقرار فناوری

افزایش تولید انرژی زیستی از منابع پایدار برای همگام شدن با سناریوی انتشار صفر خالص ضروری خواهد بود. انرژی زیستی از منابع مختلفی به دست می‌آید. برخی از منابع انرژی زیستی (مانند ماده سیاه[۴۳] حاصل از تولید کاغذ) محصول فرعی یک فرآیند صنعتی هستند. تولید ناپایدار انرژی زیستی می‌تواند پیامدهای اجتماعی مانند رقابت برای استفاده از زمین و تأثیرات بر قیمت مواد غذایی و همچنین اثرات منفی محیطی، مانند اختلال در تنوع زیستی و افزایش انتشار در پی داشته باشد.

[40] Renewable Energy Directive (RED III)
[41] Cascading
[42] Inflation Reduction Act
[43] Black Liquor



عرضه انرژی زیستی در سطح جهانی در سناریوی خالص صفر، ۲۰۱۰–۲۰۳۰

همسویی با سناریوی انتشار صفر خالص مستلزم افزایش تولید انرژی زیستی است، اما باید مراقب بود که انجام این کار منجر به اثرات منفی قابل‌توجهی برای جامعه یا محیط‌زیست نشود. مطابق با ملاحظات پایداری، در سناریوی انتشار صفر خالص هیچ‌گونه گسترش زمین زراعی برای انرژی زیستی و یا تبدیل زمین‌های جنگلی موجود به تولید محصولات زراعی انرژی زیستی وجود ندارد. بر اساس این سناریو، در سال ۲۰۳۰، ۶۰ درصد از عرضه انرژی زیستی از زباله‌ها و پسماندهایی تأمین می‌شود که به کاربری اختصاصی زمین نیاز ندارند، درحالی‌که این میزان امروزه کمتر از ۵۰ درصد است. نوآوری و استقرار در فناوری‌های تبدیل سوخت زیستی برای دستیابی کامل به پتانسیل زباله‌ها و پسماندها موردنیاز است.

❖ خط‌مشی

سیاست‌گذاران به‌طور فزاینده‌ای طرح‌هایی را برای حمایت از استفاده از انرژی زیستی در اقتصاد خود اجرا می‌کنند. لازم به ذکر است تلاش‌های قوی‌تری برای رسیدن به سناریوی انتشار صفر خالص موردنیاز است.

بسیاری از حوزه‌های قضایی در حال حرکت به سمت ارائه سیاست‌هایی هستند که نشان می‌دهد نقش بلندمدت قابل‌توجهی برای انرژی زیستی در گذار انرژی معین‌شده است. ازجمله:

- بیش از ۸۰ کشور در حال حاضر سیاست‌های حمایتی از سوخت‌های زیستی مایع دارند.
- تعدادی از کشورها ازجمله کانادا، چین، لیتوانی و ایالات متحده از سال ۲۰۲۱ اعلام کرده‌اند که سرمایه‌گذاری قابل‌توجهی در تحقیق و استقرار سوخت‌های زیستی انجام می‌دهند.

- همچنین، ایالات متحده قانون کاهش تورم را در آگوست ۲۰۲۲ تصویب کرد که شامل حمایت سیاستی گسترده و جدید از سوخت‌های زیستی، بیوشیمیایی و مواد زیستی، به‌ویژه سوخت‌های زیستی پیشرفته و سوخت‌های هوایی پایدار است.
- هند برنامه زیست‌توده خود را در سال ۲۰۲۲ برای حمایت از تولید و استفاده از بیوگاز جامد و گاز در سراسر هند تا سال ۲۰۲۶ تمدید کرد.
- برزیل اقداماتی را برای حمایت از تولید بیوگاز پایدار در سال ۲۰۲۲ آغاز کرد.
- کانادا مقررات سوخت پاک خود را در ژوئیه ۲۰۲۳ با سیاست‌های حمایتی برای گسترش عرضه مواد اولیه اجرا کرد.
- در سال ۲۰۲۲ اندونزی، برزیل و آرژانتین اهداف سوخت زیستی را در بخش حمل‌ونقل افزایش دادند.

درحالی‌که پیشرفت‌های قابل‌توجهی در این حوزه رخ می‌دهد، اما استفاده از انرژی زیستی با سرعت کمتری نسبت به سناریوی انتشار صفر خالص گسترش‌یافته است. بنابراین حمایت سیاست گسترده‌ای موردنیاز است.

منبع:
- Will energy security concerns drive biofuel growth in 2023 and 2024? –iea.org
- What does net-zero emissions by 2050 mean for bioenergy and land use? –iea.org
- Will energy security concerns drive biofuel growth in 2023 and 2024 Transport biofuels –iea.org
- bioenergy –iea.org

غول‌های فناوری

گروه دراکس متعهد به تأمین زیست‌توده پایدار

گروه دراکس متعهد به تأمین زیست‌توده پایدار است که هم کربن‌زدایی و هم نتایج مثبت جنگل را دنبال می‌کند. این گروه بخشی از یک صنعت جنگلی گسترده‌تر است که در آن مدیریت و قطع جنگل عمدتاً برای تولید مواد برای ساخت‌وساز و تولید استفاده می‌شود. موادی که دراکس برای ساخت پلت[۴۴] استفاده می‌کند شامل بقایای کارخانه چوب‌بری و جنگل و چوب گرد کم‌عیار و موادی با درجه پایین‌تر که برای استفاده در آسیاب چوبی مناسب نیست. استفاده از این مواد همچنین می‌تواند با کاهش تراکم توده به سطوح سالم‌تر و حذف چوب مرده که می‌تواند حشرات و عوامل بیماری‌زا را جذب کند، از گسترش آتش، آفات و بیماری‌ها جلوگیری نماید. در دو دهه گذشته، دراکس دانش و قابلیت‌های حیاتی را در زمینه تولید انرژی‌های تجدیدپذیر و توسعه یک زنجیره تأمین جهانی انعطاف‌پذیر برای پلت‌های چوبی باکیفیت مناسب که استانداردهای پایداری دقیق را برآورده می‌کند، توسعه داده است. و اکنون، در سال ۲۰۲۲، ۹۹.۸ درصد از تولیدات دراکس از زیست‌توده و نیروگاههای تلمبه ذخیره ای به‌دست‌آمده است.

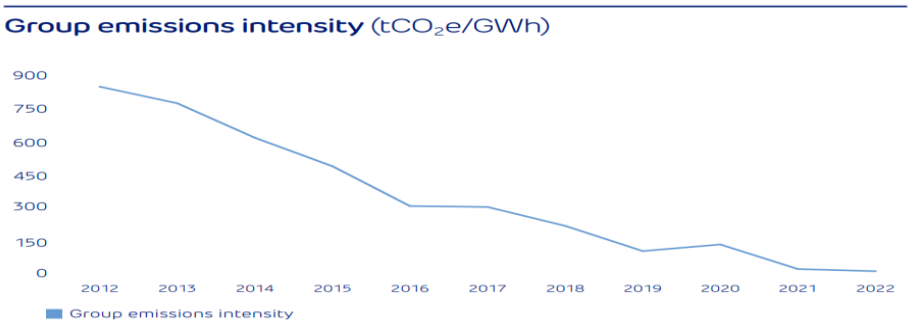
زیست‌توده پایدار زمانی تجدید پذیر است که زیست‌توده به دلیل چرخه کربن بسته به‌طور پایدار تأمین شود. کربن دی‌اکسید آزاد شده از زیست‌توده پایدار در آنچه چرخه کربن بیوژنیک نامیده می‌شود عمل می‌کند. این عمل بخشی از تبادل مداوم کربن بین زمین و جو است. برعکس، کربن‌های مشتق شده از سوخت فسیلی یک انتشار یک‌طرفه و سوختن همه‌جانبه سوخت‌های فسیلی به تجمع گازهای گلخانه‌ای در جو می‌افزاید.

[44] Pellet

❖ ماموریت دراکس

دراکس دومین تولیدکننده بزرگ زیست‌توده پایدار در سطح جهانی و بزرگ‌ترین منبع تولید انرژی تجدیدپذیر در بریتانیا است. در حال حاضر در حال پیشرفت گزینه‌هایی برای انرژی زیستی با جذب و ذخیره کربن است. تا سال ۲۰۲۲، دراکس به پیشرفت خود در جهت هدف فعال کردن آینده انرژی با هزینه کمتر با کربن صفر و تبدیل‌شدن به یک شرکت کربن منفی تا سال ۲۰۳۰ ادامه خواهد داد. درعین‌حال، از امنیت انرژی در بریتانیا حمایت نموده است. سه هدف استراتژیک این گروه: پیشتازی جهانی در زمینه پلت‌های زیست‌توده پایدار، پیشتازی جهانی در حذف کربن و پیشتازی انرژی تجدیدپذیر و قابل‌ارسال در بریتانیا، با تعدادی از سیاست‌های انرژی جهانی همسو است. چنین سیاست‌هایی به‌طور فزاینده‌ای نقش مهمی را که زیست‌توده پایدار و حذف کربن می‌تواند در مبارزه با تغییرات آب‌وهوا ایفا کند، نشان می‌دهد.

از سال ۲۰۱۲، دراکس تولیدات کربن محدوده ۱ و ۲ خود را تقریباً ۹۹٪ کاهش داده که عمدتاً منعکس‌کننده سرمایه‌گذاری بلندمدت در زیست‌توده پایدار است. این گروه همچنان به پیشرفت جاه‌طلبی خود برای تبدیل‌شدن به یک شرکت کربن منفی با ایجاد فرصت‌هایی برای انرژی زیستی با جذب و ذخیره کربن در بریتانیا و آمریکای شمالی ادامه می‌دهد. دراکس ضمن پیشبرد استراتژی خود، نقش مهمی در حمایت از امنیت انرژی بریتانیا نیز ایفا می‌نماید و با استفاده از زیست‌توده، نیروگاههای تلمبه ذخیره ای و منابع آبی خود، مقادیر زیادی برق قابل‌اعتماد و تجدیدپذیر تولید می‌نماید و خدمات پشتیبانی مهمی را به سیستم برق بریتانیا ارائه می‌دهد. این امر اتکای بریتانیا به سوخت‌های فسیلی گران‌قیمت مانند گاز را کاهش می‌دهد و مکمل استفاده بیشتر از انرژی‌های تجدیدپذیر متناوب مانند باد است. در آینده، زیست‌توده می‌تواند یک مسیر حذف کربن با استفاده از فناوری جذب و ذخیره کربن ارائه دهد. اما، باید زیست‌توده متناسب با اهداف انتشار صفر و به صرفه انتخاب شده باشد. گروه به این اصل متعهد است تا نتایج مثبتی برای اقلیم، طبیعت و مردم به ارمغان آورد. از سال ۲۰۱۵ تلاش مداوم دراکس بر گذار از زغال‌سنگ به تولید زیست‌توده، رشد کسب‌وکار تولید پلت و زنجیره تأمین، توسعه فرصت‌های جذب و ذخیره کربن و رشد گروه بین‌المللی بود. این اقدامات در کنار تعهد مستمر برای رسیدن به هدف و کمک به مبارزه با تغییرات اقلیمی انجام شده است.

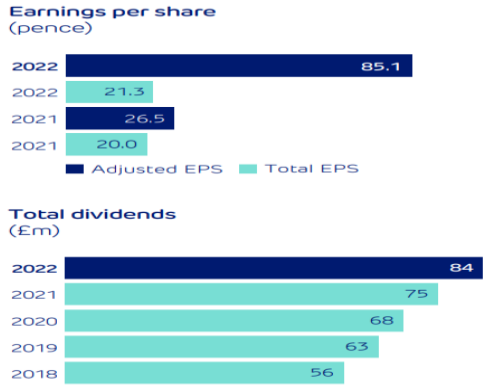


شدت انتشار محصولات گروه دراکس بر حسب تن کربن دی اکسید بر گیگاوات ساعت

❖ تجارب عملیاتی دراکس

در آمریکای شمالی، کسب‌وکار تولید پلت دراکس به حمایت از تلاش‌ها برای بهینه‌سازی تولید انرژی زیست‌توده و حفاظت از امنیت عرضه در بریتانیا ادامه داده است. در همان زمان، کسب‌وکار تولید پلت بیش از ۵۰۰ کیلوگرم ظرفیت اضافی تولید اضافه کرده است. در بریتانیا، مجموعه تولید دراکس به پشتیبانی از سیستم برق بریتانیا و ارائه سطوح بالای برق انعطاف‌پذیر، قابل‌توزیع و تجدیدپذیر ادامه داده است. در سال ۲۰۲۲، این گروه بار دیگر بزرگ‌ترین منبع تولید برق تجدیدپذیر بریتانیا بود و ۱۱ درصد از کل تولیدات زیست‌توده، تلمبه ذخیره ای و تولید هیدروژن را به خود اختصاص داد. بنا به درخواست دولت بریتانیا، دراکس موافقت نمود که در صورت نیاز، دو واحد زغال‌سنگ خود را برای زمستان ۲۰۲۲–۲۰۲۳ به‌عنوان پاسخی به بحران انرژی اروپا پس از تهاجم روسیه به اوکراین در دسترس قرار دهد.

❖ نتایج و سود سهام دراکس



سود قبل از بهره، مالیات و استهلاک[45] تعدیل‌شده در سال ۲۰۲۲، ۷۳۱ میلیون پوند بود. این مقدار به‌طور قابل‌توجهی بالاتر از سال ۲۰۲۱ (۳۹۸ میلیون پوند) بود که نشان‌دهنده عملکرد قوی در سراسر گروه است.

همچنین با خط‌مشی دراکس برای پرداخت سودی که پایدار است و انتظار می‌رود با ارائه استراتژی سود پایدار و جریان‌های نقدی و فرصت‌های رشد افزایش یابد، مطابقت دارد.

❖ ایمنی و پایداری در دراکس

ایمنی، سلامت و رفاه همکاران و پیمانکاران، همراه با تأثیرات زیست‌محیطی، اولویت‌های گروه و هیئت‌مدیره باقی می‌ماند. دراکس بر این باور است که عملیات ایمن، سازگار و پایدار برای ارائه استراتژی آن ضروری است. این موارد پشتوانه موفقیت مستمر گروه است. پایداری در قلب گروه قرار دارد و دراکس معتقد است که دستیابی به تأثیر مثبت اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی در ایجاد ارزش بلندمدت پایدار کمک‌کننده است.

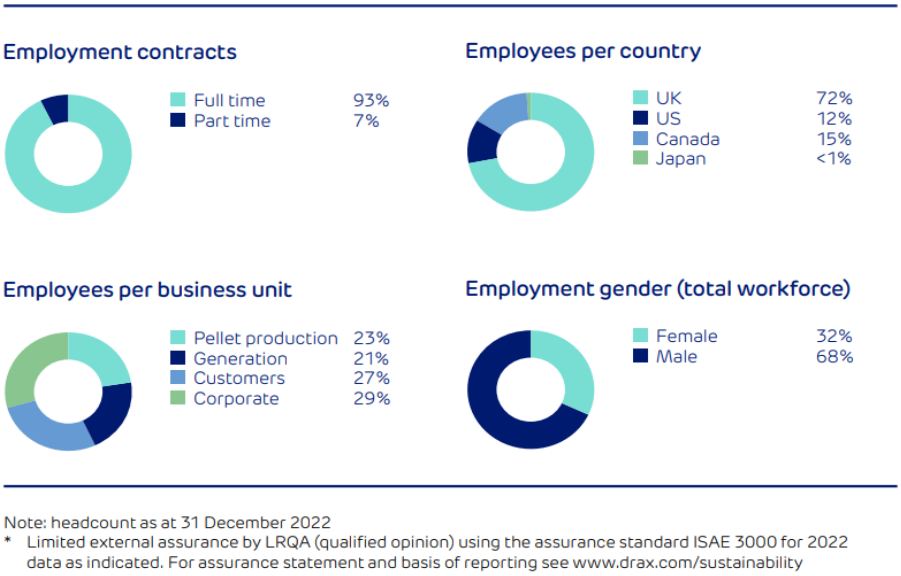
در طول سال ۲۰۲۲، این شرکت به‌عنوان یک گروه کاری حامی اطلاعات مالی مرتبط با آب‌وهوا[46] به کار خود ادامه داد. به‌عنوان‌مثال، دراکس اهداف مبتنی بر علم ارائه نمود و فرصت‌هایی را برای کاهش بیشتر انتشار کربن در زنجیره تأمین خود شناسایی کرد. ارائه نتایج مثبت برای آب‌وهوا، طبیعت و مردم هسته اصلی مدل تجاری گروه است. هم‌چنین اطمینان از اینکه

[45] Earnings before interest, taxes, depreciation, and amortization (EBITDA)
[46] Taskforce on Climate-Related Financial Disclosures (TCFD)

دراکس فقط از زیست‌توده، با منابع اصلی پایدار، در تولید برق استفاده می‌کند، موردتوجه است. هنگامی‌که زیست‌توده به‌صورت پایدار تأمین شود، از جنگلداری پشتیبانی می‌کند، یک منبع تجدیدپذیر انرژی است. این گروه زیست‌توده خود را از بازارهای جنگلی تثبیت‌شده[۴۷]، عمدتاً در ایالات‌متحده و کانادا تأمین می‌کند. دراکس از شیوه‌های جنگلداری مسئولانه با ارائه درآمدهای ثانویه و افزایشی به مالکان جنگل از طریق خرید موادی که در غیر این صورت برای کارخانه چوب‌بری قابل‌خرید و فروش نیستند، حمایت می‌کند. این مواد عمدتاً بقایای کارخانه چوب‌بری، چوب اره، پوست درخت، شاخه‌ها، چوب گرد با عیار پایین و مواد چوبی حاصل از فعالیت‌های مدیریت جنگل هستند. علاوه بر این، بازارهایی که از آن‌ها منابع تهیه می‌شوند، تابع مقررات ملی و منطقه‌ای هستند. دراکس این مقررات را از طریق خط‌مشی منبع‌یابی بیومس مسئول خود و بررسی‌های زنجیره تأمین، با تأیید شخص ثالث تحت برنامه زیست‌توده پایدار درباره زیست‌توده چوبی مورداستفاده در نیروگاه دراکس تکمیل می‌کند.

❖ ارزش‌ها در دراکس

هیئت‌مدیره متعهد به ایجاد یک محیط کاری حامی، متنوع و فراگیر است که در آن‌همه همکاران احساس کنند متعلق به این گروه هستند. جلسات یا همکاران بخش‌های مختلف بینش‌ها و بازخوردهای ارزشمندی را برای هیئت‌مدیره ارائه می‌دهد. در سال‌های اخیر، دراکس پیشرفت‌هایی در زمینه تنوع، به‌ویژه در پست‌های ارشد داشته است. تا پایان سال ۲۰۲۲، نمایندگی زنان در سطح هیئت‌مدیره ۴۴ درصد و برای کمیته اجرایی ۴۰ درصد بود.



منابع انسانی در دراکس

[47] Well-Established Forestry Markets

❖ هدف دراکس

آرمان دنیا این است که تا سال ۲۰۵۰ کربن منفی شویم. این بدان معناست که بیش از تولید دی‌اکسید کربن در سراسر فعالیت‌های تجاری مستقیم خود در سطح جهانی، دی‌اکسید کربن را از اتمسفر حذف خواهد کرد. (ایجاد یک شرکت کربن منفی). در کنار کاهش انتشار کربن، فن‌آوری‌های حذف کربن از جو موردنیاز است. با یک سیاست حذف مؤثر کربن و چارچوب سرمایه‌گذاری مناسب از سوی دولت بریتانیا، می‌توان انرژی زیستی با جذب و ذخیره‌سازی کربن[۴۸] را در دو واحد تولید زیست‌توده موجود خود در بریتانیا مستقر و تا سال ۲۰۳۰ هر سال ۸ میلیون تن کربن دی‌اکسید حذف نمود. به‌این‌ترتیب، در چشم‌انداز دراکس ۱۲ میلیون تن کربن در جهان تا سال ۲۰۳۰ حذف می‌شود. تا سال ۲۰۵۰ ممکن است سالانه ۹.۵ میلیارد تن حذف کربن از طریق فناوری انرژی زیستی با جذب و ذخیره‌سازی کربن برای دستیابی به اهداف خالص صفر جهانی موردنیاز باشد.

❖ مدل تجاری دراکس

دراکس یک شرکت پیشرو در انرژی‌های تجدیدپذیر مستقر در بریتانیا با فرصت‌های رشد جهانی است که در راستای اهداف خالص صفر حرکت می‌کند. مدل کسب‌وکار و استراتژی دراکس به روندهای کلیدی در انرژی جهانی می‌پردازد:

- افزایش تقاضا برای برق و نیاز به انرژی‌های تجدید پذیر
- نیاز به کربن‌زدایی و اهمیت حذف کربن
- نیاز به تولید قابل‌توزیع برای افزایش اتکا به انرژی‌های تجدیدپذیر متناوب

❖ ارکان استراتژیک دراکس

- پیشروی جهانی در پلت‌های زیست‌توده[۴۹] پایدار
- رهبر جهانی در حذف کربن
- پیشتازی در ارائه یک نسل قابل‌توزیع و تجدید پذیر در بریتانیا

❖ تولید تجدید پذیر

نیروگاه دراکس بزرگ‌ترین منبع انرژی تجدیدپذیر بریتانیا از نظر خروجی و بزرگ‌ترین نیروگاه قابل‌توزیع بریتانیا است. گروه دراکس به توسعه مدل عملیاتی با هزینه کمتر ادامه می‌دهد که با کاهش هزینه‌های ثابت مرتبط با پایان عملیات

[48] Bioenergy with Carbon Capture and Storage(BECSS)
[49] Biomass Pellets

زغال‌سنگ پشتیبانی می‌شود. دراکس همچنین درحال‌توسعه گزینه‌ای برای گسترش نیروگاه تلمبه ذخیره ای[50] در کرواچان است[51] .تصمیم نهایی سرمایه‌گذاری این پروژه در سال ۲۰۲۴ اتخاذ می‌گردد و تا سال ۲۰۳۰ عملیاتی خواهد شد و ۶۰۰ مگاوات ذخیره‌سازی طولانی‌مدت قابل‌ارسال به سیستم برق را فراهم می‌سازد.

❖ موارد سرمایه‌گذاری دراکس

زنجیره تأمین زیست‌توده از نظر جغرافیایی متنوع با فرصت‌هایی برای رشد، نوآوری و کاهش هزینه

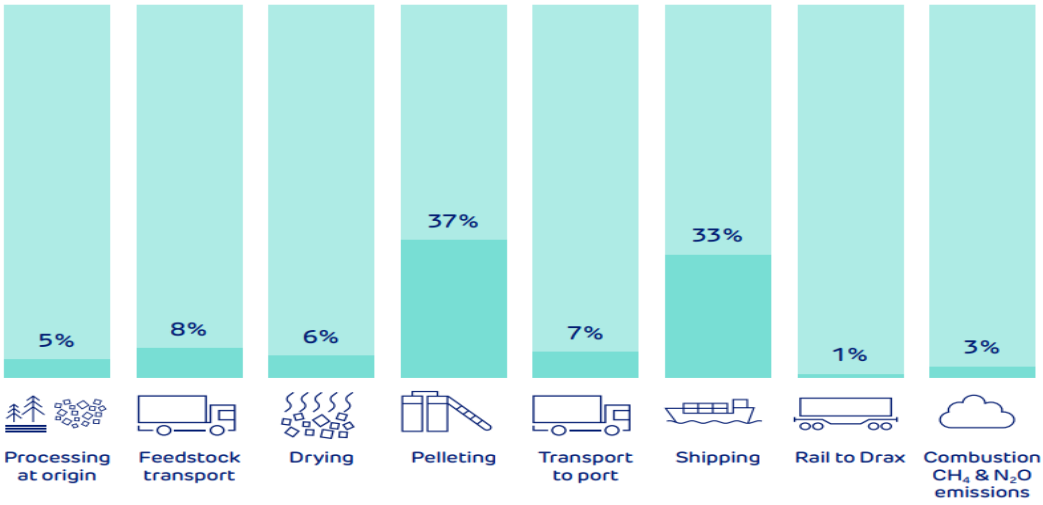
- توسعه گزینه‌هایی برای فناوری حذف کربن در مقیاس بزرگ، هم در بریتانیا و هم در سطح جهانی
- بزرگ‌ترین منبع انرژی تجدیدپذیر بریتانیا از نظر تولید
- ارائه‌دهنده پیشرو در تولید ایمن، قابل‌ارسال، انعطاف‌پذیر بر خلاف باد و خورشید
- مطبق با فرهنگ ایمنی، پایداری و تمرکز بر کاهش هزینه

❖ بررسی انتشارات زنجیره تأمین زیست‌توده در دراکس

زیست‌توده را فقط می‌توان یک راه‌حل انرژی تجدید پذیر کم‌کربن در نظر گرفت که شواهد قطعی وجود داشته باشد. شواهد باید نشان دهند که صرفه‌جویی در انتشار گازهای گلخانه‌ای در مقایسه با جایگزین‌هایی مانند تولید سوخت‌های فسیلی بر اساس چرخه عمر انجام می‌شود. بنابراین، دراکس داده‌های سوخت و انرژی را برای هر مرحله در زنجیره تأمین جمع‌آوری می‌نماید. انتشارات گازهای گلخانه‌ای چرخه زندگی را برای زیست‌توده خود محاسبه کرده و انطباق با الزامات قانونی را نشان می‌دهد. دولت بریتانیا محدودیتی برای انتشار گازهای گلخانه‌ای زنجیره تأمین زیست‌توده تعیین کرده است که در حال حاضر ۲۰۰ کیلوگرم معادل کربن دی‌اکسید در مگاوات ساعات[52] الکتریسیته است. تولیدکنندگان باید این محدودیت را رعایت کنند تا تحت طرح‌های تعهد انرژی تجدیدپذیر و قرارداد برای تفاوت[53] واجد شرایط باشند. در سال ۲۰۲۲، میانگین انتشار گازهای گلخانه‌ای زنجیره تأمین زیست‌توده دراکس به ۹۶ کیلوگرم معادل کربن دی‌اکسید در مگاوات ساعات رسید. در سال ۲۰۲۰، دراکس ماشین‌حساب کربن زیست‌توده[54] را راه‌اندازی نموده است، ابزاری برای انتشار چرخه عمر گازهای گلخانه‌ای که برای بهبود دقت و شفافیت گزارش انتشار گازهای گلخانه‌ای برای زنجیره‌های تأمین پلت‌های چوب طراحی شده است. این دسته‌بندی‌ها شامل انتشار گازهای متان و اکسید نیتروژن ناشی از احتراق سوخت است.

[50] Pumped Storage Power Station
[51] Cruachan
[52] CO_2 per megawatt-hour(CO2e/MWh)
[53] Renewables Obligation and Contract for Difference schemes
[54] Biomass Carbon Calculator

	Unit	2022	2021	2020	2019	2018	2017
Average biomass supply chain GHG emissions	$kgCO_2e/MWh$	96*	100	109	124	131	130

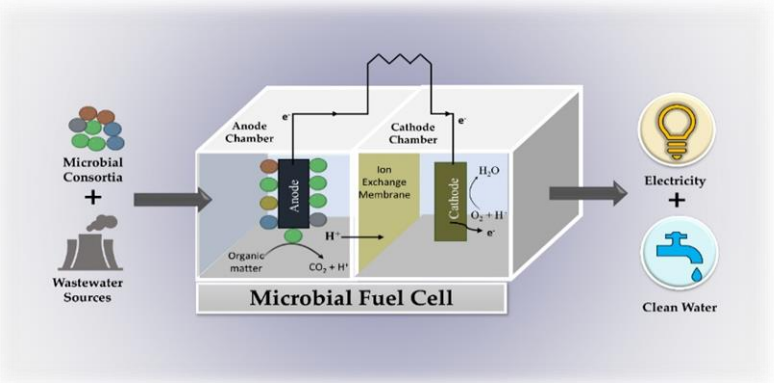


انتشار گازهای گلخانه‌ای زنجیره تأمین زیست‌توده نیروگاه درکس در سال ۲۰۲۲ (٪)

منبع: Drax Group plc Annual report and accounts 2022

تحولات فناورانه

پیل‌های سوختی میکروبی و تبدیل پسماند به انرژی



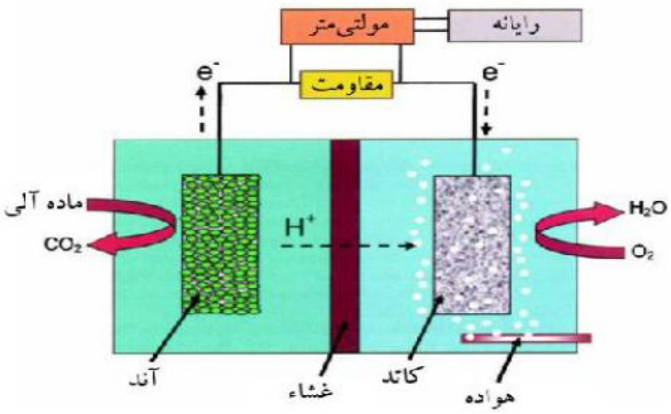
میکروارگانیسم‌ها می‌توانند از طریق پیل‌های سوختی میکروبی که به اختصار MFC[55] نامیده می‌شوند، برای تبدیل مواد آلی به انرژی الکتریکی بکار گرفته شوند. MFC یک فناوری مطمئن و پایدار در مواجهه با نیاز روزافزون انرژی، خصوصاً با استفاده از پساب به‌عنوان سوبسترا که منتج به آب تصفیه شده و برق به‌عنوان محصول می‌شود، به‌حساب می‌آید. درنتیجه MFC جایگاه مهمی در آیندهٔ تولید انرژی در کنار زیست‌پالایی و فرایندهای صنعتی و شیمیایی دارا خواهد بود. MFC می‌تواند از طریق فعالیت متابولیکی میکروارگانیسم‌ها، زیست‌توده را به‌صورت خودبه‌خودی به برق تبدیل کند.

پیل سوختی میکروبی نوعی راکتور زیستی است که با تجزیه سوبسترا در حضورکاتالیست زیستی (برای مثال باکتری و آنزیم)، باعث تبدیل مستقیم انرژی پیوندهای شیمیایی سوبسترا به انرژی الکتریکی می‌شود؛ یعنی فرآیند تولید الکتریسیته و تصفیه مواد را به‌طور هم‌زمان انجام می‌دهد.

پیل سوختی میکروبی به‌طورمعمول شامل دو محفظه آندی و کاتدی می‌باشد که توسط غشا انتقال دهنده پروتون از یکدیگر جدا شده‌اند. به‌طورکلی، اجزای اصلی در پیل سوختی میکروبی عبارت‌اند از: محفظه آندی، محفظه کاتدی، سوبسترا، میکروارگانیسم، غشا تبادل یون و الکترود.

در پیل سوختی میکروبی، در بدنه آندی، سوبسترا توسط میکروارگانیسم‌ها اکسید می‌شود و تولید الکترون و پروتون می‌نماید. الکترون‌های تولیدی از طریق یک مدار خارجی و پروتون‌ها از میان غشاء به بدنه کاتدی منتقل می‌شوند. الکترون‌ها و پروتون‌ها در بدنه کاتدی با اکسیژن ترکیب شده و تولید آب می‌کنند.

[55] Microbial Fule Cell



شماتیک پیل سوختی میکروبی

به‌طورکلی میکروارگانیسم‌ها انرژی موردنیاز خود را برای رشد و بقا از یک الکترون دهنده و یا به‌اصطلاح سوبسترا، همانند مواد آلی ساده و پیچیده، گلوکز، استات، پساب‌های صنعتی، خانگی و حتی مواد آلی سمی و خطرناک، دریافت می‌کنند. همچنین از باکتری‌های فعال الکتروشیمیایی متعددی برای انتقال الکترون‌ها به الکترود استفاده می‌شود. الکترون رها شده از الکترون‌دهنده، از طریق میکروارگانیسم یا مواد واسطه، از الکترولیت به الکترود هدایت می‌گردد تا به پذیرنده الکترونی همانند اکسیژن برسد. عملیات شکستن پیوند، تجزیه و اکسید مواد در بخش آند و احیا توسط اکسیژن در بخش کاتد انجام می‌گیرد. این دو بخش از طریق مدار خارجی و غشای داخلی به یکدیگر متصل هستند. مدار خارجی انتقال‌دهنده الکترون و غشای داخلی انتقال‌دهنده پروتون می‌باشد. مدار خارجی با داشتن یک مصرف‌کننده باعث تولید جریان می‌شود. بر اساس تحقیقات صورت گرفته هر چه راکتور دارای محفظهٔ با حجم کمتر باشد، به علت کم شدن مقاومت داخلی، میزان دانسیتهٔ توان افزایش می‌یابد.

اجزای تشکیل‌دهنده پیل سوختی میکروبی

آیتم	نوع مواد	مشخصه
آند	گرافیت، پوشش ها و صفحات گرافیتی،کاغذ های کربنی، پلاتین (Pt) و پلاتین سیاه و کربن شیشه ای مشبک (RVC)	ضروری
کاتد	گرافیت، پوشش ها و صفحات گرافیتی،کاغذ های کربنی، پلاتین و پلاتین سیاه و کربن شیشه ای مشبک (RVC)	ضروری
محفظه آندی	شیشه، پلی کربنات ها و پلکسی گلس ها	ضروری
محفظه کاتدی	شیشه، پلی کربنات ها و پلکسی گلس ها	اختیاری
سیستم انتقال پروتون	غشای تبادلگر پروتون: نافیون، اولترکس ، پلی اتیلن،پلی(استیرن-کو-دیوینیل بنزن) ؛ پل نمکی ؛ دیواره پورسلین یا چینی ؛ یا منحصراً الکترولیت	ضروری
کاتالیزور	پلاتین و پلاتین سیاه، MnO_2، Fe^{3+}، پلی آنیلین، واسطه های تثبیت شده بر روی آند	اختیاری

عوامل مختلفی شامل سرعت تجزیه سوبسترا، سرعت انتقال الکترون از میکروارگانیسم به الکترود، مقاومت مدار، انتقال پروتون در مایع، و کارایی کاتد بر عملکرد پیل سوختی میکروبی تأثیرگذارند. در میان عوامل تأثیرگذار، سرعت انتقال الکترون از میکروارگانیسم به الکترود در محفظه آندی تأثیر قابل‌ملاحظه‌ای بر عملکرد پیل دارد. ازآنجاکه پیل‌های باکتریایی اصولاً از نظر الکتروشیمیایی غیرفعال می‌باشند، انتقال سریع الکترون از میکروارگانیسم به الکترود نیازمند واسطه‌های انتقال الکترون است. در پیل سوختی میکروبی باواسطه، انتقال الکترون از میکروارگانیسم‌ها به الکترود توسط واسطه‌هایی مانند تیونین، متیل ویولوژن، متیل بلو، هیومیک اسید، و... تسهیل می‌شود. واسطه‌های مورد استفاده در پیل سوختی میکروبی معمولاً ترکیباتی سمی و گران قیمت هستند. بنابراین به‌کارگیری طولانی‌مدت پیل سوختی میکروبی باواسطه از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه نیست. اما در پیل‌های سوختی میکروبی بی‌واسطه، میکروارگانیسم‌های مورد استفاده از نظر الکتروشیمیایی فعال می‌باشند، به‌عبارت‌دیگر میکروارگانیسم‌ها قادرند الکترون‌های تولیدی را در غیاب واسطه‌های شیمیایی به سطح الکترود انتقال دهند.

همان‌گونه که اشاره شد، میکروارگانیسم‌ها به‌عنوان کاتالیزور زیستی در پیل سوختی میکروبی بکار گرفته می‌شوند و می‌توانند به‌صورت خالص یا مخلوط میکروبی مورد استفاده قرار گیرند. اما ازآنجایی‌که به‌کارگیری میکروارگانیسم‌ها به‌صورت خالص در کاربردهای عملی از نظر اقتصادی مقرون‌به‌صرفه نیست، می‌توان از گونه‌های تلقیحی ترکیبی استفاده نمود.

بیشتر پیل‌های سوختی میکروبی جهت بهینه‌سازی شرایط رشد باکتری، در pH خنثی کار می‌کنند، گرچه غلظت کم پروتون در این شرایط، مقاومت درونی پیل را نسبت به پیل‌های سوختی شیمیایی که از الکترولیت اسیدی یا قلیایی استفاده می‌کنند افزایش می‌دهد. اگر هیچ محلول بافری در یک پیل سوختی میکروبی در حال کار استفاده نشود، تفاوت واضحی بین pH محفظه آندی و محفظه کاتدی وجود خواهد داشت. از نظر تئوری، وقتی سرعت واکنش پروتون‌ها، الکترون و اکسیژن در کاتد با سرعت تولید پروتون در آند برابر باشد، تغییر pH وجود نخواهد داشت. لکن غشای مبادله پروتون، یک مانع برای نفوذ پروتون‌ها ایجاد می‌کند، بدین معنا که عبور پروتون‌ها از طریق غشاء آهسته‌تر از سرعت تولید آن‌ها در محفظه آندی و سرعت مصرف آن‌ها در مرحله ابتدایی در محفظه کاتدی است، بنابراین اختلاف pH را به همراه خواهد داشت. بعضی پروتون‌های تولیدی از تجزیه زیستی سوبسترای آلی، به محفظه کاتدی منتقل شده و قادرند با اکسیژن محلول واکنش دهند، درحالی‌که بعضی پروتون‌ها وقتی با سرعت کافی از غشای مبادله پروتون به محفظه کاتدی منتقل نشوند در محفظه آندیانباشته می‌شوند. محققان در بررسی اثرات عوامل عملیاتی پیل سوختی میکروبی، بعد از گذشت ۵ ساعت از عملکرد پیل با pH اولیه ۷، اختلاف pH برابر با ۴/۱ (pH = ۹/۵ در محفظه کاتدی و pH = ۵/۴ در محفظه آندی) را مشاهده کردند. با افزودن بافر فسفات (pH = ۷)، pH آندی و کاتدی کمتر از ۰.۵ واحد تغییر کرده و جریان تولیدی به ۲ برابر افزایش یافته است. ممکن است بافر، نرخ آهسته انتقال پروتون را جبران کرده و سبب بهبود میزان پروتون در دسترس برای واکنش کاتدی شود. با افزودن اسید کلریدریک به محفظه کاتدی، جریان تولیدی تا ۲ برابر افزایش یافته است. این نتایج نشان می‌دهد که میزان پروتون در دسترس برای واکنش کاتدی، یک عامل محدودکننده برای تولید الکتریسیته است.

کارایی پیل سوختی میکروبی به دما نیز بستگی دارد. دما بر فعالیت میکروبی، نرخ واکنش اکسیژن روی کاتد، و نرخ انتقال جرم پروتون در مایع اثر می‌گذارد. مطالعات روی پیل‌های سوختی میکروبی معمولاً در دماهای ۳۰–۳۷ درجه سانتی‌گراد انجام می‌شود گرچه عملکرد در دماهای پایین‌تر، به‌ویژه برای استفاده در تصفیهٔ پساب، مقرون به‌صرفه‌تر است. جنس و نسبت اندازه الکترود کاتد و آند نیز از عوامل تأثیرگذار بر کارایی پیل سوختی میکروبی هستند.

در نواحی که به علت شرایط جغرافیایی و آب‌وهوا امکان تولید الکتریسته از انرژی خورشیدی، آب و یا باد وجود ندارد می‌توان با استفاده از پیل‌های سوختی میکروبی الکتریسته را در مقیاس محدودی تولید کرد. یکی از انتظارات از پیل‌های سوختی میکروبی، تولید الکتریسته با حداقل آلودگی محیط‌زیست است.

❖ پیل‌های نمک‌زدای میکروبی

در سال‌های اخیر، تکنولوژی پیل‌های نمکزدای میکروبی (MDCs[56]) به عنوان یک روش جدید نمک‌زدایی آب، مورد توجه واقع شده است. این فناوری با استفاده از ترکیب دو تکنولوژی پیل‌های سوختی و الکترودیالیز، قادر به تولید انرژی و نمکزدایی آب است. آب را می‌توان در محفظه میانی پیل قرار داده و بطور پیوسته در اثر انتقال یون‌ها بین آند و کاتد نمکزدایی کرد. مزایای بالقوه تکنولوژی MDC عبارتند از:

- MDCs پتانسیل زیادی جهت تصفیه انواع مختلف آب آلوده از جمله فاضلاب، آب لب شور[57]، پسماند صنعتی و آب دریا دارد.
- این سیستم در جوامع کوچک روستایی و مناطق دورافتاده با توجه به عدم نیاز به تأمین انرژی، در تصفیه فاضلاب و تولید آب شیرین کارایی دارد.

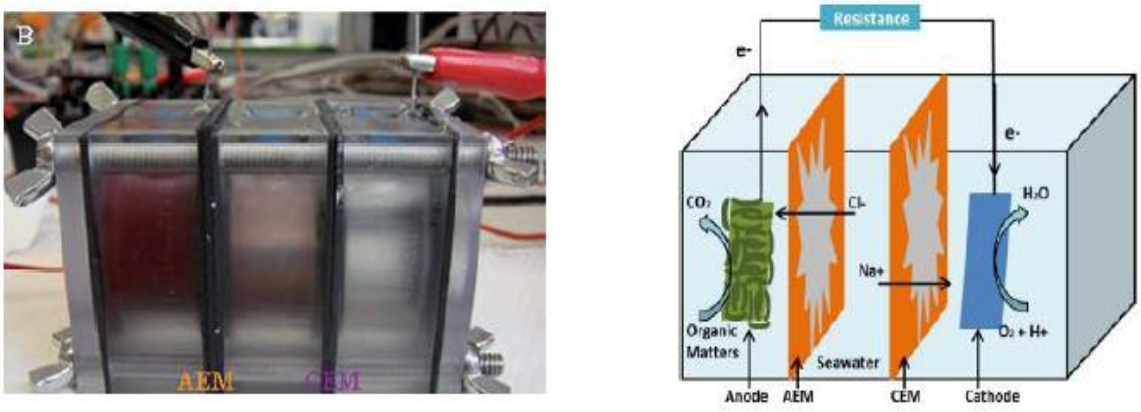
با این حال این فناوری هنوز نسبتا جدید بوده و در مقیاس صنعتی به کار گرفته نمی‌شود.

سیستم MDC توانایی تصفیه فاضلاب‌ها و پسماندها را همراه با تولید الکتریسیته دارد. فناوری MDC یک شکل از تکنولوژی پیل سوختی میکروبی (MFC) می‌باشد. سیستم‌های MFC و MDC با استفاده از میکروارگانیسم‌های موجود در فاضلاب‌ها، در تبدیل انرژی بیوشیمیایی ذخیره در مواد آلی پسماندها به الکتریسته کاربرد دارند، لذا با ایجاد یک اختلاف پتانسیل بین آند و کاتد می‌توان در نمکزدایی از آن‌ها استفاده کرد.

فرآیند نمکزدایی میکروبی، با استفاده از واکنش‌های الکتروشیمیایی زیستی انجام می‌شود، جایی که در آن اکسیداسیون ترکیبات آلی در آند باعث تأمین الکترون و پروتون و درنهایت احیای اکسیژن در کاتد می‌شود. از این واکنش در اثر ایجاد جریان الکترون بین دو الکترود، برق تولید می‌شود. یک غشای تبادل آنیونی (AEM[58]) مابین محفظهٔ آب‌شور و محفظهٔ آندی

[56] Microbial Desalination Cells
[57] Brackish water
[58] Anion Exchange Membrane

و یک غشای تبادل کاتیونی(CEM[59]) مابین محفظهٔ آب‌شور و محفظهٔ کاتدی تعبیه شده است. عملکرد پروسه MDC با اضافه کردن آب‌شور در محفظه میانی آغاز می‌شود. به‌طورمعمول، باکتری‌ها بر روی آند تعبیه می‌شوند. این باکتری‌ها با افزودن مواد آلی، زنده مانده و تکثیر می‌شوند. از طریق یک واکنش بیوشیمیایی زیستی، باکتری‌ها پروتون‌ها را به داخل آب آزاد می‌کنند. این پروتون‌ها قادر به حرکت به‌سوی کاتد نیستند چراکه آن‌ها نمی‌توانند از طریق غشای تبادل آنیونی نفوذ کنند. بنابراین به‌منظور حفظ تعادل در محفظه آندی، آنیون‌ها مانند – Cl و -SO4 2 از محفظهٔ نمکزدایی به‌طرف محفظهٔ آندی جریان می‌یابند. در طرف کاتد، پروتون‌ها از آب حذف‌شده و جهت حفظ تعادل بار الکتریکی، کاتیون‌ها مانند + Na و +Ca2 از محفظهٔ نمکزدایی به محفظهٔ کاتدی منتقل می‌شوند.



(ب) (الف)

الف) شماتیک سیستم MDC سه محفظه‌ای، ب) نمای واقعی یک واحد MDC

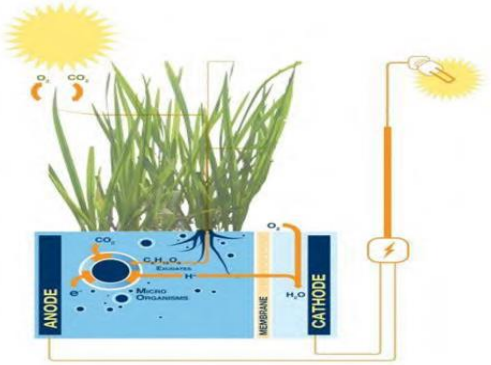
ازآنجاکه دانش‌پایه برای MDCs هنوز به طور وسیع گسترش نیافته، تحقیقات زیادی در این زمینه موردنیاز می‌باشد. مطالعات مختلف، کارایی استفاده از میکروارگانیسم‌های مختلف را برای حذف نمک از آب نشان می‌دهند. تحقیقات در مورد استفاده از برخی گونه‌های جلبکی برای نمکزدایی آب دریا، با نتایج امیدوارکننده همراه بوده است. در سال‌های اخیر، استفاده از میکروجلبک‌ها در سیستم‌های بیوالکتروشیمیایی به علت توانایی آن‌ها در تولید اکسیژن و نیز قابلیت استفاده از آن‌ها در تولید سوخت زیستی (بیودیزل)، بسیار مورد توجه واقع شده است.

[59] Cathion Exchange Membrane

❖ پیل‌های سوختی میکروبی–گیاهی

پیل سوختی میکروبی–گیاهی (PMFC[60]) اجزایی همانند پیل سوختی میکروبی دارد و عملکرد آن نیز دقیقاً مانند عملکرد پیل سوختی میکروبی می‌باشد؛ یعنی سوبسترا و مواد آلی به‌وسیله میکروارگانیسم‌ها تجزیه شده و با تجزیهٔ آن‌ها به وسیلهٔ باکتری‌های اگزوالکتروژنیک[61] ، الکترون تولید می‌شود که با طراحی و ساخت یک مدار خارجی می توان از شار الکترونی، انرژی الکتریسیته تولید کرد.

تفاوت این سیستم با سیستم پیل سوختی میکروبی در منبع تأمین کننده سوبسترا یا همان ترکیبات کربن‌دار آلی می‌باشد. در پیل سوختی میکروبی باید سوبسترا را به عنوان سوخت به نیم پیل آندی اضافه کرد تا در اختیار میکروارگانیسم‌ها قرار گیرد، ولی در پیل سوختی میکروبی–گیاهی منبع تولیدکننده هیدروکربن گیاه زنده‌ای است که در نیم پیل آندی کاشته شده است و به‌وسیله فعل‌وانفعالات فتوسنتزی که هر گیاه انجام می‌دهد، مقداری از هیدروکربن ساخته‌شده در اندام‌های فتوسنتزکننده را از طریق ریشه به محیط کشت خود می‌دهد. اگر محیط کشت کنترل‌شده‌ای همچون پیل سوختی میکروبی در اطراف ریشه طراحی و ساخته شود، این هیدروکربن‌ها به‌وسیله میکروارگانیسم‌ها تجزیه شده و تولید الکتریسیته می‌کنند.



اجزای پیل سوختی میکروبی–گیاهی

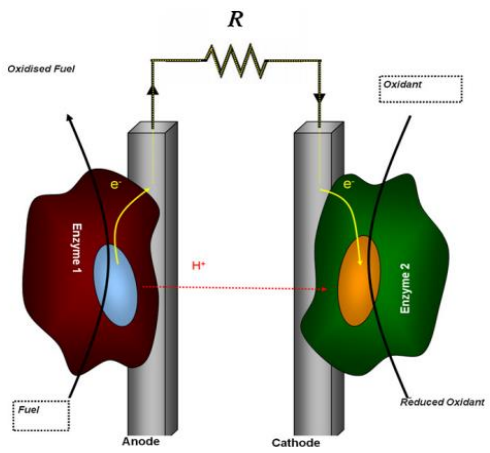
اگرچه برق تولیدی پیل‌های سوختی میکروبی–گیاهی در حال حاضر تنها ۰/۴ وات به ازاء هر مترمربع از مساحت زیر کاشت گیاه می‌باشد، لکن محققان ادعا می‌کنند که در آینده می‌توان این مقدار را تا ۳/۲ وات در هر مترمربع افزایش داد. این تکنولوژی یک جریان مستقیم ولتاژ پایین تولید می‌کند که می‌تواند به طور مستقیم برای شارژ باتری‌ها و ال‌ای‌دی‌ها استفاده شود. محققان ادعا می‌کنند که پیل‌های سوختی میکروبی–گیاهی در حال حاضر در رقابت‌پذیری اقتصادی با پنل‌های خورشیدی در مناطق دورافتاده می‌باشند. تالاب‌های طبیعی یک منبع برق جدید به شمار می‌آیند که پیل‌های سوختی میکروبی–گیاهی بدون حفاری گستردهٔ خاک می‌توانند در آن‌ها کاربرد داشته باشند. پیل‌های سوختی میکروبی–گیاهی

[60] Plant-Microbial Fuel Cell
[61] Exoelectrogenic Bacteria

همچنین می‌توانند در شالیزارها استفاده شده و تولید همزمان غذا و برق را انجام دهند. با این حال، این تکنولوژی همچنان نیاز به بهبود دارد و محققان در حال یافتن راه‌هایی برای محدود کردن مقدار مواد استفاده شده توسط الکترودها هستند.

❖ پیل‌های سوختی زیستی –آنزیمی

پیل‌های سوختی به کاتالیزورهای فلزی غیرانتخابی نظیر پلاتین و آلیاژهای آن برای تأثیرگذاری روی اکسیداسیون سوبسترا و فرآیندهای اکسایش–کاهش متکی هستند. اخیراً تمایل به جایگزینی کاتالیزورهای فلزی غیرانتخابی که در حال حاضر در پیل‌های سوختی با دمای پایین استفاده می‌شوند، با آنزیم به عنوان کاتالیزور، ایجاد شده است. پیل سوختی زیستی بر پایه آنزیم، سیستمی است که با استفاده از زیست‌سوخت‌هایی مانند گلوکز، فروکتوز، اتانول، و روغن الکتریسیته تولید می‌کند. پیل‌های سوختی زیستی– آنزیمی (EFC[62]) می‌توانند به عنوان منبع انرژی برای حسگرهای با توان کم، ابزارهای ارتباطی، و ایمپلنت‌های پزشکی استفاده شوند. هر چند که کاربرد عملی این پیل‌ها به دلیل طول عمر کوتاه ناشی از پایداری ضعیف آنزیم و نیز چگالی توان کم پیل، محدود شده است.



شماتیکی از پیل سوختی زیستی–آنزیمی

در آند یک پیل سوختی زیستی– آنزیمی، می توان از آنزیم‌های مختلفی همچون گلوکزاکسیداز، آلدهیددهیدروژناز و الکل دهیدروژناز برای اکسیداسیون سوخت‌ها استفاده نمود که منجر به تولید پروتون و الکترون می‌شود .در کاتد، از لاکتاز یا بیلی روبین اکسیداز برای کاتالیزکردن واکنش یک اکسنده (معمولا اکسیژن) با این الکترون‌ها و پروتون‌ها و تشکیل آب استفاده می‌شود .

مزیت مهم استفاده از آنزیم، امکان حذف غشای تبادل پروتون است که به علت اختصاصی بودن آنزیم ها نسبت به سوبسترا حاصل می‌شود و می‌تواند منجر به کوچک سازی پیل سوختی زیستی–آنزیمی شود. در یک پیل سوختی زیستی متداول، حذف غشا منجر به اکسیداسیون بی فایده سوخت بدون تولید الکتریسیته می‌شود.

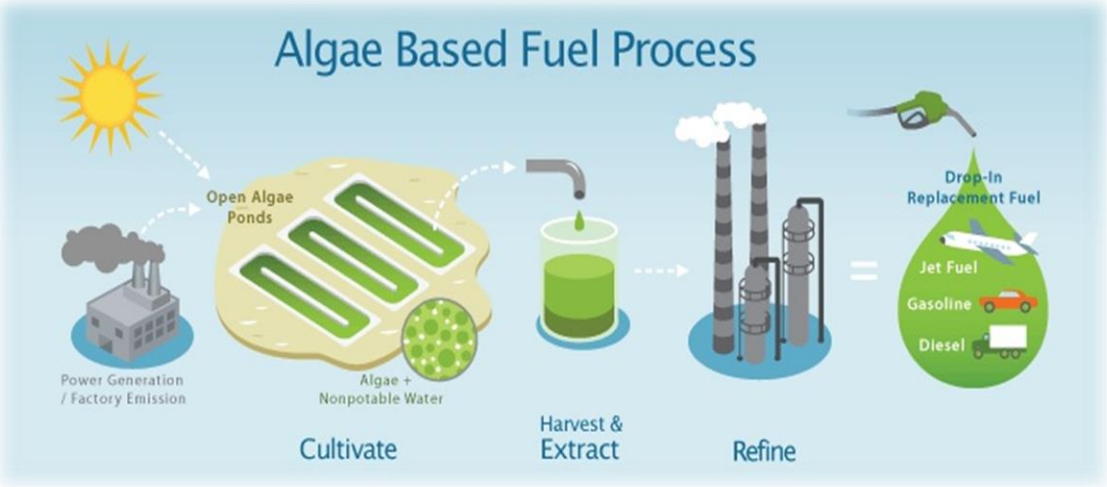
منبع :

- Logan, B. E., 2007. Microbila Fuel Cell. John Wiley & Sons.
- Saeed, H. M., Husseini, G. A., Yousef, S., Saif, J., Al-Asheh, S., Abu Fara, A., Azzam, S., Khawaga, R., Aidan, A., 2015. Microbial desalination cell technology: A review and a case study. Desalination, 359:1–13.
- Wang, L., Wu, X., Qi-wen Su, B.S., Song, R., Zhang, J., Zhu, J., 2021. Enzymatic Biofuel Cell: Opportunities and Intrinsic Challenges in Futuristic Applications. Advanced Energy and Sustainabilty Research, 2:2100031.

[62] Enzymatic Fuel Cell

تحولات فناورانه

جلبک‌ها و نقش آن‌ها در آینده انرژی



هرچند در گذشته روی آوردن به انرژی‌های نو با افزایش قیمت سوخت‌های فسیلی نمایان می‌شد، اما امروزه جنبش دست‌یابی به انرژی‌های تجدیدپذیر جایگزین با آینده‌نگری نسبت به روند کاهش چشمگیر میزان ذخایر موجود انرژی و مشکلات زیست محیطی، یک ضرورت بشمار می‌رود. منابعی می‌توانند به عنوان انرژی جایگزین سوخت فسیلی مطرح شوند که هم منابعی ارزان‌قیمت و در دسترس بوده و هم سازگار با محیطزیست باشند. مشکلاتی مانند آلودگی محیطزیست، به هم خوردن شرایط و تعادل اکولوژیک و محدود بودن ذخایر سوخت فسیلی موجب شده است تا این نوع انرژی بیش‌ازپیش مورد توجه قرارگرفته و بیشتر کشورها بازار مصرف انرژی خود را به سمت استفاده از این نوع سوخت‌ها سوق دهند.

تحقیقات روی تولید سوخت از ریزجلبک‌ها از ۱۳۰ سال پیش با آشکار شدن قابلیت آن‌ها در تولید ترکیبات شیمیایی واسطه و هیدروکربن‌هایی که پتانسیل استفاده به عنوان سوخت را دارند آغاز شد. ترکیبات عمدهٔ قابل استخراج از زیست‌توده جلبکی شامل لیپیدها، کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها هستند که همه‌ی این ترکیبات را می‌توان به سوخت تبدیل کرد. اما چون لیپیدها محتوای انرژی بالایی دارند، تحقیقات وسیعی در زمینه غربال‌گری گونه‌های جلبکی جهت تولید ترکیبات مطلوب با تمرکز بر روی میزان محصول‌دهی لیپیدی و متعاقبا استریفیکاسیون لیپیدها آغاز گردید.

❖ مزایای ریزجلبک‌ها به عنوان مواد اولیهٔ تولید سوخت زیستی

ریزجلبک‌ها مزایای زیادی نسبت به محصولات کشاورزی متداول به عنوان مواد اولیه تولید سوخت زیستی دارند. اول اینکه ریزجلبک‌ها جهت کشت و تکثیر به زمین کشاورزی نیاز نداشته و ارگانیسم‌هایی بسیار ساده و اولیه دارند. آن‌ها قادر به حیات در شرایط آبی اکولوژیک مختلف نظیر آب‌شیرین، آب شور (شوری کمتر از ٪۳/۵)، آب دریا (شوری ٪۳/۵) و آب بسیار شور (شوری بالاتر از ٪۳/۵) و نیز در محیط‌هایی با گسترهٔ دمایی (°C ۴۰–۱۰) و pH نسبتا وسیع (۱۰–۳) هستند. این گسترهٔ وسیع تحمل ریزجلبک‌ها در انواع محیط‌ها، منجر به عدم نیاز به شرایط استریل می‌شود و در نتیجه به تسهیل در کشت ریزجلبک‌ها جهت تولید صنعتی سوخت زیستی منتهی می‌شود.

دوم اینکه ریزجلبک‌ها انرژی خورشیدی را با راندمان بالایی جذب و آن را تبدیل می‌کنند. آن‌ها قادر به تبدیل فتوسنتزی بیش از ٪۱۵ از تشعشع خورشیدی دردسترس، یا تقریباً ٪۶ از کل نور تابشی به داخل زیست‌توده هستند. درحالی‌که نیشکر (پرمحصول‌ترین گیاه کشاورزی روی کره زمین) در شرایط یکسان تنها قادر به تبدیل فتوسنتزی با راندمانی بین ۳/۵ تا ۴ درصد است. توانایی بالا در تبدیل انرژی خورشیدی منجر به مشارکت ۵۰ درصدی ریزجلبک‌ها در تثبیت کربن جهانی شده است، این درحالیست که ریزجلبک‌ها تنها ۰/۲ درصد از زیست‌توده فتوسنتزی جهان را به خود اختصاص داده‌اند.

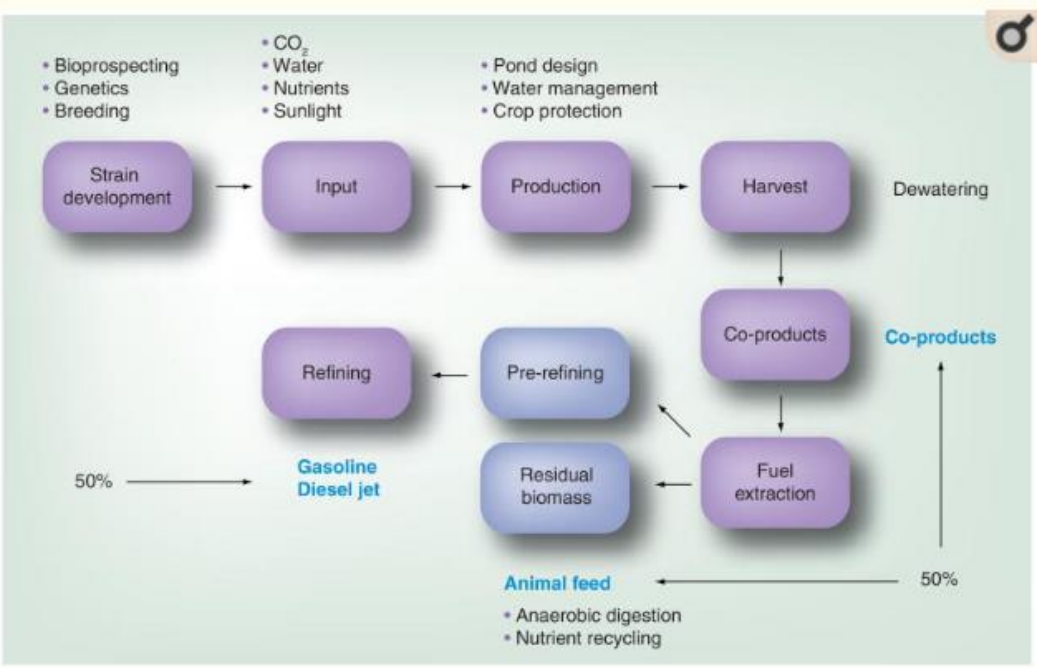
در نهایت، ریزجلبک‌ها دارای محصول‌دهی روغن بسیار بالایی در هر هکتار نسبت به دانه‌های روغنی هستند. علت این مزیت این است که سلول ریزجلبک‌ها یک کارخانهٔ تولید لیپید ۳۰ میکرونی است، در حالی که محصولات کشاورزی تنها قادر به تولید روغن به اندازه گنجایش دانه‌هایشان هستند.

❖ محدودیت‌های استفاده از جلبک‌ها به عنوان ماده اولیه درتولید سوخت زیستی

سوخت‌های جلبکی اگرچه می‌توانند به عنوان جایگزینی برای سوخت‌های فسیلی مطرح باشند، لکن این فناوری قبل از اینکه بتواند در بازار سوخت وارد رقابت شود و توسعه یابد، باید بر برخی مشکلات فائق آید. این چالش‌ها شامل شناسایی سویهٔ مناسب و ارتقای آن هم به لحاظ بهره‌وری میزان چربی و هم به لحاظ حفظ زیست‌توده، تخصیص منابع و استفاده از مواد مغذی، و تولید محصولات جانبی برای توجیه‌پذیری اقتصادی کل سیستم می‌باشد.

همان‌گونه که پیش‌تر نیز اشاره شد، نرخ رشد بالا، تولید زیست‌تودهٔ قابل‌قبول و محتوای چربی بالا، از جمله دلایل مورد استناد برای سرمایه‌گذاری در جهت تبدیل جلبک به سوخت زیستی می‌باشد. لکن برای اینکه این فناوری بتواند به لحاظ دوام اقتصادی در تقابل با نفت به بلوغ کافی برسد و به‌تبع آن تولید CO_2 کاهش یابد، باید بر برخی موانع و چالش‌های موجود فائق آید. از جمله این موانع و چالش‌ها می‌توان به مکان و چگونگی کشت جلبک، بهبود فرآیند استخراج چربی و فرآوری سوخت اشاره کرد. زنجیرهٔ تولید سوخت‌های زیستی جلبکی در شکل زیر ارائه‌شده است که نشان می‌دهد چالش‌های اصلی

در این فناوری شامل جداسازی سویه‌های مناسب، تأمین مواد مغذی و منابع اولیه، مدیریت تولید، برداشت، توسعه محصولات جانبی، استخراج سوخت، پالایش و بهره‌برداری از زیست‌تودهٔ باقیمانده می‌باشد .

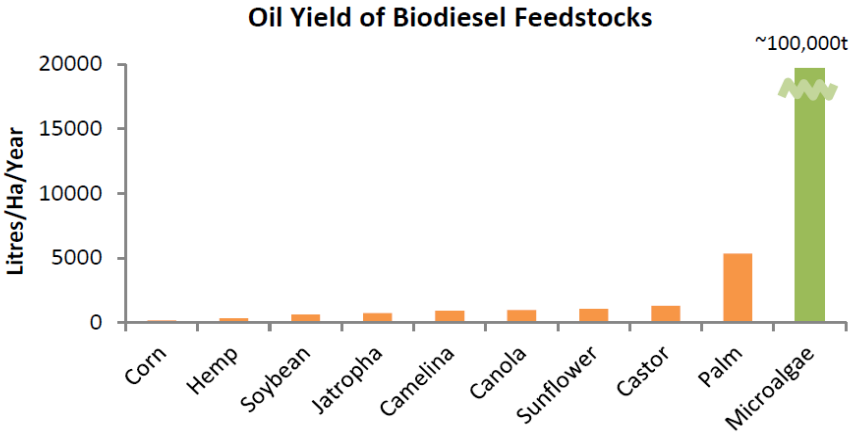


زنجیره تولید سوخت‌های زیستی جلبکی

❖ تولید انواع سوخت با استفاده از جلبک‌ها:

بیودیزل

تولید بیودیزل مطالعه شده‌ترین تکنولوژی در مسیر استفاده از لیپیدهای جلبکی است. گونه‌های جلبکی متعددی، به‌خصوص آن‌هایی که متعلق به جنس‌های Botryococcus, Chlorella, Nannochloropsis, Neochloris Nitzschia, Scenedesmus, و Dunaliella می‌باشند، قادرند در شرایط بهینه کشت، مقادیر زیادی لیپید تولید کنند. بیودیزل جلبکی همیشه با استفاده از لیپیدهای خنثی تولید می‌شود. اسیدهای چرب تری‌آسیل‌گلیسرول‌ها طی فرایند ترانس–استریفیکاسیون به متانول تبدیل می‌شوند تا سوخت دیزلی تولید شود که دارای گرانروی کمتری نسبت به تری‌آسیل‌گلیسرول‌ها است. البته، نمی‌توان از جلبک‌های غیر فتوسنتزکننده مانند Schizochytrium برای تولید سوخت به شکل سازگار با محیط‌زیست استفاده کرد؛ هرچند ممکن است کشت این جلبک‌ها حاوی غلظت حجمی بالایی از لیپیدها باشد. جلبک‌های دارای لیپید فراوان، معمولا تک‌سلولی هستند.



مقایسه حجم بیودیزل تولیدشده توسط جلبک و دیگر منابع

بیواتانول

پس از برداشت جلبک و استخراج محصولات قابل‌فروش، تودهٔ زیستی باقیمانده می‌تواند به بیواتانول تبدیل شود. تولید بیواتانول مستلزم در اختیار داشتن توده زیستی جلبکی غنی از نشاسته یا هیدرولیز آن است که می‌تواند تحت شرایط بی‌هوازی توسط مخمر تخمیر شود. در گونه‌های جلبکی بسیاری متعلق به جنس‌های Chlorophyta, Rhodophyta, Cryptophyta و Pyrrophyta علاوه بر لیپیدها، نشاسته و پلی‌ساکاریدهای شبه نشاسته‌ای، گروهی دیگر از ترکیبات ذخیره کننده انرژی را تشکیل می‌دهند. به‌علاوه، Chlorococcum و Chlorella vulgaris نیز نرخ تبدیل خوبی را از خود نشان داده‌اند. سیانوباکتر Synechococcus sp. PCC 7002 که در شرایط کمبود نیتروژن کشت داده شده، ممکن است تا ۶۰٪ وزن خشک خود حاوی کربوهیدرات‌های قابل تخمیر باشد .هرچند ممکن است راندمان کم تولید بی‌هوازی اتانول با استفاده از مخمر، مانعی برای تولید انبوه این سوخت به این روش باشد.

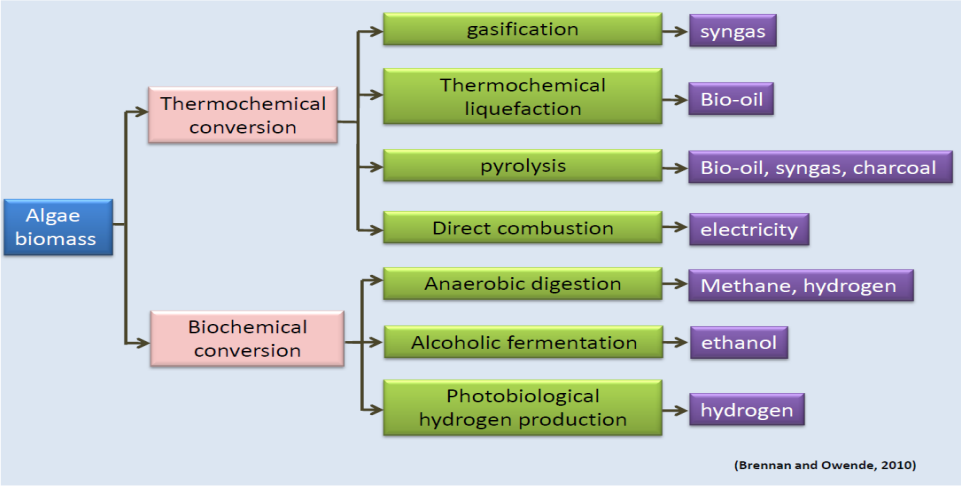
بیوگاز

اکثر انواع توده‌های زیستی تَر می‌توانند در شرایط بی‌هوازی، هضم و به بیوگاز تبدیل شوند و تودهٔ زیستی جلبکی/سیانوباکتریایی نیز از این قاعده مستثنی نیست. بیوگاز مخلوطی از CO_2 و CH_4 است و ترکیبی از انواع باکتری‌ها و آرکی‌ها برای مراحل مختلف هضم تودهٔ زیستی و تولید متان مورد نیاز می‌باشد. قابلیت هضم شدن، پیش‌تصفیهٔ مورد نیاز و راندمان تولید بیوگاز به نوع گونهٔ مورد استفاده و دیگر خصوصیات تودهٔ زیستی بستگی دارد. تولید تودهٔ زیستی تنها برای تولید بیوگاز مقرون به صرفه نیست، اما پس از استخراج محصولات باارزش، می‌توان از تودهٔ زیستی باقیمانده برای هضم بی‌هوازی استفاده کرد. یک مزیت استفاده از تودهٔ زیستی برای هضم بی‌هوازی نسبت به سوزاندن آن به منظور تولید گرما، عدم نیاز به

خشک کردن تودۀ زیستی جلبکی می‌باشد. بیوگاز نیز مانند بیودیزل یک فراورده کم ارزش است اما تولید بیوگاز از تودۀ زیستی جلبکی از نظر تکنیکی بسیار ساده‌تر از فرایند استخراج روغن و ترانس–استریفیکاسیون اسیدهای چرب است. به علاوه، باقیماندۀ جامد فرایند هضم بی‌هوازی به علت مقادیر بالای آمونیوم، پتاسیم، فسفات و دیگر مواد مغذی معدنی می‌تواند برای تولید کود استفاده شود. منشأ مواد هضم شده بسیار مهم می‌باشد، چراکه محتوای فلزات سنگین آن ممکن است مانع استفاده از آن برای تولید کود برای گیاهان خوراکی شود. همچنین، منطقی به نظر می‌رسد که می‌توان از قسمت مایع مواد هضم شده به عنوان تأمین کنندۀ مواد مغذی برای کشت جلبک‌ها استفاده کرد. نشان داده شده است که مایع حاصل از هضم بی‌هوازی لجن زیستی صنایع تولید پالپ و کاغذ به صورت رقیق شده برای رشد جلبک‌ها مفید است.

بیوهیدروژن

هیدروژن، اولین عنصر جدول تناوبی، گازی بی‌بو و بی‌رنگ، و به عنوان فراوان‌ترین گونه در جهان شناخته می‌شود. هیدروژن به طور گسترده در صنایع شیمیایی به کار می‌رود. اما در سال‌های اخیر، استفاده از هیدروژن به عنوان حامل انرژی مطرح گردیده است. هیدروژن، به عنوان یک منبع انرژی، مزایای فراوانی چون محتوای انرژی بالا (انرژی واحد جرم بالا) و عدم انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی را دارد و در پیل سوختی و موتورهای احتراق داخلی، مورد استفاده قرار می‌گیرد. روش‌های مختلف شیمیایی و بیولوژیکی برای تولید هیدروژن وجود دارد اما تنها برخی از این روش‌ها با اصول توسعه پایدار مطابقت دارد. فرایندهای بیولوژیکی تولید هیدروژن به کمک میکروارگانیسم‌هایی چون میکروجلبک سبز و... انجام می‌شود. تولید هیدروژن به روش فتوسنتز با استفاده از میکروجلبک‌ها شامل بیوفتولیز مستقیم (تولید فتوسنتزی هیدروژن به کمک میکروجلبک های سبز) و بیوفتولیز غیرمستقیم (تولید فتوسنتزی هیدروژن توسط سیانوباکتری‌ها) می‌باشد.



انواع سوخت قابل استحصال از جلبک‌ها

❖ آیندهٔ جلبک در تأمین انرژی

در طی ۵۰ سال گذشته، جمعیت جهان افزایش قابل‌توجهی داشته است. این مسئله همراه با بالارفتن استاندارد زندگی و بازده اقتصادی رو به رشد، سبب افزایش قابل توجه در مصرف انرژی به ویژه انرژی حاصل از سوخت‌های فسیلی شده است. این مقدار رشد شامل افزایش مصرف تمامی سوخت‌های فسیلی مانند نفت، گاز طبیعی و زغال سنگ بوده است. انتظار می‌رود که روند افزایش مصرف انرژی با افزایش جمعیت جهان به ۸/۵ میلیارد نفر تا سال ۲۰۳۰، ادامه یابد. چنین افزایشی فشار زیادی را بر منابع محدود انرژی‌های فسیلی تحمیل خواهد کرد و سبب تشدید ملاحظات جهانی به مسأله امنیت انرژی و تأثیرات زیست محیطی سوخت‌های فسیلی نظیر تغییرات اقلیم و افزایش قیمت انرژی، خواهد شد. تمامی این ملاحظات و نگرانی‌ها، نیاز به توسعهٔ منابع جایگزین و تجدیدپذیر انرژی را بیش از پیش ضروری می‌سازد.

محتوای انرژی بالا و سهولت در جابجایی و ذخیرهٔ سوخت‌های نفتی مایع، جایگزینی آنها با منابع تجدیدپذیر انرژی را دشوار می‌سازد. یک راه‌حل بالقوه برای جایگزینی سوخت‌های حمل‌ونقل مایع با ویژگی‌های منحصربه‌فردشان، استفاده از منابع مشابهی است که سوخت‌های نفتی فسیلی برای ما فراهم کردند: "میکروارگانیسم‌های فتوسنتزکنندهٔ مولد نفت زیستی".

جانداران فتوسنتزکننده نظیر گیاهان، جلبک‌ها و سیانوباکتری‌ها می‌توانند با استفاده از نور خورشید و دی‌اکسیدکربن، انواع مولکول‌های آلی علی‌الخصوص کربوهیدرات‌ها و لیپیدها را تولید کنند. این مولکول‌های زیستی می‌توانند به عنوان منبع سوخت زیستی مورد استفاده قرار گیرند. ارزش سوخت‌های زیستی برای تامین انرژی مورد نیاز آینده، به خصوص در بخش حمل‌ونقل، به اندازه‌ای است که در سیاست‌گذاری‌های دولت‌ها در سال‌های آینده نقش مهمی ایفا خواهد کرد. به‌عنوان‌مثال برنامهٔ "استاندارد سوخت‌های تجدیدپذیر[۶۳]" در امریکا مأموریت داشته تا سال ۲۰۲۲، ۳۶ بیلیون گالن سوخت زیستی برای جایگزینی سوخت‌های حمل‌ونقل، تولید کند.

دو مورد از متعارف‌ترین سوخت‌های زیستی که در حال حاضر تولید می‌شوند، اتانول تولیدی از ذرت یا نیشکر و بیودیزل تولیدی از انواع محصولات روغنی نظیر دانهٔ سویا و روغن نخل می‌باشد. تولید اتانول در آمریکا بین سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸، ۲۵٪ رشد داشته است که این رشد به خاطر استفاده از آن به عنوان افزودنی به گازوئیل، احکام فدرال و معافیت‌های مالیاتی بوده است. اختصاص مقادیر بالای محصول ذرت امریکا به تولید سوخت زیستی، می‌تواند اثرات مخربی بر تامین مواد غذایی در سرتاسر جهان داشته باشد و این درحالی است که ۱.۰۲ بیلیون انسان از کمبود مواد غذایی رنج می‌برند. چنین رقابتی بین سوخت و غذا و نیز محدودیت‌های زیست‌محیطی مربوط به تولید اتانول از ذرت، سبب شد تا سیاست‌گذاران، منابع غیرنشاسته‌ای را برای تولید بخش قابل‌توجهی از سوخت‌های زیستی (۲۱ بیلیون گالن)، اختصاص دهند. یکی از این سوخت‌های زیستی می‌تواند اتانول حاصل از نیشکر باشد. اگرچه قیمت تولید اتانول تولیدشده از نیشکر ۲۴٪ کمتر از اتانول

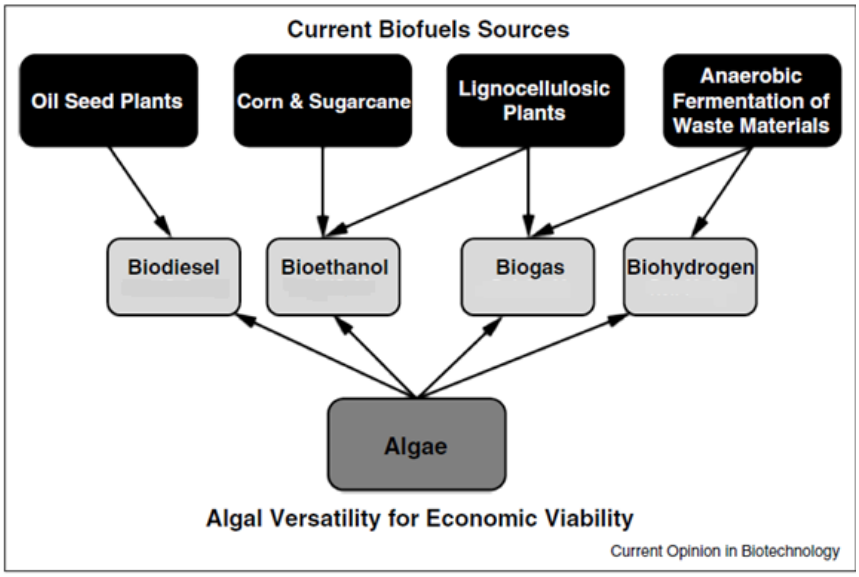
[63] Renewable Fuels Standard (RFS)

حاصل از ذرت است، لکن هزینه‌های حمل‌ونقل و فروش محصولات جانبی مربوط به اتانول ذرتی، سبب می‌شود تا اتانول حاصل از نیشکر ۱۷٪ گران‌تر باشد. بنابراین اتانول حاصل از نیشکر نیز کاندید مناسبی برای جایگزینی مقادیر زیاد سوخت‌های فسیلی نمی‌باشد.

قیمت بالای اتانول حاصل از نیشکر و رقابت غذایی اتانول حاصل از ذرت، باعث ایجاد شکاف عمیقی بین میزان فعلی تولید اتانول و میزان سوخت مورد نیاز برای تضمین اجرای برنامهٔ "استاندارد سوخت‌های تجدیدپذیر" شده است. برای غلبه بر محدویت‌های منابع قندی و نشاسته‌ای، مواد لیگنوسلولزی به عنوان منابع تولید اتانول، توسعه یافته‌اند. تحقیقات اخیر به این امر که چگونه ساختار بیوشیمیایی مواد لیگنوسلوزی (عمدتا نسبت میان میزان سلولز، همی‌سلولز و لیگنین) بر راندمان تولید اتانول اثر می‌گذارد، متمرکز شده‌اند. همچنین مطالعات زیادی در مورد روش‌های کاهش هزینهٔ آنزیم‌ها و پیش‌فراورش‌های مورد نیاز برای رهاشدن ترکیبات قندی قابل تخمیر، انجام شده است. در حال حاضر، هیچ واحد تجاری برای تولید اتانول سلولزی موجود نیست که این امر به علت قیمت بالای تولید (تقریبا دو برابر اتانول حاصل از ذرت) می‌باشد.

جایگزینی سوخت‌های حمل‌ونقل با سوخت‌های زیستی فقط مختص به اتانول نیست. گیاهان حاوی دانه‌های روغنی نظیر سویا، کلزا و روغن پالم، می‌توانند برای تولید بیودیزل مورد استفاده قرار گیرند. لکن این محصولات روغنی نیز کاربرد غذایی دارند و بنابراین استفاده از آن‌ها به عنوان سوخت بر تامین مواد غذایی اثرگذار خواهد بود. منبع دیگری برای تولید بیودیزل که اخیرا مورد توجه قرار گرفته است، جاتروفا می‌باشد. جاتروفا درختی کوچک و مقاوم به خشکی است که دانه‌هایی حاوی ۲۰–۴۰ ٪ روغن غیرخوراکی تولید می‌کند، بنابراین در رقابت با محصولات غذایی و زمین‌های کشاورزی نمی‌باشد. اگرچه هنوز گونهٔ توسعه‌یافته‌ای از این گیاه (به لحاظ زراعی) برای تولید بیودیزل موجود نیست، لکن تحقیقات اخیر بر استفاده از روش‌های نوین نظیر شناسایی صفات ارزشمند این گیاه در جهت استفاده از آن به عنوان منبع انرژی، تمرکز دارند.

در سال‌های اخیر، جلبک‌ها هم در عرصهٔ آکادمیک و هم در عرصهٔ تجاری، برای تولید سوخت زیستی مورد توجه بوده‌اند. این موجودات فتوسنتزکننده مقادیر زیادی زیست‌توده و روغن تولید می‌کنند، می‌توانند با منابع آبی نامتعارف نظیر پساب‌ها و آب‌های شور کشت داده شوند، می‌توانند در زمین‌های غیرزراعی رشد کنند، با منابع غذایی متداول در رقابت نیستند و در مصرف آب و موادمغذی بسیار به صرفه عمل می‌کنند. لکن مزیت اصلی این جانداران میکروسکوپی، تطبیق‌پذیری آن‌هاست. جلبک‌ها توانایی تحمل و تطبیق با انواع شرایط محیطی را دارا می‌باشند و همچنین می‌توانند انواع گوناگونی از سوخت‌های زیستی را تولید کنند .



توانایی تطابق‌پذیری جلبک‌ها برای تولید انواع سوخت زیستی

اگرچه سوخت‌های جلبکی هنوز تجاری نشده‌اند، ولی چشم‌انداز تجاری امیدوارکننده‌ای دارند. ده‌ها شرکت نوپا (استارت آپ) در تلاش برای تجاری‌سازی سوخت‌های جلبکی می‌باشند. با وجود انتخاب‌های متعدد، نفت خام جلبکی درآینده یکی از منابع مهم انرژی خواهد بود. نفت جلبکی می‌تواند به دیزل، گازوئیل و سوخت جت تبدیل شود و یک منبع تجدیدپذیر برای ساخت پلاستیک‌ها و مواد شیمیایی دیگری باشد که در حال حاضر با تحمیل هزینه‌های سنگین زیست محیطی از نفت به‌دست می‌آیند. جایگزینی سوخت‌های با منشاء فسیلی در بخش حمل‌ونقل با سوخت‌های جلبکی، می‌تواند به کاهش تقریبا ۳۰ درصدی CO_2 در ایالات متحده امریکا منجر شود.

برخی شرکت‌های نوپا که در تلاش برای تجاری‌سازی سوخت‌های جلبکی می‌باشند

Company	Location	Web site
Algenol Biofuels	Bonita Springs, FL, USA	www.algenolbiofuels.com
Aquaflow	Nelson, New Zealand	www.aquaflowgroup.com
Aurora Algae, Inc.	Hayward, CA, USA	www.aurorainc.com
Bioalgene	Seattle, WA, USA	www.bioalgene.com
Bionavitas, Inc.	Redmond, WA, USA	www.bionavitas.com
Bodega Algae, LLC	Boston, MA, USA	www.bodegaalgae.com
LiveFuels, Inc.	San Carlos, CA, USA	www.livefuels.com
PetroAlgae Inc.	Melbourne, FL, USA	www.petroalgae.com
Phyco Biosciences	Chandler, AZ, USA	www.phyco.net
Sapphire Energy, Inc.	San Diego, CA, USA	www.sapphireenergy.com
Seambiotic Ltd.	Tel Aviv, Israel	www.seambiotic.com
Solazyme, Inc.	South San Francisco, CA, USA	www.solazyme.com
Solix Biofuels, Inc.	Fort Collins, CO, USA	www.solixbiofuels.com
Synthetic Genomics Inc.	La Jolla, CA, USA	www.syntheticgenomics.com

دانش فنی تولید سوخت‌های مایع از جلبک کسب‌شده است، لکن این سوخت‌ها در مقایسه با سوخت‌های نفتی گران هستند. یک مانع مهم در تولید سوخت‌های جلبکی، نوسانات زیاد و غیرقابل‌پیش‌بینی قیمت نفت است. در صورت فروش هر بشکه نفت خام به قیمتی برابر یا بیشتر از ۱۰۰ دلار، تولید نفت جلبکی می‌تواند به لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر باشد.

توجه به سوخت‌های جلبکی، جهانی است و دولت‌های پیشرفته و اقتصادهای نوظهور، هر دو به این مقوله علاقه‌مند می‌باشند. مقالات متعددی به این موضوع پرداخته‌اند و نویسندگانی از کشورها و قاره‌های مختلف در انتشار این مقالات نقش داشته‌اند. در این میان بیشترین سهم مربوط به ایالات متحده امریکا با حدود ۲۲٪ مشارکت می‌باشد و نویسندگان چینی با سهمی حدود ۱۵٪ در رتبهٔ دوم قرار دارند. مقالات تصویر پیچیده‌ای از آیندهٔ سوخت‌های جلبکی را به تصویر می‌کشند. از دیدگاه منفی، نیاز به منابع مورد نیاز برای تولید سوخت‌های جلبکی یک عامل محدودکننده است و میزان انرژی تولید شده نیز می‌تواند سوال‌برانگیز باشد. لکن از دیدگاه مثبت، تولید نفت جلبکی می‌تواند پایدار، تجدیدپذیر و مقرون به صرفه باشد. به لحاظ ارزیابی چرخهٔ حیات، سوخت‌های جلبکی ممکن است بهتر از سوخت‌های فسیلی باشند ولی هنوز پاسخ‌های روشنی در مورد این تکنولوژی در حال ظهور وجود ندارد .

از میان دو روش اصلی کشت جلبک در مقیاس بزرگ، استخرهای روباز در مقایسه با فتوبیوراکتورها، بهره‌وری کمتری دارند. فتوبیوراکتورها به سرمایه اولیهٔ بیشتری نیاز دارند، لکن می‌توانند حداقل در برخی موارد، زیست‌توده‌ای با قیمت تمام شدهٔ کمتر تولید کنند. علاوه بر این، فتوبیوراکتورها دوغاب جلبکی بسیار غلیظ‌تری در مقایسه با استخرهای روباز تولید می‌کنند که این امر متعاقبا سبب کاهش هزینه‌های آبگیری خواهد شد. با استفاده از فتوبیوراکتورهای لوله‌ای می توان زیست توده‌ای با هزینهٔ ۴ یورو به ازای هر کیلوگرم وزن خشک تولید کرد. هزینهٔ واحد تولید زیست‌تودهٔ جلبکی با افزایش مقیاس تولید کاهش خواهد یافت. مطالعات مستقل نتایج مشابهی را در این مورد گزارش کرده‌اند.

در درازمدت، مهندسی ژنتیک تأثیر بزرگی بر امکان‌سنجی سوخت‌های زیستی جلبکی خواهد داشت. بهبود روش‌های جداسازی زیست‌تودهٔ جلبکی از آب و روش‌های استخراج روغن از زیست‌توده، چشم‌انداز تولید روغن جلبکی را ارتقا می‌دهد. به‌عنوان‌مثال از طریق مهندسی ژنتیک، سلول برخی میکروارگانیسم‌های فتوسنتزکننده وادار به تولید روغن برون سلولی می‌شوند و این امر برداشت روغن را تسهیل می‌سازد. استفاده از گونه‌های جلبکی دستکاری‌شده جهت استفاده از ازت مولکولی به جای ازت آلی (در قالب کودهای ازته) نیز قدم رو به جلوی بزرگی خواهد بود، چرا که تولید کودهای ازته به شدت وابسته به نفت است.

تنوع تولید سوخت زیستی از جلبک می‌تواند هم درمورد مشکلات اقتصادی و هم در مورد چالش‌های چرخهٔ حیات در خصوص تولید انرژی‌های تجدیدپذیر، راهگشا باشد. با استخراج بیش از یک نوع سوخت زیستی از زیست‌تودهٔ جلبکی یا تولید محصولات جانبی، ارزش زیست‌توده افزایش می‌یابد. درواقع، مفهوم "پالایشگاه زیستی" برای افزایش تولید اتانول از جلبک همراه با استخراج روغن، می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. این مفهوم همچنین می‌تواند برای تولید بیوگاز همراه با بیوهیدروژن،

مورد استفاده قرار گیرد. پالایشگاه زیستی می‌تواند با تولید یک محصول ارزشمند قبل از تخمیر یا با استفاده از محصولات گازی حاصل از تخمیر برای تولید برق مورد نیاز فرآیند تولید آن محصول ارزشمند همراه باشد. در سناریوی اول، محصول با ارزش افزوده می‌تواند بیوهیدروژن باشد که به طور بیهوازی درست قبل از فرآیند هضم بیهوازی برای تولید بیوگاز، تولید شده است. در سناریوی دوم، برق تولید شده از بیوگاز می‌تواند برای تعدیل انرژی مورد نیاز فرایند هضم بیهوازی جلبک مورد استفاده قرار گیرد. بیوگاز تولید شده می‌تواند برای تامین جریان دی‌اکسیدکربن مورد نیاز برای رشد جلبک و تولید محصولات جانبی به کار گرفته شود و به فرآیندهای کشت و استخراج روغن برای تولید بیودیزل کمک کند. فارغ از اینکه چه تلفیقی از مفهوم پالایشگاه زیستی انتخاب می شود، دوام اقتصادی و پایداری زیست محیطی تولید سوخت‌های زیستی جلبکی، به استفادهٔ کارآمد و کاملا بهینه از زیست‌تودهٔ جلبکی وابسته است به‌گونه‌ای که حداقل تولید ضایعات و حداکثر بهره‌برداری از تمام اجزای زیست‌تودهٔ جلبکی امکان‌پذیر گردد. علی‌رغم موانع و مشکلات مربوط به تولید تجاری سوخت‌های جلبکی، این جانداران یکی از بهترین گزینه‌های موجود برای تولید انرژی‌های زیستی در آینده خواهند بود. موفقیت سوخت‌های جلبکی در عرصهٔ تجاری وابسته به تحقیقات میان‌رشته‌ای و همکاری بین مهندسین، شیمیدان‌ها، و زیست‌شناسان برای بهبود فرآیندهای رشد، برداشت و پردازش این جانداران جهت تولید پایدار و مؤثر انرژی می‌باشد.

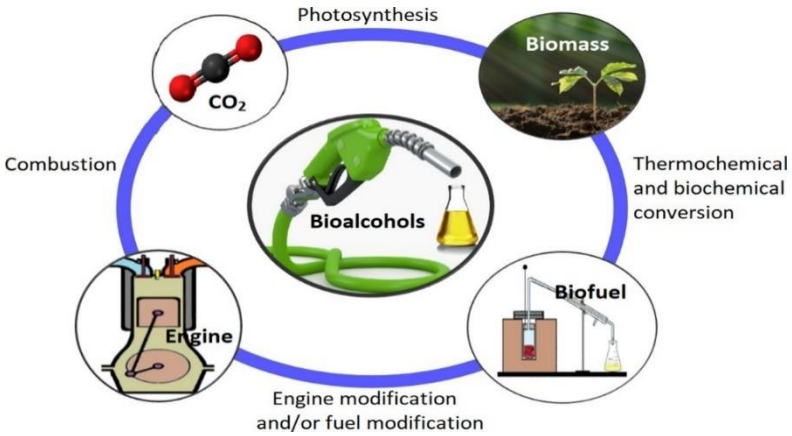
با توجه به آنچه بیان شد می‌توان گفت که سوخت‌های جلبکی مطمئناً در آینده امیدوارکننده خواهند بود. با در نظرگرفتن معضلات زیست محیطی سوخت‌های فسیلی، سوخت‌های جلبکی می‌توانند رقابت‌پذیر شوند. مشکلات مربوط به تغییرات اقلیم نیز می‌تواند ما را وادار سازد تا به سمت استفاده از سوخت‌های جلبکی پیش رویم.

منبع :

- سند ملی نقشه راه صنعت جلبک، به سفارش ستاد توسعه زیست فناوری معاونت علمی و فناوری ریاست جمهوری، مجری: کمیته جلبک.
- Mahmood, T., Nazim, H., Shahbaz, A., Mulla, S., Iqbal, H.M.N., Bilal, M., Sustainable production of biofuels from the algae-derived biomass, Bioprocess and Biosystems Engineering, 2023, 46: 1077-1097.
- Oladapo Martins, A., Ulugbek, A., Alexey, B., Algae biofuel: Current status and future applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2018. 90: 316-335.
- Mehta, A., Mehta, N., Algae biofuel:Futuristic trends in fuel industry. International Research Journal of Engineering and Technology, 2015. 2: 69-72. .

تحولات فناورانه

بیوالکل‌ها، منابع انرژی سبز



بیومتانول، بیواتانول، بیوپروپانول وبیو بوتانول می‌توانند به عنوان سوخت تجدیدپذیر جایگزین بنزین، در موتور وسایل حمل‌ونقل مورد استفاده قرار گیرند. هرچند، کاربرد تنها بیومتانول و بیواتانول در موتورهای احتراق داخلی به لحاظ فنی و اقتصادی ممکن است. سوخت‌های الکلی به‌طورمعمول از روش‌های بیولوژیکی به دست می‌آیند و ازاین‌جهت بیوالکل نام‌گرفته‌اند. بیوالکل‌های تولیدی به روش بیولوژیکی، به طور معمول حاوی مقداری آب هستند و تشکیل مخلوط آزئوتروپیک می‌دهند. بدین ترتیب، خالص‌سازی بیشتر این مخلوطها به روش تقطیر ساده ممکن نخواهد بود.

❖ بیومتانول

متانول الکل ساده‌ای است که به نام الکل چوب شناخته می‌شود و در موتورهای احتراقی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در گذشته و در کشورهایی چون ایالات متحده امریکا، در مواقعی که دسترسی به نفت و بنزین مشکل بود، متانول به عنوان جایگزین این سوخت‌ها به کار می‌رفت. البته از ابتدای سال ۲۰۰۰ میلادی در امریکا، هیچ خودرویی سوخت متانول خالص نمی‌سوزاند و تنها حدود ۱۵۰۰۰ خودرو با سوخت ترکیبی ۸۵ ٪ متانول و ۱۵ ٪ بنزین (در کالیفرنیا و نیویورک) کار می‌کنند.

متانول در مقایسه با بنزین محتوای انرژی پایینی دارد، اما عدد اکتان آن در مقایسه با بنزین بسیار بالا است. روش معمول تولید متانول از منابع زیست توده فرآیند گازی‌سازی است. این واکنش در دماهای بالاتر از ۷۰۰ درجه سانتیگراد و در حضور اکسیژن، منجر به تولید گاز مصنوعی می‌گردد و با عبور گاز مصنوعی از روی کاتالیست مس/ روی/ آلومینیوم، متانول حاصل می‌شود. ماده اولیه برای تولید متانول می‌تواند زیست‌توده، ضایعات جامد، زغال، یا حتی دی‌اکسیدکربن باشد.

❖ بیواتانول

به مخلوط بنزین و بیواتانول، بنزول اطلاق می‌شود. ترکیب درصد مخلوطهای بنزین و بیواتانول درکشورهای مختلف متفاوت است. مخلوط بنزین و بیواتانول تا ترکیب درصد ۹۵ ٪ و ۸۵ ٪ بیواتانول، به ترتیب در کشورهای برزیل و امریکا مورد استفاده قرار می‌گیرد (ترکیب بیواتانول و بنزین با هر نسبتی به راحتی ممکن است، هرچند اختلاط بیواتانولی که حاوی بیش از ۲٪ حجمی آب باشد با بنزین، به صورت کامل ممکن نیست).

احتراق آرام و کامل بنزول نسبت به بنزین خالص، منجر به کاهش انتشار آلاینده‌های زیست محیطی در فرآیند سوختن بنزول می‌گردد. در مقابل، امکان اختلاط بیواتانول و آب وجود دارد و از این جهت، خطر خوردگی باک سوخت وجود دارد . یکی دیگر از معایب بیواتانول، گرمای احتراق پایین آن است که منجر به افزایش ۱۵–۲۵ درصدی حجم سوخت می‌شود.

منابع اولیه برای تولید بیواتانول در سه گروه دسته بندی می‌شوند:

- منابع متشکل از ساکاروز (همچون چغندر قند، نیشکر و سورگوم شیرین)
- مواد نشاسته‌ای (همچون گندم، ذرت و جو)
- منابع زیست توده لیگنوسلولزی (همچون چوب، کاه و انواع علوفه)

بیواتانول تولید شده از مواد قندی و نشاسته‌ای به عنوان سوخت‌های زیستی نسل اول شناخته‌شده و بیواتانول تولیدی از منابع لیگنوسلولزی در زمره سوخت‌های زیستی نسل دوم قرار می‌گیرد. یکی از مشکلات اساسی تولید بیواتانول، میزان دسترسی به مواد خام برای تولید است. حجم در دسترس از منابع اولیه برای تولید بیواتانول از فصلی به فصل دیگر و در مناطق جغرافیایی مختلف، بسیار متفاوت است. قیمت مواد خام نیز نوسان فراوانی دارد و این نوسان بر هزینه تولید بیواتانول تأثیرگذار است. امروزه بیواتانول به طور عمده از نیشکر (از مواد قندی) یا ذرت (از مواد نشاسته ای) تولید می‌شود.

در حالی که بیواتانول از مواد قندی به صورت مستقیم و به کمک مخمر به دست می‌آید، برای تبدیل کربوهیدرات‌هایی چون ذرت (از مواد نشاسته‌ای) به بیواتانول، یک مرحله پیش فراورش برای استخراج مواد قندی لازم است. پیش فراورش نیز با آسیاب خشک یا آسیاب مرطوب صورت می‌گیرد.

در حقیقت، ساختار نشاسته پلیمری است و این پلیمر، تنها از یک نوع مونومر تشکیل‌شده و مونومر مذکور، همان دی گلوکز است. برای تبدیل مواد نشاسته ای پلیمری به بیواتانول، ابتدا می‌بایست حلقه‌های تشکیل‌دهنده پلیمر شکسته شوند. بدین ترتیب، شربت گلوکز به دست می‌آید که به راحتی توسط مخمرها به بیواتانول تبدیل می‌گردد.

تخمیر قند برای تولید بیواتانول، در دو مرحله متوالی صورت می‌گیرد .در ابتدا هیدرولیز ساکاروز موجود توسط آنزیم، به تولید گلوکز و فروکتوز می‌انجامد و سپس گلوکز و فروکتوز حاصل به کمک آنزیم دیگری، به بیواتانول و دی‌اکسیدکربن تبدیل می‌شود.

غلظت بیواتانول حاصل از فرآیند تخمیر کمتر از ۲۰ ٪ است و درصورتی‌که فراریت الکل مورد نظر نسبت به آب بالا باشد، جداسازی به کمک تقطیر ممکن خواهد بود. فرآیند تقطیر، با مصرف حجم بالای انرژی مقدور است و غلظت بیواتانول به کمک آن، به مرز ۹۵/۶٪ یا همان نقطه آزئوتروپ مخلوط آب و بیواتانول می‌رسد. بدین ترتیب برای تغلیظ بیشتر مخلوط مورد نظر، عملیات ویژه‌ای همانند تقطیر آزئوتروپیک، غربال مولکولی و ... به کار می‌رود.

در حالی که تولید سوخت زیستی بیواتانول از مواد قندی و نشاسته‌ای، تهدیدی برای صنعت مواد خوراکی به شمار می‌رود و افزایش قیمت مواد غذایی را به دنبال داشته است، تولید بیواتانول از منابع زیست توده لیگنوسلولزی گزینه مطمئنی برای تأمین تقاضای حال و آینده سوخت‌های زیستی به شمار می‌رود. فرآیند تولید بیواتانول از منابع زیست توده لیگنوسلولزی، شامل مراحل اصلی پیش فراورش، هیدرولیز سلولز، هیدرولیز شبهه سلولز، تخمیر قندهای ۵ و ۶ کربنه، جداسازی پسماندهای لیگنین و بازیابی و تغلیظ بیواتانول می‌باشد.

جلبک‌ها از جمله منابع بالقوه قابل توجه برای تولید سوخت‌های پایدار در آینده به عنوان انرژی‌های تجدیدپذیر هستند. علاوه بر محتوای لیپیدی بالا، برخی از جلبک‌ها از نشاسته و سلولز نیز غنی هستند. با این حال، ترکیب ذخیره کربوهیدراتی به طور عمده بر اساس نوع جلبک‌ها و عادات و زیستگاه‌های مربوط به آن‌ها متفاوت است. ذخیره کربوهیدراتی جلبک را می‌توان به بیواتانول تبدیل کرده و به عنوان یک ماده ترکیبی در بنزین مورد استفاده قرار داد. جلبک‌هایی که حاوی میزان زیادی قند هستند برای تولید بیواتانول مورد استفاده قرار می‌گیرند. هر دو نوع جلبک‌ها (میکرو و ماکرو) منبع مناسبی برای تولید نسل سوم سوخت‌های زیستی هستند. جلبک‌ها به دلیل دارا بودن ذخیره کربوهیدراتی، دیواره سلولی نازک و به دلیل رشد سریع، ابزاری پایدار به لحاظ محیط زیستی و اقتصادی محسوب می‌شوند.

❖ بیوبوتانول

مزیت اصلی بیوبوتانول در مقایسه با بیواتانول، ارزش حرارتی بالای آن است (مشابه گازوئیل) که به سبب زنجیرهٔ بلندتر آن حاصل می‌شود. بوتانول می‌تواند بعد از فرایند تخمیری استن–بوتانول–اتانول (ABE[64]) تولید شود، فرایند تبدیل زیستی که بیش از ۱۵۰ سال است کشف شده و مورد بررسی مستمر می‌باشد. تخمیر ABE توسط کلاستریدویم ساخاروبوتیلیکوم[65] یا سویهٔ جهش‌یافتهٔ کلاستریدیوم استوبوتیلیکوم[66] انجام می‌شود. چالش‌های اساسی نظیر بازدارندگی محصول، غلظت زیاد محصولات جانبی، و نیاز به انرژی زیاد برای تقطیر بیوبوتانول، روند تجاری سازی فرایند را با مشکل مواجه ساخته است. استفاده از رویکردهای بیوشیمیایی برای غلبه بر این چالش‌ها همواره مطرح بوده است. به عنوان مثال اصلاح ژنتیکی E.coli

[64] Acetone-Butanol-Ethanol
[65] Clostrodium Saccharobutylicum
[66] Clostriium Acetobutylicum

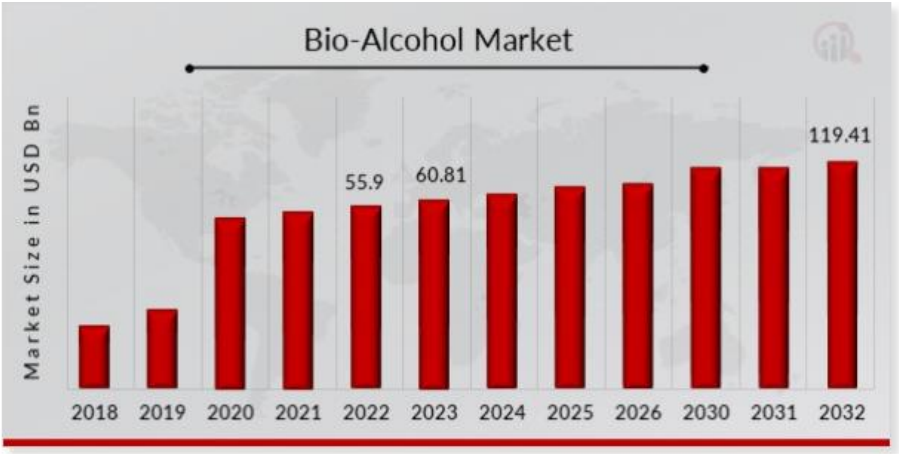
برای تولید بوتانول موفق بوده؛ و استفاده از فرایند تخمیر پیوسته غشایی منجر به تولید محلول ABE با غلظت ۱۲۲/۴ گرم بر لیتر بوتانول شده است.

❖ بیوپروپانول

همانند بیوبوتانول، بیوپروپانول نیز بیوالکل دیگری با ارزش حرارتی بالاست. ایزوپروپانول می‌تواند به پروپیلن تبدیل شود، ماده‌ای که می‌تواند برای استری کردن چربی‌ها و روغن‌ها و تولید بیودیزل مورد استفاده قرار گیرد. ایزوپروپانول می‌تواند توسط گونه‌های کلاستریدیوم یا گونه‌های اصلاح شدهٔ E.coli تولید شود. تولید تجاری ایزوپروپانول از گلوکز مشتق شده از زیست توده بسیار مطلوب است، ولی بیشترین غلظت ایزوپروپانول بدست آمده از تخمیر، ۴/۹ گرم بر لیتر گزارش شده که هنوز در مقایسه با بیواتانول بسیار کمتر است. از این رو، تحقیقات بیشتر برای افزایش راندمان و بازدهی فرایند مورد نیاز است.

❖ بازار جهانی بیوالکل‌ها

ارزش بازار بیوالکل‌ها در سال ۲۰۲۲، ۵۵/۹ بیلیون دلار بود. پیش‌بینی می‌شود صنعت تولید بیوالکل رشد بیشتری داشته باشد و از ۶۰/۸۱ میلیارد دلار در سال ۲۰۲۳ به ۱۱۹/۴۱ میلیارد دلار در سال ۲۰۳۲ برسد و در طی این دوره پیش‌بینی‌شده (۲۰۲۳ تا ۲۰۳۲)، نرخ رشد سالیانهٔ ۸/۸۰ درصدی داشته باشد. نوسانات قیمت نفت خام و کمبود منابع غیرتجدیدپذیر، مشوق‌های اساسی در افزایش نرخ رشد بازار بیوالکل‌ها هستند.



بازار جهانی بیوالکل‌ها

افزایش تقاضا برای سوخت‌های زیستی، نرخ رشد سالیانه در بازار بیوالکل‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. افزایش توجهات نسبت به تغییرات اقلیمی و کاهش سوخت‌های فسیلی، سبب افزایش تقاضا برای منابع تجدیدپذیر انرژی شده است.

سوخت‌های زیستی حاصل از مواد آلی نظیر محصولات کشاورزی یا پسماندها، جایگزینی برای سوخت‌های فسیلی متداول می‌باشند. بیوالکل‌ها، سوخت زیستی هستند که در حمل‌ونقل و تولید برق و حرارت مورد استفاده قرار می‌گیرند. انتظار می‌رود که افزایش تقاضا برای سوخت‌های زیستی، رشد بازار بیوالکل‌ها را به دنبال داشته باشد.

علاوه بر این، در سال‌های اخیر پیشرفت‌های فناورانه قابل‌توجهی در تولید بیوالکل‌ها حاصل شده است که راندمان و مقرون به صرفه بودن فرایند تولید بیوالکل‌ها را بهبود بخشیده است. برای مثال اصلاح ژنتیکی میکروارگانیسم‌ها، امکان تولید بیوالکل‌ها از منابع غیرغذایی نظیر سلولز و پسماندها را فراهم کرده است. همچنین توسعه فرایندهای جدید تخمیر، راندمان تولید بیوالکل‌ها را افزایش داده است. این پیشرفت‌های فناورانه با تولید بیشتر و ارزان‌تر بیوالکل‌ها، سبب افزایش رشد بازار بیوالکل‌ها می‌شود.

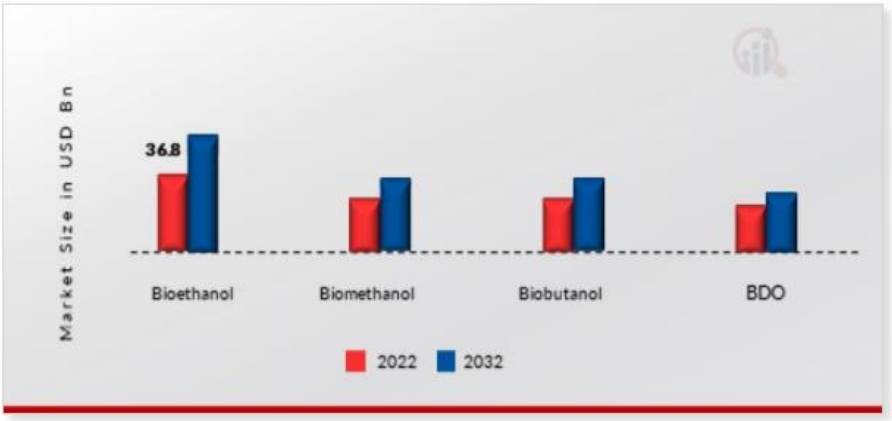
بسیاری از دولت‌ها در سراسر جهان، قوانین و سیاست‌های جدیدی را برای افزایش استفاده از سوخت‌های زیستی به منظور کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و دستیابی به امنیت انرژی، وضع کرده‌اند. بسیاری از مناطق جهان، الزاماتی را برای استفاده از منابع تجدیدپذیر انرژی در بخش حمل‌ونقل تعیین کرده‌اند که منجر به افزایش قابل توجه تقاضا برای سوخت‌های زیستی خواهد شد. این اقدامات سبب افزایش تقاضای بیوالکل‌ها و رشد بازار آن‌ها می‌شود.

❖ چشم‌انداز کاربرد بیوالکل‌ها

تقسیم‌بندی بازار بیوالکل‌ها بر اساس کاربرد، شامل زیرساخت، حمل‌ونقل، پزشکی، تولید انرژی و .... می‌باشد. بخش حمل‌ونقل بیشترین درآمد را داشته است. بیوالکل‌ها به عنوان افزودنی به گازوئیل و موتورهای دیزلی، استفاده می‌شوند تا میزان انتشار را کاهش داده و کارایی سوخت را بهبود بخشند. علاوه‌براین، بیوالکل‌ها می‌توانند به عنوان سوخت مستقل در وسایل نقلیه با سوخت انعطاف‌پذیر، و به صورت مخلوط با گازوئیل در وسایل نقلیه متداول، مورد استفاده قرار گیرند.

❖ چشم‌انداز انواع بیوالکل‌ها

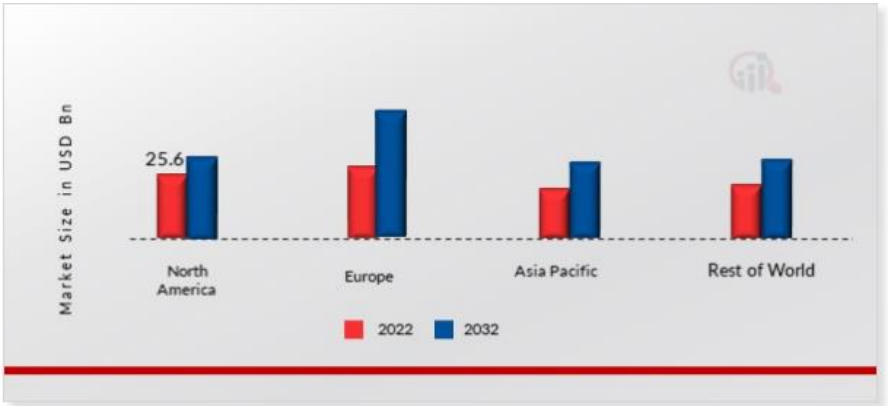
تقسیم‌بندی بازار بیوالکل‌ها بر اساس نوع، شامل بیواتانول، بیومتانول، بیوبوتانول و BDO (۱و۴- بوتان‌دیول)، می‌شود. در این میان، بیواتانول بیشترین درآمد را داشته است. اتانول متداول‌ترین بیوالکل مورد استفاده است که بیشترین سهم در بازار را به خود اختصاص می‌دهد. اتانول به عنوان افزودنی به گازوئیل، به عنوان حلال در صنایع دارویی، و به عنوان نوشیدنی استفاده می‌شود.



بازار جهانی بیوالکل‌ها بر اساس نوع در سال‌های ۲۰۲۲ و ۲۰۳۲ (بیلیون دلار)

❖ چشم‌انداز منطقه‌ای بیوالکل‌ها

چشم‌انداز بازار بیوالکل‌ها بر اساس منطقه، شامل امریکای شمالی، اروپا، آسیا و اقیانوسیه، و دیگر مناطق جهان می‌شود. بازار بیوالکل‌ها در امریکای شمالی، بازار غالب است. تقاضا برای بیوالکل‌ها در امریکای شمالی با تمرکز دولت بر کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای و افزایش استفاده از سوخت‌های تجدیدپذیر، افزایش یافته است. علاوه بر این، افزایش تقاضا برای سوخت‌های فسیلی در بخش حمل‌ونقل، به خصوص در ایالات متحده، رشد بازار بیوالکل‌ها در این منطقه را سبب شده است. کشورهای عمدهٔ موردمطالعه در این تقسیم‌بندی، امریکا، کانادا، آلمان، فرانسه، انگلیس، ایتالیا، اسپانیا، چین، ژاپن، هند، استرالیا، کرهٔ جنوبی، و برزیل می‌باشند.



بازار جهانی بیوالکل‌ها بر اساس تقسیم‌بندی منطقه‌ای در سال‌های ۲۰۲۲ و ۲۰۳۲ (٪)

بازار بیوالکل‌ها در اروپا، دومین بازار بزرگ جهانی است. اتحادیه اروپا اهدافی را برای افزایش سهم انرژی‌های تجدیدپذیر در بخش حمل‌ونقل تعیین کرده است و سوخت‌های زیستی شامل بیوالکل‌ها، نقش مهمی در دستیابی به این اهداف بازی می‌کنند. علاوه بر این، این منطقه دارای زیرساخت مناسبی برای تولید و توزیع سوخت‌های زیستی می‌باشد که از رشد بازار بیوالکل‌ها حمایت می‌کند. بازار بیوالکل آلمان، بزرگ‌ترین بازار و بازار بیوالکل انگلیس، رو به رشدترین بازار در منطقه اروپاست.

انتظار می‌رود بازار بیوالکل در منطقه آسیا–اقیانوسیه، شاهد رشد قابل‌توجهی باشد. نیاز فزاینده برای سوخت‌های جایگزین و افزایش آگاهی نسبت به مزیت‌های انرژی‌های تجدیدپذیر، تقاضا برای بیوالکل‌ها در این منطقه را افزایش داده است. این منطقه همچنین شاهد اقدامات دولتی متعدد با هدف افزایش استفاده از سوخت‌های زیستی است که انتظار می‌رود منجر به رشد بیشتر بازار شود. بازار بیوالکل چین، بزرگ‌ترین بازار و بازار بیوالکل هند، رو به رشدترین بازار در این منطقه است.

❖ چشم‌انداز بازیگران اصلی و رقبا در بازار بیوالکل‌ها

بازیگران اصلی با سرمایه‌گذاری در بخش تحقیق و توسعه برای افزایش محصولات خود، به رشد بیشتر بازار بیوالکل‌ها کمک می‌کنند. بازیگران اصلی همچنین با انجام فعالیت‌های راهبردی متنوع شامل راه‌اندازی تولید محصولات جدید، توافقات قراردادی، ادغام و تملک، سرمایه‌گذاری‌های بیشتر، و همکاری با سازمان‌های دیگر، ردپای خود را با تحولات مهم بازار، گسترش می‌دهند. صنعت بیوالکل‌ها باید با تولید موارد مقرون به صرفه، آلودگی‌های محیطی و بلایای طبیعی را پایش و کنترل کند.

تولید محلی برای کاهش هزینه‌های عملیاتی یکی از راه‌حل‌های کلیدی است که تولیدکنندگان در صنعت بیوالکل استفاده می‌کنند تا مشتریان را منتفع سازند و بازار محصول را افزایش دهند. شرکت‌های کلیدی در بازار بیوالکل‌ها عبارتند از:

- Falcrum Bioenergy Inc.
- BASF SE
- E.I du Pont de Nemours&Co.
- Cool Plenet Energy Solutions
- Mitsubishi Chemical Corporation
- Harvest Power Inc.
- Mascoma LLC
- Myriant Corporation

شرکت TVS در هند، تولیدکنندهٔ بین‌المللی موتورسیکلت است که در صنعت حمل‌ونقل دارای ناوگان بزرگی از کامیون‌ها و اتوبوس‌ها می‌باشد. این شرکت در جولای سال ۲۰۱۹ از اولین موتورسیکلت ملی که با سوخت اتانول کار می‌کند، رونمایی کرد که می‌تواند با اتانول خالص یا مخلوط کار کند.

شرکت BASF SE در آلمان، یک شرکت بین‌المللی اروپایی و بزرگ‌ترین تولیدکنندهٔ مواد شیمیایی در دنیاست. در جولای ۲۰۲۱، شرکت BASF SE برای کاهش ردپای کربن در بخش حمل‌ونقل، توافق‌نامه‌ای با شرکت Eni برای اقدامات تحقیق و توسعه‌ای مشترک امضا کرد. هدف این توافق‌نامه تولید دانش‌فنی برای کمک به توسعهٔ بیوپروپانول با کیفیت بالا با استفاده از گلیسیرین است. بیوپروپانول بدست آمده با استفاده از این فناوری پیشرفته، به آسانی به سوختی ایده‌آل برای تولید گازوئیل تبدیل خواهد شد. نظر به ویژگی‌های فیزیکی شیمیایی قابل توجه بیوپروپانول و عدد اکتان بسیار بالای آن، این ماده یک ترکیب حیاتی برای تولید گازوئیل اولیه است.

منابع:

- تدوین راهبردها و ترسیم نقشه راه توسعه فناوری‌های سوخت زیستی در کشور، پژوهشکده مطالعات راهبردی، مؤسسه مطالعات بین‌المللی انرژی، مهرماه ۱۳۹۲.
- Bio-Alcohol market research report information by type, by application, and by region-Market forcast till 2032.

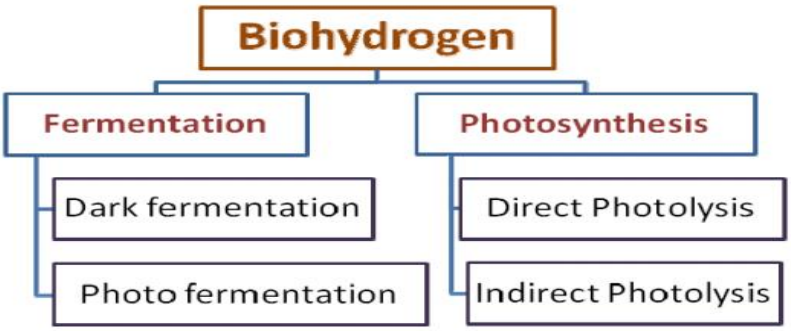
تحولات فناورانه

بیوهیدروژن، مقرون به صرفه، سبز و درعین‌حال نادیده گرفته‌شده

وابستگی به سوخت‌های فسیلی منجر به تخریب قابل توجه منابع طبیعی و اثرات منفی بر محیطزیست و انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود. بر این اساس، تلاش‌های زیادی برای جایگزینی سوخت‌های فسیلی با منابع پاک و انرژی تجدیدپذیر صورت گرفته است. یک جایگزین بالقوه، بیو هیدروژن است که یک منبع انرژی پاک با بازده بالای انرژی محسوب می‌شود. پس از احتراق H2، H2O تنها محصول جانبی اصلی است. ویژگی‌های جذاب و تجدیدپذیر هیدروژن ما را به توسعه انواع مسیرهای بیولوژیکی برای تولید هیدروژن سوق داده است.

❖ فرایندهای تولید بیوهیدروژن

بر اساس روش تولید هیدروژن، مسیرهای بیولوژیکی تولید آن به چندین گروه تقسیم می‌شوند: تخمیر فتوبیولوژیک (شامل فتوبیولیز مستقیم و غیرمستقیم و تخمیر نوری)، تخمیر بی هوازی (تخمیر تاریک) و الکترولیز بیوکاتالیزوری (آنزیمی و میکروبی). هیدروژن به عنوان یک منبع انرژی بالقوه برای آینده شناخته شده است، چرا که به راحتی تبدیل به الکتریسیته شده و سوختی پاک و پربازده محسوب می‌شود. این منبع انرژی، تجدیدپذیر بوده و در احتراق، گازهای گلخانه‌ای مثل کربن‌دی‌اکسید تولید نمی‌کند، انرژی بر واحد وزن زیادی را آزاد می‌کند و به راحتی توسط پیل‌های سوختی به الکتریسیته تبدیل می‌شود.



مسیرهای تولید بیوهیدروژن

فرآیند تولید مطلوب و جذاب بیوهیدروژن، بیوفتولیز (مستقیم یا غیرمستقیم) است. میکروارگانیسم‌های فتوسنتز کننده مانند جلبک‌ها و سیانوباکترها، این فرآیند را در حضور آب و نور خورشید تسهیل می‌کنند. در بیوفتولیز مستقیم، از میکروجلبک برای تبدیل انرژی نور خورشید به فرم شیمیایی در قالب تولید هیدروژن استفاده می‌شود. در فرآیند بیوفتولیز، تشکیل هیدروژن در حضور هیدروژناز انجام می‌شود. ازآنجاکه هیدروژناز به اکسیژن حساس است، ضروری است تا میزان اکسیژن را در مقادیر کم (زیر ۰/۱ درصد) نگاه‌داریم تا تولید هیدروژن بتواند ادامه پیدا کند. این شرایط می‌تواند توسط جلبک کلامیدوموناس رینهاردتی[۶۷] که می‌تواند اکسیژن را حین تنفس اکسیژنی تخلیه کند، ایجاد شود. بازده این فرآیند به خاطر مقدار زیادی سوبسترا که در حین فرآیند مصرف می‌شود، کم است. اخیرا گونه‌های جهش داده شده‌ای از جلبک‌ها گزارش‌شده‌اند که بازده بالاتری دارند.

بیوفتولیز غیرمستقیم چهار مرحله دارد: تولید بیومس، تغلیظ بیومس، تخمیر بی‌هوازی در تاریکی که تولید ۴ مول هیدروژن و ۲ مول استات می‌کند و نهایتاً تبدیل ۲ مول استات به هیدروژن. در یک فرآیند معمول توسط سیانوباکتری، واکنش‌های زیر روی می‌دهد:

$$6H_2O+6CO_2 \longrightarrow C_6H_{12}O_6+6O_2$$
$$C_6H_{12}O_6+6H_2O \longrightarrow 12H_2+6CO_2$$

تخمیر نوری[۶۸] شامل تبدیل انرژی نور به زیست توده همراه با تولید هیدروژن و دی‌اکسیدکربن در حضور آنزیم نیتروژناز است. از باکتری‌های فتوسنتزی بدون گوگرد بنفش[۶۹]، از جمله گونه‌های رودوباکتر[۷۰]، برای فرآیند جذب نور و تبدیل اسیدهای آلی مانند استات، لاکتات و بوتیرات به هیدروژن و دی‌اکسیدکربن در شرایط بی‌هوازی و کم‌اکسیژن استفاده می‌شود.

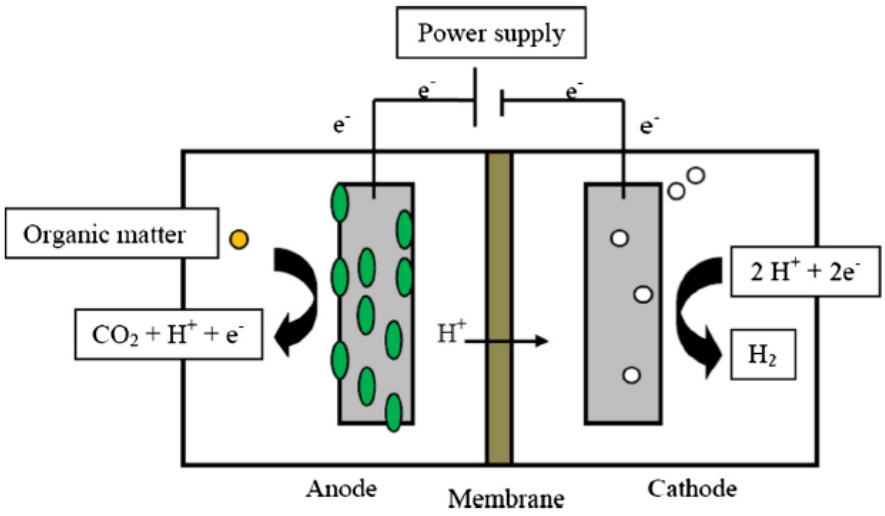
[67] Chlamydomonas Reinhardtii
[68] Photofermentation
[69] Purple-Non-Sulfur (PNS)
[70] Rhodobacter

فرآیند تخمیر تاریک[۷۱] توسط باکتری‌های بی‌هوازی که بر روی سوبستراهای غنی از کربنات در تاریکی رشد می‌کنند رخ می‌دهد و با نرخ بالاتری از فرآیندهای تخمیر نوری و فتولیز اتفاق می‌افتد. در حالی که فتولیز مستقیم و غیرمستقیم هیدروژن خالص تولید می‌کنند، در تخمیر تاریک مخلوطی از گازها اغلب شامل H2 و CO2 تولید می‌شود و مقادیر کمی CH4 و CO و/یا H2S ممکن است تشکیل شود. جداسازی هیدروژن از این مخلوط یکی از چالش‌های این روش است. . فرایند تخمیر کمک می‌کند تا ترکیبات احیاکنندهٔ غنی از انرژی (به عنوان مثال NADPH و FADH) از مسیرهای متابولیکی ایجاد شوند که پس از آن به‌وسیله زنجیره‌های تنفسی با گیرنده الکترونی پایانی (TCA cycle) دوباره اکسید می‌شوند. اگر گلوکز به عنوان سوبسترا استفاده شود، حداکثر ۴ مول هیدروژن به ازای یک مول گلوکز به همراه استیک اسید تولید می‌شود. اگر به جای استیک اسید بوتیرات تولید شود، ۲ مول هیدروژن تولید خواهد شد؛ به‌هرحال رسیدن به بازده تئوری ۴ مول هیدروژن به دلیل تولید همزمان استیک اسید و بوتیرات محقق نمی‌شود.

پیل‌های الکترولیز میکروبی[۷۲] (تخمیر الکتریکی یا پیل‌های الکترولیز بیوکاتالیستی)، یک تکنیک جدید برای تولید هیدروژن از طیف وسیعی از سوبستراها، در چند سال اخیر به سرعت توسعه یافته است. با استفاده از پیل‌های الکترولیز میکروبی به عنوان یک فرآیند تولید هیدروژن همراه با استفاده از انرژی الکتریکی، تبدیل محدودهٔ وسیعی از مواد آلی به هیدروژن تحت اعمال پتانسیل خارجی ممکن می‌شود. پیل الکترولیز میکروبی از تکنولوژی مربوط به پیل‌های سوختی میکروبی (MFC[۷۳]) بهره می‌گیرد. در حالی که پیل‌های سوختی میکروبی جریان الکتریسیته را از تجزیه میکروبی مواد آلی تولید می‌کنند، پیل‌های الکترولیز میکروبی به طور جزئی هیدروژن یا متان را از مواد آلی با اعمال یک جریان الکتریکی خارجی، تولید می‌کنند. جریان الکتریکی به طور ایده‌ال با یک منبع تجدید پذیر تأمین می‌شود. هیدروژن یا متان تولید شده می‌تواند برای تولید برق با استفاده از یک پیل سوختی غشاء مبادله‌کننده پروتون (PEM[74]) یا موتور احتراق داخلی مورد استفاده قرار گیرد. در سیستم‌های MEC نیز میکروارگانیسم‌ها به الکترود آندی متصل می‌شوند. هویت میکروارگانیسم‌ها، محصولات و کارایی MEC را تعیین می‌کند. الکترود آندی در MEC می‌تواند همانند MFC باشد؛ موادی مانند لایه کربن، کاغذ کربن، گرافیت، گرانول گرافیت یا برس گرافیت. پلاتین می‌تواند به عنوان یک کاتالیزور برای احیای بیش‌ازحد مورد نیاز و تولید هیدروژن استفاده شود. هزینه بالای پلاتین باعث جانشینی آن با کاتد زیستی شده است. صفحات فولاد ضدزنگ به عنوان جایگزین دیگری برای کاتالیزور، استفاده‌شده‌اند. اجزاء دیگر شامل غشاء (گرچه بعضی از MEC ها غشاء ندارند)، نصب لوله و سیستم‌های جمع‌آوری گاز می‌باشد.

[71] Dark Fermentation
[72] Microbila Electrolysis Cells (MECs)
[73] Microbial Fuel Cell (MFC)
[74] Proton Exchange Membrane

میکروارگانیسم‌های الکتروژنیک از یک منبع انرژی (مانند اسید استیک) تغذیه می‌کنند که الکترون‌ها و پروتون‌ها را آزاد می‌کند و یک پتانسیل الکتریکی تا ۰/۳ ولت را ایجاد می‌کند. در MFC معمولی، این ولتاژ برای تولید برق استفاده می‌شود. در MEC یک ولتاژ اضافی از یک منبع خارجی به سلول اضافه می‌شود. ولتاژ ترکیبی برای احیای پروتون‌ها و تولید گاز هیدروژن کافی است. هرچند بخشی از انرژی برای واکنش احیا از فعالیت باکتریایی حاصل می‌شود، لکن انرژی الکتریکی کلی که باید تأمین شود کمتر از مقدار الکترولیز آب در غیاب میکروب‌ها است. تولید هیدروژن به میزان ۳/۱۲ مترمکعب در روز با ولتاژ ورودی ۰/۸ ولت گزارش شده است. بازده تولید هیدروژن به مواد آلی مورد استفاده بستگی دارد. در مورد اسید لاکتیک و اسید استیک، بازده ۸۲٪ گزارش شده است، در حالی که بازده هیدروژن تولیدی از سلولز تصفیه نشده یا گلوکز، نزدیک به ۶۳٪ است.

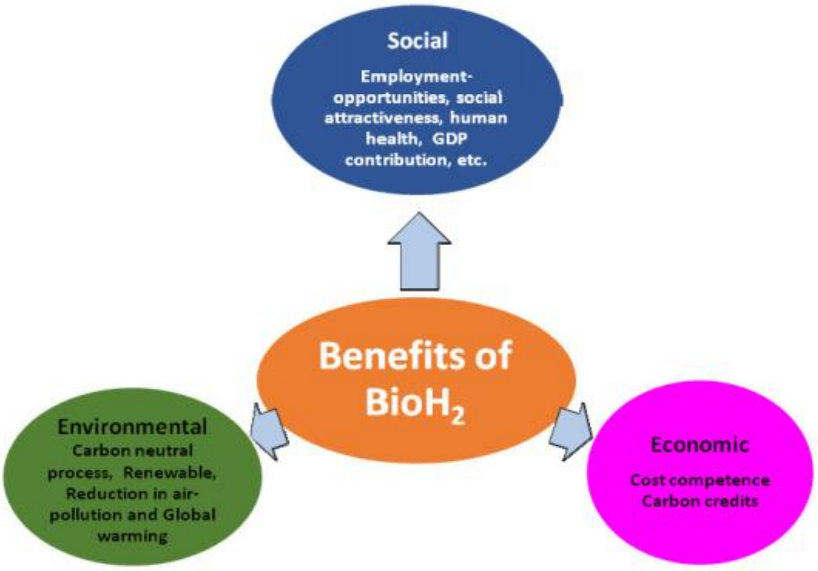


نمایی از ساختار و عملکرد یک پیل الکترولیز میکروبی

❖ ارزیابی پایداری بیوهیدروژن

پایداری تولید بیوهیدروژن با توجه به نرخ تولید و خلوص آن تعیین می‌شود که منجر به تولید مقرون به صرفه آن خواهد شد. روش‌های فیزیکی–شیمیایی هم در بهره‌وری فرایند و هم در میزان خلوص هیدروژن تولیدی، راندمان بالایی دارند ولی به علت نیاز به میزان زیاد انرژی در طی تولید، مقرون به صرفه نیستند. در مقابل، استفاده از روش‌های بیولوژیک برای تولید هیدروژن در دهه‌های گذشته، توجهات بسیاری را به خود جلب کرده است؛ چرا که این روش‌ها در شرایط متعادل و با مصرف انرژی کم قابل اجرا هستند که منجر به مقرون به صرفه شدن فرایند می‌شود. عوامل دیگری مانند استفاده از پسماندهای آلی نیز سبب توجه پژوهشگران و صنعتگران به تولید بیوهیدروژن شده است که البته مشمول استفاده از فناوری‌های پیشرفته برای تبدیل ایمن و بی‌خطر آن‌ها به لحاظ زیست‌محیطی به بیوهیدروژن است.

ارزیابی پایداری از سه منظر اقتصادی، محیط زیستی، و اجتماعی شایان توجه است. بررسی‌های متعددی برای ارتقای تولید بیوهیدروژن و توسعه اقتصاد بیوهیدروژن انجام شده است؛ ولی توسعه صنعت سوخت‌های زیستی بسیار پیچیده است و علی‌رغم مطالعات تجربی، لازم است تا جنبه‌های اقتصادی، اجتماعی، و زیست‌محیطی آن نیز در یک کشور یا منطقه مورد توجه قرار گیرد. نسبت انرژی (یا توازن انرژی) و انتشار گازهای گلخانه‌ای بیوهیدروژن در مقایسه با دیزل و سایر مسیرهای تولید هیدروژن، مطلوب است؛ در نتیجه بیوهیدروژن در برنامه‌ریزی و توسعه اقتصاد هیدروژن هم از منظر انرژی و هم از منظر زیست‌محیطی، شایان توجه است.



مزایای بیوهیدروژن از منظر یک سوخت پایدار

❖ توجیه‌پذیری اقتصادی بیوهیدروژن

تمام شاخص‌های مالی در بسیاری از گزارش‌های رسمی بیانگر این است که تولید بیوهیدروژن به لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر است و با موفقیت تجاری خواهد شد. مطالعات انجام شده نشان می‌دهد که بیوهیدروژن و بیواتانول با توجیه‌پذیری اقتصادی بالا می‌توانند جایگزین سوخت‌های فسیلی شوند. بیوهیدروژن بیشترین میزان انعطاف‌پذیری نسبت به نوسانات قیمت زیست‌توده اولیه را دارد. بررسی انجام شده بر روی توسعه بیوهیدروژن در چهار کشور امریکا، ژاپن، چین، و هند نشان می‌دهد که چین بزرگ‌ترین بازار بیوهیدروژن با بیشترین میزان تولید تا سال ۲۰۵۰ را در اختیار دارد و امریکا، ژاپن، و هند به ترتیب در رده‌های بعدی قرار دارند. در هر چهر کشور، سرمایه‌گذاری زیاد در این حوزه، توسعه سریع صنعت بیوهیدروژن را سبب خواهد شد. هر یک دلار سرمایه‌گذاری در صنعت بیوهیدروژن، به ترتیب درآمدی معادل ۳/۲۲، ۳/۵۰، ۳/۰۹، و ۳/۰۰ دلار در

چهار اقتصاد مورداشاره در سال‌های ۲۰۱۱ تا ۲۰۵۰ خواهد داشت. مطالعات نشان می‌دهد که سرمایه‌گذاری در توسعه فناوری بیوهیدروژن، بیشتر از سرمایه‌گذاری در زیرساخت هیدروژن، سودآوری دارد. ارزیابی فنی–اقتصادی انجام شده بر روی تولید تخمیری هیدروژن از پسماندهای خوراکی نشان‌دهندهٔ ۲۶/۷۵ درصد بازگشت سرمایه در طی ۵ بوده است.

❖ اثرات اجتماعی بیوهیدروژن

اثرات اجتماعی تولید بیوهیدروژن و استفاده از آن با توجه به پیچیدگی ساختار اجتماعی، کمتر بررسی‌شده است. در مطالعه‌ای که بر روی تولید بیوهیدروژن با استفاده از لجن هضم‌شده به عنوان ماده اولیه انجام شده است، میزان انرژی مصرف‌شده در فرایند تخمیر کمتر از انرژی تولید شده در فرایند گزارش شده که بیانگر توازن انرژی مثبت است و می‌تواند یک رویکرد پایدار باشد. در بررسی‌های انجام شده و گزارشات منتشرشده، بیوهیدروژن با توجه به غیر سمی بودن، پراکنده بودن در طبیعت، و حداقل خطر به لحاظ ریسک آتش‌سوزی، ایمن‌ترین سوخت شناخته شده است.

❖ ایمنی زیست‌محیطی بیوهیدروژن

ارزیابی چرخهٔ حیات فرایندهای مختلف تولید بیوهیدروژن نشان داده است که منبع زیست‌توده مورد استفاده تأثیر قابل‌توجهی در اثرات زیست‌محیطی مسیرهای تولید بیوهیدروژن دارد. همچنین مطالعات نشان می‌دهد استفاده از بیوهیدروژن برای تولید انرژی الکتریکی مزایای زیست‌محیطی در مقایسه با یک منبع بر پایه سوخت فسیلی خواهد داشت. در ارزیابی چرخه حیات برای مقایسه عملکرد انرژی و اثرات زیست‌محیطی بیوهیدروژن تولید شده از سه منبع مختلف شامل کاه گندم، ساقه سورگوم شیرین، و پوست سیب‌زمینی بخارپز، بالانس انرژی برای سه ماده خام مورد استفاده به ترتیب ۱/۰۸، ۱/۱۴، و ۱/۱۷، و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای در مقایسه با دیزل، ۵۲–۵۶٪ و در مقایسه با هیدروژن تولید شده به روش SRM[75] ۵۴–۵۷٪، گزارش شد.

❖ چشم‌انداز آینده

تولید بیوهیدروژن با کمک فناوری ساده و جذابیت بیشتر نسبت به فرایندهای شیمیایی فعلی، نوید پتانسیل رو به رشدی برای تولید صنعتی بیوهیدروژن در آینده نزدیک را می‌دهد. تولید بیوهیدروژن در کشورهای آسیایی بیشتر بر تخمیر تاریک متمرکز است، در حالی که کشورهای اروپایی بر تخمیر نوری و تخمیر تاریک تمرکز دارند. آیندهٔ تولید بیولوژیکی هیدروژن، نه‌تنها با پیشرفت‌های تحقیقاتی بلکه با قیمت سوخت، پذیرش اجتماعی، و توسعه سیستم‌های انرژی هیدروژن، تعیین می‌شود. راهکارهای موجود با هدف ارتقای تولید بیوهیدروژن شامل تثبیت کشت میکروبی، اصلاح بیوراکتور، بهینه‌سازی شرایط

[75] Steam Methane Reforming

فرایندی، جداسازی و غنی‌سازی محیط کشت، انتخاب سوبسترا و مهندسی متابولیک گونه‌های میکروبی است. گزارش منتشرشده توسط پژوهشگران متعدد آشکارا نشان می‌دهد که تولید مقرون به صرفه بیوهیدروژن با بالانس انرژی مثبت، رویکرد کلیدی برای تولید بیوهیدروژن پایدار است.

منبع:

- Chandrasekhar, K., Lee, Y. J., Lee, D. W., 2015. Biohydrogen Production: Strategies to Improve Process Efficiency through Microbial Routes. International Journal of Molecular Sciences, 16: 8266-829.
- Kadier, A., Simayi, Y., Abdeshahian, P., Azman, N. F., Chanderasekhar, K., Kalil, M. S., 2016. A comprehensive review of microbial electrolysis cells (MEC) reactor designs and configurations for sustainable hydrogen gas production. Alexandria Engineering Journal, 55:427-443.
- Rathore, D., Singh, A., Dahiya, D., Singh Nigam, P., 2019. Sustainability of biohydrogen as fuel: Present scenario and future perspective. AIMS Energy, 7:1-19.

غول‌های فناوری

ده شرکت برتر زیست‌توده در جهان

بازار جهانی زیست‌توده به‌سرعت در حال گسترش است و بسیاری از شرکت‌ها در این زمینه پیشرو هستند. این شرکت‌ها در فناوری‌ها و پروژه‌های جدید زیست‌توده سرمایه‌گذاری می‌کنند و به تبدیل زیست‌توده به منبع انرژی مقرون‌به‌صرفه و قابل‌دسترس کمک می‌کنند. در این خصوص ۱۰ مورد از بزرگ‌ترین شرکت‌های جهان عبارتند از:

۱. گروه انرژی‌های تجدیدپذیر[۷۶]

گروه انرژی‌های تجدیدپذیر یک تولیدکننده و تأمین‌کننده جهانی سوخت‌های تجدیدپذیر مانند دیزل، بیودیزل و مواد شیمیایی است. این شرکت اولین گروه بیودیزل خود را در سال ۱۹۹۶ تولید کرد، زمانی که صنعت هنوز در مراحل ابتدایی خود بود، این گروه تحت حمایت تعاونی وست سنترال در آیووا فعالیت می‌کرد. در سال ۲۰۰۲، وست سنترال یکی از بزرگ‌ترین کارخانه‌های فرآوری جریان پیوسته[۷۷] جهان را برای فرآوری روغن سویا به سوخت بیودیزل افتتاح کرد. سپس در سال ۲۰۰۶، گروه انرژی‌های تجدیدپذیر، شرکتی مستقل شد. این گروه، ۱۰۰ میلیون دلار از فروش سهام به بخش خصوصی کسب نمود که در آن زمان بزرگ‌ترین سرمایه‌گذاری در صنعت بیودیزل بود. از آن زمان، گروه انرژی‌های تجدیدپذیر به بزرگ‌ترین تولیدکننده بیودیزل از نظر حجم تولید در ایالات‌متحده تبدیل‌شده است.

[76] Renewable Energy Group (REG)
[77] Continuous-Flow

۲. پوئت[۷۸]

پوئت از یک کارخانه واحد پردازش زیستی در داکوتای جنوبی به یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان محصولات زیستی در جهان تبدیل شده است. این واحد، محصولات زیستی تجدیدپذیر و همچنین جایگزین‌هایی برای پتروشیمی‌ها و سوخت‌های فسیلی تولید می‌کنند. این شرکت در حال حاضر دارای ۳۳ کارخانه پردازش زیستی با ظرفیت تولید سالانه ۳ میلیارد گالن بیواتانول است. اهداف پایداری این شرکت بر دو پایه استوار است: یکی سرمایه‌گذاری روی فناوری متمرکز بر دستیابی به کربن خالص و افزایش استفاده از محصولات گیاهی و دیگری مدافع جامعه‌ای پایدار. به دلیل نوآوری مداوم خود در زمینه بیوتکنولوژی، این شرکت در لیست "تغییر جهان" در سال ۲۰۱۹ و به‌عنوان یکی از "نوآورترین شرکت‌های سال ۲۰۱۹" گنجانده‌شده‌اند.

۳. گروه دراکس[۷۹]

گروه دراکس یک شرکت انرژی‌های تجدیدپذیر مستقر در بریتانیا است که در تولید انرژی تجدیدپذیر، تولید زیست‌توده پایدار و فروش برق تجدیدپذیر فعالیت دارد. این گروه بزرگ‌ترین منبع برق بریتانیا هستند. دراکس چهار سایت در سراسر انگلستان و اسکاتلند دارند که شامل زیست‌توده، برق‌آبی و تلمبه ذخیره ای است. همچنین یک تجارت جهانی تأمین انرژی زیستی با کارخانه‌های تولیدی در ۱۳ مکان در ایالات‌متحده و کانادا، تولید پلت چوب فشرده[۸۰] برای استفاده خود و مشتریان در سراسر آسیا و اروپا را اداره می‌کنند. دراکس در حال حاضر حدود ۳۴۰۰ نفر را در سراسر جهان استخدام نموده است. در سال ۲۰۱۹، این شرکت با استفاده از فناوری انرژی زیستی با جذب و ذخیره کربن[۸۱] برای حذف کربن دی‌اکسید از هوا و درعین‌حال ارائه انرژی تجدیدپذیر قابل‌اعتماد، هدف خود را برای کربن منفی تا سال ۲۰۳۰ اعلام کردند.

٤. گرین پلینز[۸۲]

گرین پلینز یک شرکت پیشرو در فناوری کشاورزی است که محصولات تجدیدپذیر را به موادی باارزش بالا و پایدارتر مانند مواد تشکیل‌دهنده خوراک، الکل‌های ویژه و سوخت‌های کم‌کربن پردازش می‌کند. با ارزش بازار ۱.۹۴ میلیارد دلار، گرین پلینز در حال حاضر ۱۱ پالایشگاه زیستی در سراسر ایالات‌متحده، ۱۷ کارخانه تولید اتانول، و فرآوری ۱۰ میلیون تن ذرت در سال دارد. علاوه بر این، ظرفیت تولید سالانه ۱ میلیارد گالن سوخت زیستی کم‌کربن نیز از دستاوردهای این شرکت است. این شرکت اولین گالن سوخت زیستی خود را در

[78] POET
[79] Drax Group
[80] Compressed Wood Pellets
[81] Bioenergy with Carbon Capture and Storage (BECCS)
[82] Green Plains

سال ۲۰۰۷ تقطیر کرد و از آن زمان به یک رهبر جهانی در زمینه خود تبدیل‌شده است. از سال ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۹، سوخت‌های زیستی گرین پلینز مسئول کاهش ۳۴.۳ میلیون تن کربن دی‌اکسید بود که معادل حذف ۷.۴ میلیون خودرو از جاده‌ها بود. طبق گزارش وزارت کشاورزی ایالات‌متحده[۸۳]، هر گالن سوخت زیستی گرین پلینز باعث کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای تا ۴۶ درصد در مقایسه با بنزین سنتی می‌شود و درعین‌حال از افزودنی‌های مضر موجود در سوخت‌های مبتنی بر نفت، از جمله بنزن[۸۴]، اتیل بنزن[۸۵]، تولوئن[۸۶] و زایلن[۸۷] اجتناب می‌شود.

۵. کوسان[۸۸]

کوسان یک سازمان انرژی پاک برزیلی است که در سال ۱۹۳۶ تأسیس شد و انرژی زیستی، شکر و اتانول را از نیشکر تولید می‌کند. با داشتن دفتر مرکزی در سائوپائولو برزیل، کوسان دارای شعبه‌های مختلف جهانی در زمینه انرژی‌های تجدید پذیر است، از جمله Raízen، Rumo، Comgás، Moove و Cosan Biomassa. این شرکت دارای ۲۳ کارخانه تولید است. ۲۱ مورد از آن‌ها در سائوپائولو واقع‌شده‌اند و دارای امکانات اضافی در خط لوله هستند. کوسان بزرگ‌ترین تولیدکننده نیشکر برزیل و سومین تولیدکننده بزرگ در جهان است. این شرکت ظرفیت تولید ۵۶ میلیون تن نیشکر در سال را دارد و ارزش بازار آن تا آوریل ۲۰۲۳ برابر با ۵.۶۷ میلیارد دلار است. کوسان همچنین پنجمین تولیدکننده بزرگ اتانول در جهان و بزرگ‌ترین صادرکننده اتانول در جهان است. این سازمان با ۵۵۰۰۰ کارمند، متعهد به حمایت از پایداری و توسعه برزیل از طریق سرمایه‌گذاری در زنجیره ارزش منابع طبیعی و انتقال انرژی‌های تجدیدپذیر است.

٦. انویوا[۸۹]

انویوا بزرگ‌ترین تولیدکننده پلت‌های چوبی[۹۰] پایدار در جهان است که بر انرژی زیستی مبتنی بر چوب به‌عنوان منبع انرژی جایگزین برای زغال‌سنگ تمرکز دارد. این شرکت که در سال ۲۰۰۴ با دفتر مرکزی در مریلند، ایالات‌متحده تأسیس شد، کارخانه‌های زغال‌سنگ موجود را به تأسیسات تولید زیست‌توده تبدیل می‌کند که ۷/۲۴ کار می‌کنند و به مشتریان برق انرژی تجدیدپذیر قابل‌اعتماد و پایدار، به‌صورت گرما یا برق، ارائه می‌دهند. انویوا با امکاناتی در آلاباما، فلوریدا، جورجیا، می سی سی پی، کارولینای شمالی، کارولینای جنوبی و ویرجینیا، و حضور جهانی

[83] United States Department of Agriculture (USDA)
[84] Benzene
[85] Ethylbenzene
[86] Toluene
[87] Xylene
[88] Cosan
[89] Enviva
[90] Wood Pellets

در بریتانیا، ژاپن و آلمان ، بیش از ۱۳۰۰ نفر را در سراسر شعبات خود استخدام نموده است. انویوا به‌عنوان یک متخصص در انرژی چوب پایدار، مأموریتی برای جابجایی سوخت‌های فسیلی، کاشت درختان بیشتر و مبارزه با تغییرات آب و هوایی از طریق راه‌حل انرژی زیستی خود دارد. در سال ۲۰۲۱، انویوا هدف خود را برای دستیابی به انتشار صفر خالص در تمام بخش‌ها تا سال ۲۰۳۰ اعلام نموده است. در راستای هدف اتکای ۱۰۰٪ به انرژی‌های تجدیدپذیر تا سال ۲۰۳۰، هدف نیمه‌راه این است که حداقل ۵۰٪ در مسیر صفر خالص تا سال ۲۰۲۵ طی شده باشد.

۷. وربیو[۹۱]

وربیو یک شرکت فناوری سوخت زیستی آلمانی است که متعهد به تولید پایدار طیف وسیعی از محصولات از بیودیزل، بیوگاز، بیومتان و اتانول مبتنی بر زباله است. محصولات سوخت زیستی آن از روش‌های تولید مرسوم دور هستند و صرفاً توسط بقایای کشاورزی ایجاد می‌شوند. علاوه بر این، محصولات سوخت زیستی وربیو یکی از کارآمدترین انرژی‌ها در جهان هستند و می‌توانند انتشار کربن دی‌اکسید را تا ۹۰ درصد در مقایسه با گازوئیل، بنزین و سایر سوخت‌های فسیلی کاهش دهند. این شرکت با ارزش بازار ۲.۵۵ میلیارد دلاری، در خط مقدم تولیدکنندگان سوخت زیستی اروپا قرار دارد. وربیو چشم‌اندازی از جایگزینی سوخت‌های فسیلی با مواد تجدید پذیر دارد و در تلاش است تا به تأمین‌کننده انرژی جایگزین قرن بیست و یکم تبدیل شود. پس از صرفه‌جویی در ۲.۶ میلیون تن کربن دی‌اکسید از سال ۲۰۲۱ تا ۲۰۲۲، وربیو قصد دارد تا سال ۲۰۲۵، ۸ میلیون تن کربن دی‌اکسید را از طریق محلول‌های سوخت زیستی کاهش دهد. وربیو سالانه ۶۶۰۰۰۰ تن بیودیزل، ۳۰۰۰۰۰ تن بیواتانول و ۱۳۰۰ گیگاوات ساعت بیومتان تولید می‌نماید.

۸. انرکم[۹۲]

انرکم در سال ۲۰۰۰ تأسیس شد و اولین شرکت در جهان است که سوخت‌های زیستی تجدید پذیر، اتانول و متانول را از مواد زائد غیرقابل بازیافت برای استفاده تجاری تولید می‌کند. با تمرکز بر اقتصاد دایره‌ای، چشم‌انداز انرکم کمک به کاهش ۹۰ درصد ضایعات در سراسر کره زمین و نیاز به سوخت‌های فسیلی با تولید سوخت‌های زیستی برای تأمین انرژی وسایل نقلیه یا تولید محصولات مختلف روزمره برای استفاده در جوامع در سراسر جهان است. این شرکت که در مونترال، کبک، کانادا شروع به کار نموده است، حضوری جهانی دارد و در سال‌های اخیر به ایالات‌متحده و اروپا گسترش یافته است. در سال ۲۰۲۱، انرکم با روتردام برای کمک به تولید سوخت هوانوردی پایدار در هلند همکاری نمود. این شرکت در سال ۲۰۲۲، ۲۵۵ میلیون دلار بودجه برای راه‌اندازی راه‌حل‌های نوآورانه سوخت زیستی خود اختصاص داد.

[91] Verbio
[92] Enerkem

۹. انوی‌تک[۹۳]

انوی‌تک یکی از تولیدکنندگان پیشرو بیوگاز در جهان است که سوخت‌های زیستی پایدار را از زیست‌توده تولید می‌کند. این شرکت متخصص در مفاهیم گیاهان برای بیومتان، گرمایش و بازاریابی برق است و با شرکای محلی در صنعت کشاورزی و انرژی‌های تجدیدپذیر همکاری می‌کند. انوی‌تک که در سال ۲۰۰۲ در لونه[۹۴] آلمان تأسیس شد. دارای بیش از ۶۰۰ تأسیسات تولید بیوگاز و بیومتان در سراسر جهان است و در بریتانیا، فرانسه، ایتالیا، دانمارک، جمهوری چک، آسیا و آمریکای شمالی حضوری برجسته دارد. از سال ۲۰۰۷، این شرکت در فهرست بورس فرانکفورت قرار گرفته است. انوی‌تک از دو دهه پیش با ۲۰ کارمند شروع به کار کرد و در ادامه به یک سازمان جهانی با ۴۳۰ کارمند تبدیل شد. این شرکت در حال حاضر دارای ارزش بازار ۶۰۹ میلیون دلاری است.

۱۰. کرپ‌انرژیز[۹۵]

کرپ‌انرژیز یک شرکت انرژی‌های تجدیدپذیر است که چشم‌اندازی برای ایجاد جهانی سازگار با آب‌وهوا از طریق کمک به جابجایی سوخت‌های فسیلی با تولید محصولات زیستی (فقط با استفاده از مواد کشاورزی تجدیدپذیر در سراسر اروپا) است. کرپ‌انرژیز که در سال ۲۰۰۶ در مانهایم آلمان تأسیس شد، با ۴۵۵ کارمند تا فوریه ۲۰۲۲، سالانه ۱.۳ میلیون مترمکعب اتانول پایدار برای اهداف تأمین سوخت، همراه با تقریباً ۱۵۰۰۰۰ مترمکعب اتانول پایدار برای کاربردهای سنتی و فنی تولید نموده است. علاوه بر این، این شرکت محصولات زیست‌توده را برای بازارهای غذا و نوشیدنی، خوراک دام، لوازم‌آرایشی و دارویی تولید می‌کنند. تا به امروز، تولید اتانول کرپ‌انرژیز به‌طور متوسط ۷۰٪ کربن دی‌اکسید و گازهای گلخانه‌ای را در مقایسه با سوخت‌های فسیلی صرفه‌جویی کرده است. کرپ‌انرژیز با ارزش بازار ۱ میلیارد دلاری قصد دارد تا سال ۲۰۵۰ در سایت‌های مختلف تولید خود در آلمان، بلژیک، فرانسه و بریتانیا به کربن خنثی دست یابد.

علاوه بر ۱۰ شرکت ذکر شده که نقش مهمی را در ترکیب انرژی جهانی ایفا می‌کنند، بسیاری از شرکت‌های زیست‌توده دیگر کمک‌های قابل‌توجهی به صنعت زیست‌توده دارند. آینده انرژی زیست توده روشن است و شرکت‌های پیشرو در این صنعت به‌طور قابل‌توجهی در مبارزه با تغییرات آب و هوایی مشارکت دارند.

منبع: The Top 10 Biomass Companies in the World – nesfircroft 2021

[93] EnviTec
[94] Lohne
[95] CropEnergies

خبر خارجی

MIDES یک معجزه میکروبی: نمکزدایی بدون انرژی

در تلاش برای غلبه بر بحران کمبود آب، نمکزدایی با فناوری اسمز معکوس (RO[96])، پیشرفت رو به رشدی داشته است و پروژه‌های اخیر در خاورمیانه به ظرفیت ۱ میلیون مترمکعب در روز برای هر پلنت رسیده است. ولی با مصرف انرژی الکتریکی حدود ۴ کیلووات ساعت به ازای هر مترمکعب، این واحدها نیازمند ایستگاه‌های تامین انرژی خاص، فقط برای راه‌اندازی پمپ‌های فشار قوی خود می‌باشند.

پروژه MIDES با حمایت مالی اتحادیه اروپا، با توسعه و راه‌اندازی اولین نمونه صنعتی فناوری پیل نمکزدای میکروبی، این چالش را هدف گرفته است. در این پروژه، پیل‌های نمکزدایی میکروبی برای پیش‌تصفیهٔ واحدهای RO مورد استفاده قرار می‌گیرند و بدین ترتیب امکان نمکزدایی و تصفیه آب به طور همزمان فراهم می‌شود.

پیل‌های نمکزدای میکروبی از یک باکتری فعال الکتریکی به نام جیوباکتر[۹۷] برای تبدیل انرژی نهفته در مواد آلی موجود در پساب به انرژی الکتریکی استفاده می‌کنند. اختلاف پتانسیل الکتریکی بین الکترودها سبب جداسازی املاح از طریق غشاهای تبادل یونی می‌شود، لذا نمکزدایی آب دریا و آب شور بدون مصرف انرژی انجام می‌شود. در این فرایند، انرژی الکتریکی مورد نیاز در مقایسه با فرایندهای متداول تصفیه پساب (لجن فعال) و نمکزدایی (RO)، ۹۲/۳ درصد کاهش می‌یابد.

[96] Reverse Osmosis
[97] Geobacter

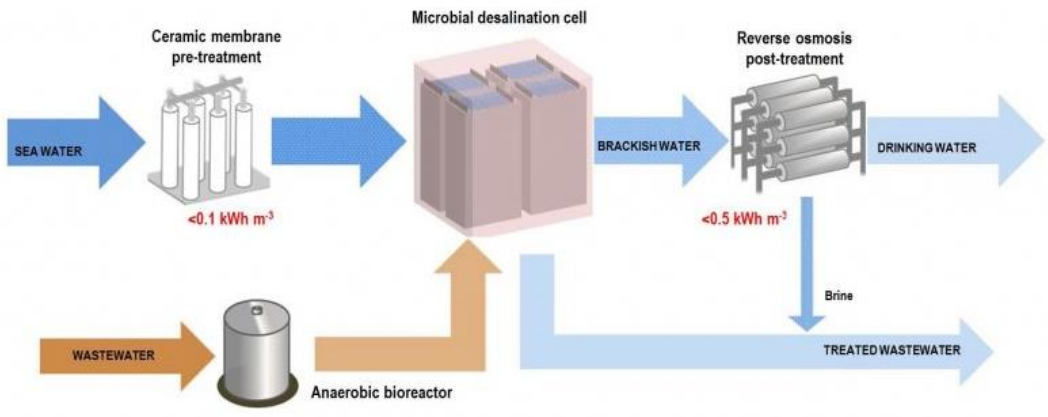
❖ از نمونهٔ آزمایشگاهی تا نمونهٔ صنعتی

در سال ۲۰۱۶، شرکای پروژه بر محدودیت‌های فعلی فناوری پیل نمکزدای میکروبی نظیر نرخ پایین نمکزدایی، هزینه بالای ساخت، مشکلات گرفتگی و افزایش مقیاس غشاها، در مقیاس آزمایشگاهی فائق آمدند و فرایند را بهینه‌سازی کردند. این فرایند غشاهای تبادل یونی ضدگرفتگی و الکترودهای پایه کربنی جدید انجام شد.

محققان با رویکرد اقتصاد چرخشی، از پلاستیک‌های بازیافتی برای پیکربندی سلول‌ها استفاده کردند. آنها همچنین بر اساس نتایج بدست آمده در مراحل آزمایشگاهی، قبل از نمونه نیمه صنعتی، و نمونه نیمه صنعتی، مدل‌های شبیه‌سازی ریاضی را برای بهینه‌سازی فرایند طراحی کردند. علاوه بر این، پارامترهای فرایندی جدید و دستورالعمل‌های تمیز کردن غشاها برای بهبود واکنش‌های بیوالکتروشیمیایی بکار گرفته شد.

در این پروژه، با افزایش مقیاس موفق، دو نمونه اولیه هر یک شامل یک شبکه ۱۵ واحدی با مساحت کل ۰/۴ متر مربع به ازای هر واحد، طراحی و ساخته شد. هر دو نمونهٔ اولیه می‌توانند هزاران لیتر آب شور و آب دریا را در روز با مصرف انرژی بسیار کم، تصفیه کنند.

اولین نمونهٔ صنعتی پروژهٔ MIDES در اسپانیا، شامل پیش‌تصفیهٔ آب شور و پساب، سلول‌های نمکزدای میکروبی، و واحد اسمز معکوس کم‌فشار است که در ادامه با اعمال فرایند پساتصفیه، کیفیت آب شرب تولیدی تضمین می‌شود. نمونهٔ دوم در جزیرهٔ اسپانیایی Tenerif، از سلول‌های نمکزدای میکروبی برای نمکزدایی جزئی آب دریا و از اسمز معکوس برای تصفیهٔ بیشتر استفاده می‌کند تا بدون مصرف انرژی خارجی، آب شرب تولید شود.



شماتیک پروژه نمکزدایی MIDES

❖ مزایای پروژه برای جوامع شهری و روستایی

با توسعه سیستم تلفیقی نمکزدایی آب و تصفیهٔ پساب، پروژه MIDES می‌تواند دسترسی ارزان به آب شرب بهداشتی و سالم را بر اساس استانداردهای ملی اسپانیا و استانداردهای اتحادیهٔ اروپا، تسهیل کند. این پروژه همچنین می‌تواند پساب تصفیه شده برای استفادهٔ مجدد در آبیاری و کشاورزی را تأمین کند.

این پروژه راه را برای واحدهای غیرمتمرکز با ظرفیت کم هموار می‌کند، بدین معنا که با استفاده از سلول‌های نمکزدای میکروبی، این پروژه می‌تواند در سایت‌های صنعتی دورافتاده، مزارع و جوامع روستایی با منابع انرژی محدود، پیاده‌سازی شود.

علاوه براین، این پروژه می‌تواند برای سایت‌های ساحلی نیز مفید باشد و با تجهیز آن‌ها به واحدهای تصفیهٔ پساب، انرژی مورد نیاز تسهیلات نمکزدایی آب را با سیستم‌های کنترل و مدیریت هوشمند، تأمین کند.

منبع: http://midesh2020.eu

خبر خارجی

تلاش غول نفتی بریتیش‌پترولیوم[98] در راستای یکپارچه‌سازی انرژی سبز

غول نفتی بریتیش پترولیوم کنترل کامل لایت‌سورس‌بی‌پی[99] را در دست خواهد گرفت. شرکت توسعه انرژی خورشیدی و ذخیره‌سازی انرژی جوینت‌ونچر[100] که این ابرغول نفتی را به انرژی‌های تجدیدپذیر هدایت و همراهی می‌نماید، «ماشین اجرایی» این غول نفتی نام گرفت. به بیان دیگر،این شرکت به تامین نیازهای بریتیش پترولیوم برای انرژی های تجدیدپذیر کمک خواهد کرد. بریتیش پترولیوم مالکیت ۵۰.۰۳ درصد از سهام را به دست می‌آورد و ادعا می‌کند «مقیاس لایت‌سورس‌بی‌پی را افزایش خواهد داد و با استفاده از توانایی‌ها و نقاط قوت مکمل بریتیش پترولیوم ، از جمله در امور مالی و تجارت، ارزش بیشتری ایجاد می‌کند.».

این معامله بر اساس ارزش سهام ۲۵۴ میلیون پوندی (۳۲۲ میلیون دلار) برای سهام خریداری شده است. این غول نفت و گاز اخیراً بر تمرکز شدید بر عملیات انرژی تجدیدپذیر خود به عنوان بخشی جدایی‌ناپذیر از استراتژی انتقال انرژی گسترده‌تر خود تأکید کرده است و گفت که گسترش لایت‌سورس‌بی‌پی برای پاسخگویی به تقاضای خود برای انرژی کم‌کربن مورد استفاده قرار خواهد گرفت. انتظار می‌رود این ادغام اهداف بریتیش پترولیوم را برای رشد گذار انرژی در حوزه هیدروژن، شارژ خودروهای الکتریکی و سوخت‌های زیستی و همچنین در تجارت برق تقویت کند و ریسک‌های احتمالی را از بین ببرد.

[98] British Petroleum(BP)
[99] Lightsource BP
[100] Joint Venture

در میان بررسی‌های مداوم سرمایه‌گذاران در مورد سودآوری انرژی‌های تجدیدپذیر، بریتیش پترولیوم گفت که به هدف قرار دادن بازده دو رقمی سهام از این تجارت ادامه خواهد داد و به‌مرورزمان، ممکن است از طریق واردکردن یک شریک استراتژیک به تجارت، ارزش بیشتری ایجاد کند.

بریتیش پترولیوم برای اولین بار در سال ۲۰۱۷ در یکی از نخستین معاملات خود در زمینه انرژی های تجدیدپذیر، سهامی را در لایت‌سورس خریداری کرد. لایت‌سورس‌بی‌پی اکنون یک پروژه ۶۱ گیگاواتی در ۱۹ کشور دارد. جوینت‌ونچر خورشیدی توسط بریتیش پترولیوم به عنوان یک ماشین اجرایی توصیف شده است زیرا توانایی لازم در ارائه پروژه‌های سودآور در زمان و بودجه مطلوب را داراست.

آناایزابل دوتزریت[۱۰۱]، معاون اجرایی بریتیش پترولیوم در بخش گاز و انرژی کم‌کربن، گفت:«این اقدام، یک تکامل طبیعی از مشارکتی است که در شش سال گذشته ایجاد کرده‌ایم. اکنون ما می‌توانیم لایت‌سورس‌بی‌پی را به سطح بعدی ببریم. با توجه به رشد و عملکرد سودآور، به گسترش این تجارت موفق ادامه خواهیم داد و همچنین از قابلیت‌ها و تخصص آن برای پاسخگویی به تقاضای رو به رشد بریتیش پترولیوم در حوزه انرژی کم‌کربن استفاده می‌کنیم.»

منبع:

- www.rechargenews.com - BP swoops for full control of 'execution machine' Lightsource in green power integration move, 2023

[101] Anja-Isabel Dotzenrath

خبر داخلی

حمایت ویژه رئیس‌جمهور از توسعه انرژی‌های تجدیدپذیر

به گزارش خبرنگار دولت ایرنا، آیت‌الله سید ابراهیم رئیسی که چهارم دی ماه در قالب فرآیند نظارت ستادی بر دستگاه‌های اجرایی در وزارت نیرو حضور یافته است، ضمن بازدید از نمایشگاه اقدامات و دستاوردهای وزارت نیرو، دستور آغاز اجرای طرح احداث ۴ هزار مگاوات نیروگاه انرژی تجدیدپذیر را صادر کرد. با بهره‌برداری از این پروژه ظرفیت تولید برق از منابع تجدیدپذیر که در ابتدای آغاز به کار دولت مردمی حدود ۸۷۰ مگاوات بود و در حال حاضر حدود هزار و ۱۱۹ مگاوات است به بیش از ۵ هزار و ۱۱۹ مگاوات افزایش خواهد یافت.

وزارت نیرو در دولت مردمی برنامه افزایش ۱۰ هزار و ۹۰۰ مگاوات ظرفیت تولید انرژی از منابع تجدیدپذیر را دارد. به موجب طرحی که قرارداد اجرای آن به عنوان بزرگ‌ترین قرارداد یکجای ساخت نیروگاه تجدیدپذیر در غرب آسیا در حضور دکتر رئیسی امضا شد، سرمایه‌گذاران ۴ شرکت در قالب چهار سبد شامل ۲ سبد ۱۵۰۰ مگاواتی و ۲ سبد ۵۰۰ مگاواتی برای احداث ۹۵ نیروگاه خوشیدی و بادی اقدام و در مجموع ظرفیتی بالغ بر ۴ هزار مگاوات برق تجدیدپذیر را حداکثر تا زمان پیک برق سال ۱۴۰۳ به شبکه سراسری متصل خواهند کرد.

با توجه به اهتمام دولت و شخص رئیس‌جمهور نسبت به رفع ناترازی‌های موجود در کشور به ویژه در بخش انرژی، موانع و مشکلات پیش‌روی شرکت‌های حاضر در این طرح از جمله تملک زمین‌ها، نحوه اتصال به شبکه و مشکلات زیست‌محیطی به صورت ویژه بررسی و مرتفع شده است.

در حال حاضر ۳۸۱ محل برای ساخت نیروگاه‌های تجدیدپذیر با ظرفیت حدود ۱۱ هزار مگاوات با محوریت ۱۶ شرکت برق منطقه‌ای در سراسر کشور وجود دارد. شرکت‌های برق منطقه‌ای استان‌های تهران با ۳۲ درصد، فارس با ۱۰ درصد و سیستان و بلوچستان با ۹ درصد از استان‌هایی هستند که بیشترین سهم را در احداث ۴ هزار مگاوات نیروگاه خورشیدی در کشور دارند. در این مراسم همچنین نیروگاه ۱۰ مگاواتی "ساغند" یزد به عنوان بخشی از ۲۶۰ مگاوات ظرفیت اضافه شده به مجموع تولید برق تجدیدپذیر کشور از ابتدای فعالیت دولت مردمی تاکنون، با دستور دکتر رئیسی رسما افتتاح شد.

رئیس جمهور همچنین از نمایشگاهی که به منظور ارائه اقدامات و دستاوردهای این وزارتخانه در سه بخش آب، برق و فاضلاب در دو سال و نیم گذشته برگزار شده بود، بازدید کرد و با توضیحات دست‌اندرکاران این بخش‌ها از جزئیات عملکرد این وزارتخانه مطلع شد.

بر اساس گزارش ارائه شده در دوره پیک مصرف سال ۱۴۰۲ با اجرای برنامه‌های رفع ناترازی، برای اولین بار در تاریخ تولید برق کشور، میزان تامین انرژی صنعت از بخش خانگی پیشی گرفت و ۸۵ درصد انرژی اضافه تولید شده نسبت به ۱۴۰۰، به بخش تولید اختصاص یافت. از ابتدای دولت مردمی تا کنون ۸ هزار و ۸۰۰ مگاوات ظرفیت وارد مدار شده است که نسبت به زمان طی شده از شهریور ۱۴۰۰ یک رکورد محسوب می‌شود.

منبع : ایرنا – ۴ دی ۱۴۰۲

خبر داخلی

رشد ۵۰ درصدی حجم معاملات در تابلوی برق سبز بورس انرژی

سید مهدی حسینی، مدیرکل دفتر بودجه، تسهیل سرمایه‌گذاری و تجهیز منابع مالی ساتبا گفت: مبادلات برق در دوره آذر (به عنوان برق تولید شده در دوره آتی) نسبت به دوره مشابه ۵۰ درصد رشد داشته و ارزش معاملات انجام شده نیز رشدی بیش از ۳۵ درصد را تجربه کرده است. وی بیان کرد: با گذشت ۶ دوره از آغاز نخستین معامله برق تجدیدپذیر در بورس انرژی تاکنون بالغ بر ۱۷۲ میلیون کیلووات ساعت برق تجدیدپذیر ذیل تابلوی برق سبز با ارزشی افزون بر ۴۰۶۰ میلیارد ریال معامله شده است. وی افزود: تاکنون ۱۲۸ مشترک صرفا در یک ماه معاملاتی اخیر اقدام به خرید برق تجدیدپذیر از این تابلو کرده‌اند و پیش بینی می‌شود با توجه به ورود صنایع مختلف برای خرید برق سبز و نیز حضور شرکت‌های خرده فروش شاهد رشد تقاضا و افزایش حجم معاملات طی دوره‌های آتی باشیم.

تابلوی برق سبز در بورس انرژی ایران به‌عنوان راهکار جدید و با هدف اطمینان‌بخشی به بخش خصوصی برای سرمایه‌گذاری در حوزه تجدیدپذیرها ایجاد شده است. تابلوی برق سبز در بورس انرژی با هدف ایجاد بازار عرضه و تقاضای مستقیم، مردمی‌سازی اقتصاد تجدیدپذیر و نیز ایجاد فضای رقابتی برای تبادل انرژی‌های تجدیدپذیر ایجاد شده است. این تابلو می‌تواند برای سرمایه‌گذاران بخش انرژی‌های تجدیدپذیر اطمینان به همراه داشته باشد تا آنان با خیالی آسوده‌تر به سرمایه‌گذاری در این حوزه بپردازند. ازآنجاکه عرضه‌کنندگان برق تجدیدپذیر ذیل قراردادهای جدید "تابلو سبز" امکان عرضه برق و انتفاع بیش از پیش از برق خود را دارند، کاهش ریسک سرمایه‌گذاری و جذابیت در این مدل قراردادی حائز اهمیت است. وزیر نیرو دستورالعملی را با هدف توسعه مبادلات برق در بورس ابلاغ کرده است. ساتبا نیز برای توسعه مبادلات برق سبز در بورس انرژی، دستورالعمل عرضه و تبادل برق تجدیدپذیر در بورس را به ذی‌نفعان، تولیدکنندگان و سرمایه‌گذاران نیروگاه‌های تجدیدپذیر ابلاغ کرده است. ابلاغ این دستورالعمل می‌تواند موجب توسعه سرمایه‌گذاری و تأمین مالی پروژه‌های جدید انرژی‌های تجدیدپذیر شود.

منبع : پایگاه اطلاع رسانی دولت – ۷ آذر ۱۴۰۲

برونداد تخصصی

انرژی‌های تجدیدپذیر

شماره ۷ – دی ۱۴۰۲