

# جایگزینی اسلوبمند منابع فسیلی با زیست توده: یک ضرورت راهبردی

## Systematic Substitution of Fossil Resources by Biomass: A Strategic Requirement

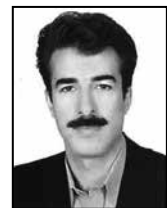
محمدجلال ظهوریان مهر<sup>\*</sup>، کوروش کبیری

تهران، پژوهشگاه پلیمر و پتروشیمی ایران، صندوق پستی ۱۱۵-۱۴۹۶۵

منابع فسیلی، با وجود سودمندی‌های بسیار، تجدیدناپذیر و رو به زوال‌اند و بدیهی است که برای آنها باید جداً به فکر جایگزین مناسب بود. از میان جایگزین‌های ممکن، مناسب‌ترین منبعی که هم انرژی و هم ماده به دست می‌دهد، زیست توده است. زیست توده، مجموعه مواد آلی خام تجدیدپذیر و بی‌زوال است که سالانه بالغ بر ۴۰۰ هزار میلیون تن در زمین تولید می‌شود و قسمت اعظم آن را پلیمرهای طبیعی تشکیل می‌دهند. جایگزینی اسلوبمند و تدریجی منابع فسیلی با زیست توده و احداث حساب شده زیست‌پالایشگاه‌های هم‌بسته (که خود نیز مستلزم گسترش کشاورزی و تولید مواد غذایی راهبردی است) و تولید، مصرف و صادرات فراورده‌های زیست‌پالایشگاهی از جمله زیست‌سوخت‌ها، نه یک انتخاب بلکه یک ضرورت قطعی راهبردی به نظر می‌رسد. از جمله دلایل مهم این ضرورت، مسئولیت انسان در برابر سلامتی و محیط زیست خود، تأمین اشتغال و امنیت غذایی مردم و توسعه پایدار است. حرکت در این راستا، ابتدا با زیست‌سوخت‌ها (زیست‌اتانول و سپس زیست‌دیزل) در برزیل آغاز شد. ولی، تنها کمتر از دو دهه است که علاوه بر آن، توجه اکثر کشورها به طور فزاینده‌ای به مواد شیمیایی زیستی معطوف شده است. پژوهش‌های گسترده‌ای با بودجه‌های پژوهشی کلان (که عمدتاً توسط دولت‌ها و شرکت‌های بزرگ نفتی تأمین می‌شود) در ارتباط با تهیه مواد شیمیایی از منابع زیست‌توده در دنیا در حال انجام است. نتایج بعضی از این پژوهش‌ها به تولید صنعتی هم رسیده است و ما شاهد احداث روزافزون مجتمع‌های تولید مواد شیمیایی جدید یا سنتی پرمصرف به روش‌های جدید با استفاده از این منابع هستیم. فرایندهای تبدیل می‌توانند میکروبی، زیست‌کاتالیزی (آنزیمی) و شیمیایی باشند. سرمایه اولیه احداث واحدهای جدید برای فرایندهای تبدیل زیستی، در حدود نصف سرمایه اولیه لازم برای احداث واحدهای مبتنی بر فرایندهای پتروشیمیایی است. در حال حاضر، این فرایندهای جدید در حال بهینه‌سازی هستند تا مزیت و صرفه اقتصادی بیشتری پیدا کنند. در ایران نیز در سال‌های اخیر، رویکردهایی در این حوزه به چشم می‌خورد، اما این رویکردها فاقد انسجام، حمایت و سرعت کافی بوده است.

بسیار ش  
فصلنامه پژوهشی-آموزشی  
سال اول، شماره ۱،  
صفحه ۳۶-۲۱، ۱۳۹۰  
ISSN:2252-0449

### چکیده



محمدجلال ظهوریان مهر



کوروش کبیری

### واژگان کلیدی

زیست توده پلیمری،  
زیست‌پالایشگاه،  
زیست سوخت،  
منابع تجدیدپذیر ماده و انرژی،  
منابع فسیلی

\* مسئول مکاتبات، پیام‌نگار:

منابع مواد فسیلی به ویژه نفت، با آغازی انقلابی در نیمه اول قرن گذشته، تقریباً روی تمام جنبه‌های زندگی به شدت اثر گذاشته‌اند: زمینه‌های مختلف علوم و فناوری، منابع مواد اولیه و انرژی، اقتصاد، روابط بین‌المللی، رفاه فردی و اجتماعی، ... سلامت و محیط زیست. بشر با قضاوت عجولانه و بیشتر متکی بر منافع اقتصادی کوتاه‌مدت، منابع طبیعی ماده و انرژی را بسیار دست کم گرفت، در درجات اهمیت پایین قرار داد و با تکیه بر منابع ارزان و چشم‌گیر فسیلی (زغال سنگ، نفت و گاز)، هم خود را صرف اکتشافات زمین‌شناختی، استخراج، پالایش و سپس فراورش و تولید انواع سوخت و محصولات پتروشیمیایی کرد. کودهای شیمیایی و سموم دفع آفات، کشاورزی و وضعیت تغذیه جمعیت زمین را به شدت متحول کردند. مواد مصنوعی به ویژه پلیمرهای سنتزی، فراورده‌های بهداشتی، دارویی و غیره شکل زندگی و رفاه جمعیت فزاینده را دگرگون کردند و ارتقا دادند.

در نیمه دوم قرن بیستم، پس از فرونشستن هیجان‌ناشی از رقابت‌ها و احساسات متعاقب جنگ جهانی دوم در کشورهای صنعتی، فرصت‌هایی دست داد تا روی دیگر سکه آشکار شود و زبان‌های گسترده و عمیق ناشی از برداشت و مصرف بی‌رویه ذخایر فسیلی، قدری بررسی و معلوم شود، از جمله رو به اتمام نهادن این ذخایر و ایجاد آلودگی و عوارض گوناگون زیست محیطی و بیماری‌های ناشی از آن. متأسفانه چرخش سریع امکان نداشت، به ویژه که این امر حداقل مستلزم چشم‌پوشی از بخشی از منافع سرشار مادی بود.

اما نطفه رویکردهای جدی به سوی منابع تجدیدپذیر به جای تکیه صرف بر ذخایر رو به اتمام منابع تجدیدناپذیر شکل گرفت و مطالعات و مقایسه این دو گونه منبع اولیه برای مواد و انرژی فزونی و به طور روزافزونی ادامه یافت. بنا بر همین ضرورت‌ها، اکنون زمینه‌های جدیدی، گاه با پسوند سبز ابداع شده و گسترش یافته است (مانند انرژی سبز یا زیست‌انرژی، شیمی و فناوری سبز و غیره). مثلاً در این راستا، پژوهش‌های وسیعی روی پیل‌های سوختی انجام شده است یا در آمریکا و اتحادیه اروپا، ده‌ها زیست‌پالایشگاه گوناگون ساخته شده که به تولید زیست‌سوخت یا سوخت سبز برای خودروها مشغول‌اند.

در این مقاله، ضمن تأکید بر ضرورت جایگزینی منابع فسیلی و اشاره به رویکردهای جدید توسعه مواد و انرژی، در حد طرح موضوع، زیست‌توده پلیمری به گواه اکثر متخصصان جهانی، به عنوان بهترین گزینه مطرح می‌شود. سپس زیست سوخت‌ها، مفهوم

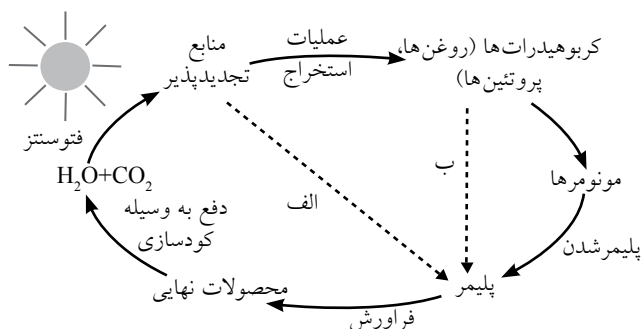
زیست‌پالایشگاه و فراورده‌های آن به اختصار بررسی می‌شود.

## منابع ماده و انرژی

منابع انرژی را عموماً به دو گروه تجدیدناپذیر (non-renewabl) و تجدیدپذیر (renewable) تقسیم می‌کنند. منابع تجدیدناپذیر مبتنی بر موادی هستند که فقط یک بار و به طرزی استثنایی تحت دما، فشار و شرایط خاص دوران‌های زمین‌شناختی در زمان‌های بسیار کهن در زمین تشکیل یافته‌اند و چنین شرایطی هرگز تکرار نشده و نمی‌شود. این مواد عبارتند از: زغال سنگ، نفت و گاز طبیعی که به منابع فسیلی نیز موسوم‌اند. واضح است که این منابع برای بشر بسیار حائز اهمیت بوده و استفاده از این مواد به عنوان سوخت و تأمین انرژی، تنها یکی از هزاران کاربرد روزانه از فراورده‌های حاصل از این منابع است.

در مقابل، منابع تجدیدپذیر قرار دارند [۱] که به طور دائم به وسیله فرایندها و چرخه‌های هوشمند طبیعی (چرخه‌های کربن، اکسیژن، آب، نیتروژن، گوگرد، فسفر و غیره) در حال تولید و تبدیل‌اند. از این دیدگاه می‌توان آنها را پایان‌ناپذیر قلمداد کرد، مشروط بر این که خلل یا ضایعاتی به چرخه‌های طبیعی پیش‌گفته وارد نشود (شکل ۱).

در این شکل، مسیر الف اشاره به پلیمرهایی دارد که مستقیماً در طبیعت تولید می‌شوند، مانند لیگنوسلولوزها. مسیر ب مربوط به پلیمرهایی است که خود مستقیماً در طبیعت ساخته نمی‌شوند، بلکه توسط انسان از مونومرهایی که پایه طبیعی دارند تولید می‌شوند، مانند پلی‌لاکتیدها. مواد آلی از راه فرایند حیاتی فوتوسنتز از آب، کربن دی‌اکسید و نور خورشید تولید می‌شوند. این مواد به طور مستقیم (مسیر الف) یا غیرمستقیم (مسیر ب) به پلیمرهای طبیعی یا



شکل ۱- نمایش بسیار ساده‌ای از چرخه مواد تجدیدپذیر در طبیعت با نگاه خاص به مواد پلیمری طبیعی یا زیست‌تخریب‌پذیر [۲].

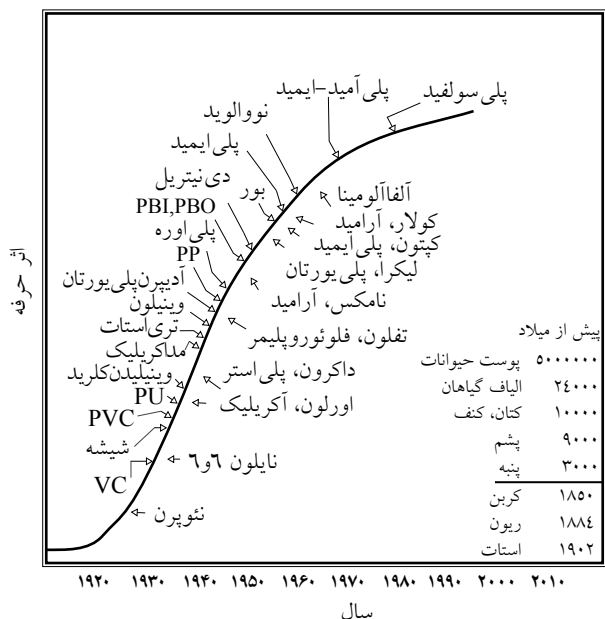
در حالی که تولید زیست سوخت‌ها در حال گسترش است و نیاز جهانی و فزاینده‌ای به کاهش نشر گاز گل‌خانه‌ای احساس می‌شود، جامعه جهانی در حال درک و تطبیق بیشتر خود با مفاهیم سبز (شیمی سبز، فناوری سبز و غیره) است. در این شرایط، آهنگ رشد کاهش یابنده فوق و تأثیر پلیمرهای سنتزی بر بازار جهانی قابل درک است. به نظر می‌رسد، مواد پلیمری هیبریدی سنتزی-طبیعی و طبیعی اصلاح شده و زیست‌سازگار به تدریج در حال جایگزینی انواع سنتزی هستند و این روند رو به گسترش است. فرایندهای زیست فناوری و مهندسی ژنتیک نقش عمده‌ای در اصول و مبانی تولید این مواد جایگزین دارند [۳]. چنین روند گسترشی، آرام اما اجتناب ناپذیر است. زندگی بشر امروزی بدون پلیمرها، غیر قابل تصور است. در نتیجه موادی ارزان قیمت، تنوع زیاد و کارایی قابل مقایسه با پلیمرهای مصنوعی باید توسعه یابند و به تدریج جایگزین شوند. این مواد چیستند؟ پاسخ: پلیمرهای طبیعی، طبیعی اصلاح شده و پلیمرهای حاصل از زیست‌مونومرها مانند لاکتیک اسید است.

اما این پلیمرهای جایگزین، راه درازی را تا پشت سر گذاشتن کامل رقبای مصنوعی خود پیش رو دارند. زیرا فرایندهای استحصال، تولید و فراورش بیشتر آنها هنوز دوران کودکی خود را می‌گذرانند (مقطعی شبیه ابتدای قرن گذشته برای فرآورده‌های پتروشیمیایی و پلیمرهای سنتزی). گسترش این پلیمرها نیاز به سرمایه‌گذاری و تحقیق و توسعه متمرکز و کافی دارد. به همین جهت اغلب هنوز از قیمت بیشتر، تنوع کم‌تر و خواص و کارایی کم‌تری نسبت به انواع مصنوعی برخوردارند. با این همه، روند رویکردهای علوم و فناوری سبز، به ویژه زیست‌فناوری، نویدبخش است. در سال‌های اخیر رشد فزاینده‌ای در فعالیت‌ها و گزارش‌های علمی و فنی در این زمینه‌ها مشاهده شده است. مثلاً در سه دهه آخر قرن بیستم، شمار ثبت اختراع در ایالات متحده (U.S. Patents) در حوزه زیست فناوری از حدود ۱۰۰۰ به ۱۲۰۰۰ مورد در سال افزایش یافته است و این یکی از شواهد این روند امیدوار کننده است [۳]. باری، اگر بشر واقعاً اراده ای برای سلامت و ادامه زیست بر زمین داشته باشد، باید در بینش‌ها و روش‌هایی که تا کنون در قبال حیات و محیط زیست طبیعی خود داشته است، به طور بسیار جدی و سریع تجدید نظر کند و به جای تسلط بر طبیعت، همراهی با طبیعت را اختیار نماید. بازگشت به طبیعت، طبیعی بودن و طبیعی زیستن، رویکرد به منابع ماده و انرژی تجدید پذیر را اجتناب ناپذیر می‌نماید. در این راستا، باید مواد بسیاری را نیز کنار بگذارد و مواد جدیدی را جایگزین آنها کند. بی‌گمان

زیست تخریب‌پذیر تبدیل و پس از استفاده حیوانات و انسان می‌توانند در طبیعت تخریب و مجدداً وارد همین چرخه شوند [۲]. در ضمن از مسیرهای غیرمستقیم دیگر، انسان می‌تواند مواد مهم غیرپلیمری نیز تولید کند، مانند اتانول که به عنوان سوخت مایع (زیست سوخت)، جایگزین بنزین شود.

گفتنی است یکی دیگر از محصولات مهم فوتوسنتز، گاز اکسیژن است و بدین ترتیب تعادل این ماده حیاتی نیز در جو پایدار می‌ماند. نیروگاه‌های برقی بیش از یک قرن است که یکی از ارکان اصلی ایجاد و توسعه زندگی مدرن را شکل داده است. سایر منابع به ویژه نیروگاه‌های بادی و سلول‌های خورشیدی نیز سال‌هاست که مورد توجه بوده و توسعه یافته‌اند. تنها نوع انرژی تجدیدپذیر که مستقیماً منشا حیاتی و زیست‌شناختی دارد، زیست‌انرژی است که در توصیف شکل ۱ به آن اشاره شد.

زیست انرژی از توده عظیمی از مواد آلی نشأت می‌گیرد که به نام کلی زیست توده از آنها یاد می‌شود. مواد حاصل از فراورش مواد این منابع چنانچه به عنوان سوخت مصرف شود، زیست سوخت نامیده می‌شوند. زیست گاز نیز از دیگر محصولات این منبع است. در قلمرو محصولات پلیمری، پژوهشگران صنعتی در پایان قرن بیستم دریافتند که تأثیر پلیمرهای مصنوعی (سنتزی) بر بازار جهانی رو به کاهش است. چنین روندی به وضوح در شکل ۲ نشان داده شده است [۳]. این در حالی است که رشد جمعیت جهان همچنان رو به فزونی بوده و هست. پس نیاز انکارناپذیر و غیرقابل بازگشت این جمعیت فزاینده به پلیمرها چگونه تأمین می‌شود؟



شکل ۲- آهنگ رشد پلیمرهای مبتنی بر نفت، رو به کاهش است [۳].

## زیست توده

پلیمرهای طبیعی یا زیست پلیمرها، از مهمترین این موادند.

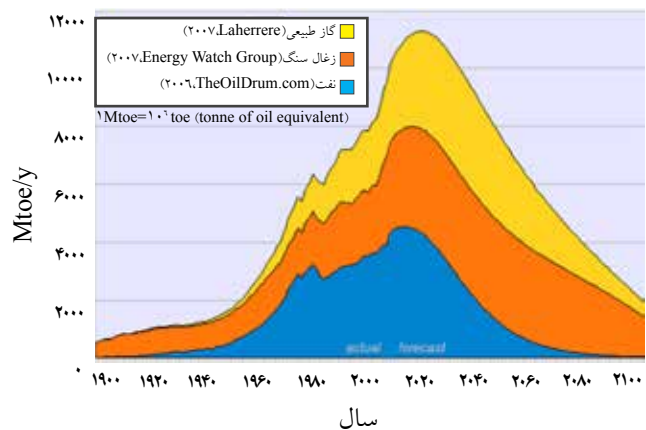
تبدیلی کشاورزی، قسمت اعظم ضایعات (wastes) و زائدات (residues) نیز لیگنوسلولوزی هستند. لیگنوسلولوزها عبارت از مجموعه زیست پلیمرهای کربوهیدراتی (پلی ساکاریدها) مشتمل بر سلولوز و همی سلولوز، و زیست پلیمرهای فنولی موسوم به لیگنینها هستند. زیست توده شامل زباله‌های زیستی قابل سوزاندن (مانند قسمت مهمی از زباله شهری) هم می‌شود. اما مواد زیستی مانند سوخت فسیلی که طی فرایندهای زمین‌شناسی تغییر شکل یافته‌اند، مانند زغال سنگ یا نفت را در بر نمی‌گیرد. اگرچه سوخت‌های فسیلی ریشه در زیست توده در دوران‌های بسیار کهن دارند، به دلیل این که کربن موجود در آنها از چرخه زیستی طبیعت خارج شده است و سوزاندن آنها تعادل کربن دی‌اکسید موجود در جو را به هم می‌زند، نام زیست توده به آنها اطلاق نمی‌شود.

### رویکرد به زیست انرژی

اکنون تردیدی باقی نمانده است که اولاً اکثر فعالیت‌های صنعتی بشر چنان بی رویه بوده است که صدمات و تهدیدهای جدی به محیط زیست و سلامت خود وارد آورده است. ثانیاً صنعتی شدن، به قیمت برداشت و مصرف بی رویه منابع مواد خام فسیلی انجام شده است. بر اساس مدل‌های علمی اقتصادی مبتنی بر آمارها و واقعیت‌های موجود، معلوم شده است که منابع فسیلی (که محل تأمین ۸۷٪ از کل انرژی اولیه دنیا هستند)، تا حدود سال ۲۰۱۸ به اوج تولید خود خواهند رسید. سپس در محدوده ۲۰۲۵، روند طولانی زوال این منابع آغاز می‌شود، نفت خام زودتر از همه پایان می‌یابد و بعد از آن هم به زودی نوبت تمام زغال سنگ و گاز طبیعی می‌رسد (شکل ۳) [۵]. چنین روند افولی، به معنای زنگ خطر جدی برای ممالکی است که دغدغه آینده نه چندان دور را نیز در سر دارند. پس نیاز به تغییر جهت، یک ضرورت حیاتی است. تغییر آغاز شده است، اما هنوز فاقد سرعت و کیفیت لازم است. هم‌زمان، رویکرد به منابع مواد خام تجدیدپذیر، عمدتاً زیست توده و به ویژه لیگنوسلولوزها، پس از یک بی‌توجهی تقریباً صد ساله، به سرعت در حال افزایش است.

برای درک ضرورت جایگزینی منابع فسیلی با انواع تجدیدپذیر، خوب است مروری گذرا بر روند رشد اکتشاف، عرضه و تقاضای نفت خام داشته باشیم که برترین و بی‌نظیرترین این منابع است. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، از ابتدای اکتشاف نفت خام در دهه ۱۹۳۰ در خوزستان ایران، حوزه‌های نفتی متعددی در سایر نقاط زمین به تناوب کشف شدند (سطح زیر منحنی به رنگ خاکستری). بشر به سرعت به اهمیت و فواید نفت خام و مشتقات آن پی

زیست توده (biomass) منبع تجدیدپذیر مواد زیستی است و می‌توان آن را مجموعه ماده آلی زنده و غیر زنده (به جز نفت، گاز و زغال سنگ) یا مجموعه مواد آلی تجدیدپذیر دانست. مواد زیستی شامل تمام موجودات زنده خشکی و دریا و بقایای آنهاست. قسمت اعظم زیست توده را پلیمرهای طبیعی تشکیل می‌دهند و تخمین زده می‌شود، سالانه ۴۰۰ هزار میلیون تن زیست توده در زمین تولید می‌شود. انرژی ذخیره شده فقط در بخش خشکی زیست توده، بالغ بر ۲۵۰۰۰ اگزاژول (۲۵۰۰۰×۱۰<sup>۱۸</sup>) ژول است. این در حالی است که کل اشکال انرژی مصرفی بشر، تنها حدود ۴۰۰ اگزاژول در سال است [۴]. این ارقام، عظمت مقادیر زیست توده و انرژی نهفته در آن را خاطر نشان می‌کند. زیست توده را می‌توان در دو دسته جانوری و گیاهی قرار داد. زیست توده جانوری شامل بقایای حاصل از جانوران در طبیعت و نیز صنایع فرآورش دامها، طیور و آبزیان می‌شود. اما معمولاً نوع زیست توده ذکر نمی‌شود. در این صورت، منظور زیست توده گیاهی (vegetal biomass) است. این زیست توده عمدتاً شامل مواد لیگنوسلولوزی است: بقایای گیاهی جنگلی، خاک‌اره و مواد هرس شده یا باقی مانده از فرآورش صنعتی گیاهان مانند ساقه و برگ ذرت، کاه گندم یا باگاس نیشکر و غیره. در ارتباط با صنایع

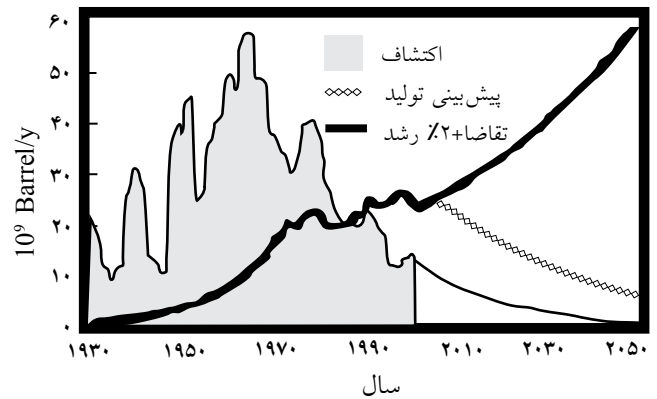


شکل ۳- استفاده پُرشتاب و فزاینده از منابع تجدیدناپذیر فسیلی در قرن ۲۰ و ۲۱ و آینده رو به زوال آنها [۵]. تیوئی نوعی واحد انرژی است که معادل انرژی حاصل از احتراق ۱ تن نفت خام یعنی حدود ۴۲ GJ انرژی گرمایی یا ۱۱۶۳۰ kWh انرژی الکتریکی است.

## جنبه‌های محیط زیست و سلامت

علاوه بر افول منابع فسیلی نفت و گاز و تبعات مربوط به آن، علت دیگری که بشر را به فکر منابع ماده و انرژی جایگزین انداخت، آلودگی‌های متنوع و فزاینده محیط زیست بود که به خاطر فراروش و مصرف بی رویه فرآورده‌ها و مشتقات نفتی، حیات بشر و همه جانداران را در کره زمین جداً به مخاطره انداخته است. تولید و انتشار سالانه گازهای گلخانه‌ای (greenhouse gases, GHG) و در رأس آنها کربن دیوکسید، در یک قرن گذشته بیش از همه دوران‌های پیشین زمین‌شناسی، جو زمین را آلوده کرده است. مثلاً تنها در سال ۲۰۱۰ حدود ۳۰ میلیارد تن کربن دیوکسید وارد جو شده است. از تبعات این آلودگی‌ها، اختلال شدید در چرخه‌های طبیعی عناصر و مواد در زمین (مثلاً چرخه کربن) و همچنین گرم شدن فزاینده کره زمین به خاطر آثار گلخانه‌ای این گازهای آلاینده است. ایجاد حفره‌های بزرگ در لایه محافظ اوزون نیز، از دیگر تبعات فقدان آگاهی و توجه به جنبه‌های زیست محیطی در گسترش صنایع نفتی و پتروشیمیایی و مصرف فرآورده‌های آنها بوده است. آلودگی‌های محیطی (هوا، آب، غذا، خاک و غیره) در کنار صدمات جبران‌ناپذیر به محیط زیست (مثلاً نابودی یا اختلال در بسیاری از زیست‌بوم‌ها (ecosystems) و انقراض بسیاری از گونه‌های گیاهی و جانوری، ارکان سلامت و حیات بشر را نیز به شدت متزلزل کرده است. به ویژه، صدمات و مرگ و میر بشر که از آلودگی هوا ناشی می‌شود به مراتب بیش از مرگ و میر ناشی از سایر آلودگی‌های محیطی است. برآورد می‌شود، آلودگی هوا ۱۱ برابر آلودگی آب و ۱۶ برابر آلودگی غذا باعث مرگ می‌شود. از دلایل مهم آن، میانگین نیاز زیست‌شناختی هر فرد است که به هوای سالم به مراتب بیش از آب و غذا نیاز دارد (حدود ۱۵ کیلوگرم در شبانه‌روز به طور مستمر). در حالی که آب سالم حدود ۲/۵ کیلوگرم در حداقل هر ۵ تا ۷ روز و غذای سالم، حدود ۱/۵ کیلوگرم در حداقل هر ۵ هفته برای هر فرد لازم است [۷].

در این جا شایسته است به اهمیت شناخت ارکان سلامت انسان توجه کنیم. تا سال ۱۹۷۹ میلادی، برای تعریف سلامت سه بعد تعریف می‌شد: جسمانی، روانی و اجتماعی. در آن سال، سازمان جهانی بهداشت در اجلاس بین‌المللی، سلامت معنوی را هم به این سه اضافه کرد و سلامت انسان را بر چهار رکن استوار دانست؛ به گونه‌ای که به هر کدام از این ابعاد خللی وارد شود، سایر ابعاد هم دچار تزلزل و اختلال خواهند شد [۸].



شکل ۴- روند اکتشاف منابع، عرضه و تقاضای نفت خام و پیش‌بینی آینده آن [۶].

برد (به طوری که آن را به عنوان طلای سیاه قلمداد کرد) و در طول کمتر از یک دهه، استخراج و بهره برداری از آن آغاز شد. به موازات استخراج، پالایش و تبدیل به انواع کالاها و فرآورده‌های جدید و گوناگون و عرضه آنها به بازار، تقاضا نیز به سرعت شروع به رشد کرد. اکتشاف حوزه‌های جدید تا حدود ۱۹۷۰ به اوج خود رسید. در همین حال جمعیت جهان، به ویژه در کشورهای در حال توسعه، رو به فزونی نهاد و تقاضای نفت و فرآورده‌های آن مسیر رشد فزاینده خود را (با میانگین حدود ۲ درصد) دنبال کرد [۶]. بعد از دهه ۱۹۷۰، اکتشاف حوزه‌های جدید نفتی، به سرعت رو به کاهش نهاد. این در حالی بود که برداشت از مخازن کشف شده، به طرز روز افزونی ادامه یافت که هنوز هم ادامه دارد. تا اواخر قرن گذشته، روند رشد عرضه و تقاضای نفت، تقریباً با هم منطبق و هماهنگ بود. اما از حدود سال ۲۰۰۰ مشخص شد، میزان عرضه نفت خام و فرآورده‌های آن، پاسخگوی تقاضای روز افزون بازار نیست و این واقعیت از مهم‌ترین دلایل نوسانات و افزایش قیمت جهانی نفت شد. از آن به بعد، رشد تقاضا ادامه یافت، به طوری که اکنون شکاف بین عرضه و تقاضا به شدت رو به افزایش است. پیش‌بینی شده است تا حدود دهه ۲۰۵۰ طلای سیاه به اتمام برسد (شکل‌های ۳ و ۴). از این رو، ضرورت تعیین منابع جایگزین، کاملاً قطعی و بدیهی است. البته در این میان، نوع دیگری از منابع عظیم فسیلی، یعنی گاز طبیعی، نیز کشف شد و مورد بهره‌برداری قرار گرفت که بخشی از تقاضای بازار را پوشش داد. پیش‌بینی شده است، این منابع نیز تا پایان قرن جاری به پایان برسند. در نتیجه باز هم تنزل امنیت انرژی و ضرورت جایگزینی منابع فسیلی مشخص می‌شود. اما دلایل مهم دیگری هم هست که بر این ضرورت و نیاز به تسریع آن تأکید می‌کند و آن جنبه‌های سلامتی و محیط زیست است.

چند جانبه، از جمله اصلاح یا تغییر سوخت خودروها (مثلاً به زیست سوخت‌ها) کاملاً واضح است. خوشبختانه در ایران در سال‌های اخیر، اقداماتی در راستای جایگزینی تدریجی سوخت ترابری با زیست سوخت‌ها انجام گرفته است. به طور کلی و در نگاهی گسترده تر، ضرورت قطعی تجدید نظر جدی و سریع در باره تغییر رویکرد بشر برای تأمین منابع جایگزین ماده و انرژی، امری کاملاً بدیهی به نظر می‌رسد.

### زیست توده: مناسب‌ترین جایگزین

برای این که به جایگزین یا بدیل مناسبی برای منابع فسیلی فکر کنیم، ابتدا باید نسبت به آنچه این منابع در اختیار ما قرار می‌دهند، شناخت کافی کسب کنیم. در حوزه علوم و فناوری، توسعه گسترده مرزهای دانش و توانمندی بشر در بهره برداری از امکانات (ساخت ابزارها، تجهیزات، فرآورده‌ها و کالاهای مفید و متنوع) از مهم‌ترین دستاوردهای مفید منابع فسیلی بوده است. در حوزه اجتماعی، ایجاد اشتغال و ارتقای رفاه فردی در فرایند توسعه شهری و رفاهی نیز از دستاوردهایی است که رویکرد به منابع فسیلی، نقش به سزایی در آن داشته است. در این ارتباط لازم است به منابع بالفعل و عمده کنونی انرژی در جهان (نفت، زغال سنگ، گاز، برقی، هسته‌ای و زیست توده) و سهم هر کدام در تأمین انرژی سالانه در بخش‌های مختلف مصرف‌کننده بیندازیم (جدول ۱) [۱۶]. سهم هر کدام از منابع مورد مصرف برای تأمین کل انرژی دنیا عبارت است از: نفت خام ۳۶٪، زغال سنگ ۲۳٪، گاز طبیعی ۲۱٪، زیست توده ۱۱٪، هسته‌ای ۷٪، برقی ۲٪. با توجه به این ارقام، ملاحظه می‌شود که هم اکنون ۸۰٪ از کل انرژی مورد نیاز بشر به وسیله منابع فسیلی تأمین می‌شود که هر سه این منابع رو به زوال‌اند و یکی پس از دیگری تا انتهای قرن حاضر به اتمام می‌رسند (شکل ۳). سوخت مورد نیاز بخش ترابری اعم از جاده‌ای، هوایی و دریایی، به تنهایی ۴۷٪ از منابع نفت خام را می‌بلعد و در عین حال، بزرگترین نقش را در آلودگی هوا هم ایفا می‌کند. در بخش تولید برق، زغال سنگ نقش عمده‌ای دارد و البته مصرف آن با مقدار زیادی آلودگی CO<sub>2</sub> همراه است. در همین بخش، نشر آلودگی CO<sub>2</sub> به وسیله نیروگاه‌های برقی و هسته‌ای، صفر است. میزان کل نشر CO<sub>2</sub> به خاطر تأمین هر یک از بخش‌های انرژی، بر حسب میلیون تن عبارت است از: سوخت ترابری ۴۹۱۴، تولید برق ۴۹۱۷، صنایع ۴۰۷۶، خانگی-تجاری و سایر ۵۱۷۲ (میزان کل

اکنون مشاهده می‌شود که زندگی صنعتی و ماشینی، تمام ارکان سلامت انسان را دچار اختلالات شدید کرده است. در این جا قدری بر وضعیت آلودگی هوا در کشورمان می‌پردازیم. ایران یکی از کشورهای در حال توسعه صنعتی و اقتصادی است و بدون تردید، این روند توسعه بر ایجاد آلودگی‌های محیطی اثر می‌گذارد. به تازگی پژوهشگران ایرانی و ژاپنی، ارتباط توسعه اقتصادی و نشر گاز کربن دیوکسید در ایران در بازه زمانی ۲۰۰۷-۱۹۹۴ را مطالعه کرده‌اند [۹]. ایران یکی از ده کشور رده اول ایجادکننده گازهای آلاینده گلخانه‌ای است (دومین تولید سرانه بعد از چین) [۱۰، ۱۱]. بر اساس آمار شرکت کنترل کیفیت هوای تهران، در سال ۱۳۸۷ تنها ۱۹ روز در پایتخت کشور هوای پاک داشته‌ایم و بنا بر تحقیقات انجام گرفته، بیش از ۸۰ درصد سهم آلودگی تهران ناشی از حرکت خودروهای با سوخت فسیلی است. تنها برای چهار آلاینده (ذرات معلق کمتر از ۱۰ میکرون، CO<sub>2</sub>، CO و NO<sub>2</sub>) سالانه ۸ میلیارد دلار خسارت به کشور وارد می‌شود که ۳۰ درصد آن متعلق به تهران است. سالانه ۱/۶ میلیون تن آلاینده تنها به وسیله خودروها وارد هوای تهران می‌شود که بدین ترتیب روزانه حدود ۴۵۰۰ تن آلاینده در هوای پایتخت وارد می‌شود [۱۲].

حال به گوشه‌ای از آثار این آلودگی بر ارکان سلامت توجه کنیم. به طور کلی در دنیا مردان و زنان تقریباً سهم مساوی در علل ناباروری دارند. در ایران بر اساس تحقیقات اخیر، حدود ۷۰٪ علل ناباروری، مربوط به مردان است که بیشتر به دلیل افزایش آلاینده‌های محیط است. اکنون در ایران حدود ۳ میلیون زوج نابارور وجود دارد و سالی ۱۵٪ به آنها افزوده می‌شود [۱۳]. دکتر محمدرضا نوروزی، نائب رئیس شورای عالی نظام پزشکی، در کنگره باروری و ناباروری ایران از ناباروری به عنوان یکی از پنج علت اصلی طلاق در میان زوج‌های جوان کشور نام برد [۱۴] که در کنار سایر علل اصلی طلاق، مانند بیکاری، قرار می‌گیرد. بدین ترتیب از هر ۴ ازدواج در کشور، یکی در سال اول زندگی به طلاق ختم می‌شود [۱۵]. به سادگی ملاحظه می‌شود که چگونه اختلال در یکی از ارکان سلامت (در این جا اختلال در سلامت جسمانی ناشی از تنفس هوای آلوده) منجر به اختلال و نابسامانی در سایر ارکان سلامت (روانی، اجتماعی، معنوی) می‌گردد و اختلال در این جنبه‌ها نیز به نوبه خود، مجدداً اختلال بیشتر در سلامت جسمانی را به دنبال خواهد داشت. این چرخه منفی اختلالات، اگر متوقف یا کند نشود، توسعه می‌یابد و آثار مخرب آن به انواع بیماری‌های جبران‌ناپذیر جسمی، روحی-روانی و اجتماعی می‌انجامد. در مثال شاخص بالا، ضرورت اقدامات اصلاحی و عملی

جدول ۲- مقایسه اجمالی منابع تجدیدپذیر و پایدار به عنوان جایگزین‌های منابع فسیلی.

اجزای استحصالی		منابع جایگزین
ماده	انرژی	
	+	نور خورشید از راه سلول‌های خورشیدی (photovoltaic cells, solar panels)
	+	برقابی (hydroelectric)
	+	زمین گرمایی (geothermal)
	+	بادی
	+	جزر و مد، امواج آب
+	+	هسته‌ای
	+	هیدروژن و پیل سوختی
	+	زیست توده

دید که صحیح‌ترین پاسخ، «زیست توده» است. زیرا هم انرژی و هم گستره وسیعی از مواد را به دست می‌دهد، در حالی که سایر

کربن دی‌اکسید رها شده برابر با ۲۳۵۷۹ میلیون تن در سال است) ملاحظه می‌شود که بیشترین میزان انرژی (معادل ۵۴۹۲ Mtoe) و ایجاد بیشترین آلودگی نیز در همین دو بخش انجام می‌گیرد.

از یک دیدگاه کلی، مجموعه آنچه به عنوان ماحصل مفید از جانب منابع فسیلی به ما می‌رسد را می‌توان در دو دسته کلی قرار داد: مواد و انرژی (مواد شامل انواع فراورده‌های نفتی و پتروشیمیایی و انرژی عمدتاً شامل انواع سوخت‌ها برای ترابری و ماشین‌آلات). ماحصل مضر منابع فسیلی هم، که بیشتر به آنها اشاره شد، به طور کلی عبارت از گستره‌ای از آلودگی‌های محیطی (هوا، آب، غذا، خاک، آلودگی‌های صوتی و غیره) و اختلال در فرایندهای طبیعی و زیست محیطی و تهدید سلامت موجودات زنده در زمین است. بدیهی است منابع جایگزین باید فاقد معایب یادشده و واجد مزایای آن باشند و حتی مزایای بیشتری هم داشته باشند. به عبارت دیگر، اگر منابع فسیلی را طلای سیاه بدانیم، طلا را باید با چیزی جایگزین کرد که حداقل هم‌سنگ طلا باشد؛ نه کمتر، بلکه حتی بیشتر و برتر باشد. برای مقایسه، منابع جایگزین مهم در جدول ۲ خلاصه شده است. کدام یک می‌تواند هم‌سنگ منابع فسیلی و جایگزینی تمام عیار برای آنها باشد؟ به سادگی می‌توان

جدول ۱- مقایسه سهم منابع تأمین انرژی سالانه و نشر آلودگی CO<sub>2</sub> در جهان، در بخش‌های مختلف مصرف و نحوه توزیع در هر بخش [۱۶].

منبع مواد-انرژی	سهم در (%)	بخش مصرف		
		سوخت ترابری	تولید برق	صنعت
نفت خام	بخش مصرف	۴۷	۸	۱۶
	نشر CO <sub>2</sub>	۹۷	۱۰	۲۹
زغال سنگ	بخش مصرف	-	۶۹	۱۶
	نشر CO <sub>2</sub>	-	۷۰	۴۳
گاز طبیعی	بخش مصرف	۲	۳۶	۲۴
	نشر CO <sub>2</sub>	۲	۲۰	۲۸
زیست توده	بخش مصرف	۴	۱۰	۱۴
	نشر CO <sub>2</sub>	-	-	-
هسته‌ای	بخش مصرف	-	۱۰۰	-
	نشر CO <sub>2</sub>	-	-	-
برقابی	بخش مصرف	-	۱۰۰	-
	نشر CO <sub>2</sub>	-	-	-
مقدار و مصرف کل (toe) <sup>c</sup>		۱۷۲۸	۳۷۶۴	۲۲۳۶
				۲۵۱۸

(الف) برای توضیح تیوئی به زیرنویس شکل ۳ مراجعه شود.

## زیست سوخت ها و توسعه زیست پالایشگاه ها

اکنون انرژی های تجدیدپذیر، سهم مهمی را در رئوس برنامه های کشورهای جهان، به ویژه برای افزایش جایگزینی بنزین به عنوان سوخت مهم ترابری، به خود اختصاص داده است. انرژی های خورشید، باد، آب، اعماق زمین، هسته ای و مانند آنها را نمی توان به آسانی در باک خودروها ریخت و جایگزین بنزین، گازوئیل و گاز طبیعی کرد. خودروهای الکتریکی، پیل سوختی، هیدروژن سوز و هیبریدی هم هنوز راه حل هایی لوکس و گران قیمت به حساب می آیند. به همین علت است که کشورهای متعدد در جهان به سوخت های زیستی مایع یعنی زیست اتانول و زیست دیزل روی آورده اند.

در این راستا، زیست پالایشگاه های مبتنی بر ذرت و نیشکر (به ویژه در ایالات متحده و برزیل) به سرعت گسترش یافته اند و عمدتاً به تولید زیست اتانول مشغول اند. مثلاً در نیمه دهه ۲۰۰۰ در ایالات متحده، ۱۳۹ زیست پالایشگاه در حال کار و ۶۲ واحد مشابه دیگر در دست احداث بوده است. پلی ساکاریدها به ویژه سلولوز، موادی با بیشترین میزان تولید در گیاهان و محصولات کشاورزی و بیشترین سهم در زیست توده اند. بنابراین، ترکیبات مزبور مستقیماً به مواد و انرژی های تجدیدپذیر آینده و از این رهگذر با استقلال و امنیت غذایی، امنیت انرژی، توسعه پایدار، محیط زیست و سلامت انسان مربوط اند.

### زیست سوخت ها

در حالی که بیست سال پیش، سهم زیست سوخت ها در سبد انرژی دنیا صفر بود، در فاصله سه سال از ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ سهم این سوخت ها در کشورهای پیشرفته به حدود ۶/۳ درصد رسید. متأسفانه ایران از جمله معدود کشورهایی است که در سبد سوختی خود، هنوز تعریفی برای زیست سوخت ها ندارد.

امروزه نه تنها کشورهای پیشرفته، بلکه از هر گروه از کشورهای که تصور می رود، طرح های کلانی در این حوزه ها آغاز شده است از جمله برزیل، آمریکای شمالی، کشورهای اتحادیه اروپا و استرالیا، کشورهای آمریکای جنوبی و مرکزی (از جمله پاراگوئه، مکزیک، جامائیکا و آرژانتین)، کشورهای آسیای شرقی (از جمله چین، هندوستان، ژاپن، و حتی فیلیپین، ویتنام و تایلند) و کشورهای آفریقایی (مانند نیجریه). خلاصه هر کشوری را که می بینم، صرف نظر از نفت خیز بودن یا نبودن، زمین و منابع طبیعی لازم را داشتن یا نداشتن، پیشرفته یا در حال توسعه یا فقیر، همه به



شکل ۵- مقایسه یک برگ سبز به عنوان نمادی از زیست توده، با یک صفحه خورشیدی به عنوان نمونه ای از وسایل بهره مندی از انرژی های نو و تجدیدپذیر. هر دو مورد مبتنی بر خورشید است.

منابع، تنها انرژی در اختیار می گذارند. با وجود این، تردیدی نیست که هر کدام از سایر منابع جایگزین نیز به جای خود درست و مفیدند و قطعاً کارکرد و مزایای خاص خود را دارند. برای مثال، یکی از منابع جایگزین که همه با آن آشنا هستیم، یعنی یک صفحه خورشیدی، را با یک برگ گیاه (به عنوان نمادی از کارخانه مولد زیست توده) مقایسه می کنیم (شکل ۵).

صفحه خورشیدی، انرژی نورانی خورشید را دریافت و به انرژی الکتریکی تبدیل می کند و در اختیار ما قرار می دهد. یک برگ سبز، گاز آلاینده یعنی کربن دیوکسید را از هوا، و آب و غذا را از خاک می گیرد و در مجاورت نور خورشید، در کارخانه پیچیده، کامل و آرام خود (فوتوسنتز)، بدون هیچ گونه آلودگی صوتی و شیمیایی به گاز حیاتی اکسیژن و زیست توده (پلیمرهای طبیعی و گستره ای از مواد) تبدیل می کند.

زیست توده را می توان به کمک عملیات زیست پالایشگاهی به انرژی و مواد ضروری متنوع (شامل غذا، خوراک دام و طیور، سوخت و غیره) تبدیل کرد. ضمن این عملیات، کربن دیوکسید نیز تولید می شود که مجدداً به عنوان خوراک ورودی برگ سبز، به کارخانه فوتوسنتز برمی گردد و تجدیدپذیری و پایایی منبع ماده و انرژی تضمین می شود.

بدین ترتیب، در قیاس با منابع فسیلی تجدیدناپذیر که به طلای سیاه موسوم است، زیست توده را گاه طلای سبز می نامند. از آنجا که ارزش زیست توده، از خیلی جهات مثلاً تجدیدپذیری و پایایی بسیار زیاد است، واضح است که حتی این لقب نیز حق مطلب را ادا نخواهد کرد.



خام فسیلی دانست [۱۸،۱۹]. شکل ۶ طرح واره‌ای از چرخه مواد را با تأکید بر نقش زیست پالایشگاه نشان می‌دهد.

برزیل، بزرگترین کشور آمریکای جنوبی که به تازگی به عنوان یکی از قدرت‌های اقتصادی نوظهور دنیا شناخته شده است، الگوی موفق است که زیست‌اتانول را در سطحی گسترده به عنوان سوخت مایع تولید، مصرف و صادر کرده است. از این رو، زیست پالایشگاه‌ها از مهم‌ترین ارکان اقتصاد این کشورند. شکل ۷ به طور اجمال، تولیدات اصلی زیست پالایشگاه‌های برزیل را نشان می‌دهد [۲۰]. از آنجا که زیست توده گیاهی منشا بخش عمده و دسترس پذیری از زیست انرژی است، آغاز قرن بیست و یکم مقطع بسیار مهمی در تحول شیمی، زیست شیمی و زیست-فناوری در بستر تحقیقات کشاورزی و محیط زیست است.

برای تولید زیست‌اتانول، فناوری کنونی عمدتاً متکی بر تخمیر قندها یا نشاسته به اتانول است، یعنی فناوری تخمیر که اساس آن از سال‌ها پیش شناخته شده است. اکنون با گسترش تحقیقات در زیست فناوری، هزینه آنزیم‌های مورد نیاز برای هیدرولیز به شدت افت کرده و به خاطر اقتصاد بازار و رقابت میان تولیدکنندگان، سایر هزینه‌ها نیز رو به کاهش است.

تبدیل باگاس حاصل از نیشکر، نشاسته ذرت یا سایر منابع می‌تواند بخشی از اعتیاد بشر به نفت را بشکند. مثلاً اکنون در ایالات متحده، اتانولی که از ذرت تولید می‌شود، تنها حدود ۳٪ نیاز این کشور به سوخت مایع برای ترابری و حدود ۲۵٪ از نیازهای خانگی را تأمین می‌کند. اتانول تولیدی از ۱۳۶ پالایشگاه، حدود ۷/۵ میلیارد گالن بوده و مقرر شده است ۵/۸ میلیارد گالن دیگر نیز پس از راه‌اندازی ۶۲ پالایشگاه در حال احداث به آن افزوده شود [۱۸]. در سال ۲۰۰۵ ایالات متحده، برزیل را که تا آن زمان بزرگ‌ترین تولید کننده زیست‌اتانول بود، پشت سر گذاشت.

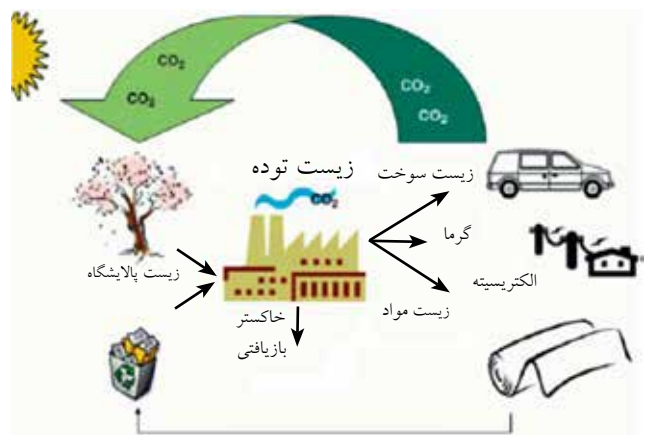
نوعی در این زمینه به تکاپو افتاده و خود را از ضرورت رویکرد به سوخت‌های سبز یا تجدیدپذیر مستثنی ندانسته‌اند [۱۷].

زیست سوخت‌ها، سوخت‌هایی با منشاء زیست‌شناختی و تجدیدپذیراند. شاخص‌ترین آنها، زیست‌اتانول و زیست‌دیزل است که به ترتیب به عنوان جایگزین‌های موفق بنزین و گازوئیل مطرح شده و تحول بزرگی را در اقتصاد سوخت خودروها آغاز کرده‌اند. زیست‌اتانول از تبدیل شیمیایی یا میکروبی (تخمیری) مخلوط‌های قندی یا ترکیبات سلولوزی حاصل می‌شود. مثلاً ملاس به عنوان یکی از فرآورده‌های جنبی کارخانه‌های قند، در بیشتر واحدهای کنونی تولید زیست‌اتانول دنیا ماده اولیه خام را تشکیل می‌دهد و حاوی حدود ۵۰٪ قندهای مختلف است.

### زیست‌اتانول و زیست‌دیزل

انرژی‌های تجدیدپذیر، به ویژه برای افزایش جایگزینی بنزین، به عنوان سوخت مهم ترابری، سهم مهمی را در رئوس برنامه‌های کشورهای جهان به خود اختصاص داده است. از جمله عوامل مؤثر متعدد بر روند توسعه می‌توان به این موارد اشاره کرد: گرانی و پرنوسانی قیمت سوخت‌های فسیلی، تولید نامطمئن سوخت‌های فسیلی و رو به اتمام نهادن منابع مربوط، رشد فزاینده مقدار کربن دی‌اکسید در جو و سایر آلاینده‌های زیست محیطی، موفقیت و توسعه سریع زیست پالایشگاه‌های مبتنی بر نیشکر و ذرت (به ویژه در ایالات متحده و برزیل) که به تولید زیست‌اتانول مشغول‌اند. مثلاً در سال ۲۰۰۸ در ایالات متحده، ۱۳۹ زیست پالایشگاه در حال تولید زیست‌اتانول و ۶۲ واحد مشابه دیگر نیز در دست احداث بوده است.

زیست پالایشگاه را اجمالاً می‌توان هم‌تای زیستی پالایشگاه مواد



شکل ۶- زیست پالایشگاه می‌تواند یک فناوری پایدار و همبسته را تشکیل دهد، بدون آنکه اختلالی در چرخه‌های طبیعت ایجاد کند [۱۹].



شکل ۷- تولید و توزیع تقریبی محصولات اصلی زیست پالایشگاه‌های برزیل در سال ۲۰۰۶ [۲۰].

غیره) به دست می‌آید. در مواردی هم در این نام‌گذاری اختلاف نظر وجود دارد. از جمله این که، بعضی زیست‌اتانول حاصل از گیاهان انرژی‌ساز (energy crops) قندی و نشاسته‌ای (مثل سورگوم شیرین و کاساوا) را نسل اول و بعضی نسل دوم می‌نامند. برخی هم اصطلاح جالب نسل یک و نیم را در این مورد به کار می‌برند. اصطلاح زیست‌اتانول نسل سوم هم در مورد اتانول تولیدی از منابع جدیدی مانند بعضی انواع خاص جلبک‌های دریایی مطرح شده است [۲۲].

در حال حاضر، تبدیل زیست توده لیگنوسلولوزی به سوخت‌ها و مواد با ارزش افزوده زیاد، محور اکثر سرمایه‌گذاری‌های تحقیق و توسعه در حوزه سوخت و انرژی است. از آنجا که موفقیت در این تبدیل، به شناخت هر چه بیشتر از دیواره سلول‌های گیاهی و اجزای آنها، به ویژه سلولوز، همی‌سلولوز و لیگنین بستگی دارد، پژوهش‌های بنیادی نیز در این حوزه در سطح گسترده‌ای ادامه یافته است.

با وجود این، در صنایع تولید سوخت مایع، به دلایل فنی و اقتصادی، بیشتر واحدهای کنونی تولید زیست‌اتانول، از فرایندهای تخمیری (زیست‌فناوری) به عنوان فرایند اصلی استفاده می‌کنند و زیست‌اتانول نسل اول تولید می‌کنند. معمولاً برای پیش‌عمل‌آوری لیگنوسلولوزها و تفکیک آنها به اجزای سلولوزی و همی‌سلولوزی، فرایندهای شیمیایی به کار گرفته می‌شوند. با وجود ارزان‌تر بودن مواد خام لیگنوسلولوزی، فعلاً هزینه تولید هر لیتر زیست‌اتانول نسل دوم، دست کم ۵۰٪ از هزینه تولید زیست‌اتانول نسل اول بیشتر است و هنوز با آن قابل رقابت نیست. علت اصلی آن، چالش‌های فنی ناشی از مشکلات تخمیر واحدهای قندی پنج کربنی حاصل از همی‌سلولوزها (زایلوز و آرابینوز)، عوامل بازدارنده تخمیر و گرانی آنزیم‌های مورد نیاز برای تبدیل سلولوز و همی‌سلولوز به قندهای قابل تخمیر است. به هر حال، نسل دوم زیست‌اتانول نیز، با تحقیق و توسعه بیشتر، به سرعت جای خود را باز می‌کند و به زودی تجاری خواهد شد [۲۲].

زیست‌دیزل که بیشتر به عنوان جایگزین گازوئیل، سوخت خودروهای سنگین را تشکیل می‌دهد، از لحاظ منشا و ساختار و فرایند تولید بسیار متفاوت از زیست‌اتانول است. منشا طبیعی این زیست‌سوخت که اکنون در اروپا به ویژه آلمان بیش از سایر نقاط متداول شده است، انواع چربی‌ها و روغن‌های گیاهی، حیوانی، پسماند (مثلاً روغن سوخته آشپزی و ضایعات چربی و روغنی) و روغن‌های سایر منابع طبیعی مانند بعضی قارچ‌ها و جلبک‌های خاص است. فرایند آن شامل واکنش تبادل استری به کمک متانول



شکل ۸- تولید و عرضه زیست‌سوخت‌های مایع در ایستگاه‌های سوخت‌گیری زیست‌اتانول در برخی کشورهای در حال گسترش است [۶].

شکل ۸ ایستگاه سوخت‌گیری خودرو، شامل زیست‌اتانول را نشان می‌دهد. با گسترش استانداردهای سوخت‌های تجدیدپذیر (RFS) بر مبنای قانون استقلال انرژی و امنیت مصوب سال ۲۰۰۷ در آمریکا، مقرر شد تا سال ۲۰۲۲ تولید سوخت‌های تجدیدپذیر به ۳۶ میلیارد گالن برسد. البته این روند باعث افزایش بهای مواد غذایی و خوراک دام شد. مثلاً قیمت شیر در سال ۲۰۰۷ حدود ۲۹٪ افزایش یافت. قیمت گندم نیز سیر صعودی پیمود و دینامیک تغییرات نسبت قیمت مواد غذایی به خوراک دام بر حسب قیمت سوخت به شدت تحت تأثیر قرار گرفت [۱۸].

### نسل‌های زیست‌اتانول

گاهی در مباحث فنی-اقتصادی، زیست‌اتانول بر حسب خوراک اولیه فرایند تولید آن، به چند نسل تقسیم می‌شود. نسل اول زیست‌اتانول، به اتانولی اطلاق می‌شود که از مواد اولیه قندی یا نشاسته‌ای (مثلاً ضایعات یا پسماندهای صنایع تبدیلی کشاورزی مانند ملاس چغندر قند و نیشکر یا محصولات جانبی صنایع فراورش سیب زمینی، غلات، خرما، انگور و غیره) تولید می‌شود. زیست‌اتانول در ایران نیز توسط بیش از بیست کارخانه از همین مواد اولیه تولید می‌شود و چون بخش عمده آن آب است (موسوم به اتانول آبدار)، به عنوان سوخت خودرو قابل استفاده نیست. اتانول در ایران به مصرف صنایع دارویی، آرایشی-بهداشتی، پزشکی و شیمیایی می‌رسد.

در سال ۲۰۰۹، تولید اتانول غیرسوختی در ایران حدود ۹۰ میلیون لیتر بوده است. هنوز ایران در تولید جهانی اتانول سوختی سهمی ندارد [۲۱].

زیست‌اتانول نسل دوم، معمولاً به اتانولی گفته می‌شود که از زیست توده لیگنوسلولوزی (عمدتاً پسماندهای کشاورزی مانند باگاس نیشکر، کاه و کلش گندم یا ساقه و چوب ذرت، ضایعات چوبی جنگلی و

- برای مصرف آنها نیازی به اصلاح موتور خودروهای کنونی نیست، برای گازوئیل تا نسبت ۲۰ درصد، برای بنزین اتانول دار تا ۱۰ درصد زیست اتانول (مثلاً سوخت های  $E_5$  و  $E_{10}$  که به ترتیب حاوی ۵ و ۱۰٪ اتانول اند).

- افزایش عدد اکتان،

- امکان حذف آلاینده سرطان زای MTBE (متیل ترسیوبوتیل اتر، که در آمریکا قدغن شده و در اتحادیه اروپا نیز به حداقل رسیده و در حال حذف آن هستند).

- باعث کاهش عارضه کوبش یا ضربه زدن (knocking) در موتور می شوند.

### مفهوم سبز بودن در زیست سوخت ها

منظور از سوخت سبز (green fuel) نیز معمولاً همان زیست سوخت با تأکید بر تجدیدپذیر بودن آن است. تجدیدپذیری به وضعیتی اشاره دارد که نیاز است تا یک سوخت پس از سوختن و تبدیل شدن به کربن (به شکل کربن دیوکسید)، دوباره به جایگاه اولیه خود به عنوان ماده خام اولیه، برگردد. این مسیر برگشت به چرخه عمر موسوم است.

چرخه عمر برای سوخت های فسیلی، در حد میلیون ها سال است، یعنی میلیون ها سال طول می کشد تا کربن موجود در جو (به شکل کربن دیوکسید، کربن مونوکسید و سایر ترکیبات آلاینده) که حاصل سوختن سوخت های فسیلی هستند، دوباره در قالب هیدروکربن به اعماق زمین بازگشته و به شکل نفت خام یا گاز طبیعی در دسترس قرار گیرد. این در حالی است که برای سوخت های سبز، چرخه عمر در حدود چند ماه تا یک سال است [۲۶]. مثلاً برای نیشکر در ایران، چنانچه فاصله برداشت تا برداشت بعدی حدود ۱۲ ماه در نظر گرفته شود، کربن حاصل از احتراق زیست اتانول تولید شده از نیشکر، پس از ۱۲ ماه مجدداً طی فرایند فوتوسنتز، به شکل گیاه نیشکر (و سایر گیاهان) به جایگاه اولیه خود برمی گردد تا دوباره برای تولید سوخت سبز، برداشت شود. طرح واره ساده چنین چرخه ای برای گیاه ذرت در شکل ۹ نشان داده شده است [۲۷].

در این جا باید توازن انرژی را نیز در نظر گرفت. به این معنی که چه مقدار سوخت فسیلی در مراحل تولید کودهای شیمیایی و آلی، سموم دفع آفات گیاهی، مراحل کاشت، داشت و برداشت و نیز حمل و نقل تا کارخانه، فرایند تولید زیست سوخت و حمل تا محل مصرف نهایی (مثلاً پمپ بنزین) مصرف شده است. یعنی مقدار انرژی که سوخت سبز به دست می دهد، چقدر بیشتر از

است [۲۳]. طی این فرایند، تری گلیسیرید به استرهای متیلی اسید چرب و گلیسرول تبدیل می شود. مخلوط متیل استرها، همان زیست دیزل است که پس از پالایش کامل، به عنوان زیست سوخت به طور خالص یا در اختلاط با گازوئیل مصرف می شود. متانول اضافی، بازیافت و به فرایند بازگردانده می شود.

گلیسرول خام پس از پالایش به عنوان محصول فرعی، به مصرف سایر صنایع از جمله صنایع دارویی، بهداشتی، آرایشی، پلاستیک و سایر صنایع شیمیایی می رسد. اکنون حجم گلیسرول و مازاد تولید شده آن به حدی شده که قیمت جهانی این ماده به شدت کاهش یافته و توجه فزاینده ای را به عنوان یک ماده اولیه بسیار ارزان و دسترس پذیر برای تبدیل به سایر محصولات شیمیایی مفید به خود جلب کرده است [۲۴، ۲۳]. از جمله این محصولات می توان به موارد زیر اشاره کرد: آکروئین و ترکیبات حاصل از آن، اپی کلروهیدرین (ماده اولیه تهیه رزین های مصرفی در صنایع رنگ و رزین، پلاستیک و کامپوزیت)، زیست مونومرها مانند لاکتیک اسید (ماده اولیه اکثر زیست پلاستیک های کنونی، مصارف بسته بندی و غیره)، آکرلیک اسید و استرهای آکرلیک (ماده اولیه صنایع پلاستیک، رنگ و رزین، پزشکی و بهداشتی مانند تهیه پلیمرهای ابرجاذب و غیره). فرایند تبادل استری، زیست دیزل نسل اول را به دست می دهد. اکنون، نسل دوم زیست دیزل نیز در حال توسعه است. فرایند تهیه مبتنی بر فرایند فیشر-تروپش (Fischer-Tropsch, FT) روی گاز سنتزی است که از مواد اولیه خام بسیار ارزان و دسترس پذیر لیگنوسلولوزی تهیه می شود [۲۵]. از این فرایند، مخلوط آلکان ها به دست می آید، که مشابه همان گازوئیل حاصل از پالایش نفت خام با تفاوت هایی است، از جمله آنکه فاقد اجزای گوگردی است و در نتیجه بر اثر احتراق، آلودگی اکسیدهای گوگردی را ایجاد نمی کند.

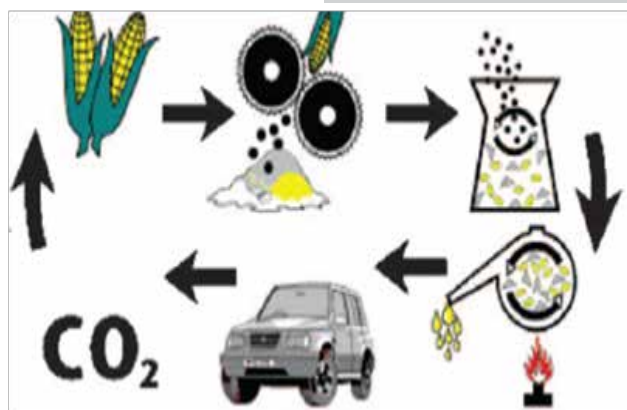
### مزایای استفاده از زیست سوخت ها

در باره مزایای استفاده از زیست سوخت ها، به ویژه در مصارف ترابری، اطلاعات فراوان و اظهارنظرهای متعدد و متفاوتی وجود دارد. اما به طور کلی، مزایای زیست سوخت ها را می توان به شکل زیر خلاصه کرد:

- ایجاد آلاینده گی بسیار کمتر نسبت به بنزین و گازوئیل (تمام انواع آلاینده های هوا از جمله کربن مونوکسید و کربن دیوکسید را به مراتب کاهش می دهند).
- استفاده از آنها، هم به عنوان سوخت کامل و هم سوخت دوگانه (به همراه بنزین و گازوئیل) امکان پذیر است.
- برای عرضه آنها نیاز به احداث پمپ بنزین های جدید نیست.

(corn wet mill) یا یک کارخانه قند که شکر، ملاس، انرژی و باگاس تولید می‌کند را نیز می‌توان زیست‌پالایشگاه به شمار آورد. به هر حال، اجمالاً می‌توان آن را همتای زیستی پالایشگاه مواد خام فسیلی دانست. این واژه اگر با پسوند سبز بیاید، هدف آن به طور ساده در این ایده و آرمان ریشه داشته و بر این تأکید دارد که فعالیت‌های صنعتی بشر نه تنها در تقابل با روندهای طبیعی و چرخه‌های مواد در طبیعت نباشد، بلکه هم‌گام و هماهنگ با طبیعت باشد. مثلاً در تولید سوخت برای ترابری، فناوری تولید سوخت، خود قسمتی از چرخه کربن شود، بدون آنکه در روندها و ویژگی‌های آن اختلال یا تغییر ایجاد کند. در جدول ۳ مقایسه ساده‌ای از پالایشگاه نفت و زیست‌پالایشگاه داده شده است [۲۸، ۲۹]. در مقایسه با پالایشگاه‌های مواد خام فسیلی، زیست‌پالایشگاه‌ها هنوز دوران کودکی و جوانی خود را می‌گذرانند. اما به دلیل دانش و تجربه بشری در حوزه‌های مختلف علوم پایه، مهندسی، اقتصاد و محیط زیست که در بخش مهمی از آن، در رهگذر تحقیق و توسعه در پالایشگاه‌های نفتی طی بیش از یک قرن گذشته، حاصل آمده است و همچنین فناوری‌های پیشرفته‌ای که طی همین سالیان در سایر شاخه‌های علوم و مهندسی مرتبط تحصیل شده است، سرعت رشد و توسعه زیست‌پالایشگاه‌ها به مراتب بیش از انواع فسیلی آنهاست و آینده بسیار درخشانی را نوید می‌دهند. تبدیل بهینه مواد خام سلولوزی به زیست‌سوخت‌ها، هم چالش و هم فرصت است برای تولید زیست‌سوخت‌ها و سایر فرآورده‌های سبزی که به سرعت رو به گسترش‌اند. به طور کلی پژوهش‌های کنونی و آینده در این حوزه، مشتمل بر موارد بسیاری است، از جمله [۱۸]:

- شناسایی مواد خام کشاورزی، شامل رمزگشایی از مواد همراه دیواره‌های سلول‌های گیاهی،



شکل ۹- تولید و مصرف زیست‌سوخت در چرخه عمر کربن در طبیعت [۲۷].

مقدار انرژی فسیلی است که در چرخه عمر آن مصرف شده است. پیشرفت‌های فناوری تولید سوخت‌های سبز، این توازن انرژی را به نفع زیست‌سوخت‌ها تغییر داده است.

### زیست‌پالایشگاه‌ها

زیست‌پالایشگاه توسط آزمایشگاه ملی انرژی تجدیدپذیر (National Renewable Energy Laboratory) به عنوان تسهیلاتی تعریف می‌شود که فرایندهای تبدیل زیست‌توده و تجهیزات تولید سوخت، انرژی و مواد شیمیایی حاصل از زیست‌توده را در خود جای می‌دهد [۱۸]. زیست‌پالایشگاه در واقع واحد تولید صنعتی متناظر با پالایشگاه نفت و مجتمع پتروشیمی است. نفت خام، خوراک ورودی یا ماده خام اولیه پالایشگاه نفت و زیست‌توده، خوراک ورودی زیست‌پالایشگاه است. بنا بر بعضی تعریف‌های دیگر، مثلاً یک کارخانه فرایند مرطوب آسیاب کردن ذرت

جدول ۳- یک مقایسه ساده و اجمالی زیست‌پالایشگاه با پالایشگاه نفت [۲۸، ۲۹].

زیست‌پالایشگاه	پالایشگاه نفت	بعضی ویژگی‌ها
گستره وسیع و پراکنده، بنابر این گسترش اشتغال در سراسر کشور است. فصلی، اما تجدیدپذیر کم ترکیبات پراکسیژن و پرعامل نیازمند پژوهش و توسعه فناوری نیاز به استاندارد شدن دارند نیاز به تنزل دارند	مخازن غنی نفتی در بعضی نقاط، بنا بر این تمرکز اشتغال فقط در مناطق نزدیک به حوزه‌های نفتی است. پیوسته، اما محدود و تجدیدنپذیر زیاد هیدروکربن‌های غیر عامل دار بهینه شده طی ۱۰۰ سال گذشته بالا و مطلوب بازار مطلوب بازار	مکان مواد خام اولیه دسترس‌پذیری به مواد خام اولیه ظرفیت‌های تولید کنونی ترکیب‌بندی شیمیایی فرایندهای تبدیل کیفیت فرآورده‌ها قیمت فرآورده‌ها

(nutraceutical) را در بر خواهند گرفت. در این راستا، حجم عظیمی از تحقیقات در حوزه های مختلف مواد و انرژی در راستای توسعه زیست پالایشگاه های سبز در حال انجام است.

در جدول ۴ مفاهیم پایه یک زیست پالایشگاه خلاصه شده است [۲۹]. گستره ای از مواد خام زیست تجدیدپذیر که بسیار ارزان و دسترس پذیرند، ورودی اصلی این پالایشگاه اند. خروجی های آن، انرژی و گرما، انواع زیست سوخت ها، مواد غذایی پایه و راهبردی (مانند آرد، روغن و شکر)، خوراک دام (که خود پایه انواع مواد غذایی پروتئینی از جمله گوشت و فرآورده های لبنی خواهد بود) و گستره وسیعی از مواد شیمیایی است که برای بسیاری از صنایع شیمیایی دیگر مواد اولیه خواهند بود. این تبدیلات، که موضوع تمرکز بسیاری از پژوهش های دانشگاهی و صنعتی فزاینده در دو دهه اخیر شده است، به کمک انواع مختلفی از فرایندهای زیست فناوری (مانند تخمیر آنزیمی)، شیمیایی (مانند هیدرولیز و تبادل استری) و گرمایشیمیایی (مانند پیرولیز) انجام می شود.

بنابراین، زیست پالایشگاه با این مفهوم، ماهیتی سبز دارد و در شکل جامع و وسیع خود، همبسته (integrated) است. بنابر این، یک مجموعه عظیم راهبردی را تشکیل می دهد. ویژگی سبزی و یکپارچگی یا همبسته بودن، اشاره به این دارد که احداث چنین مجموعه صنعتی، خود مستلزم و موجب فعال شدن و گسترش بخش کشاورزی و رسیدگی به امور آب و خاک، هماهنگی با طبیعت و زیست بوم های آن، تأمین غذای انسان و خوراک دام، تولید انرژی

- هیدرولیز بهینه سلولوز و همی سلولوز به قندهای تخمیرپذیر،  
- شناخت و کمینه سازی عوامل بازدارنده تخمیر،  
- استفاده از انرژی پتانسیل نهفته در لیگنین از راه تولید همزمان یا تبدیل گاز سنتز (مخلوط کربن مونوکسید و هیدروژن) به سوخت مایع،  
- دستیابی به فرآورده های جدید پرارزش از لیگنین،  
- تولید سوخت های دیگری افزون بر اتانول (مانند متانول، بوتانول یا هیدروژن)،  
- تولید سوخت های گازی یا مایع از راه روش های گرمایی (پیرولیز، گازی کردن)،  
- تولید بهینه متان از زیست گاز و سایر فرآورده های تخمیری ناهواری و  
- توسعه فرآورده های جنبی غیرسوختی (حلال ها، مونومرها و غیره) از مواد خام سلولوزی.

زیست پالایشگاه امروزی، هنوز کاملاً همتای پالایشگاه نفت نشده است. زیرا، در واقع محصول اصلی آنکه در بیشترین حجم تولید می شود، زیست اتانول است. اما این محصولات، مانند محصولات پالایشگاه های نفت (سوخت ها، روان کننده ها، حلال ها، مواد شیمیایی واسطه و پلیمرها)، در حال گسترش اند و انواع زیست فرآورده ها از جمله اصلاح کننده های خاک، اجزای ترکیبات غذایی انسان و خوراک دام و طیور، الیاف، پلاستیک های زیست تخریب پذیر، مواد ساختمانی و فرآورده های غذایی- دارویی

جدول ۴- مفاهیم یک زیست پالایشگاه همبسته: منابع خام زیست توده، به وسیله فرایندهای تبدیل به گستره وسیعی از فرآورده های پرارزش متنوع تبدیل می شوند [۲۹].

منابع خام اولیه (زیست توده)	فرایندهای تبدیل	فرآورده های زیست پالایشگاهی
درختان علف ها غلات کشاورزی ضایعات چوبی و کشاورزی پسماندهای صنایع تبدیلی کشاورزی ضایعات حیوانی زباله های جامد شهری جلبک ها چربی ها و روغن ها ...	تخمیر آنزیمی هیدرولیز اسیدی-آنزیمی گازی کردن انفجار با بخار پیرولیز Co-firing تبادل استری	• سوخت ها: زیست اتانول، زیست دیزل، ... • انرژی: برق، گرما • مواد شیمیایی: مونومرها و پلیمرها، رزین ها، حلال ها، فورفورال، استیک اسید، ترکیبات شیمیایی واسطه، ترکیبات فنولی، چسب ها، اسیدهای چرب، دوده، رنگ ها و رنگدانه ها و پوشش ها، مرکب چاپ، شوینده ها، سیالات روان کاری و هیدرولیک، ... • مواد غذایی (آرد، شکر، روغن، ...) • خوراک دام

تخریب پذیرند و نهایتاً در محیط زیست تخریب و تبدیل به کربن دیوکسید و آب می شوند. به عبارتی، همان مواد اولیه‌ای که در فرایند طبیعی فوتوسنتز توسط گیاه و نور خورشید تولید شده بودند، مجدداً به همان چرخه بر می گردند و این چرخه که به نوعی با چرخه کربن در طبیعت هماهنگی دارد، ادامه می یابد.

## رویکردهای کشور ما

طی سال‌های اخیر در ایران، گام‌های نویدبخشی برداشته شده است. مثلاً پس از تلاش‌ها و پیگیری‌های بسیار توسط متخصصان و مسئولان آگاه، در سال ۱۳۸۷ مقرر شد، تا سال ۱۳۹۰ بنزین E5 ابتدا در خوزستان و به تدریج در کل کشور ارائه شود. در این حالت ۰/۰۵ درصد از مصرف کل سوخت خودروها زیست‌اتانول می شد، اما اجرای این طرح به تعویق افتاده است [۳۰]. اکنون طرحی با عنوان طرح تهیه و تدوین برنامه جامع بیواتانول کشور نیز تدوین و در سال ۱۳۹۰ آغاز شده است. این طرح به سفارش مدیریت پژوهش و فناوری شرکت ملی پالایش و پخش فرآورده های نفتی ایران (متولی انحصاری تامین و توزیع سوخت کشور) انجام می شود. اجرای این طرح گسترده در دو فاز جداگانه، جمعاً در مدت حدود ۱۸ ماه و با همکاری و مشارکت انجمن صنفی تولید کنندگان اتانول ایران و یک شرکت طراحی فرایندهای شیمیایی داخل کشور (مستقر در شهرک علمی و تحقیقاتی اصفهان) با بهره گیری از تخصص و تجارب شماری از اساتید و کارشناسان داخلی و خارجی انجام می گیرد [۳۱].

در استان بوشهر، منطقه عسلویه، شرکت مهرپتروکیما، واحدهای صنعتی بزرگی در دست احداث دارد [۳۲]. واحدهای تولید زیست‌اتانول و زیست‌دیزل این مجتمع، تا سال ۲۰۱۴ راه اندازی خواهد شد. برای واحد زیست‌اتانول، ابتدا فرایند جداسازی آب از زیست‌اتانول تولید شده توسط تولیدکنندگان اتانول داخل کشور در نظر گرفته شده است.

برای فرایند آب‌گیری، استفاده از فناوری غربال مولکولی مد نظر است. همچنین مقرر شده است، طرح کشت و صنعتی به شکل کشت گیاه سورگوم شیرین و تولید اتانول سوختی با ظرفیت ۱۳۰ هزار تن در روز انجام و به شرکت پالایش و پخش فرآورده‌های نفتی برای تولید بنزین E5 و E10 عرضه شود. برای زیست‌دیزل که با فناوری تبادل استری تولید خواهد شد، یک زمین ۳۵۰۰ هکتاری از سوی سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور

گرامایی و الکتریکی، ایجاد اشتغال و توسعه پایدار خواهد شد. از این رو، بر خلاف آنچه ممکن است تصور شود، فرآورده‌های زیست‌پالایشگاهی بسیار فراتر از تولید زیست‌اتانول و مزایای احداث یک مجموعه جامع همبسته و یکپارچه زیست‌پالایشگاهی، بسیار فراتر از مزایای یک کارخانه تبدیل و فرورش مواد محصولات کشاورزی است.

زیست‌پالایشگاه‌ها را معمولاً به طور ساده بر حسب نوع مواد اولیه خام ورودی به آنها به انواعی تقسیم می کنند، مانند زیست‌پالایشگاه نیشکری، لیگنوسلولوزی، همی سلولوزی، لیگنینی و غیره.

در یک تقسیم‌بندی کلی، نسل‌های اول، دوم و سوم برای آنها تعریف می شود که تنها نسل سوم، جامعیت و الزامات یک زیست‌پالایشگاه همبسته واقعی را داراست. آزمایشگاه ملی انرژی تجدیدپذیر (NREL) و صاحب‌نظران دیگر بر اساس مدل پتروشیمیایی، برای تعیین موادی که نقش سنگ بنای اصلی را برای یک زیست‌پالایشگاه واقعی ایفا می کنند، از میان بیش از ۳۰۰ نامزد، ۳۰ ترکیب را برگزیدند. در نهایت، این فهرست فشرده تر شد و به ۱۲ سنگ بنای اصلی تقلیل یافت. این ترکیبات عبارت‌اند از [۲۸، ۲۹]: دی کربوکسیلیک اسیدها (سوکسینیک اسید، فورامیک اسید و مالئیک اسید)، ۲،۵-فوران دی کربوکسیلیک اسید، ۳-هیدروکسی پروپونیک اسید، آسپارتیک اسید، گلوکاریک اسید، گلوتامیک اسید، ایتاکونیک اسید، لولینیک اسید، ۳-هیدروکسی بوتیرولاکتون، گلیسرول، سوربیتول و زایلیتول/آرابینیتول.

در این جا، برای تأکید بیشتر بر ارتباط میان زیست‌پالایشگاه همبسته و حوزه علوم و فناوری پلیمرها، به شکل ۱ باز می گردیم. قسمت عمده زیست توده به عنوان منبع تجدیدپذیر، از پلیمرهای طبیعی یا زیست پلیمرها (سلولوز، همی سلولوز، نشاسته، لیگنین، و غیره) تشکیل شده است. از این منبع مواد خام، هم زیست پلیمرها مستقیماً قابل استحصال‌اند، مانند سلولوز در صنایع کاغذ و خمیر کاغذ و نشاسته در صنایع مربوط به آن و هم کربوهیدرات‌ها، روغن‌ها یا پروتئین‌ها استخراج می شوند. سپس، از فرورش (شیمیایی، گرمایشیمیایی، میکروبیولوژیکی یا تخمیری) آنها زیست مونومرها (مانند لاکتیک اسید، استرهای آکرلیک، ۳،۱-پروپان دیول، ۳-هیدروکسی پروپونیک اسید، گلیسرول، سوکسینیک اسید، ایتاکونیک اسید و غیره) تولید می شوند. این مونومرها بر اثر فرایندهای پلیمر شدن به محصولات پلیمری تبدیل و سپس با فنون فرورش پلیمرها به محصولات و کالاهای نهایی تبدیل می شود.

این محصولات نهایی، به دلیل این که ریشه ساختاری و خاستگاه طبیعی دارند، قاعداً سازگار با ساختارهای طبیعت و

واقع بینانه و آینده نگرانه‌ای در نقاط مختلف کشور، نویدبخش آینده‌ای شکوفا و سلامت برای مردم خواهد بود.

### نتیجه گیری

جایگزینی اسلوبمند و تدریجی منابع فسیلی (تجدید ناپذیر و ناپایدار) با زیست توده (منبع مواد خام تجدیدپذیر و پایدار، که قسمت اعظم آن را پلیمرهای طبیعی تشکیل می‌دهند) و تأسیس و گسترش زیست پالایشگاه‌های همبسته (که خود نیز مستلزم گسترش کشاورزی و تولید مواد غذایی راهبردی است) و تولید، مصرف و صادرات فرآورده‌های زیست پالایشگاهی از جمله زیست سوخت‌ها، نه یک انتخاب بلکه یک ضرورت قطعی راهبردی به نظر می‌رسد. دلیل آن این است که افزون بر رونق کشاورزی و استقلال و امنیت غذایی مردم، باعث پی‌ریزی شالوده‌ای محکم و دائمی برای ارتقای امنیت انرژی کشور، ارتقای سلامت مردم و محیط زیست، ارتقای تولید و اقتصاد ملی، ایجاد اشتغال پایدار و توسعه پایدار و همه‌جانبه کشور می‌شود و در این رهگذر موجب احتراز از محدودیت‌ها و تهدیدها و فشارهای وابسته به اقتصاد آسیب‌پذیر منابع فسیلی (که عمرشان هم رو به پایان است) خواهد شد.

### مراجع

1. Mecking S., Nature or Petrochemistry?—Biologically Degradable Materials, *Angew. Chemie, Inter. Ed.*, **43**, 1078–1085, 2004.
2. Retrieved from <http://www.seps.sk/zp/fond/dieret/biomass.htm>, Sept. 2008.
3. Meredith P.L., Life Sciences and Materials: A Successful Marriage is Possible, *J. Polym. Sci., Part A- Polym. Chem. Ed.*, **38**, 667-678, 2000.
4. Retrieved from [http://en.wikipedia.org/wiki/Renewable\\_resource](http://en.wikipedia.org/wiki/Renewable_resource), Dec. 2011.
5. Retrieved from <http://www.smartplanet.com/blog/energy-futurist/our-energy-future-golden-age-or-stone-age/143?tag=search-river>, March 2012.
6. Benemann J., 5th Annual World Congress on Industrial Biotechnology, Chicago, April 30, 2008.

به کشت گیاهان روغنی (مانند سویا، آفتابگردان، گلزا، جاتروفا) اختصاص داده شده است.

از سوی دیگر، سازمان گسترش و نوسازی صنایع ایران نیز اکنون یک واحد تولید پایلوت زیست‌اتانول سوختی از باگاس نیشکر به ظرفیت روزانه ۱۰ هزار لیتر در کشت و صنعت هفت تپه خوزستان در دست احداث دارد و مقرر است در اوایل سال ۱۳۹۱ به بهره برداری برسد. این سازمان واحد دیگری نیز برای تولید همین زیست سوخت با ظرفیت روزانه ۱۰۰ تا ۲۰۰ هزار لیتر در کرمانشاه، با توجه به پتانسیل‌های این استان، احداث و راه‌اندازی خواهد کرد [۳۳]. همان طور که معاونت سرمایه‌گذاری‌های صنعتی این سازمان اعلام کرده است، چنانچه فقط یکی از منابع زیست توده کشور، یعنی باگاس را در نظر بگیریم، حجم این منبع لیگنوسلولوزی در کشور سالانه ۲/۵ میلیون تن است که در آینده نزدیک به عنوان ماده اولیه ارزان و دسترس پذیر برای تولید زیست‌اتانول سوختی و سایر فرآورده‌ها در کشور اهمیت قابل توجهی پیدا خواهد کرد.

در عین حال، سعی بر این است که واحدهای تولید زیست اتانول سوختی به گونه‌ای طراحی شوند که قابلیت استفاده از انواع زیست توده سلولوزی از جمله ضایعات نخایلات (خرما)، گندم، برنج و هم‌چنین ذرت و گیاه سورگوم را نیز داشته باشند. توسعه و تسریع این گونه طرح‌ها و آغاز چنین رویکردهای

- 7- عامری احمد، هفته‌نامه سلامت، شماره ۳۵۴، صفحه ۱۲، ۲۲ دی ۱۳۹۰.
- 8- اکبری محمداسماعیل، سلامت معنوی، رکن چهارم سلامت، هفته نامه سلامت، شماره ۳۴۸، صفحه ۲، ۱۲ آذر ۱۳۹۰.
9. Yousefi-Sahzabi A., Sasaki K., Yousefi H., and Sugai Y., CO<sub>2</sub> Emission and Economic Growth of Iran, *Mitig. Adapt. Strat. Glob. Change*, **16**, 63–82, 2011.
10. Retrieved from <http://www.pezeshkan.org/?p=17510>, Jan. 2012.
11. نشریه اتانول، شماره ۲۹، صفحه ۱۵، ۱۳۹۰.
12. پروین پیروز، به نقل از مدیر عامل شرکت کنترل کیفیت هوا، ۹ بهمن ۱۳۸۹ (<http://pirouz-parvin.persianblog.ir/post/543>).
13. صارمی ابوظالب، روزنامه اطلاعات، دوشنبه، شماره ۲۵۲۳۶، ۱۰ بهمن ۱۳۹۰.

۱۴. نوروزی محمدرضا، <http://www.salamatnews.com/interview.aspx?ID=52>
۱۵. صفری نژاد محمدرضا، هفته‌نامه سلامت، شماره ۳۴۸، صفحه ۱۱، ۱۲ آذر ۱۳۹۰.
۱۶. Pickrell J., Introduction: Energy and Fuels, مقاله، برگرفته از New Scientist, September 2006 که در ماه مارس 2012 از نشانی اینترنتی زیر استخراج شده است: [http://www.newscientist.com/data/images/ns/sreport\\_graphic/energy-fuels-mg18725151500.jpg](http://www.newscientist.com/data/images/ns/sreport_graphic/energy-fuels-mg18725151500.jpg)
۱۷. پروین پیروز، تولید و مصرف سوخت‌های زیستی در ایران و جهان: بیواتانول، فرصتی که همچنان از دست می‌رود، هفته‌نامه کشاورزی و صنایع غذایی دنیای سبز، شماره ۵۳، صفحه ۱۵، ۱۱ خرداد ۱۳۸۹.
18. Orts W.J., Holtman K.M., and Seiber J.N., Agricultural Chemistry and Bioenergy, *J. Agricul. Food Chem.*, **56**, 3892-3899, 2008.
19. Ragauskas A.J., Williams C.K., Davison B.H., Britovsek G., Caine J., Eckert C.A., Frederick W.J. (Jr.), Hallett J.P., Leak D.J., Liotta C.L., Mielenz J.R., Murphy R., Templer R., and Tschaplinski T., The Path Forward for Biofuels and Biomaterials, *Science*, **311**, 484-489, 2006.
20. Nass L.L., Arraes P.A. Pereira, and Ellis D., Biofuels in Brazil: An Overview, *Crop Sci.*, **47**, 2228-2237, Nov.-Dec. 2007.
21. Retrieved from [www.epa-iran.ir](http://www.epa-iran.ir), Jan. 2012.
22. Retrieved from <http://pirouz-parvin.persianblog.ir/post/543>, Jan. 2012.
23. Kenar J.A., Glycerol as a Platform Chemical: Sweet Opportunities on the Horizon?, *Lipid Technol.*, **19**, 11, 249-253, 2007.
24. Bozell J.J., Biorefinery Product Opportunities from Glycerol, *Proceedings of Transition to a Bioeconomy: Integration of Agricultural and Energy Systems*, Atlanta, Georgia, February 12-13, 2008.
25. Zayed J., Mélineau C., and Fortin G., Biofuel Production, *Arable Land and Sustainable Development: A Bird's Eye View*, University of Montreal, Department of Environmental and Occupational Health, Quebec, Canada & Environmental Public Hearings Bureau, Government of Quebec, Canada.
۲۶. نیک تبار یاسین، سوخت‌های سبز واقعاً چقدر سبزند!، اتانول، شماره ۲۸، ۲۰ و ۲۱، فروردین و اردیبهشت ۱۳۹۰.
27. Stocker M., Biofuels and Biomass-to-Liquid Fuels in the Biorefinery: Catalytic Conversion of Lignocellulosic Biomass using Porous Materials, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **47**, 9200 – 9211, 2008.
28. Kamm B., Kamm M., Gruber P.R., and Kromus S., *Biorefineries – Industrial processes and products. Status Quo and Future Directions*, Kamm B., Gruber P.R., and Kamm M. (Eds.), 1, Wiley-VCH, Weinheim, Germany, Chap. 1, 2006.
29. Fernando S., Adhikari S., Chandrapal C., and Murali N., Biorefineries: Current Status, Challenges, and Future Direction, *Energy Fuels*, **20**, 1727-1737, 2006.
30. Retrieved from <http://pirouz-parvin.persianblog.ir/post/543>, Feb. 2012.
31. Retrieved from [bioethanolnationalplan.ir](http://bioethanolnationalplan.ir), 10 March 2012.
32. Retrieved from <http://mepekco.com>, 10 March 2012.
33. Retrieved from <http://www.idro.org/Lists/Announcements/DispForm.aspx?ID=653>, 12 March 2012