



## امکانات منبع بیوماس

### و فرآیند تبدیل آن

# به سوخت ها و مواد شیمیایی

آدم

نویسنده: ابهان دمیرباش  
مترجم: بابک محقق زاهد

استفاده از انرژی بیوماس از نخستین منابع تأمین انرژی انسان بوده است. از انرژی بیوماس می توان در زمینه های مختلفی از جمله تولید برق، گرم کردن خانه ها، سوخت وسایل نقلیه و همچنین تأمین حرارت فرآیندی کارخانه های صنعتی استفاده کرد. در شماره ی قبل به اهمیت این انرژی، مزایا و کاربردها و منابع تأمین آن در محیط زیست پرداختیم. در ادامه ی این مطلب نیز به آینده ی بیوماس و فرآیندهای تبدیل این منبع پرداخته شده است.

#### ۵- آینده بیوماس

در آینده، بیوماس این پتانسیل را خواهد داشت که تأمین کننده منبع انرژی مقرون به صرفه و پایداری باشد. در عین حال با استفاده از این انرژی اهداف کشورها برای کاهش گازهای گلخانه ای جامه عمل خواهد پوشید. برآورد می شود که تا سال ۲۰۵۰، ۹۰ درصد جمعیت جهان در کشورهای در حال توسعه ساکن خواهند بود [۱۶]. بنابراین پایدار بودن فرآیندهای بیوماس در این کشورها حساسیت فراوانی دارد. یکی از راه حل های پیش روی کشورهای در حال توسعه برای استفاده بهینه از بیوماس، مدرن کردن تکنولوژی های بیوماس است که در نهایت موجب تولید و تبدیل مؤثرتر این انرژی خواهد شد.

در آینده مهم ترین فرآیندهای بهره برداری از بیوماس در کشورهای صنعتی به احتمال زیاد احتراق مستقیم پسماندها و ضایعات جهت تولید برق خواهد بود. علاوه بر این تولید بیواتانول و بیودیزل به عنوان سوخت های مایع و حرارت ترکیبی و تولید برق با بهره گیری از محصولات انرژی زا از دیگر فرآیندهای مهم بهره برداری از بیوماس است. احتمالاً از کوتاه مدت و میان مدت ضایعات و پسماندهای بیوماس بخش اعظم ذخیره ارزش بیوماس را تشکیل خواهند داد که در دراز مدت محصولات انرژی زا جانشین آنها خواهند شد. آینده تولید برق به منابع بیوماس بستگی دارد و به تکنولوژی گازی کردن (gasification) توربین گازی که از تکنولوژی برتر تبدیل انرژی است. در آینده بیوماس رقیب جدی سوخت های فسیلی در صنعت مواد خام شیمیایی خواهد بود. بیوماس منبعی است تجدیدپذیر، قابل انعطاف و انطباق پذیر. برای رفع انواع و اقسام نیازها می توان محصولات گوناگونی کاشت. موفقیت صنعت مواد شیمیایی مشتق شده از بیوماس بستگی دارد به موجودی و

تقاضا برای مواد خام، مواد شیمیایی اولیه و مواد واسط مهم، یعنی موادی همچون سلولز، اسیدلولینیک و اسیدلنوونیک. اولین ترموپلاستیک ها و الیاف سلولزی از مشتقات سلولز ساخته شدند. از اسید لاکتیک می توان استالدهید ساخت که از مواد واسط مهم پتروشیمی به حساب می آید. اسیدلولینیک را هم می توان جانشین اتیلن گلیکول کرد که خنک کننده موتور است.

#### فرآیندهای تبدیل بیوماس

دو شیوه کلی برای تبدیل بیوماس وجود دارد: تجزیه شیمیایی و هضم بیولوژیکی. تکنولوژی های تبدیل انرژی برای بهره برداری از بیوماس به چهار دسته اصلی تقسیم می شود: فرآیند های احتراق مستقیم، فرآیندهای گرما شیمیایی، فرآیندهای بیوشیمیایی و فرآیندهای کشاورزی شیمیایی.

از روش تجزیه گرما شیمیایی می توان برای تبدیل انرژی هر پنج نوع ماده بیوماس بهره برد، اما مناسب ترین آنها از این میان گیاهان علفی با رطوبت پایین (پسماندهای مزارع کوچک غلات) و محصولات چوبی (ضایعات چوب و چوب های قطع شده ای که برای تبدیل شدن به الوار به کار نمی آید) هستند. فرآیند های بیولوژیکی ضرورتاً به شکل هضم میکروبی و تخمیر هستند. مناسب ترین مواد برای هضم بیولوژیکی گیاهان علفی با رطوبت بالا (سبزی ها، نیشکر، چغندر قند، ذرت، ذرت خوشه ای، پنبه) محصولات دریایی و کود هستند.

استخراج از دیگر فرآیندهای تولید ماده انرژی زا از بیوماس (مانند روغن کلزا که از گیاه کلزایی می گیرند) است که عمدتاً روشی مکانیکی محسوب می شود. با توجه به تنوع مواد انرژی زای حاصل از بیوماس می توان تمایزی میان تولید گرما، برق و انواع سوخت قائل شد.

تکنولوژی های پیشرفته فراوانی برای تبدیل انرژی بیوماس پدید آمده است. البته بررسی جزئیات این تکنولوژی ها از دامنه بحث این مقدمه فراتر می رود. برای بررسی بیشتر می توانید به گزارش فان دن هوول در این زمینه رجوع کنید. [۱۴].

### ۱- فرآیندهای احتراق مستقیم

از روش احتراق در مقیاس های مختلف برای تبدیل انرژی بیوماس به گرما و یا برق با کمک جریان بخار (اجاق گاز یا بخاری، دیگ های بخار و نیروگاه های برق) استفاده می شود. برای تولید گرما، برق و بخار (فرآیندی) به کمک روش احتراق از انواع و اقسام سوخت ها استفاده می شود. این عمل در مقیاس کوچک (برای گرم کردن فضای خانه) تا مقیاسی در حد ۱۰۰ مگاوات صورت می گیرد. هم احتراق بیوماس در نیروگاه هایی که سوختشان از زغال سنگ تأمین می شود از جمله راه هایی است که سخت مورد توجه قرار گرفته و علت آن هم بازده بالای این نیروگاه ها در تبدیل انرژی بوده است. این تکنولوژی اکنون جای خود را باز کرده هر چند هنوز هم امکان ایجاد تحولات مثبت بیشتری وجود دارد.

بازده خالص الکتریسیته در نیروگاه هایی که از احتراق مستقیم تأمین سوخت می کنند چیزی بین ۲۰ تا ۴۰ درصد است. بازده بالاتر در شبکه های ۱۰۰ مگاوات هنگامی به دست می آید که بیوماس در نیروگاه های زغال سنگ هم احتراق شود [۱۵].

احتراق مستقیم فرآیندی مهم در بهره برداری از انرژی بیوماس به شمار می آید. انرژی حاصل شده را می توان برای تأمین گرما و یا بخار برای پخت و پز، گرم کردن خانه و فرآیندهای صنعتی و حتی تولید برق به کار برد.

این روش در کاربردهای محدودی مانند پخت و پز و گرم کردن خانه بازدهی بسیار اندکی دارد چرا که ۳۰-۹۰ درصد گرما در جریان جابه جایی به هدر می رود. با استفاده از اجاق گاز یا بخاری که بازدهی به مراتب بالاتری دارند می توان این مشکل را حل کرد.

در مقیاس بزرگ تر، مواد بیوماس مانند چوب سوخت، پسمانده های جنگل کاری، تفاله نیشکر و ضایعات جامد شهری را می توان در کوره ها و دیگ های بخار سوزاند تا گرمای فرآیندی یا بخار لازم برای ژنراتور توربین فراهم شود. ظرفیت نیروگاه ها به دلیل کمبود مواد خام محلی چندان بالا نیست و معمولاً کمتر از ۲۵ مگاوات است. البته در صورت اختصاص یافتن بیشتر مواد خام، مانند درختان با دوره گردش کوتاه یا محصولات انرژی زای غلغی، این میزان ۵۰-۷۵ مگاوات قابل افزایش است که از لحاظ اقتصادی هم بازدهی بیشتری دارد [۱۶]. تولید برق در کشورهای در حال توسعه معمولاً به منابع کوچکتری نیاز دارد و پسمانده های کشاورزی، مانند سبوس برنج و پوست میوه های مغزدار به راحتی تأمین کننده مواد خام لازم هستند.

شبکه های تولید برقی که از منابع بزرگ تر بیوماس استفاده می کنند از لحاظ بازدهی قابل مقایسه با شبکه هایی هستند که از سوخت های فسیلی تغذیه می شوند؛ اما مقدار رطوبت موجود در بیوماس هزینه استفاده از این منبع را بالاتر می برد. البته با توجه به استفاده از بیوماس در حرارت ترکیبی و شبکه های تولید برق (یا شبکه های همزایی) cogeneration هزینه ها به مراتب پایین تر آمده است. همزایی زمانی قابل اجرا و عمل است که تقاضای محلی هم برای گرما و هم برای برق وجود

جدول ۱: مقایسه میعان و پیرولیز

فرآیند	دما (MPa)	تعداد	سنگری
میعان	۱۰۰-۵۱۵	۲-۵	بالا
پیرولیز	۸۰-۱۶۰	۰.۵-۱	پایین

داشته باشد.

### ۲- فرآیندهای تبدیل گرمایشیمیایی

فرآیندهای گرمایشیمیایی را می توان به سه زیرگروه تقسیم بندی کرد: گازی کردن، پیرولیز و میعان مستقیم. گاهی تشخیص فرآیندهای دوم و سوم از هم دشوار می شود. مقایسه ساده ای بین این دو فرآیند صورت گرفته که در پی می آید:

هر دو فرآیند، گرما شیمیایی هستند که در هر دو، ترکیبات آلی مواد خام به مایع تبدیل می شوند. در جریان عمل میعان ترکیبات ریز مولکولی مواد خام به کمک کاتالیزوری مناسب قطعاتی از مولکول های سبک تجزیه می شوند. در عین حال این قطعات سبک که ناپایدار و واکنش پذیر هستند به شکل ترکیباتی نفتی که وزن مولکولی متناسبی دارند مجدداً پلیمریزه می شوند. از طرف دیگر در پیرولیز به کاتالیزور نیازی نیست و قطعات سبک تجزیه شده به ترکیبات نفتی تبدیل می شود که این عمل در مرحله گازی از طریق واکنش های همگن صورت می پذیرد. در جدول شماره (۱) به تفاوت های شرایط عملیاتی میعان و پیرولیز اشاره شده است.

#### الف - پیرولیز

پیرولیز فرآیندی گرمایشیمیایی است که بیوماس را تبدیل به مایع (بیونفت یا بیونفت خام)، زغال چوب و گاز های چگالش ناپذیر، اسید استیک، استون و متانول می کند. این فرآیند بدون وجود هوا و در دمای حدود ۷۵۰ درجه کلوین انجام می گیرد. این فرآیند را می توان طوری تنظیم کرد که مناسب تولید زغال چوب، نفت پیرولیزی، گاز و متانول بوده و بازده سوخت را به ۹۵/۵ درصد برساند. در فرآیندهای پیرولیز سریع برای تولید بیونفت نیز می توان از پیرولیز استفاده کرد که این عملیات هم اکنون مراحل مقدماتی را طی می کند [۱۷]. پیرولیز تولید کننده سوخت های انرژی با درصد سوخت بالاست که این ویژگی، پیرولیز را به مؤثرترین شیوه تبدیل انرژی بدل ساخته است. ضمن اینکه سوخت های پیرولیزی قابل رقابت با سوخت های فسیلی بوده و حتی در نهایت می توانند جانشین این منابع شوند. با تبدیل بیوماس به نفت خام، بازده و فرآیندهای پیرولیز سریع به ۷۰ درصد می رسد. از این به اصطلاح بیونفت خام می توان در موتورها و توربین ها استفاده کرد. علاوه بر این از بیونفت می توان در پالایشگاه ها به عنوان ماده خام استفاده کرد. در فرآیند تبدیل و استفاده از نفت مشکلاتی پدید می آید که باید آنها را برطرف کرد. از جمله این مشکلات پایداری گرمایی ضعیف و خوردگی نفت است. برای بهبود فرآیند تبدیل، در مواردی خاص از روش هایی همچون آوردن میزان اکسیژن و از بین بردن قلیاها استفاده می شود [۱۸]. قلیا را می توان با هیدروژن دار کردن و کراکینگ کاتالیزوری نفت از بین برد.

پیرولیز از فرآیندهای اصلی گرمایشیمیایی برای تبدیل بیوماس به سوختی مفیدتر است [۱۹]. بیوماس را بدون وجود اکسیژن حرارت می دهند یا قسمتی از آن را با وجود اندکی اکسیژن می سوزانند تا موادی همچون نوعی ترکیب گازی غنی از هیدروکربن، مایعی نفت مانند و پسمانده جامدی غنی از کربن تولید کنند. در کشورهای سنتی پسمانده جامد تولید شده همان زغال چوب است که در مقایسه با سوخت اولیه چگالی انرژی اش بیشتر و بی دود است؛ به همین خاطر هم برای مصارف خانگی مفید است. کوره های قدیمی چیزی نیستند

کربن، اسیدفرمیک، اسیداستیک گلی اکسال و مقداری مونوکسید کربن متصاعد می شود. واکنش های صورت گرفته در این نقطه عمدتاً گرماگیر (endothermic) است و در ضمن محصولات اغلب چگاش ناپذیر بوده و چوب به تدریج نیم سوز می شود. پیرولیز در اصل در دمای بین ۵۳۵ و ۷۷۵ درجه کلون که منطقه C نام دارد، صورت می گیرد. در این وضعیت واکنش ها گرمازا (exothermic) است و اگر گرما خارج نشود، دما به سرعت افزایش پیدا می کند. بر اثر این فعل و انفعالات گازهای سوختی مانند مونوکسیدکربن بر اثر گسست گروه کربنیل، متان، فرمالدهید، اسید فرمیک، اسید استیک، متانول، و هیدروژن آزاد شده و زغال چوب شکل می گیرد. محصولات اولیه پیش از خروج از منطقه واکنش بر روی یکدیگر واکنش انجام می دهند [۱].

اگر دما همچنان افزایش یافته و به بالاتر از ۷۷۵ درجه کلون برسد، لایه ای از زغال چوب تشکیل می شود که در این لایه واکنش های ثانوی شدیدی رخ می دهد. این نقطه منطقه D نام دارد. فرآیند تقطیر چوب در دمای ۶۷۵-۸۷۵ درجه کلون کامل می شود. سیر تخریب گرمایی همی سلولزها، سلولزها و لیگنین به شرح زیر است [۲].

### تخریب گرمایی هموسلولزها << سلولزها >> لیگنین

برای به حداکثر رساندن بازده محصولات مایع حاصل از پیرولیز نیاز به دمای پایین، سرعت زیاد گرمایش و بقاء طولانی مدت گاز داریم. برای به حداکثر رساندن سوخت گازی حاصل از پیرولیز می توان با دمای بالا، سرعت کم گرمایش و بقاء طولانی مدت گاز به نتیجه رسید. چندی پیش ضایعات جامد شهری (استانول به ترکیه) در فشار محیطی نیتروژن دار و در دماهای متفاوت پیرولیز شدند که نتایج آن در جدول شماره ۲ مشخص است.

دامنه وسیعی از مواد آلی که در اجزای مایع پیرولیزی یافت می شوند در جدول شماره ۳ نشان داده شده است [۲۳]. مایع محصولات پیرولیزی از دو مرحله تشکیل شده است: مرحله آبی، شامل انواع و اقسام ترکیباتی که وزن مولکولی پایینی دارند و مرحله غیرآبی شامل مواد آلی حل پذیر (به ویژه آروماتیک ها) که وزن مولکولی شان بالاست [۲۴]. این مرحله بیو نفت یا قطران بقر نام دارد و بسیار مورد توجه قرار گرفته است. میزان اسیداستیک، متانول و استون موجود در مرحله آبی بیشتر از میزان این موارد در مرحله غیر آبی است [۲۴]. برای شناسایی ویژگی های شیمیایی و محصولات حاصل از پیرولیز مواد لیگنوسلولزی به جدول شماره ۴ رجوع کنید.

### ب- گازی کردن

گازی کردن از انواع پیرولیز است که برای بهینه سازی تولید گاز و در دمای بالا صورت می گیرد. گاز حاصل شده که به گاز مولد معروف است، ترکیبی است از مونوکسید کربن، هیدروژن و متان به علاوه دی اکسید کربن و نیتروژن. گاز مولد نسبت به بیوماس جامد اولیه (که معمولاً چوب یا زغال چوب است) کاربردهای بیشتری دارد. با سوزاندن این گاز می توان گرمای فرآیندی و بخار تولید کرد و یا با استفاده از آن در توربین های گازی به برق رسید.

جز توده ای از چوب که روی آن با خاک پوشیده شده یا حفره هایی که در داخل زمین هستند. البته فرآیند تقطیر چوب در این کوره ها بسیار کند و نامطلوب صورت می گیرد و به تدریج کوره های پیشرفته تری جانشین کوره های قدیمی می شوند.

در تجزیه شیمیایی پیرولیزی از همان تکنولوژی پالایش سوخت های فسیلی نفت خام و زغال سنگ بهره گرفته می شود. فرآیند پیرولیزی تبدیل بیوماس مزایای زیست محیطی و اقتصادی بسیاری بر سوخت های فسیلی دارد، اما تولید زغال سنگ و نفت همچنان حرف اول را می زند چرا که قیمت آنها با اهرم های گوناگونی پایین نگه داشته می شود که حمایت دولت یکی از آنهاست.

پیرولیز، از زمانی که تمدن شکل گرفت، همیشه کاربرد داشته است. اگر به شیوه ای خاص گازهای متصاعد شده (دود) جمع شود به این فرآیند تقطیر چوب می گویند. مصریان باستان از قیر و اسید پیرولیتوز برای مومیایی کردن مردگان خود استفاده می کردند. در قرن هجدهم پیرولیز چوب برای تولید زغال چوب از صنایع با اهمیت به شمار می رفت. زغال چوب تا زمانی که زغال سنگ جانشین آن شود سوخت اصلی عصر انقلاب صنعتی بود. در اواخر قرن ۱۹ و اوایل قرن ۲۰ تقطیر چوب همچنان برای تولید قیر حل پذیر، قیر، نفت خشی (کروزوت)، مواد شیمیایی و گازهای چگالش ناپذیر سودمند بود. صنعت تقطیر چوب در دهه ۱۹۳۰ و با اختراع صنعت پتروشیمی و محصولات ارزان قیمت آن اهمیت خود را از دست داد. البته پیرولیز چوب برای تولید زغال سنگ مورد نیاز بریکت زغال چوب همچنان ادامه یافت [۲۰].

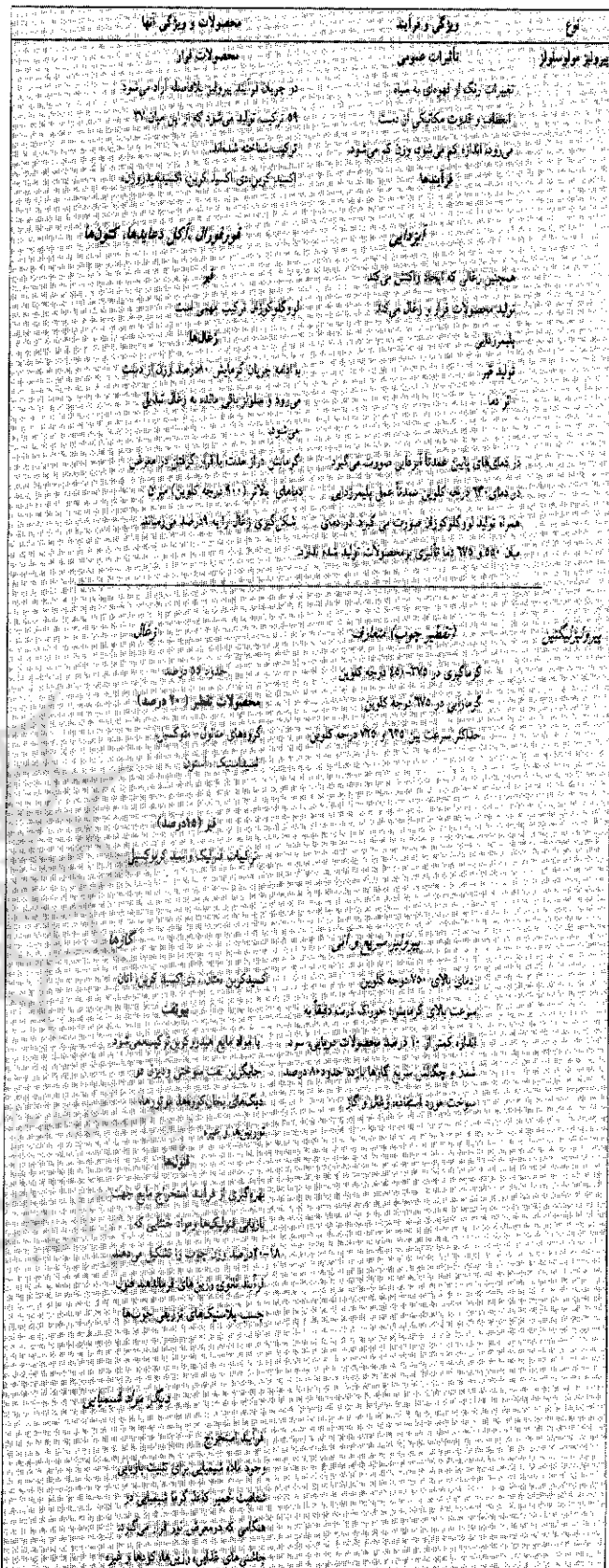
در صنعت تقطیر چوب و در فرآیندی به نام تقطیر تخریبی (destructive distilation) از رآکتورهای پیرولیزی استفاده می شد. این عملیات در دمای بالا (۷۵۰ تا ۱۳۵۰ درجه کلون) و در ستون جز به جزء کننده (fractionating column)، (دمستگاه تقطیر بلند) انجام می گرفت. زغال چوب از سوخت های مهم به شمار می رفت و تولید متانول ۱-۲ درصد حجم، یا ۶ گالن در هر تن را تشکیل می داد. در ۱۹۲۷ فرآیند سنتزی جانشین این روش قدیمی شد [۱۷]. در فرآیند سنتزی از رآکتور پیرولیزی استفاده می شود که کار این رآکتور شبیه به گازی فایر است. رآکتور پیرولیزی آن قدر هوا یا اکسیژن خالص بر مرز رآکتور منتقل می کند که بیوماس کاملاً سوخته و به خاکستر تبدیل می شود. انرژی موجود در بیوماس به شکل گاز آزاد می شود. پس از خالص سازی، گاز سنتز، هیدروژن و مونوکسید کربن به نسبت ۲ به ۱ و به کمک کاتالیزور در فشار و دمای بسیار بالا به متانول تبدیل می شود. با استفاده از این روش از هر تن و ماده خوراک ۱۰۰ گالن متانول حاصل می شود [۲۱].

پیرولیز چوب به شکل فرآیندی منطقه ای مورد بررسی قرار گرفته است که منطقه A (منطقه ای که تخریب به راحتی صورت می گیرد) در دمای حداکثر تا ۴۷۳ درجه کلون قرار دارد. در این دما سطح چوب آب زدایی شده و علاوه بر بخار آب، دی اکسید کربن، اسید فرمیک، اسید استیک و گلی اکسال متصاعد می شوند. در دمای ۴۷۳-۵۳۳ درجه کلون چوب در منطقه B قرار گرفته و از آن بخار آب، دی اکسید

### جدول ۲: نتایج پیرولیز ضایعات جامد و بررسی میزان گاز موجود در آن

دما (°C)	چوب (Zغال)	گاز	اکسید کربن	هیدرو کربن	اکسید کربن	دی اکسید کربن
(کلون)	% وزن	% حجم	% حجم	% حجم	% حجم	% حجم
۹۷	۹۷/۱۱	۳/۱۱	۲۱/۱۱	۱۳/۱۱	۱۷/۱۱	۳۶/۱۱
۱۱۷	۹۷/۱۱	۳/۱۱	۲۱/۱۱	۱۳/۱۱	۱۷/۱۱	۳۶/۱۱
۱۳۷	۹۷/۱۱	۳/۱۱	۲۱/۱۱	۱۳/۱۱	۱۷/۱۱	۳۶/۱۱
۱۵۷	۹۷/۱۱	۳/۱۱	۲۱/۱۱	۱۳/۱۱	۱۷/۱۱	۳۶/۱۱
۱۷۷	۹۷/۱۱	۳/۱۱	۲۱/۱۱	۱۳/۱۱	۱۷/۱۱	۳۶/۱۱
۱۹۷	۹۷/۱۱	۳/۱۱	۲۱/۱۱	۱۳/۱۱	۱۷/۱۱	۳۶/۱۱
۲۱۷	۹۷/۱۱	۳/۱۱	۲۱/۱۱	۱۳/۱۱	۱۷/۱۱	۳۶/۱۱
۲۳۷	۹۷/۱۱	۳/۱۱	۲۱/۱۱	۱۳/۱۱	۱۷/۱۱	۳۶/۱۱
۲۵۷	۹۷/۱۱	۳/۱۱	۲۱/۱۱	۱۳/۱۱	۱۷/۱۱	۳۶/۱۱
۲۷۷	۹۷/۱۱	۳/۱۱	۲۱/۱۱	۱۳/۱۱	۱۷/۱۱	۳۶/۱۱
۲۹۷	۹۷/۱۱	۳/۱۱	۲۱/۱۱	۱۳/۱۱	۱۷/۱۱	۳۶/۱۱
۳۱۷	۹۷/۱۱	۳/۱۱	۲۱/۱۱	۱۳/۱۱	۱۷/۱۱	۳۶/۱۱
۳۳۷	۹۷/۱۱	۳/۱۱	۲۱/۱۱	۱۳/۱۱	۱۷/۱۱	۳۶/۱۱
۳۵۷	۹۷/۱۱	۳/۱۱	۲۱/۱۱	۱۳/۱۱	۱۷/۱۱	۳۶/۱۱
۳۷۷	۹۷/۱۱	۳/۱۱	۲۱/۱۱	۱۳/۱۱	۱۷/۱۱	۳۶/۱۱
۳۹۷	۹۷/۱۱	۳/۱۱	۲۱/۱۱	۱۳/۱۱	۱۷/۱۱	۳۶/۱۱
۴۱۷	۹۷/۱۱	۳/۱۱	۲۱/۱۱	۱۳/۱۱	۱۷/۱۱	۳۶/۱۱
۴۳۷	۹۷/۱۱	۳/۱۱	۲۱/۱۱	۱۳/۱۱	۱۷/۱۱	۳۶/۱۱
۴۵۷	۹۷/۱۱	۳/۱۱	۲۱/۱۱	۱۳/۱۱	۱۷/۱۱	۳۶/۱۱
۴۷۳	۹۷/۱۱	۳/۱۱	۲۱/۱۱	۱۳/۱۱	۱۷/۱۱	۳۶/۱۱
۴۹۳	۹۷/۱۱	۳/۱۱	۲۱/۱۱	۱۳/۱۱	۱۷/۱۱	۳۶/۱۱
۵۱۳	۹۷/۱۱	۳/۱۱	۲۱/۱۱	۱۳/۱۱	۱۷/۱۱	۳۶/۱۱
۵۳۳	۹۷/۱۱	۳/۱۱	۲۱/۱۱	۱۳/۱۱	۱۷/۱۱	۳۶/۱۱





شده را می توان برای پخت و پز و گرم کردن خانه مستقیماً سوزاند یا از آن به عنوان سوخت در موتورهای درون سوز استفاده کرد تا تولید برق کند.

گاز متانی که در مکان های دفن زباله تولید می شود نهایتاً آزاد شده راهی جو زمین می شود. البته گاز استحصالی را با نصب لوله های سوراخ داری در مکان دفن زباله می تواند استحصالی کرد. با این روش گاز استحصالی به جای اینکه روانه جوکره زمین شده و گاز گلخانه ای تولید کند با عبور از این لوله و تحت فشار طبیعی، می تواند به منبع مناسبی برای انرژی تبدیل شود.

به جای این کار می توان مکان های دفن زباله را به شکلی طراحی کرد که به هضم ناهواری کمک بیشتری کند. در این مکان های جدید، شبکه لوله های استحصالی گاز درست در کنار ضایعات در حال رسوب قرار می گیرد تا بازده گاز به حد بهینه برسد، یعنی حداکثر هزار متر مکعب در ساعت. گاز استحصالی معمولاً در تولید برق کاربرد دارد تا برای این کار از موتورهای درون سوز استفاده می شود. موتورهای معمولاً ژنراتورهای ۵۰۰ کیلوواتی را به حرکت می اندازند تا با سرعت طبیعی گاز (حدود ۱۰ گیگاژول بر ساعت) هماهنگ شود. اکنون یکی از بزرگترین نیروگاه های گاز موجود در جهان نیروگاه ۴۶ مگاواتی کالیفرنیاست. [۶].

### تخمیر الکلی

اتانول را می توان از چند ماده خالص بیوماسی که حاوی قند، نشاسته یا سلولز هستند تولید کرد. نیشکر بهترین منبع تولید اتانول به شمار می رود اما از مواد دیگری مانند گندم و دیگر غلات، چغندر قند، پیرالماسی (سیب زمینی ترشی) و چوب نیز می توان استفاده کرد. انتخاب ماده بیوماسی حائز اهمیت است چرا که هزینه مواد خام معمولاً تعیین کننده ۸۰-۵۵ درصد قیمت نهایی فروش الکل است [۳]. معمولاً، بیوماس نشاسته ای ارزان تر از بیوماس قندی تمام می شود، اما برای تکمیل کار به فرآیند دیگری نیز نیاز داریم. به همین شکل مواد سلولزی همچون چوب و کاه، فوراً قابل بهره برداری هستند؛ اما فرایندهای هزینه بر دیگری نیز باید بر روی آنها انجام گیرد.

اتانول در اثر فرآیندی به نام تخمیر به دست می آید. شیوه کلی کار به این ترتیب است که قند را از محصولات بیوماسی استخراج کرده (با عمل خرد کردن) و با آب و مخمر ترکیب می کنند. بعد آنها در مخازن بزرگی به نام تخمیر کننده گرم نگه می دارند. برای از بین بردن آب و دیگر ناخالصی های موجود در محصول الکل دقیق شده (۱۰-۱۵ درصد اتانول) از تولید فرآیند تقطیر استفاده می شود. اتانول غلیظ شده (که در همان مرحله اول فرآیند تقطیر، حجم آن به ۹۵ درصد می رسد) خارج شده و به مایع تبدیل می شود.

از اتانول می توان به عنوان ماده مکمل و جایگزین بنزین در اتومبیل ها استفاده کرد. برزیل این طرح را به خوبی اجرا کرده و با استحصالی اتانول از نیشکر آن را با بنزین ترکیب می کند. برای جایگزین کردن کامل اتانول به جای بنزین باید تغییراتی در وسایل نقلیه صورت گیرد.

جهت تأمین گرمای خارجی لازم برای این فرآیند اغلب از پسماندهای محصولات استفاده می شود. در مرحله تقطیر انرژی زیادی تلف می شود؛ برای حل این مشکل و رساندن غلظت اتانول به ۹۹ درصد یا بیشتر باید دومین مرحله فرآیند تقطیر را به انجام رساند که فرآیندی پیچیده است. البته انجام این عمل به صرفه است چرا که به راحتی می توان از سوخت مایع استفاده کرد و هم هزینه آن نسبتاً پایین است، ضمن آن که تکنولوژی کاملاً جا افتاده است.

## فرآیندهای کشاورزی شیمیایی

محصولات بذری را می توان مستقیماً جایگزین دیزل (با نام بیودیزل) کرد یا از روغن آن برای گرم کردن محیط استفاده کرد. این محصولات را که حاوی مقادیر زیادی روغن هستند خرد کرده و از آن روغن می گیرند. مقدار انرژی موجود در روغن های گیاهی ۳۹-۴۰/۶ مگاژول بر کیلوگرم است [۳۱]. برای تولید بیودیزل از انواع محصولات می توان بهره برد، اما کلزا از بقیه بیشتر کاربرد دارد. دیگر مواد خام عبارتند از: روغن هسته خرما، روغن آفتابگردان، روغن سویا و روغن های سرخ کرده بازیافتی. هزینه ماده خام مهم ترین عامل تعیین کننده در هزینه کلی محصول است. هم اکنون ۸۵ کارخانه بیودیزل در سراسر دنیا (از جمله یک کارخانه در مالزی که از روغن هسته خرما استفاده می کند) در حال فعالیتند که گنجایش کل آنها بیش از ۱/۲۸ میلیون تن برآورد شده است [۳۲]. در فیلیپین دیزل را با روغن نارگیل مخلوط کرده و از آن در تراکتورها و کامیون ها استفاده می کنند. بیودیزل مزایای بسیاری دارد که از جمله آن می توان به کاهش حداقل ۳/۲ کیلوگرم گاز مشابه دی اکسیدکربن در هر کیلوگرم بیودیزل، کاهش ۹۹ درصدی گازهای اکسیدگورد، ۳۹ درصد کاهش در ماده ذراتی (particulate matter)، و امنیت بالا در مقابل زیست تخریب پذیری اشاره کرد [۳۲].

## هیدروژن حاصل از بیوماس

هیدروژن از جمله سوخت های پاک به شمار می رود. هیدروژن به آن دسته از سوخت های اصلی تعلق ندارد که از آب و منابع انرژی فسیلی یا غیرفسیلی تشکیل می شوند. هیدروژن را از روغن های پیرولیزی تولید می کنند که خود این روغن ها در اثر پیرولیز بیوماس لیگنوسلولزیک به دست آمده اند [۳۳]. از جمله ابداعات اخیر، گازی کردن ضایعات جامد و فاضلاب است. گاز سنتزی با گاز یا اکسیژن ترکیب شده و به هیدروژن تغییر شکل می دهد. ضایعات جامد دو مشکل را حل کرده است: (۱) دفع زباله های شهری و فاضلاب و (۲) تأمین منبع سوخت هیدروژنی برای وسایل نقلیه ای که سوختشان از هیدروژن تأمین می شود [۳۴]. هیدروژن حاصل از بیوماس عموماً بر اثر واکنش های زیر تشکیل می شود [۳۵].

**ضایعات جامد + هوا اکسیدکربن + هیدروژن**  
**بیوماس + آب + هوا هیدروژن + دی اکسیدکربن**  
**سلولز + آب + هوا هیدروژن + اکسید کربن + متان**

## نتیجه گیری

برای تبدیل بیوماس دو راه اصلی وجود دارد: تجزیه شیمیایی و هضم بیولوژیکی. فرآیندهای تبدیل گرمایشیمیایی را می توان به سه بخش فرعی گازی کردن، پیرولیز و میعان مستقیم تقسیم کرد. در حال حاضر تبدیل کننده درختان به الوار و روکش های نازک چوبی به میزان فراوانی بر حجم پسماندها افزوده است. برای بهره برداری صحیح و اقتصادی از این پسماندها می توان از آنها نئوپان، تخته فبری، تخته فیبر و خمیر کاغذ ساخت. چوب های نرم و سخت هر دو حاوی سلولز، لیگن، همی سلولز، و مواد استخراج شده شیمیایی هستند. میعان، فرآیندی گرمایشیمیایی است که در دمای پایین و فشار بالا، با حضور کاتالیزور، انجام می گیرد در اثر این فرآیند محصولی مایع به دست می آید که قابل فروش است. با انجام فرآیندی به نام هیدرولیز بر روی پسماندهای چوبی نام برده می توان آنها را به قندها و الکل های چوبی تبدیل کرد که در صنایع شیمیایی کاربرد دارند؛ هرچند در عمل و با توجه به قیمت پایین تر مواد پتروشیمی این کار چندان مقرون به صرفه نیست. از چوب

می توان رایون تولید کرد. در فرآیند پیرولیز عمل تقطیر تخریبی چوب صورت می پذیرد. این فرآیند قرن ها پیش و از دوران باستان شناخته شده بود. حاصل این فرآیند، در مرحله اول به زغال چوب است، اما بعد از آن محصولات جانبی دیگری نیز تولید می شود که از این میان می توان به متانول، استون، اسید استیک و انواع قیر اشاره کرد. در اینجا هم ملاک موفقیت تجاری این مواد، قابل رقابت بودن آنها با مواد شیمیایی است. اگر هزینه تمام شده محصولات غیر چوبی حاصل از درختان را با محصولات مشابهی از دیگر مواد به دست می آیند مقایسه کنیم، احتمالاً هزینه محصولات حاصل از درختان سنگین تر خواهد بود، اما باید توجه داشت که به شکل های بسیار متفاوت می توان از این محصولات برای خدمت به بشریت بهره برد.

مأخذ:

- [6] Ramage j, Scurlock j. Biomass. Renewable energy – power for a sustainable future. In: Boyle G, editor. Oxford: oxford University Press; 1996.
- [7] Demirbas A. Biomass resources for energy and chemical industry. Energy Edu Sci Technol 2000;5:21-45.
- [8] Garg HP, Datta G. Global status on Renewable Energy. International Workshop, Iran University of Science and Technology. 19-20 May 1998.
- [9] Reddy BS. Biomass energy for India: an overview. Energy Convers Mgmt 1994;35:341-61.
- [10] Kaygusuz K. Rural energy resources: application and consumption in Turkey. Energy Sourc 1996; 19:549-57.
- [11] Goldstein IS. Organic chemical from biomass. Boca Raton, FLORIDA, USA: CRC press; 1981. p.46.
- [12] Jain RK, Singh B. Fuelwood characteristics of selected indigenous tree species from central India. Bioresource Technol 1999;68:305-8.
- [13] Parkhurst jr Hj, Huibers DTA, Jones MW. Production of phenol from lignin. ACS Div pet chem 1980;25:657-67.
- [14] van den HE. Energy conversion routes for biomass. Biomass Technology Group, University of Twente, Enschede, 1994.
- [15] Broek R, Faaij A, Wijk A. Biomass combustion power generation technologies. Biomass Bioenergy 1996; 11:271-81.
- [16] Overend RP. Biomass gasification : a growing business. Renew Energy World 1998; 1:59-63.
- [17] EUREC Agency. The future for renewable energy, Prospects and direction. London: James and James Science Publishers; 1996.
- [18] Demirbas A, Gullu D. Acetic acid, methanol and acetone from lignocellulosics by pyrolysis. Energy Edu Sci Technol 1998;2:111-5.
- [19] Demirbas A. Yields of oil products from thermochemical biomass conversion processes. Energy Convers Mgmt 1998;39:685-90.
- [20] Demirbas A. Properties of charcoal derived from hazelnut shell and the production of briquettes using pyrolytic oil. Energy 1999;29: 141-50.
- [21] Rowell RM, Hokanson AE. Methanol from wood: a critical assessment, in Progress. In: Sarkanen KV, Tillman DA, editors. Biomass conversion, Vol. 1. New York: Academic Press; 1979.
- [22] Chum HL. Polymers from biobased materials. New Jersey, USA: Noyes Date Corporation; 1991.
- [23] Beaumont O. Flash Pyrolysis products from beech wood. Wood Fiber Sci 1985; 17:228-39.
- [24] Wenzl HFJ editor. Further destructive processing of wood. The chemical technology of wood. New York: Academic Press; 1970 [chapter 5].
- [25] Badin j, Kirschner j. Biomass greens US power production. Renew Energy World 1998; 1:40-5.
- [26] Kucuk MM, Tunc M. supercritical fluid extraction of biomass. Energy Edu Sci Technol 1999;2:1-5.
- [27] Demirbas A, Tuzen M, Ozdemir M. supercritical fluid extraction of phenolic acids in snowdrop. Energy Edu Sci Technol 1999;2:47-52.
- [28] Akdeniz F, Kucuk MM, Demirbas A. Liquids from olive husk by using supercritical fluid extraction and thermochemical methods. Energy Edu Sci Technol 1998;1:17-22.