

بررسی روشهای تهیه دی متیل اتر از زیست توده

فرشته رؤف، مجید تقی زاده

بابل، دانشگاه صنعتی بابل، دانشکده مهندسی شیمی

fereshteh.raoof@gmail.com

چکیده

رشد بی رویه مصرف سوختهای فسیلی در سالهای اخیر و افزایش قیمت این دسته از سوختها و همچنین اثرات مخرب زیست محیطی آنها مانند تولید گازهای گلخانه ای، گرمایش جهانی، تغییرات آب و هوایی، افزایش آلودگی هوا و...، محققان و صنایع بسیاری را متوجه استفاده از منابع جدید انرژی که به راحتی در دسترس باشد، نموده است. یکی از منابع انرژی، زیست توده و یا بقایای موجوداتی که در گذشته نزدیک جاندار بوده اند می باشد. با توجه به شرایط خاص اقلیمی و جغرافیایی و وجود جنگل در بخشهایی از شمال، غرب و مرکز ایران، پتانسیل مناسبی برای استفاده از زیست توده به عنوان منبع انرژی نو در ایران وجود دارد. از سوی دیگر یکی از سوختهای مناسب که قابلیت جایگزینی سوخت دیزل را دارد دی متیل اتر می باشد. احتراق این سوخت ایجاد دی اکسید کربن نموده و از طرفی میزان گازهای آلاینده SO_x و NO_x را به مقدار قابل ملاحظه ای کاهش میدهد. به همین علت استفاده از آن در بسیاری از شرکت های سازنده ماشین آلات سنگین مورد بررسی قرار گرفته است. یکی از مزایای این سوخت قابلیت تولید آن از زیست توده است. فرآیند تولید دی متیل اتر از زیست توده مبتنی بر تولید گاز سنتز و سپس تولید دی متیل اتر از گاز سنتز می باشد که در این مقاله این روش ها مورد بررسی و مطالعه قرار خواهند گرفت.

واژه های کلیدی

زیست توده، دی متیل اتر، گاز سنتز، کاهش آلودگی هوا، استفاده از ضایعات بیولوژیکی

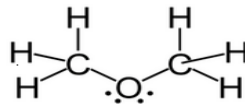
۱- مقدمه

با گسترش نگرانی های مربوط به آلودگی محیط زیست و همچنین کاهش منابع نفتی، دنیا به دنبال یک سوخت غیر نفتی است که با تکنولوژی های پیشرفته انرژی (مثل پیل های سوختی) سازگار بوده و استفاده بیشتر از انرژی را پاسخگو باشد. یک سوخت مناسب سوختی خواهد بود که تولید گازهای گلخانه ای ننماید، قابلیت تولید از مواد اولیه غیرنفتی را داشته باشد، بتوان این سوخت جدید را با ساختار ماشینهای موجود تطبیق داد، قابل دسترس و ایمن باشد و نیز تولید آن از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه باشد. در بین چندین سوخت شناخته شده (متان، متانول، اتانول، دی متیل اتر و...) به نظر می رسد که دی متیل اتر (DME) از پتانسیل بیشتری برخوردار است.

در پایان قرن ۱۹ میلادی نفت فراوان بود و صنایع در کشورها بر اساس استفاده از منابع نفتی بنا میشدند. نفت سوختی است که بیشتر انرژی های مورد نیاز جامعه و صنعت را تامین مینماید، با این وجود همانطور که مشاهده می شود مصرف محصولات نفتی بسیار سریعتر از اکتشاف منابع جدید آن است. به همین دلیل در انتهای قرن ۲۰ دنیا با یک نگرش متفاوت نسبت به نفت مواجه شد و جامعه بر پایه نفت به یک جامعه بر پایه سوخت های جایگزین تبدیل شد که می توانند ضامن بقاء اقتصاد و نیز امنیت محیط زیست در تولیدات آینده باشند. در سالهای اخیر استفاده از DME به عنوان سوخت مورد بررسی قرار گرفته، این ماده همچنین قابلیت استفاده در پیل های سوختی را دارد. از آنجایی که خواص DME بسیار شبیه به خواص LPG است و نیز به علت داشتن قابلیت انتقال آسان، استفاده از این سوخت برای کشورهای در حال توسعه (مثل چین، هند و برزیل...) بسیار مورد توجه قرار گرفته است. چون در این کشورها فراهم نمودن امکانات برای افرادی که دور از تسهیلات شهرهای بزرگ هستند یک مسئله مهم به حساب می آید و به همین علت وجود یک سوخت قابل انتقال مانند DME بسیار کارآمد میباشد. این ماده اگر به عنوان سوخت مورد استفاده قرار گیرد می تواند از طریق کاهش میزان SO_x و NO_x تولیدی تاثیر قابل ملاحظه ای بر محیط زیست داشته باشد. [۱]

۱-۱- خواص فیزیکی و شیمیایی دی متیل اتر

دی متیل اتر یک سوخت تمیز است که بار بسیار کمی به محیط وارد می نماید و هیچگونه دوده ای در طول احتراق تولید نمی نماید، به راحتی مایع می شود و دارای قابلیت حمل و نقل آسان است. نامهای دیگر این ماده عبارتند از: متان اکسی بیس، متیل اتر، متوکسی متان، اتر چوب، دی متیل اکسید، دیمل و... دی متیل اتر (DME) یا متوکسی متان با فرمول شیمیایی $\text{CH}_3 - \text{O} - \text{CH}_3$ ساده ترین اتر آلیفاتیک است (شکل ۱) و خواص شیمیایی آن بسیار شبیه به گاز های نفتی مایع شده (LPG) که ترکیبی از پروپان و بوتان است) می باشد. دی متیل اتر با یک شعله مرئی آبی رنگ می سوزد و نیازمند زدایش بو نیست زیرا یک اتر شیرین مثل عطر ها است [۱].



شکل (۱). ساختار شیمیایی مولکول DME [۲].

دی متیل اتر فقط دارای باند های C-H و C-O بوده و باند C-C در آن مشاهده نمی شود و به همین علت در هنگام احتراق ترکیباتی مانند CO تولید نمی نماید و دوده تولیدی آن در حد بسیار ناچیز می باشد. گرمای نهان تبخیر این ماده بسیار بیشتر از دیزل است و این خاصیت می تواند برای کاهش میزان NO_x تولیدی بسیار سودمند باشد [۲]. همچنین DME یک سوخت تمیز است که دارای هیچ ترکیب نیتروژن دار و یا گوگردار نمی باشد، سمیت آن برای انسان بسیار کم است و هیچ اثر خوردگی بر روی فلزات ندارد. دی متیل اتر در دمای محیط و فشار اتمسفریک بصورت گاز می باشد ولی در دمای $^{\circ}\text{C} -25$ و فشار اتمسفریک و یا فشار ۵ تا ۶ اتمسفر و دمای محیط مایع می باشد، بنابر این می تواند در روشهایی مشابه با LPG ذخیره یا انتقال داده شود.

از دی متیل اتر می توان به عنوان جانشینی برای کلرو فلئوئور کربن ها (CFC) و به عنوان ماده مبرد استفاده نمود. همچنین دی متیل اتر به عنوان واسطه شیمیایی برای تولید بسیاری از افزودنی های با ارزش شیمیایی مثل الفین ها، متیل استات ها و دی متیل سولفات بکار می رود.

ترکیبات آلی فرار (VOCs: volatile organic compounds) می توانند از لحاظ زیست محیطی خطرناک باشند. این مواد اغلب سرطانزا بوده و موجب تخریب لایه ازن می شوند [۳]. دی متیل اتر از خانواده VOCs می باشد ولی غیرسرطان زا و نیز غیرسمی است. طی بررسی هایی که برای مشخص شدن اثر دی متیل اتر بر گرمایش زمین توسط Good و همکارانش صورت گرفت مشخص شد که طول عمر تروپوسفریک آن ۵.۱ روز است. [۳]

در حال حاضر عمدتاً از سوخت های هیدروکربنی حاصل از نفت خام به عنوان سوخت دیزل استفاده می شود. بجز سوخت های مرسوم هیدروکربنی، استفاده از دیگر سوخت هایی که امکان تهیه آنها از گاز طبیعی یا ذغال سنگ فراهم باشد توجه محققین را به خود جلب کرده است. به عنوان مثال موضوع استفاده از متانول به عنوان سوخت جایگزین در موتورهای احتراقی مطرح می باشد. متانول معمولاً از مواد اولیه ای مثل مونواکسید کربن و هیدروژن قابل بدست آوردن است که دو ماده اخیر را نیز می توان از گاز طبیعی و زغال سنگ بدست آورد. همینطور این دو ماده را می توان از تقریباً تمامی مواد حاوی کربن نظیر محصولات کشاورزی و جنگلی نیز تامین کرد ولی متانول دارای ارزش حرارتی پایینی بوده و در نتیجه کارایی یک موتور احتراق داخلی با این سوخت به میزان زیادی پایین خواهد آمد. دی متیل اتر، در مقایسه با متانول دارای ارزش حرارتی بالاتری بوده، ضمن آنکه سمی نیز نمی باشد. به علاوه DME دارای خواص احتراق پاک بوده و گازهای حاصل از احتراق آن عاری از ذرات جامد است. از سال ۱۹۹۰ تا کنون استفاده از DME با عدد ستان (۵۵-۶۰) به عنوان جایگزینی برای سوخت های دیزل مورد بررسی قرار گرفته است. دی متیل اتر دارای عدد ستان مشابه یا بیشتر از سوخت های دیزل است و به همین دلیل برای استفاده در موتورهای دیزل ایده آل است [۴].

۱-۲- روشهای تولید DME

دو روش کلی برای تولید دی متیل اتر وجود دارد:

۱- روش تولید از گاز سنتز

۲- روش آبیگری متانول

در روش اول از خوراک گاز سنتز (مخلوط هیدروژن H_2 و مونواکسید کربن CO) استفاده می‌شود و به عنوان کاتالیست نیز مخلوط کاتالیست های سنتز متانول و کاتالیست های آبیگری مورد استفاده قرار می‌گیرد. که این فرآیند ممکن است تک مرحله ای و یا دو مرحله ای باشد. در روش دوم از متانول به‌عنوان خوراک و از کاتالیست های جامد اسیدی برای آبیگری استفاده می‌شود. این واکنش عموماً در راکتور بستر ثابت آدیاباتیک رخ می‌دهد. در بررسی حاضر روشهای تولید دی متیل اتر از گاز سنتز و نحوه تولید آن مورد توجه قرار گرفته است. فرآیند دو مرحله ای تولید دی متیل اتر از گاز سنتز به این صورت است که ابتداً از گاز سنتز متانول تشکیل و سپس در مرحله دوم متانول آبیگری شده و DME تشکیل می‌گردد. گاز سنتز مورد نیاز این فرآیند قابلیت تهیه از گاز طبیعی، ذغال سنگ و زیست توده را دارد از اینرو تولید DME محدود به یک ماده اولیه نمی‌باشد. همانطور که بیان شد در این مطالعه روشهای تولید گاز سنتز (به عنوان خوراک اولیه برای تولید DME) از زیست توده مورد توجه قرار گرفت.

۱-۳- زیست توده^۱

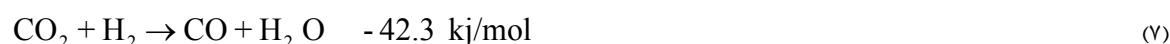
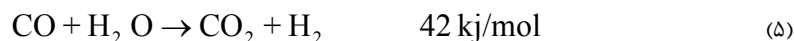
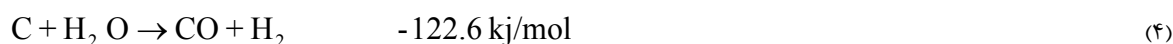
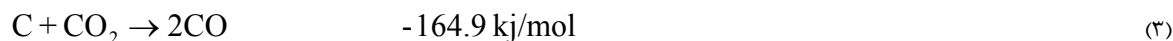
زیست توده شامل تمامی موادی در طبیعت می‌شود که در گذشته نزدیک جاندار بوده یا از موجودات زنده به عمل آمده اند. زیست توده در مقابل منابع فسیلی نظیر نفت، گاز و ذغال سنگ مطرح است. منشاء منابع فسیلی نیز مواد جاندار هستند، ولی جاندارانی که باعث به وجود آمدن منابع فسیلی گردیدند در گذشته خیلی دور زنده بوده اند. برای دسته بندی زیست توده تقسیم بندیهای مختلفی در سطح جهان ارائه شده است، ولی آنچه در حال حاضر در ایران مورد قبول است شامل زباله های شهری، فاضلاب های شهری، فضولات دامی، زائدات کشاورزی و جنگلی و فاضلاب ها و پسماندهای صنعتی (صنایع غذایی، چوب و کاغذ) است. به جرات می‌توان گفت بهره برداری از این منابع انرژی بویژه چوب به دوران کشف آتش بازمی‌گردد. استفاده از منابع زیست توده بویژه چوب، از زمان بسیار قدیم آغاز شد و تا زمان کشف و بهره برداری وسیع از منابع فسیلی، نقش غالب را در تامین انرژی جهان عهده دار بوده اند. [۵].

۱-۴- فرآیند تبدیل به گاز نمودن زیست توده^۲

فرآیند تبدیل به گاز نمودن زیست توده به معنی احتراق غیر کامل آن است که در نتیجه آن گازهایی شامل مونوکسید کربن، هیدروژن و به مقدار اندکی متان (گاز سنتز) تشکیل می‌گردد. گاز سنتز تولید شده می‌تواند به عنوان ورودی موتورهای احتراق و همچنین به عنوان واسطه در تولید برخی مواد شیمیایی با ارزش مانند متانول و دی متیل اتر بکار رود. فرآیند تبدیل به گاز نمودن در دمایی در حدود $1000^{\circ}C$ و در محفظه ای به نام کاربراتور^۳ صورت می‌پذیرد. از آنجاییکه زیست توده ماده جامدی است که از ترکیبات کربن، هیدروژن و اکسیژن تشکیل گردیده در صورتیکه احتراق کامل این ماده در کاربراتور اتفاق بیفتد محصولات احتراق شامل دی اکسید کربن، بخار آب و اکسیژن مازاد خواهد بود که واکنشهای تشکیل آنها مطابق واکنشهای ۱ و ۲ است:



ولی اگر احتراق در حضور زیست توده اضافی صورت گیرد احتراق ناقص زیست توده و تولید گاز سنتز صورت می‌گیرد به همین علت نقطه کلیدی در طراحی کاربراتور ایجاد وضعیتی است که در دمای مناسب تولید گاز سنتز از زیست توده صورت گیرد.



دو روش عملیاتی کلی برای تبدیل زیست توده به گاز سنتز وجود دارد که در ذیل این روشها مورد بررسی قرار خواهند گرفت.

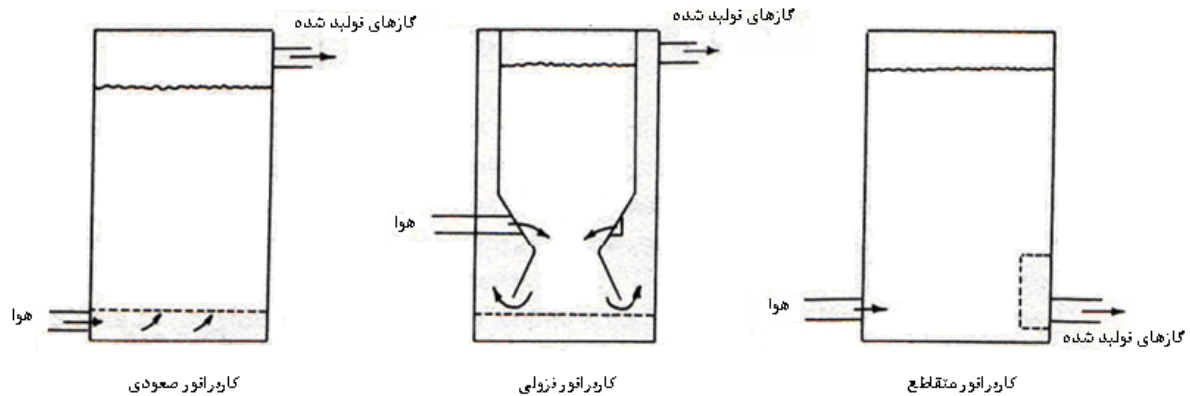
¹ Biomass

² Biomass gasification

³ Gasifier

۱-۴-۱. فرآیند تبدیل به گاز نمودن درون یک بستر سیال^۴

همانطور که بیان شد بین اکسیژن هوا و زیست توده در کاربراتور یک سری واکنشهای شیمیایی اتفاق می افتد که بر روی محصول تولیدی تاثیر گذار است به همین علت کاربراتورها بر اساس نحوه اختلاط هوا (اکسیژن هوا) و زیست توده در سه دسته: صعودی، نزولی و متقاطع دسته بندی می شوند که شمایی از آنها در شکل (۲) نشان داده شده است. مطابق با این دسته بندی در کاربراتورهای صعودی هوا (اکسیژن هوا) از پائین محفظه وارد زیست توده می شود و گازهای حاصله از بالای کاربراتور خارج می شوند و مشابه با آن در کاربراتورهای نزولی هوا (اکسیژن) از درون یک لوله در جهت نزولی وارد کاربراتور شده و گازهای حاصله که در پائین کاربراتور جمع شده اند توسط یک لوله که در بالای کاربراتور قرار دارد از سیستم خارج میشوند [۶].



شکل (۲). انواع مختلف کاربراتورها برای تولید گاز سنتز از زیست توده.

ترکیب گاز تولید شده در کاربراتور با توجه به نوع زیست توده خوراک و همچنین نوع کاربراتور مورد استفاده در جدول (۱) دسته بندی گردیده است. همانطور که در جدول (۱) مشاهده می شود در صورت استفاده از هوا برای احتراق، ۶۰-۵۰٪ نیتروژن غیر قابل احتراق در سیستم مشاهده می شود که در صورت استفاده از اکسیژن خالص برای احتراق، دیگر نیتروژنی در سیستم حضور نخواهد داشت. اگر هدف از تولید گاز سنتز بدست آوردن سوخت های مایع باشد حضور حتی مقدار اندکی ماده خنثی مانع مایع شدن گاز می گردد به همین علت در این موارد باید از اکسیژن خالص بجای هوا استفاده نمود (چون دیگر نیتروژن به عنوان گاز بی اثر حضور نخواهد داشت). همچنین در صورتیکه میزان محصولات هیدروکربنی (مانند متان) به همراه گاز سنتز زیاد باشد از یک واحد تغییر شکل کاتالیستی^۵ نیز به همراه کاربراتور استفاده می گردد که در این واحد هیدروکربنها نیز به هیدروژن و مونوکسید کربن تبدیل می شوند.

به طور متوسط هر کیلوگرم زیست توده در شرایط استاندارد $2/5 \text{ m}^3$ گاز سنتز تولید می نماید و در این حالت برای احتراق زیست توده به مقدار $1/5 \text{ m}^3$ هوا نیاز خواهد بود. بعد از اینکه گاز در محفظه کاربراتور تشکیل گردید با توجه به بالا بودن دمای واکنش احتراق برای آنکه دانسیته انرژی گاز افزایش یابد نیاز به خنک کردن گاز سنتز می باشد. تجهیزات خنک کن متفاوتی برای اینکار مورد استفاده قرار می گیرند ولی پرکاربردترین آنها برای این منظور مبدلهای حرارتی هستند که ماده خنک کن آنها هوا می باشد و فرآیند خنک شدن گاز سنتز از طریق همرفت طبیعی هوا در سطح خارجی مبدل حرارتی صورت می گیرد ولی از آنجائیکه گاز سنتز تولید شده دارای مقداری رطوبت و همچنین مقدار اندکی ذرات جامد می باشد به همین علت قبل از ورود گاز به مبدل حرارتی گاز سنتز تصفیه گردیده و سپس در مبدل حرارتی به دمای محیط نزدیک می شود [۶-۸].

تصفیه گاز یک فرآیند مهم و تاثیر گذار است و معمولاً سه نوع فیلتر تر، مرطوب و خشک در این فرآیند بکار می روند. فیلترهای تر معمولاً از جنس سیلیکونها هستند و طراحی آنها براساس سرعت گاز تولید شده صورت می گیرد و برای جداسازی ذرات با اندازه بزرگتر از $5 \mu\text{m}$ مناسب می باشند و از آنجائیکه بیشتر ذرات جامد همراه گاز داری اندازه بزرگتر از $60 \mu\text{m}$ هستند به همین علت استفاده از فیلترهای سیلیکونی بسیار مناسب می باشد. بعد از عبور گاز از فیلتر سیلیکونی ممکن است هنوز ذرات ریزی درون گاز باقی مانده باشند به همین علت گاز از درون یک محیط پاک کننده مرطوب عبور داده می شود که در این قسمت گاز به وسیله آب با

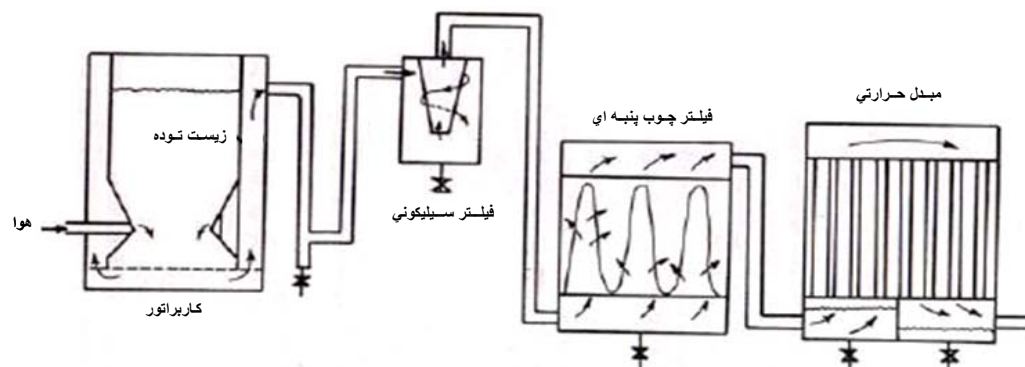
⁴ Fluidized bed gasification

⁵ Catalytic reforming

جریان متقابل شستشو داده میشود. این پاک کننده به طور همزمان نقش خنک کن را نیز ایفاء می نماید. پس از این مرحله گاز از درون یک محوطه چوب پنبه ای عبور می نماید که اندازه حفرات آن بسیار ریز می باشد. با عبور گاز از درون این محوطه به دلیل افت فشار زیاد ایجاد شده در طول مسیر ذرات، آب باقیمانده در سیستم مایع شده و در درون فیلتر باقی می ماند و گاز تمیز از سیستم خارج میشود. سیستم تصفیه گاز در شکل (۳) نشان داده شده است [۷-۹].

جدول (۱). ترکیب گاز تولید شده در کاربراتور با توجه به نوع زیست توده خوراک

منبع	ترکیب درصد گاز خروجی					کاربراتور مورد استفاده	زیست توده مورد استفاده
	CO	H ₂	CH ₄	CO ₂	N ₂		
[۷]	۲۸-۳۱	۵-۱۰	۱-۲	۱-۲	۵۵-۶۰	نزولی	ذغال چوب
[۷]	۱۷-۲۲	۱۶-۲۰	۲-۳	۱۰-۱۵	۵۵-۶۰	نزولی	چوب به همراه ۱۲-۲۰٪ رطوبت
[۸]	۱۴-۱۷	۱۷-۱۹	-	۱۱-۱۴	۵۰-۵۸	نزولی	کاه گندم
[۸]	۱۶-۲۰	۱۷-۱۹.۵	-	۱۰-۱۵	۴۵-۵۷	نزولی	الیاف نارگیل
[۸]	۱۹-۲۴	۱۰-۱۵	-	۱۱-۱۵	۴۶-۶۰	نزولی	پوسته نارگیل
[۸]	۱۵-۱۸	۱۵-۱۸	-	۱۲-۱۴	۵۰-۶۸	نزولی	ضایعات نیشکر
[۹]	۳۰	۱۹.۷	-	۳.۶	۴۶.۷	صعودی	ذغال چوب
[۱۰]	۱۸.۶	۱۶.۵	۰.۹۵	-	۶۴	نزولی	چوب ذرت
[۱۰]	۱۶.۱	۹.۶	۳.۴	-	۷۰	نزولی	سبوس برنج



شکل (۳). سیستم تصفیه گاز سنتز تولید شده از زیست توده

بزرگترین سیستم تبدیل زیست توده جامد به گاز در جهان در کشور فیلیپین قرار دارد و علاوه بر آن حدود ۳۰۰۰ واحد تولیدی از این روش استفاده می نمایند. در رتبه بعدی کشور برزیل قرار دارد که دارای ۶۵۰ واحد تولیدی در اندازه های متفاوت است [۶].

۱-۴-۲. فرآیند تبدیل به گاز نمودن در یک جریان زنجیروار^۶

همانطور که بیان شد فرآیند تبدیل به گاز نمودن زیست توده در دمای بالا صورت می گیرد و به همین علت در این نوع از فرآیند گازی شدن برای داشتن انتقال حرارت مناسب و یکنواخت باید ذرات زیست توده به صورت ریز و آسیاب شده تبدیل شوند و به همین علت سوخت جامد ورودی نیاز به چند مرحله آماده سازی دارد که این مراحل آماده سازی (آسیاب نمودن زیست توده های جامد) خود دارای مصرف انرژی بالایی هستند. به همین علت یکسری عملیات فیزیکی بر روی خوراک جامد صورت می گیرند که این عملیات به راحت تر شدن فرآیند آسیاب نمودن و کاهش هزینه ها و همچنین افزایش راندمان فرآیند کمک خواهند نمود. این عملیات عبارتند از: فرآیند برشته سازی^۷ و فرآیند گرماکافت^۸ [۱۱].

۱-۴-۲.۱. فرآیند برشته سازی

این فرآیند یک فرآیند حرارتی ملایم است که در دمای °C ۲۵۰-۳۰۰ صورت می گیرد. در این فرآیند ذرات جامد زیست توده به شکل ترد در آمده که با یک مرحله آسیاب می توان از این مواد ذرات ریز جامد ایجاد نمود. خاصیت آبدوست ذرات جامد حاصله باعث آسانتر شدن فرآیند می گردد. در شکل (۴) می توان تفاوت ذرات آسیاب شده چوب با ذرات آسیاب شده چوب برشته را مشاهده نمود.



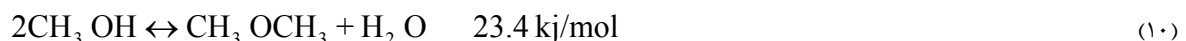
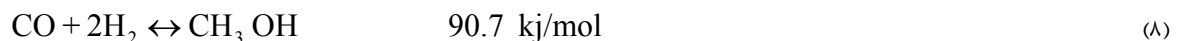
شکل (۴). تفاوت خرده چوب با ذرات چوب برشته شده

۱-۴-۲.۲. گرماکافت

این فرآیند در محدوده دمایی °C ۵۰۰ اتفاق می افتد و طی این فرآیند زیست توده جامد به مایع (روغن بیولوژیکی) تبدیل می گردد. بازدهی این فرآیند در حدود ۹۰٪ می باشد. در این فرآیند کاه تولید شده با ذغال حاصله تشکیل یک فاز دوغابی می دهد و سپس این ترکیب دوغابی وارد کاربراتور گردیده و پس از دمیده شدن اکسیژن در دمای بالا گاز سنتز حاصل می شود [۱۱].

۱-۵-۱. تولید DME از گاز سنتز بدست آمده از زیست توده

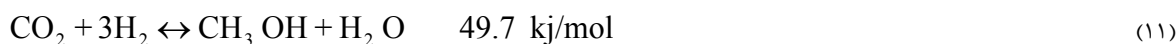
همانطور که پیشتر نیز ذکر گردید دو روش کلی برای تولید DME از گاز سنتز وجود دارد، روش تک مرحله ای و روش دو مرحله ای. در هر دو این روشها واکنشهای ۸ الی ۱۲ بر روی گاز سنتز صورت می گیرد که واکنش ۸ و ۱۱ واکنشهای سنتز متانول، واکنش ۱۰ واکنش آگیری متانول و واکنش ۹ واکنش انتقالی آب-گاز است [۱۲].



^۶ Entrained Flow Gasification

^۷ Torrefaction

^۸ Pyrolysis



در صورت استفاده از روش تک مرحله برای تولید DME از گاز سنتز واکنش ها در یک راکتور واحد و بر روی بستری مخلوط از کاتالیست های سنتز متانول و آبیگری متانول صورت می گیرد. فشار عملیاتی برای تولید DME از گاز سنتز به طور معمول بالاتر از ۱۵bar می باشد. کاتالیست واکنشهای (۸)، (۱۰) و (۱۱) کاتالیست سنتز متانول (عموماً Cu/ZnO/Al₂O₃) و کاتالیست واکنش (۹) کاتالیست جامد اسیدی (زئولیت ها و گاما آلومیناها و.....) می باشند. مجموع واکنش های (۸)، (۱۰) و (۱۱) به شرایط تعادلی نزدیک بوده و متانول تولیدی توسط واکنش (۹) مصرف می شود و به طور همزمان توسط واکنش های (۱۱) و (۱۰) آب تولید شده که این آب توسط واکنش (۹) مصرف می شود. هیدروژن تولید شده نیز باعث پیشرفت واکنش (۸) و (۱۱) میگردد.

در روش دو مرحله ای عموماً از دو راکتور جداگانه که به صورت سری قرار دارند و ترکیب کاتالیست های مورد استفاده آنها نیز متفاوت است استفاده می گردد. در راکتور اول با استفاده از کاتالیست های سنتز متانول، متانول همراه با مقداری آب (به عنوان محصول جانبی) تشکیل میگردد (واکنش های ۸، ۹ و ۱۱) و بعد از حذف مقداری از محصولات جانبی تشکیل شده و تثبیت متانول باقی مانده، این ماده به عنوان خوراک وارد راکتور آبیگری متانول و تولید DME (واکنش ۹) می شود. در این قسمت به وسیله کاتالیست های جامد اسیدی متانول آبیگری شده، DME و آب تشکیل می گردند.

۲- نتیجه گیری

فرآیند تبدیل به گاز شدن زیست توده و تولید گاز سنتز از آن مورد مطالعه قرار گرفته و عملکرد ترکیب راکتورهای متفاوت و جریان سیال (اکسیژن خالص یا هوا) در این فرایند بررسی گردید. در این مطالعات مشخص گردید که کاربراتورها با جریان حرارتی مستقیم و همچنین کاربراتورهای بستر ثابت برای تولید گاز سنتز از زیست توده مناسب نیستند. به همین علت از راکتور های بستر سیال با جریان حرارتی غیر مستقیم استفاده گردید. در این سیستم جریان حرارتی غیر مستقیم سبب افزایش راندمان سیستم و از طرف دیگر استفاده از کاربراتور بستر سیال با جریان سیال نزولی سبب بهبود کیفیت گاز سنتز تولیدی می شود. پیشنهاد می شود که بهینه سازی پارامترهای لازم برای اقتصادی کردن سیستم تولید و همچنین نحوه آماده سازی ماده اولیه مورد استفاده در این فرآیند مورد بازنگری و بررسی بیشتر قرار گیرد. از سوی دیگر در زمینه تولید مستقیم و تک مرحله ای DME بررسی های اندکی صورت گرفته که با توجه به ماهیت و خواص بسیار عالی DME به عنوان جایگزینی مناسب برای سوخت دیزل لازم است که مطالعات کاملتری در این زمینه از قبیل: تاثیر نوع راکتور مورد استفاده در عملکرد سیستم و پیدا نمودن بهترین ترکیب راکتوری، بررسی عملکرد کاتالیست های مختلف در راندمان سیستم و ترکیب کاتالیستی مناسب برای این سیستم صورت پذیرد.

مراجع

- [1] Troy A. Semelsberger, Rodney L. Borup, Howard L. Greene, "Dimethyl ether (DME) as an alternative fuel, "Journal of Power Sources, No 156, 2006, pp. 497-511.
- [2] <http://www.Nist Webbook.com>
- [3] D.A. Good, J.S. Francisco, A.K. Jain, D.J. Wuebbles, "Estimates of global biomass burning emissions for reactive greenhouse gases," J. Geophys. Res., 103, 1998, pp. 28181-28186.
- [4] Yotaro. Ohno, Norio Inoue, Takashi Ogawa, "Slurry Phase Synthesis and Utilization of Dimethyl Ether," NKK Technical Review, 85, 2001, pp. 23-28.
- [5] Jo Dewulf, Herman Van Langenhove, "Renewables Based Technology Sustainability Assessment," Wiley Series in Renewable Resources, pp.3-16.
- [6] Anil K. Rajvanshi, "Biomass Gasification," Alternative Energy in Agriculture, Vol. II, 1986, pp. 83-102.
- [7] Van Der Heijden, S. Szladow, A. J. Barabas, "Wood Gasification System for Electricity Production," Proceeding 16th IECEC, 1981, pp. 459.
- [8] C. Høglund, "Agricultural Residues as Fuel for Producer Gas Generation," Master Thesis, Royal Institute of Technology, Sweden, 1981. pp. 50-55.
- [9] N. A. Skov, "The Pegasus Unit," Pegasus Publisher, Olympia, Washington, 1974, pps. 120-145.
- [10] California Energy Commission, "An Investigation of the Downdraft Gasification Characteristics of Agricultural and Forestry Residues," 1979
- [11] H. Boerrigter, A. van der Drift, "Synthesis Gas from Biomass for Fuels and Chemicals, Biomass," Coal and Environmental research, 2006, pp. 14-17.

[۱۲] رئوف، فرشته؛ سینتیک غیرفعال شدن کاتالیست در تبدیل متانول به دی متیل اتر در راکتورهای بستر ثابت آدیباتیک؛ پایان نامه کارشناسی ارشد؛ فروردین ۸۶.