



مروری بر تکنیک‌های ترموشیمایی تولید گاز هیدروژن از زیست توده

امیر هاشمی نژاد^{۱*}، جواد طریقی^۲

۱. دانشجوی دکتری مکانیک بیوسیستم گرایش انرژی‌های تجدیدپذیر - دانشگاه محقق اردبیلی (a.hasheminezad@uma.ac.ir)

۲. استادیار گروه مکانیک بیوسیستم - دانشگاه محقق اردبیلی (tarighi@uma.ac.ir)

چکیده

افزایش روزافزون تقاضا برای انرژی منجر به افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی و در نتیجه افزایش انتشار آلاینده‌های زیست‌محیطی شده که گرمایش زمین، بران‌های اسیدی و ذوب شدن یخ‌های قطبی را به دنبال داشته است. از این رو محققان از گذشته به دنبال منابع انرژی پاک بوده‌اند. در میان تولید انرژی از زیست توده می‌تواند بخشی از نیازهای انرژی جهان را تأمین کند. زیست توده کشاورزی از مهم‌ترین منابع تجدیدپذیر است که می‌توان آن را برای تولید حامل‌های پاک انرژی به کاربرد. هر ساله هزاران تن از باقیمانده محصولات کشاورزی دور ریخته می‌شوند در حالی که می‌توان آن‌ها را برای مصارف سودمندی به کاربرد. از جمله این انرژی‌های استحصال می‌توان به گاز هیدروژن تولید شده از زیست توده اشاره کرد. در این مقاله روش‌های ترموشیمایی استحصال گاز هیدروژن از زیست توده و عوامل تاثیرگذار بر روی پیشروی فرآیند مورد بررسی قرار گرفت و نتایج نشان داد زیست توده دارای پتانسیل بالایی برای تولید گاز هیدروژن می‌باشد.

کلمات کلیدی: زیست توده، هیدروژن، ترموشیمایی، پیرولیز

*نویسنده مسئول: a.hasheminezad@uma.ac.ir



مروری بر تکنیک‌های ترموشیمیایی تولید گاز هیدروژن از زیست توده

مقدمه

در سال‌های اخیر استفاده از انرژی گاز هیدروژن به صورت جهانی مورد توجه قرار گرفته است. ویژگی‌های مفید از جمله پتانسیل انرژی بالا (142 kJ/g) که در مقایسه با سوخت‌های فسیلی برای حمل و نقل و استفاده مایع عمومی به جهت دانسیته انرژی بالاتر، مفیدتر است. [۱۴] علاوه بر این، استفاده از هیدروژن سایر مشکلات زیست‌محیطی سوخت‌های فسیلی از جمله انتشار آلاینده مایع CO_2 ، CO و هیدروکربن‌های نسوخته را به کلی حذف می‌کند. از این رو هیدروژن به عنوان سوخت سازگار با محیط‌زیست پذیرفته شده است. افزایش تقاضای انرژی در جهان به جهت وابستگی گسترده زندگی بشر به سوخت و افزایش سطح رفاه آشکار است. قابل ذکر است که سوخت‌های فسیلی منبع اصلی تأمین انرژی (تقریباً ۸۰٪) در سراسر جهان است. [۱۸ و ۳۳]. در حال حاضر استفاده از سوخت‌های فسیلی دو نگرانی عمده را به همراه دارد: (۱) آلودگی مایع محیط‌زیستی، گرمایش زمین، تغییرات آب و هوایی و سایر تأثیرات مخرب (۲) برای مدت زمان طولانی در دسترس نیست. به همین دلیل توجه‌ها بیشتر به انرژی مایع زیستی و پایدار معطوف شده است. [۳۴]. در طبیعت، هیدروژن به شکل مولکولی موجود است و با جدا کردن از مولکول مایع هیدروکربن‌ها، زیست توده، آب و سایر مواد شامل هیدروژن به دست می‌آید. برای جدا کردن مولکول هیدروژن روش مایع گوناگونی وجود دارد. روش ریفرمینگ بخار (SR) و فرآیند تبدیل زیست توده به گاز به ترتیب به $3/04$ کیلوگرم گاز طبیعی و $13/5$ کیلوگرم زیست توده برای تولید ۱ کیلوگرم گاز هیدروژن نیاز دارند [۸ و ۲۰]. زیست توده چهارمین منبع تولید انرژی در جهان است [۷].

درصد هیدروژن موجود در ترکیب زیست توده در حدود ۵-۷٪ وزنی است. در آینده تولید هیدروژن از زیست توده سهم قابل توجهی از تولید انرژی در جهان را به خود اختصاص خواهد داد. بر مبنای گزارشی که در سال ۲۰۱۶ تهیه شده است می‌توان هیدروژن خالص به میزان ۷۰٪ وزنی را از زیست توده تولید کرد. زیست توده یکی از منابع متنوع و پاک انرژی در جهان است و از ابتدا به عنوان منبع اصلی گرمایش و پخت‌وپز در مناطق روستایی کشور مای در حال توسعه مورد استفاده قرار گرفته است. در حال حاضر نیز (۱۰-۱۴٪) انرژی در جهان از منابع زیست توده تأمین می‌شود [۳۰].

برای تولید هیدروژن پایدار، زیست توده را می‌توان از منابع مختلفی جمع‌آوری کرد. در طبیعت زیست توده به شکل مایع گوناگونی از جمله چوب جنگلی، باقیمانده مایع محصولات کشاورزی، آبی‌پروری، محصولات جانبی مواد بیولوژیکی مواد آلی موجود در فاضلاب و زباله مایع شهری وجود دارند. علاوه بر این تکثیر تعدادی از گیاهان به عنوان منبع زیست توده از جمله، جلبک‌ها و میکرو جلبک‌ها و جاتروفا برای اطمینان از نرخ تولید بالا مورد توجه قرار گرفته است [۱]. تکنیک‌های مختلفی برای تبدیل کارآمد زیست توده به منظور بدست آوردن محصول مفید با بازده بالا توسعه پیدا کرده است. که در آن تکنیک‌های بیوشیمیایی و ترموشیمیایی دو روش اساسی برای تبدیل انرژی حاصل از زیست توده جامد یا مواد آلی اولیه است. در روش بیوشیمیایی، هضم (هضم هوازی و هضم بی‌هوازی)، تخمیر و هیدرولیز اسیدی یا آنزیمی سه فرآیند مهم هستند [۱۷].

فرآیند ترموشیمیایی کل زیست توده را به محصولات سوختی گاز یا مایع تبدیل می‌کند که بعداً با استفاده از سنتز گاز به اجزا مورد نظر تبدیل یا مستقیماً به عنوان سوخت مورد استفاده قرار می‌گیرد. فرآیند تبدیل به گاز، تجزیه در اثر گاز، تبدیل به مایع سه روش شناخته شده تبدیل به گاز ترموشیمیایی برای تولید هیدروژن در مقیاس صنعتی است. با این حال فرآیند تبدیل به گاز و پیرولیز روش مایع محبوبی برای این منظور می‌نشانند. فرآیند تبدیل به گاز ممکن است توسط هوا، هوای غنی شده از اکسیژن و یا بخار بدست بیاید. در مورد تبدیل به گاز توسط هوا، انرژی فرآیند توسط احتراق جزئی سوخت و در تبدیل به گاز توسط بخار، انرژی مورد نیاز از منابع خارجی که برای تولید بخار به کار می‌رود، تأمین می‌شود. گاز سنتز (ترکیبی از H_2 و CO) و زیست سوخت به ترتیب محصولات اصلی فرآیند تبدیل به گاز و پیرولیز



هستند. زیست سوخت به دست آمده طی تکنیک‌های خاص از جمله ریفرمینگ زیست-روغن، تبدیل زیست - روغن به گاز و پیرولیز به گاز سنتز تبدیل می‌شوند [۱۹ و ۲۶].

موارد استفاده هیدروژن

هیدروژن در حال حاضر در بسیاری از صنایع برای کاربرد مای متنوع از جمله در صنایع شیمیایی برای تولید محصولات و در بخش انرژی به عنوان حامل انرژی و در صنایع نفت و پتروشیمی به عنوان واکنش دهنده مورد استفاده قرار می‌گیرد. علاوه بر این از هیدروژن برای سایر کاربردها از جمله برش شیشه با استفاده از اکسی هیدروژن، ذخیره انرژی و صنایع غذایی برای هیدروژنه کردن روغن مای خوراکی استفاده می‌شود. حجم عظیمی از هیدروژن (تقریباً ۹۵٪) برای تولید آمونیاک، متانول و تصفیه نفت به کار می‌رود [۵]. در صنعت پالایش نفت از هیدروژن برای کاهش دو ماده مضر یعنی نیتروژن و گوگرد موجود در فرآورده مای نفتی استفاده می‌شود. در دهه گذشته هیدروژن به عنوان سوخت حمل و نقل مورد استفاده قرار گرفته است. موتور مای احتراق داخلی تغییر یافته برای استفاده از هیدروژن به عنوان سوخت مورد بررسی قرار گرفته است [۲۹-۹]. هیدروژن در مقایسه با سوخت‌های مرسوم در حمل نقل از جمله بنزین و دیزل دارای خواص مطلوب تری است. این خواص شامل احتراق سریع تر، عدم نیاز به امتیزه کردن، عدد اکتان موثر بالاتر، پتانسیل تشکیل لایه ازون می‌باشد. علاوه بر این موارد دارای قابلیت ترکیب بالا با هوا (اشتعال) (در حدود ۴٪-۷۵٪ حجمی) در مقایسه با گاز متان می‌باشد [۱۱].

تولید گاز غنی از هیدروژن از طریق فرآیند تبدیل به گاز با استفاده از مواد تبدیل کننده متفاوت

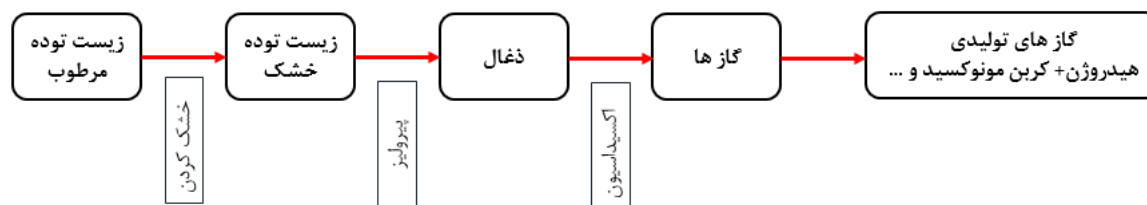
باید به این نکته توجه کرد که هر دو روش تولید هیدروژن از زیست توده، یعنی روش ترموشیمیایی و بیوشیمیایی برخی محاسن و معایبی را به همراه دارند، از جمله می‌توان به مواد اولیه با ترکیب نشاسته یا قند برای فرآیند بیوشیمیایی اشاره کرد. در روش بیوشیمیایی نمی‌توان از مواد لینگوسلولوزی استفاده کرد در حالی که در روش ترموشیمیایی می‌توان از طیف وسیعی از مواد اولیه از جمله مواد لینگوسلولوزی استفاده کرد... با وجود اینکه روش ترموشیمیایی به انرژی بیشتری نیاز دارد ولی مزایای آن نسبت به روش بیوشیمیایی بیشتر است. با توجه به اینکه روش ترموشیمیایی بیار توسعه یافته است اما هنوز از فرآیند بیج برای آن استفاده می‌شود و به زمان بیشتری برای واکنش در مقایسه با روش بیوشیمیایی نیاز دارد [۶]. برای تولید هیدروژن از زیست توده، بهره‌وری کلی روش ترموشیمیایی از روش بیوشیمیایی بیشتر بوده و از لحاظ اقتصادی به صرفه تر است [۲۵].

ماده مورد استفاده در فرآیند تبدیل به گاز نقش مهمی در تولید گاز غنی از هیدروژن از زیست توده ایفا می‌کند. این مواد متفاوت شامل هوا، اکسیژن خالص، کربن دی‌اکسید، بخار و مخلوط آن‌ها است که درصد گاز غنی از هیدروژن در واحد تولید گاز را تحت تاثیر قرار می‌دهد. هوا ارزان بوده و در مقایسه با سایر مواد به طور گسترده به عنوان ماده مورد استفاده در فرآیند تبدیل به گاز مورد استفاده قرار می‌گیرد. هوا دارای درصد بالایی از نیتروژن می‌باشد که منجر به کاهش ارزش حرارتی گاز سنتز شده می‌شود. از طرف دیگر استفاده از اکسیژن خالص ارزش حرارتی گاز سنتزی را افزایش می‌دهد و از طرف دیگر منجر به افزایش هزینه جداسازی اکسیژن از هوا خواهد شد. موارد اشاره شده برای تبدیل به گاز با استفاده از بخار و تبدیل به گاز با استفاده از آب فوق بحرانی نیز صادق است [۲۷].

فرآیند تبدیل به گاز با استفاده از هوا

تبدیل زیست توده به گاز یکی از موضوعاتی است که در چند دهه اخیر به طور گسترده مورد مطالعه قرار گرفته است. و این به دلیل است که محصولات گازی کاربرد مای گسترده‌ای در صنایع داشته و یا ممکن است به صورت مستقیم به عنوان منبع تولید توان در وسایل

نقلیه استفاده و جایگزین سوخت‌های فسیلی شود. [۲۸ و ۳۵]. این فرآیند شامل سوختن مواد آلی/کربن دار در محیط فاقد اکسیژن و یا شرایط استوکیومتری یک برای تولید مواد شیمیایی مفید و گازها می‌باشد. از آنجایی که فرآیند تبدیل به گاز عمدتاً برای تولید گاز به کار می‌رود، این روش نسبت به روش پیرولیز از جدایت بیشتری برخوردار است. گاز تولید شده در این فرآیند با استفاده از ریفورمینگ بخار همراه شده و منجر به تولید هیدروژن می‌شود. زیست توده با رطوبت کمتر از ۳۵٪ برای فرآیند تبدیل به گاز مناسب‌تر است [۱۲]. اگرچه عامل اصلی در فرآیند تبدیل به گاز، تبدیل زیست توده به گاز سنتز است، اما در عمل سایر گازها یا مایعات از جمله CO_2 ، آب و هیدروکربن‌های شامل CH_4 نیز به دست می‌آیند. معمولاً این فرآیند در چهار مرحله فرآیند واکنش انجام می‌شود که عبارت‌اند از: (۱) خشک کردن (کاهش رطوبت زیست توده) (۲) پیرولیز (برای گرم کردن زیست توده) (۳) اکسیداسیون (یک واکنش برون‌گرایی که در آن زیست توده پیرولیز شده تحت احتراق قرار می‌گیرد. (۴) کاهش (برای اصلاح یا کاهش تار و گازهای حاصل در منطقه احتراق و تبدیل به گاز سنتزی) [۱۵]. (شکل ۱)



شکل ۱- شماتیک فرآیند تبدیل زیست توده به گاز

فرآیند تبدیل به گاز اکسید شده

مقادیر زیاد نیتروژن در گاز تولید شده در طی فرآیند تبدیل به گاز با استفاده از هوا لزوم استفاده از فرآیند تبدیل به گاز اکسید شده را برای بهبود کیفیت و عملکرد گاز تولید شده را اجتناب‌ناپذیر می‌کند. در این فرآیند اکسیژن خالص برای تبدیل زیست توده به گاز موزد استفاده قرار می‌گیرد. این فرآیند در مقایسه با فرآیند تبدیل به گاز با استفاده از هوا منجر به افزایش درجه حرارت در حین فرآیند می‌شود. این افزایش دما در محدوده مشخص منجر به افزایش عملکرد تولید هیدروژن و کربن مونوکسید و از طرف دیگر باعث کاهش کربن دی‌اکسید و متان می‌شود [۲۴]. فرآیند تبدیل به گاز اکسید شده نسبت به فرآیند مشابه با استفاده از هوا دارای این مزیت است که این فرآیند نیازی به جداسازی برای جداسازی گاز نیتروژن از گاز تولید شده در طی فرآیند ندارد. هرچند اکسیژن موجود باید از گاز تولید جدا شود که خود فرآیندی پرهزینه با مصرف انرژی بالاست. همان‌طور که اشاره شد فرآیند تبدیل به گاز با استفاده از اکسیژن خالص منجر به شکست بیشتر مولکولی و واکنش کربینگ شده که به تولید هیدروژن و کربن مونواکسید منجر می‌شود [۷].

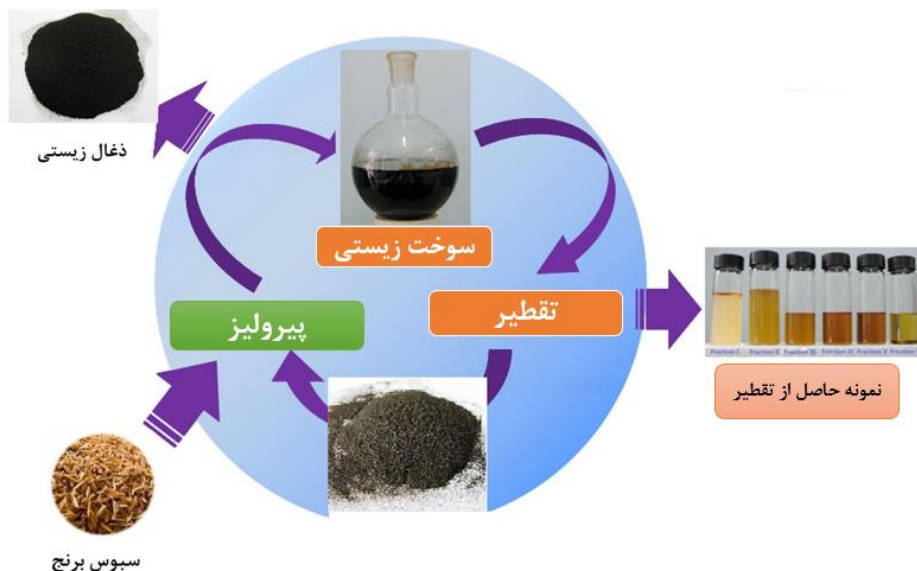
فرآیند تبدیل به گاز با استفاده از بخار

موادی مانند هواف اکسیژن، بخار یا مخلوط‌هایی که منجر به تولید گاز می‌شوند برای تبدیل زیست توده به گاز استفاده می‌شود. استفاده از بخار به عنوان ماده موثر برای تبدیل زیست توده به گاز منجر به افزایش عملکرد تولید گاز هیدروژن در مقایسه با فرآیند تبدیل به گاز با استفاده از هوا و افزایش متوسط ارزش حرارتی گاز بدون نیتروژن می‌شود [۳۷]. لازم به ذکر است در طی فرآیند تبدیل زیست توده به گاز علاوه بر سایر مواد ذکر شده تار نیز تولید می‌شود. تار یک ماده نامطلوب با ترکیبی پیچیده از هیدروکربن‌هاست. که به عنوان یک مانع بزرگ در استفاده از گاز تولید شده برای کاربردهایی چون تولید توان و الکتریسیته می‌باشد. تشکیل تار که منجر به گیرپاژ،

خوردگی و انسداد ژنراتور در نیروگاه‌هاست و مدیریت صحیح حذف آن همچنان یکی از چالش‌های کلیدی برای پژوهشگران است [۲۳].

تولید گاز غنی از هیدروژن با استفاده از پیرولیز

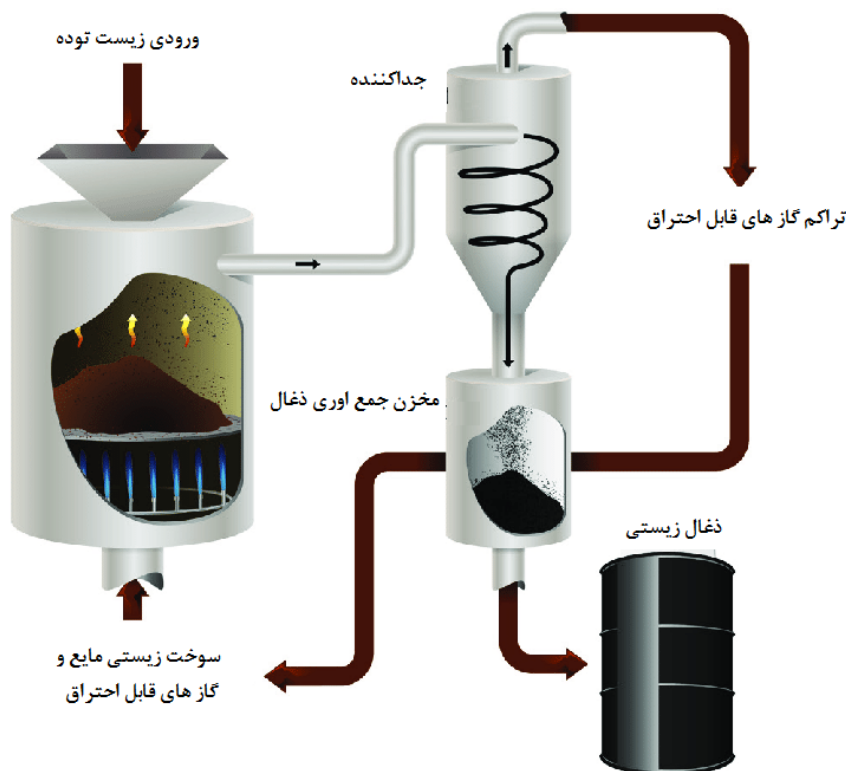
پیرولیز یک فناوری کامل و قدیمی برای تولید انرژی از زیست توده است و از زمان مای بسیار قدیم برای تولید ذغال و در نهایت گرمایش مورد استفاده قرار می‌گرفت. به‌طور کلی، تجزیه در اثر حرارت داد مواد آلی و مواد کربنی مانند زیست توده جامد در غیاب اکسیژن یا هوا برای تبدیل مواد آلی موجود به سوخت‌های مایع، جامد و ترکیبات گازی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۳۸]. با این حال فرآیند پیرولیز اخیراً مورد تحلیل قرار گرفته در مقایسه با روش قدیمی به مراتب پیشرفته‌تر است. با توجه به پیشرفت مای قابل توجه در زمینه طراحی راکتور، مواد ساخت راکتور، شرایط عملیاتی و نوع کاتالیزور، این فرآیند به مراتب عملیاتی‌تر از روش مای مرسوم است. با توجه به شرایط عملیاتی، پیرولیز را می‌توان به سه دسته: (۱) پیرولیز آهسته (۲) پیرولیز سریع (۳) پیرولیز آبی تقسیم‌بندی کرد. (شکل ۲)



شکل ۲- فرآیند تولید سوخت زیستی با استفاده از تقطیر

تفاوت این فرآیندها در میزان حرارت، دمای واکنش و زمان ماند واکنش دهنده‌هاست. توزیع عملکرد محصول به نوع پیرولیز و شرایط واکنش بستگی دارد. در فرآیند پیرولیز زیست توده هدف اصلی تولید ذغال است. هرچند سوخت‌های گازی و مایع به عنوان محصول جانبی تولید می‌شوند. زیست توده در دمای و نرخ متوسط حرارت داده می‌شود تا جاییکه زمان ماند مواد جامد موجود در حدود یک دقیقه است. در این فرآیند تولید هیدروژن پایین است اما بلافاصله با افزایش دما و نرخ گرمایش افزایش می‌یابد [۳۲]. پیرولیز سریع یک فرآیند گرمایش سریع زیست توده تا دمای اوج و قبل از تجزیه مواد موجود در زیست توده است. در این فرآیند زیست توده به بخار و تار تبدیل شده و سپس بخار قابل تراکم به صورت سوخت مایع متراکم شده و زیست سوخت تبدیل می‌شود و مواد غیرقابل تراکم شامل گاز مایع غیرقابل تراکم مانند هیدروژن و کربن مونواکسید است [۳۶]. عموماً پیرولیز سریع برای تولید حداکثری زیست سوخت در زمان کوتاه (۱۰-۵ ثانیه) و دمای اعمالی در محدوده (۹۲۷-۵۲۷ درجه سانتی‌گراد) به کار می‌رود [۲۲]. علاوه بر این تمرکز هیدروژن در اجزای

گازی با افزایش پیک دمایی یا استفاده از کاتالیزور افزایش می‌یابد. از این رو پیرولیز سریع همراه با دمای عملیاتی بالا شرایط مطلوب برای تولید حداکثر میزان هیدروژن است. در پیرولیز سریع دما و انتخاب شرایط عملیاتی بهینه باید به دقت مدیریت شود. (شکل ۳)



شکل ۳- فرآیند تولید ذغال زیستی از منابع زیست توده

ریفورمینگ روغن حاصل از پیرولیز

زیست سوخت محصول مایع تولید شده در حین فرآیند پیرولیز زیست توده است که تجزیه حرارتی زیست توده در صورت عدم واکنش با محیط بوده و یکی از برجسته‌ترین و کم‌هزینه‌ترین فرآیندها برای به دست آوردن سوخت مایع از یک منبع تجدید پذیر است [۳] و [۲۱]. این سوخت مایع نسبت به زیست توده چگالی انرژی و گرمایی بالاتری دارد. مقدار گرمایش نیز به فرآیند پیرولیز و نوع زیست توده بستگی دارد به طور کلی زیست سوخت مایع حاصل از پیرولیز چوب و پسماند مای کشاورزی دارای ارزش حرارتی در حدود MJ/Kg ۲۰ است [۳۹].

در طی فرآیند پیرولیز درصد تولید زیست سوخت مایع بیشتر از مقدار تولید هیدروژن است. از این رو با استفاده از فرآیند مای متفاوت از جمله ریفورمینگ بخار باید این سوخت مایع به هیدروژن تبدیل شود. این فرآیند در یک راکتور و با استفاده یا بدون استفاده از کاتالیزور انجام می‌شود. روند ریفورمینگ زیست سوخت مایع دارای مشکلاتی از جمله رسوب کک و ... می‌باشد. رسوب کک به علت پلیمراسیون ترکیبات ناپایدار در زیست سوخت مایع اتفاق می‌افتد [۱۶].

تلاش مای مداوم برای افزایش تولید هیدروژن از زیست سوخت مایع حاصل از پیرولیز زیست توده با استفاده از فرآیند SR انجام می‌شود که در آن محصول حاصل از پیرولیز با بخار واکنش داده و هیدروژن تولید می‌کند. در شرایط ایدئال تولید گاز سنتزی با استفاده از فرآیند تبدیل به گاز با استفاده از بخار به ترتیب ۸۰-۸۸٪ مول و ۷۷-۸۴٪ مول برای ذغال تولید شده از باگاس و ذغال معمولی است. عملکرد تولید هیدروژن نیز با استفاده از فرآیند ریفورمینگ بخار در حضور کاتالیزور افزایش می‌یابد. کاتالیزور مای متعدد که عناصری



چون نیکل، مس، روتینیوم و رودیم در ساختار خود دارند عملکرد خوبی داشته و بازده تولید هیدروژن را افزایش می‌دهند. با این وجود رسوب کربن در طی واکنش باعث کاهش راندمان فرآیند خواهد شد. با توجه مطالب ارائه شده می‌توان نتیجه گرفت ترکیبی از این کاتالیزورها و اجزای اکسیدکننده به صورت قابل توجهی زمان فعال‌سازی کاتالیزور را افزایش می‌دهد. [۱۳ و ۳۱].

پیرولیز و اصلاح درون خطی

ریفورمینگ غیرمستقیم زیست سوخت مایع دارای معایبی از جمله تبخیر ناقص و پلیمریزاسیون مجدد است [۴]. از این رو در هنگام ریفورمینگ غیرمستقیم زیست سوخت مایع، بازده ریفورمینگ کاهش پیدا می‌کند. با استفاده از ریفورمینگ مستقیم این مشکلات تا حدودی قابل رفع است. در میان فن‌آوری مای پیشرفته اخیر برای تبدیل زیست توده، فرآیند ریفورمینگ پیرولیز دومرحله‌ای برای تولید گاز هیدروژن از زیست توده مورد توجه قرار گرفته است. در این فرآیند، پیرولیز و فرآیند ریفورمینگ بخار در راکتور مای متفاوت مورد بررسی قرار گرفته و امکان بهینه کردن هر دو فرآیند در دماهای مختلف را فراهم کرده است. علاوه بر این، در مقایسه با فرآیند تبدیل زیست توده به گاز، ریفورمینگ بخار در دمای پایین‌تری انجام می‌شود [۱۰]. تکنیک پیرولیز با ریفورمینگ خطی بیشتر بر روی تولید هیدروژن تمرکز دارد در حالی که تبدیل به گاز بر روی تولید گاز سنتزی است. تمرکز هیدروژن در گاز سنتزی به ماده مورد استفاده در فرآیند بستگی داشته که فرآیند مای کاتالیزوری بعدی بر روی افزایش عملکرد هیدروژن مورد استفاده قرار می‌گیرند [۲].

نتیجه‌گیری

بررسی تحقیقات گذشته نشان می‌دهد تولید هیدروژن از منابع تجدید پذیر (زیست توده) و زیست سوخت‌های تولید شده از سنتز زیست توده به عنوان منبع اصلی جایگزین برای سوخت‌های فسیلی است. روش مای ممکن برای تولید هیدروژن از منابع متعدد زیست توده و بازده تبدیل آن به‌طور کامل مورد بررسی قرار گرفت. اکثر روش مای متداول از جمله تبدیل به گاز و پیرولیز با جزئیات مورد بررسی قرار گرفت. چندین پارامتر موثر بر عملکرد هیدروژن، محاسن و معایب آن همراه با روش مای جدید مورد بحث قرار گرفت. بر اساس مطالب ارائه شده می‌توان موارد زیر را استنباط کرد:

- تولید هیدروژن از منابع تجدید پذیر از جمله زیست توده می‌تواند وابستگی به سوخت‌های فسیلی را کاهش دهد.
- پیشرفت مای قابل توجهی در تولید هیدروژن بیولوژیکی حاصل شده است با این وجود این روند به اندازه تولید هیدروژن به روش معمولی اقتصادی نیست و تجاری‌سازی این فرآیند یک چالش مهم برای استفاده از زیست توده به عنوان منبع تولید هیدروژن است.
- جامعه علمی در تلاش است تا یک روش قابل قبول برای افزایش عملکرد تولید هیدروژن از زیست توده بدست آورد تا با روش معمولی تولید هیدروژن از سوخت‌های فسیلی رقابت کند.
- معمولاً عملیات تبدیل به گاز در فرآیند پیرولیز در دمای بالا اتفاق می‌افتد که به‌خودی‌خود منجر به افزایش عملکرد تولید هیدروژن می‌شود.
- از بین چندین پارامتر عملیاتی یعنی دما، نسبت بخار به زیست توده، زمان احتباس، سرعت گرمایش و اندازه ذرات زیست توده؛ درجه حرارت به‌طور قابل توجهی عملکرد تولید هیدروژن را تحت تاثیر قرار می‌دهد. زیر فرآیند تبدیل به گاز در دمای بالاتر میزان هیدروژن بیشتری تولید می‌کند.

منابع:



1. Agarwal D, Agarwal AK. Performance and emissions characteristics of Jatropha oil (preheated and blends) in a direct injection compression ignition engine. *Appl Therm Eng* 2007; 27:2314-23.
2. Alvarez J, Kumagai S, Wu C, Yoshioka T, Bilbao J, Olazar M, et al. Hydrogen production from biomass and plastic mixtures by pyrolysis-gasification. *Int J Hydrogen Energy* 2014; 39:10883-91.
3. Arbogast S, Bellman D, Paynter JD, Wykowski J. Advanced biofuels from pyrolysis oil/ Opportunities for cost reduction. *Fuel Process Technol* 2013; 106:518-25.
4. Arregi A, Amutio M, Lopez G, Artetxe M, Alvarez J, Bilbao J, et al. Hydrogen-rich gas production by continuous pyrolysis and in-line catalytic reforming of pine wood waste and HDPE mixtures. *Energy Convers Manag* 2017; 136:192-201.
5. Balat H, Kirtay E. Hydrogen from biomass e present scenario and future prospects. *Int J Hydrogen Energy* 2010; 35:7416-26.
6. Basu P. Biomass gasification and pyrolysis handbook. 2010.
7. Bhattacharya A, Bhattacharya A, Datta A. Modeling of hydrogen production process from biomass using oxygen blown gasification. *Int J Hydrogen Energy* 2012; 37:18782-90.
8. Budsberg E, Crawford J, Gustafson R, Bura R, Puettmann M. Ethanologens vs. acetogens: environmental impacts of two ethanol fermentation pathways. *Biomass Bioenergy* 2015; 83:23-31.
9. Castro N, Toledo M, Amador G. An experimental investigation of the performance and emissions of a hydrogen-diesel dual fuel compression ignition internal combustion engine. *Appl Therm Eng* 2019; 156:660-7.
10. Cheng CK, Foo SY, Adesina A a. Steam reforming of glycerol over Ni/Al₂O₃ catalyst. *Catal Today* 2011; 178:25-33.
11. Choi YK, Cho MH, Kim JS. Steam/oxygen gasification of dried sewage sludge in a two-stage gasifier: effects of the steam to fuel ratio and ash of the activated carbon on the production of hydrogen and tar removal. *Energy* 2015; 91:160-7.
12. Couto N, Rouboa A, Silva V, Monteiro E, Bouziane K. Influence of the biomass gasification processes on the final composition of syngas. *Energy Procedia* 2013; 36:596-606.
13. Czernik S, Evans R, French R. Hydrogen from biomass production by steam reforming of biomass pyrolysis oil. *Catal Today* 2007; 129:265-8.
14. Das D, Veziroglu TN. Advances in biological hydrogen production processes. *Int J Hydrogen Energy* 2008; 33:6046-57.
15. Dutta PP, Pandey V, Das AR, Sen S, Baruah DC. Down draft gasification modelling and experimentation of some indigenous biomass for thermal applications. *Energy Procedia* 2014; 54:21-34.
16. Gao N, Li A, Quan C. A novel reforming method for hydrogen production from biomass steam gasification. *Bioresour Technol* 2009; 100:4271-7.
17. Hallenbeck PC, Benemann JR. Biological hydrogen production; Fundamentals and limiting processes. *Int J Hydrogen Energy* 2002; 27:1185-93.
18. IEA. World energy outlook. 2013. [2]
19. Iribarren D, Susmozas A, Petrakopoulou F, Dufour J. Environmental and exergetic evaluation of hydrogen production via lignocellulosic biomass gasification. *J Clean Prod* 2014; 69:165e75.
20. Mehmeti A, Angelis-Dimakis A, Arampatzis G, McPhail S, Ulgiati S. Life cycle assessment and water footprint of hydrogen production methods: from conventional to emerging technologies. *Environments* 2018; 5:24.

21. Mohan D, Pittman CU, and Steele PH. Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: a critical review. *Energy Fuel* 2006; 20:848-89.
22. Naik SN, Goud VV, Rout PK, Dalai AK. Production of first and second generation biofuels: a comprehensive review. *Renew Sustain Energy Rev* 2010; 14:578-97.
23. Nipattummakul N, Ahmed II, Kerdsuwan S, Gupta AK. Hydrogen and syngas production from sewage sludge via steam gasification. *Int J Hydrogen Energy* 2010; 35:11738-45.
24. Niu M, Huang Y, Jin B, Wang X. Oxygen gasification of municipal solid waste in a fixed-bed gasifier. *Chin J Chem Eng* 2014; 22:1021-6
25. Parthasarathy P, Narayanan KS. Hydrogen production from steam gasification of biomass: influence of process parameters on hydrogen yield - a review. *Renew Energy* 2014; 66:570-9
26. Rupesh S, Muraleedharan C, Arun P. Analysis of hydrogen generation through thermochemical gasification of coconut shell using thermodynamic equilibrium model considering char and tar. *Int Sch Res Not* 2014; 2014:1-9.
27. Shen Y. Chars as carbonaceous adsorbents/catalysts for tar elimination during biomass pyrolysis or gasification. *Renew Sustain Energy Rev* 2015; 43:281-95.
28. Trippe F, Frohling M, Schultmann F, Stahl R, Henrich E. Techno-economic assessment of gasification as a process step within biomass-to-liquid (BtL) fuel and chemicals production. *Fuel Process Technol* 2011; 92:2169-84.
29. Tsujimura T, Suzuki Y. Development of a large-sized direct injection hydrogen engine for a stationary power generator. *Int J Hydrogen Energy* 2019; 44:11355-69.
30. Vassilev SV, Baxter D, Andersen LK, Vassileva CG. An overview of the chemical composition of biomass. *Fuel* 2010; 89:913-33.
31. Wang D, Czernik S, Montane D, Mann M, Chornet E, Montane D, et al. Biomass to hydrogen via fast pyrolysis and catalytic steam reforming of the pyrolysis oil or its fractions. *Abstr Pap Am Chem Soc* 1997; 36:1507-18.
32. Williams PT, Besler S. The influence of temperature and heating rate on the slow pyrolysis of biomass. *Renew Energy* 1996; 7:233-50.
33. World Energy Council. Steering committee. *Cold Reg Sci Technol* 1980; 2.
34. World energy scenarios 2016. World Energy Council; 2016.
35. Wright MM, Daugaard DE, Satrio JA, Brown RC. Technoeconomic analysis of biomass fast pyrolysis to transportation fuels. *Fuel* 2010; 89:2-10.
36. Wu C, Williams PT. Investigation of Ni-Al, Ni-Mg-Al and NiCu-Al catalyst for hydrogen production from pyrolysisgasification of polypropylene. *Appl Catal B Environ* 2009; 90:147-56.
37. Wu Y, Yang W, Blasiak W. Energy and exergy analysis of high temperature agent gasification of biomass. *Energies* 2014; 7:2107-22.
38. Yang H, Yan R, Chen H, Lee DH, Liang DT, and Zheng C. Pyrolysis of palm oil wastes for enhanced production of hydrogen rich gases. *Fuel Process Technol* 2006; 87:935-42.
39. Zhang Q, Chang J, Wang T, Xu Y. Review of biomass pyrolysis oil properties and upgrading research. *Energy Convers Manag* 2007; 48:87-92.



A review of thermochemical techniques for hydrogen gas production from biomass

Amir Hasheminezhad^{1*}, Javad tarighi²

1. Ph.D. student, Department of Biosystems Engineering, University of mohaghegh Ardabili
2. Assistant professor, Department of Biosystems Engineering, University of mohaghegh Ardabili

Abstract

Increasing demand for energy has led to increased fossil fuel consumption, consequently, emissions and environmental pollutants increased that have led to global warming, acidic raining and polar ice melting. So researchers have been looking for clean energy sources. As result biomass energy production can meet part of the world's energy needs. Agricultural biomass is one of the most important renewable resources that can be used to produce clean energy carriers. Thousands of agricultural residues are discarded each year, while they can be used for utility purposes. One of these energy derived from biomass include the hydrogen gas produced from biomass. In this paper, the thermochemical methods of hydrogen gas extraction from biomass and factors affecting the process progress were investigated and the results showed that biomass has high potential for hydrogen gas production.

Key words: Biomass, Hydrogen, Thermochemical, Pyrolysis

*Corresponding author

E-mail: a.hasheminezhad@uma.ac.ir