



تحلیل اثر نانو ذرات بر ساخت سوخت های زیستی

علیرضا شوهانی^{*}، زینب روحی[†]

alirezashouhani@gmail.com

zeynabrouhi1991@gmail.com

چکیده

هدف از انجام پژوهش حاضر تحلیل اثر نانو ذرات بر ساخت سوخت های زیستی می باشد. کاهش ذخایر سوخت هیدروکربنی، افزایش آلودگی زیست محیطی و قیمت های ناپایدار انرژی، جستجو برای منابع انرژی پاک و پایدار را آغاز کرده است. ابتکارات توسعه سوخت زیستی به طور گسترده در بسیاری از کشورها به منظور کاهش این چالش ها اجرا می شود. سوخت های زیستی مانند بیوهیدروژن، بیودیزل، بیواتانول و بیوگاز توجه فزاینده ای را در میان محققان به خود جلب می کنند، زیرا آنها سازگار با محیط زیست هستند، از مواد اولیه متنوعی استفاده می کنند که در دسترس، غیر خوراکی و ارزان هستند. صنعت بیودیزل در سال های اخیر رشد قابل توجهی را تجربه کرده است، یعنی انتظار می رود صنعت بیودیزل جهانی با افزایش سالانه 7.3 درصد، در مجموع تا سال 2025 به 54.8 میلیارد دلار افزایش یابد. مقایسه چرخه عمر بیودیزل سوخت های فسیلی و زیستی بیانگر این مهم است که در مراحل تولید تا مصرف سوخت های زیستی بر خلاف سوخت های فسیلی میزان کربن اتمسفر زمین افزایش نمی یابد. سوخت های زیستی به دلیل ویژگی های غیرآلاینده و رقابت پذیری در مقایسه با سوخت های فسیلی، به عنوان منابع جایگزین انرژی های تجدیدپذیر به سرعت در حال پیشرفت هستند. با این حال، به منظور پیگیری سریع توسعه آنها، تمرکز به سمت استفاده از فناوری هایی است که بازده آنها را به حداکثر می رساند. نانوذرات به دلیل خواص و مزایای بی نظیرشان که به آنها امکان می دهد در زمینه های مختلفی مانند کشاورزی، الکترونیک، داروسازی و صنایع غذایی کاربرد داشته باشند، در بین محققان مورد توجه فزاینده ای قرار گرفته اند. آنها همچنین در سوخت های زیستی به منظور بهبود عملکرد این فرآیندهای زیستی در حال بررسی هستند. بدیهی است که نانوذرات به دلیل خواص مفیدی که در این بررسی مستند شده است، می توانند نقشی محوری در جهت پیشرفت فرآیندهای تولید سوخت زیستی ایفا کنند. با این حال، برای تسریع در کاربرد آنها در فرآیندهای زیستی، بسیاری از موانع فنی باید برطرف شوند. اینها عبارتند از: (i) سنتز نانوذراتی که برای میکروارگانیسم ها غیرسمی هستند، (ب) استفاده از نانوذراتی که هزینه کمتری دارند و (iii) استفاده از نانوذراتی که سازگار با محیط زیست و تجدیدپذیر هستند.

کلیدواژه: نانو ذرات، سوخت های زیستی، بیودیزل، بیواتانول، سوخت های ترکیبی

^{*} . علیرضا شوهانی کارشناسی مهندسی شیمی دانشگاه ایلام
[†] . مهندسی شیمی گرایش ترموستیک و کاتالیست دانشگاه صنعتی همدان

1. مقدمه

کاهش ذخایر سوخت هیدروکربنی، افزایش آلودگی زیست‌محیطی و قیمت‌های ناپایدار انرژی، جستجو برای منابع انرژی پاک و پایدار را آغاز کرده است. ابتکارات توسعه سوخت زیستی به طور گسترده در بسیاری از کشورها به منظور کاهش این چالش‌ها اجرا می‌شود. آنها به دو گروه سوخت‌های زیستی اولیه و ثانویه طبقه‌بندی می‌شوند [1]. سوخت‌های زیستی اولیه مستقیماً از گیاهان، جنگل‌ها، فضولات حیوانی و بقایای محصولات تولید می‌شوند. سوخت‌های زیستی ثانویه از ترکیبی از مواد اولیه زیست توده و میکروارگانیسم‌ها تولید می‌شوند و بیشتر به سه گروه، یعنی سوخت‌های زیستی نسل اول، نسل دوم و نسل سوم طبقه‌بندی می‌شوند [2]. سوخت‌های زیستی نسل اول از محصولات خوراکی مانند ذرت، گندم، نیشکر، جو، سورگوم، روغن آفتابگردان و غیره تولید می‌شوند. سوخت‌های زیستی نسل دوم از باقیمانده‌های زیست توده مانند کاه گندم، علف، جاتروفا، میسکانتوس، کاساوا، کاکل ذرت و غیره سنتز می‌شوند. این سوخت‌های زیستی به عنوان یک گزینه مناسب در نظر گرفته می‌شوند، زیرا تهدیدی برای امنیت غذایی، جنگل‌زدایی، کمبود آب و سایر چالش‌های اجتماعی ایجاد نمی‌کنند. در همین حال، سوخت‌های زیستی نسل سوم از انواع مختلفی از گونه‌های میکرو جلبک استفاده می‌کنند [3]. در دهه گذشته، تحقیقات با تمرکز بر سوخت‌های زیستی نسل سوم نیز تشدید شده است، زیرا ریزجلبک‌ها می‌توانند تحت شرایط رشد متنوع رشد کنند و می‌توانند انواع مختلفی از سوخت‌های تجدیدپذیر مانند بیوهیدروژن، بیودیزل و بیوگاز را تولید کنند [4].

سوخت‌های زیستی مانند بیوهیدروژن، بیودیزل، بیواتانول و بیوگاز توجه فزاینده‌ای را در میان محققان به خود جلب می‌کنند، زیرا آنها سازگار با محیط زیست هستند، از مواد اولیه متنوعی استفاده می‌کنند که در دسترس، غیر خوراکی و ارزان هستند [5]. بیوهیدروژن به دلیل ویژگی‌هایش که عبارتند از: (1) محتوای انرژی بالا (120 کیلوژول بر گرم) که تقریباً 3 برابر بیشتر از سوخت‌های فسیلی است، یعنی زغال سنگ زیر قیر (25 تا 35 کیلوژول) در حال افزایش است. (g)، بنزین (41.2 کیلوژول بر گرم)، و گازوئیل (42.9 کیلوژول بر گرم)، (2) توانایی آن در ترسیب کربن، (iii) توانایی آن در استفاده از مواد اولیه متنوع از جمله پساب‌های آلی، (iv) توانایی آن در استفاده از انواع مختلف باکتری‌هایی که در محیط‌های مختلف یافت می‌شوند، (v) می‌توان آن‌ها را در دما و فشار محیط تولید کرد، بنابراین تولید آن در مقیاس بزرگ امکان‌پذیر است، و (vi) این فرآیند ساده‌ترین راه را برای تولید انرژی هیدروژن ارائه می‌دهد [6]. این فرآیند به شدت به شرایط عملیاتی مختلف مانند غلظت بستر، pH، دما و زمان ماند هیدرولیکی وابسته است. بنابراین، این پارامترها باید به طور بهینه کنترل شوند تا بازده بیوهیدروژن به حداکثر برسد. علاوه بر این، این فناوری می‌تواند به عنوان یک جزء در فرآیندهای پالایشگاه زیستی برای افزایش بازایی انرژی مورد استفاده قرار گیرد. به عنوان مثال، تولید بیوهیدروژن تخمیری تیره به عنوان فرآیند اولیه استفاده می‌شود، پساب‌های تخمیر تیره حاصل (DFE) که از اسیدهای چرب فرار و الکل‌ها تشکیل شده است، سپس در فرآیندهای تخمیر ثانویه مانند بیومتان، بیوالکتریسیته، تخمیر عکس استفاده می‌شوند که منجر به تولید زیاد می‌شود [7].

علاوه بر این، محصولات جانبی محلول در DFE می‌توانند به سایر مواد شیمیایی با ارزش مانند اتانول، پروپانول و بوتانول تبدیل شوند. علاوه بر کاربرد آن به عنوان سوخت جایگزین، در رویکردهای مدیریت پسماند استفاده می‌شود. بیوگاز از طریق یک فرآیند بیوشیمیایی به نام هضم بی هوازی تولید می‌شود که توسط گروه‌های مختلف گونه‌های باستانی و باکتریایی تسهیل می‌شود. این موجودات در بسیاری از محیط‌ها مانند فاضلاب‌ها، محل‌های دفن زباله، کمپوست‌ها و مزارع حیوانات یافت می‌شوند [8]. علاوه بر این، این فرآیند تحت شرایط عملیاتی مختلف

غلظت بستر، PH، دما، نرخ بارگذاری آلی و زمان ماند هیدرولیکی انجام می‌شود. بیوگاز عمدتاً از 50 تا 75 درصد متان (CH_4) و به دنبال آن 25 تا 45 درصد دی اکسید کربن (CO_2) و آثار کوچکی از اجزای دیگر مانند سولفید هیدروژن (H_2S) تشکیل شده است [9]. فرآیند هضم بی‌هوازی به طور گسترده در بسیاری از کشورها از جمله برزیل، چین، ایالات متحده، بریتانیا، هلند و آلمان استفاده می‌شود. تنها در اروپا، تعداد زیادی هاضم بی‌هوازی در سایت‌های مختلف کشاورزی برای تصفیه کود و سایر بقایای آلی ساخته شده است. این به طور قابل توجهی بازار بیوگاز این قاره را افزایش داده است، یعنی بیش از 14.9 میلیون تن بیوگاز در سال 2014 تولید شد. آلمان پیشرو فعلی در فناوری بیوگاز است و بنابراین نقشی محوری در بازار بیوگاز در اروپا ایفا می‌کند. بین سال‌های 2000 تا 2014، تعداد تأسیسات بیوگاز در آلمان از 1050 به 7850 افزایش یافت [10]. بیودیزل یکی دیگر از انرژی‌های پاک است که به دلیل سازگاری با محیط زیست و این واقعیت که می‌توان آن را با استفاده از روغن‌های غیرخوراکی تولید کرد، جایگزین مناسبی برای گازوئیل نفتی در نظر گرفته می‌شود. صنعت بیودیزل در سال‌های اخیر رشد قابل توجهی را تجربه کرده است، یعنی انتظار می‌رود صنعت بیودیزل جهانی با افزایش سالانه 7.3 درصد، در مجموع تا سال 2025 به 54.8 میلیارد دلار افزایش یابد [11]. سایر گزینه‌های سوخت زیستی مانند بیواتانول و بیومتان نیز توسط دانشمندان و سایر سهامداران به عنوان نامزدهای احتمالی پیشنهاد شده‌اند که می‌توانند برای تشدید بازار انرژی‌های تجدیدپذیر مورد استفاده قرار گیرند. اتانول زیستی همچنین به عنوان یک سوخت جایگزین پیش‌بینی می‌شود که می‌تواند برای رفع نیازهای فوری انرژی و همچنین نگرانی‌های زیست‌محیطی مورد استفاده قرار گیرد [12].

2. مبانی نظری

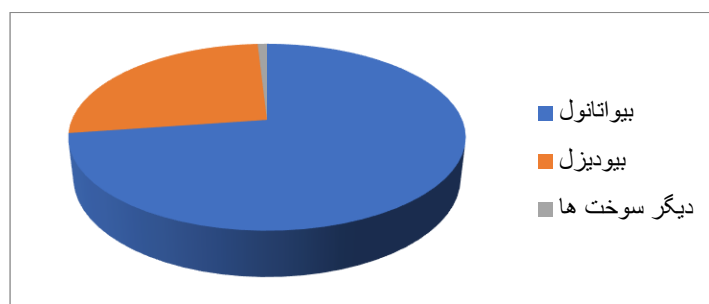
2-1. نانو ذرات

نانو تکنولوژی، فناوری جدیدی است که تمام دنیا را فرا گرفته است. به تعبیری دقیق‌تر نانو تکنولوژی بخشی از آینده نیست بلکه همه آینده است. معمولاً منظور از مقیاس نانو ابعادی در حدود 1 تا 100 نانومتر (یک میلیاردیوم متر) است. با کوچکتر شدن اندازه ذرات در حد نانومتر، نسبت سطح به حجم آنها افزایش پیدا می‌کند و در نهایت قابلیت جذب عناصر توسط این ذرات به مقدار چشمگیری افزایش می‌یابد [21].

2-2. سوخت‌های زیستی

امروزه برنامه‌های کاربردی در بخش حمل و نقل بر اساس استفاده از سوخت‌های مایع است که به راحتی ذخیره می‌شوند. در مقایسه با سوخت‌های مایع، استفاده از سوخت‌های گازی برای اهداف حمل و نقل جزئی است. اگرچه سوخت‌های جامد در گذشته برای قطارهای راه آهن استفاده شده است، اما از آن‌ها زمان طولانی است که برای حمل و نقل استفاده نمی‌شوند. با این حال، جدا از فاز ماده به طور کلی، دو نوع مختلف سوخت وجود دارد: سوخت‌های ساخته شده از منابع فسیلی و سوخت‌های زیستی ساخته شده از منابع تجدید پذیر [14]. به طور کلی، استفاده از سوخت‌های زیستی به طور بالقوه بستگی به پتانسیل موجودی و تداوم در احیاء زیست توده و وجود منابع مواد اولیه دارد. جنبه دیگری که معمولاً همه سوخت‌های زیستی را تحت تأثیر قرار می‌دهد، سیاست سوخت زیستی است. سیاست‌های مناسب در سطح منطقه ای، ملی و در اتحادیه اروپا یکی از عوامل

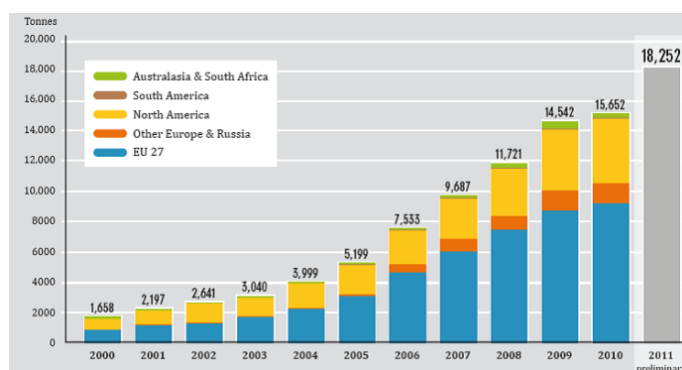
تعیین کننده است که می تواند تا حد زیادی به رونق بازار سوخت زیستی منجر شود [15]. در اتحادیه اروپا چند هدف برای ارتقای سوخت های زیستی تعیین شده است. ویژگی های اصلی مشترک سوخت های زیستی با یک چرخه زندگی مشابه بیان می شود. بزرگترین بخش سوخت های زیستی از منابع خوراک اولیه است. همه آنها باید کشت، حمل و نقل و فرآوری شوند تا به سوخت نهایی بیفزایند. پسماندها و بقایای حیوانات نیز می توانند به عنوان منبع مواد اولیه مورد استفاده قرار گیرند [19]. سهم انواع سوخت های زیستی از تولید و مصرف جهانی آنها در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل (1): سهم انواع سوخت های زیستی از تولید و مصرف جهانی

3-2. بیودیزل

بیشتر ویژگی های ترکیبات بیودیزل شبیه دیزل پتروشیمی است. بیودیزل (منوآلکیل استر)، یک سوخت دیزلی پاک است که از منابع طبیعی و تجدیدپذیر نظیر دانه های روغنی، میکرو جلبکها، روغنهای حیوانی و پلاستیک زباله های شهری و... تولید می شود. بیودیزل (متیل استر) یک مایع روشن تا زرد تیره است که عملاً غیرقابل امتزاج با آب بوده و نقطه جوش بالا و فشار بخار پایین دارد. نقطه فلش آن حدود 150 درجه سانتیگراد است که آن را سوختی نسبتاً غیرقابل اشتعال و بسیار ایمن تر از دیزل می کند [10]. بیودیزل می تواند با سوخت دیزل معمولی، با هر نسبتی حتی در مقادیر بسیار کم (که سبب کاهش انتشارات و روانی بهتر موتور شده) مخلوط شود. بررسی ها نشان می دهد که حدود یک درصد بیودیزل، باعث افزایش روان شدگی تا 65 درصد می شود. روانی بهتر به معنای سایش کمتر موتور بوده که در نهایت هزینه تعمیر و نگهداری دیزل را کاهش می دهد [18]. همچنین اگر میزان بیودیزل را به 20 درصد برسانیم، آن گاه عدد «ستان» تا حدود سه واحد بهبود پیدا می کند. توضیح این که «عدد ستان» برای دیزل (بیودیزل) مفهومی همانند «عدد اکتان» برای بنزین دارد. این عدد معیار اندازه گیری برای نشان دادن زمان احتراق سوخت در موتورهای دیزل است [19]. به هر حال طی 15 میلیون تست میدانی انجام شده، مصرف بیودیزل به لحاظ قدرت اسب بخار خواصی همچون سوخت های دیزل معمولی را نشان داده است. استفاده از بیودیزل در یک موتور گازوئیلی معمولی منجر به کاهش اساسی هیدروکربنهای نسوخته، منوکسید کربن و ذرات معلق می شود. با بکار بردن این سوخت، از سهم کربن موجود و ذرات معلق کاسته می شود. (چون اکسیژن موجود در بیودیزل احتراق کامل به CO_2 را ممکن می سازد)، اما قسمت محلول با هیدروکربن به همان صورت باقی می ماند یا افزایش پیدا می کند [13].



شکل (2): روند افزایش سوخت‌های زیستی در تأمین انرژی جهان

سهم مصرف سوخت‌های زیستی از مجموع کل انرژی مصرفی تولید شده از منابع مختلف در جهان، در سالهای ۲۰۰۴ تا پایان ۲۰۱۴ از ۰٫۱۶ درصد به ۰٫۵۵ درصد افزایش یافته است. محدود بودن سوخت‌های فسیلی، گران بودن و ضررهای ناشی از استفاده از آن، باعث شده که انسان به استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر روی بیاورد. یکی از انواع انرژی‌های تجدیدپذیر سوخت زیستی است [21].

4-2. ویژگی‌های سوخت‌های ترکیبی بیودیزل

برای کاهش مشکلات ناشی از ویسکوزیته بالا و تراکم بیودیزل، این سوخت اغلب به صورت مخلوط با سوخت دیزل مورد استفاده قرار می‌گیرد. مخلوط معمولاً B5، B10، B20 و B100 نامیده می‌شود، به عنوان مثال، B20 یعنی 20٪ از مخلوط بیودیزل و 80٪ از مخلوط گازوئیل است. بسیاری از محققان استفاده از ترکیبات بیودیزل را در موتورهای دیزلی مختلف برای بررسی اثرات بر روی چنین ویژگی‌های عملکرد مانند انتشار آگروز، تولید انرژی و بازدهی حرارتی انجام داده‌اند [18]. هنگامی که نتایج با دیزل پتروشیمی (دیزل خالص) مقایسه شد، کاهش انتشار گازهای خروجی گاز مضر از B10 تا B100 به دست آمد. همچنین مشخص شد که در حداکثر بار، بازده حرارتی ترمز B20، 25٪/2 بود که به طور قابل توجهی بیشتر از رقم بدست آمده برای دیزل خالص بود که مقدارش 22٪/9 اندازه‌گیری شده بود. این نشان می‌دهد که استفاده از بیودیزل بهبود عملکرد موتور دیزل را به همراه دارد [9].

5-2. روش‌های تهیه بیودیزل

سه روش مهم که برای تولید بیودیزل به کار می‌رود عبارت‌اند از: پیرولیز، میکروامولسیون و ترانس استریفیکاسیون در ادامه این سه روش شرح داده می‌شود.



1-5-2. پیرولیز

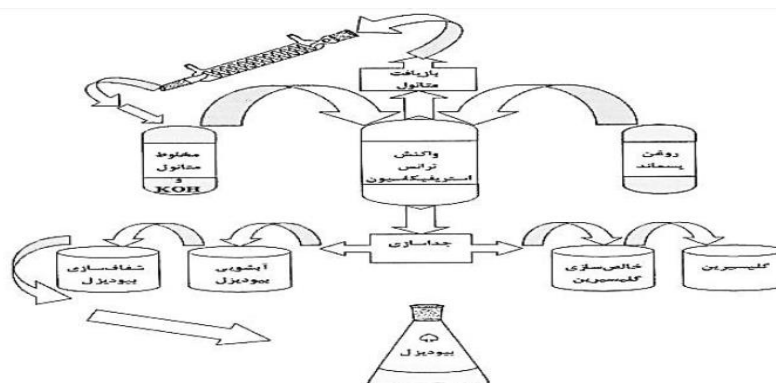
پیرولیز یا گرماکافت، استفاده از حرارت برای تبدیل یک ماده به ماده دیگر است. مواد زیست توده مانند روغن های گیاهی، چربی های حیوانی، چوب، زائدات زیستی و مانند آنها در عملیات پیرولیز مورد استفاده قرار می گیرند. در این فرآیند تجزیه حرارتی تری گلیسیریدها منجر به تولید ترکیبات مختلفی مانند آلکان، الکن، آلکادین، آروماتیک و اسید کربوکسیلیک می گردد[11]. مکانیسم شکست تری گلیسیریدها در اثر پیرولیز بسیار پیچیده است. این شکست از طریق رادیکالهای آزاد صورت می گیرد. در اثر این عمل گرانشی روغن پایین آمده و عدد ستان آن بالا می رود. در اثر پیرولیز مقدار آب و رسوبات، خوردگی مس و گوگرد کاهش یافته ولی مقدار خاکستر و ذرات کربن و دمای نقطه ابری شدن افزایش می یابد. همچنین ارزش حرارتی بالای (HHV) روغن پیرولیز شده مناسب 38/4 مگاژول بر کیلوگرم و در مورد سوخت دیزل حدود 43 مگاژول بر کیلوگرم می باشد[14].

2-5-2. میکرومولسیون

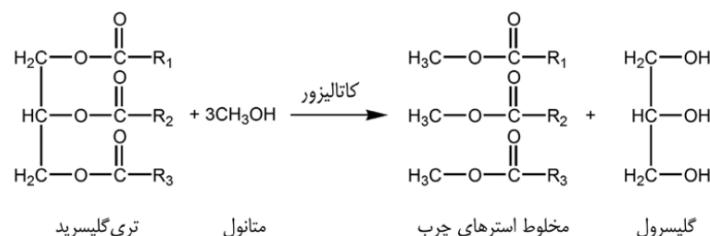
اگر برای کاهش گرانشی روغن از حلال هایی مانند متانول، اتانول و بوتانول استفاده گردد، محلول به دست آمده را میکرومولسیون می نامند. این محلول همسان گرد(استروپیک)، شفاف و به صورت ترمودینامیکی پایدار است. میکرومولسیون از ذرات آب، روغن، سورفکتانت و کوسورفکتانت(مولکول های آمفی فیلک) تشکیل شده است[12].

3-5-2. ترانس استریفیکاسیون

ترانس استریفیکاسیون یا الکل دار کردن واکنش بین یک روغن یا چربی یا یک الکل به منظور تولید بیودیزل و گلیسرول است. این فرآیند می تواند توسط کاتالیست های قلیایی، اسیدی یا آنزیمی انجام شود. در ترانس استریفیکاسیون که به آن الکلایزیم هم گفته می شود. الکل استر یا یک الکل دیگر در طی فرآیند، جایگزین می گردد. این فرآیند شبیه فرآیند هیدرولیز است با این تفاوت که به جای آب، الکل جایگزین می شود[13]. واکنش ترانس استریفیکاسیون از روش های معمول تولید بیودیزل می باشد که زمان زیادی برای این واکنش نیاز است. به دلیل ناهمگن بودن و عدم اختلاط روغن و الکل در روش همزدن مکانیکی سرعت واکنش ترانس استریفیکاسیون پایین بوده و فرآیند تبدیل تری گلیسیرید به متیل استرهای اسید چرب و گلیسرین، کند و ناتمام است[15]. درصد تبدیل بیودیزل توسط این فرآیند به عوامل مختلفی مانند: مواد اولیه، اندازه و نوع الکل، اندازه و نوع کاتالیزور، دما و زمان واکنش بستگی دارد. در واکنش ترانس استریفیکاسیون، استرهایی با ساختمان مولکولی جدید به نام استرهای متیل یا اتیل اسید چرب به وجود می آید که تشابه زیادی با گازوئیل دارد[17]. فرمول این واکنش در شکل(4) نشان داده شده است.



شکل (4): مراحل تولید بیودیزل از روغن پسماند



شکل (5): واکنش تهیه زیست دیزل و گلیسرول به عنوان محصول جانبی در فرایند تبادل استری

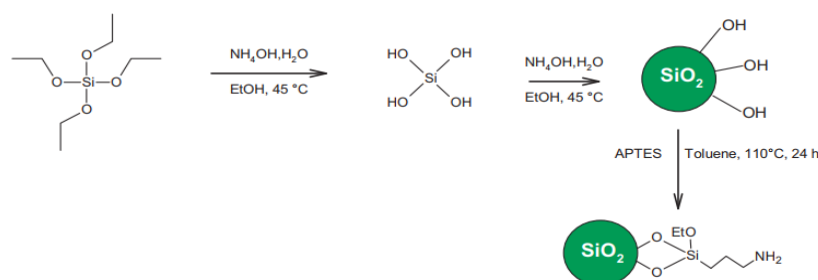
2-6. نانوذرات فلزی و تولید بیوهیدروژن

نقش سه نانوذرات فلزی (سرب، نقره و مس) همراه با نانوذرات FeO در تولید بیوهیدروژن با استفاده از کلستریدیوم بوتیریکوم مورد بررسی قرار گرفت. این نانوذرات فلزی روی سیلیس متخلخل (SiO₂) در غلظت کم 6-10 مول در لیتر تثبیت شدند. میکروآرگانیسم‌هایی که در نانوذرات FeO محصور شدند، بازده بیوهیدروژن و نرخ تولید بیوهیدروژن را به ترتیب 38 و 58 درصد در مقایسه با کشت‌های بدون نانوذرات FeO افزایش دادند. این به دلیل بهبود فعالیت هیدروژناز و انتقال الکترون‌ها بود که در طی فرایند تخمیر تاریک رخ داد [16]. در مطالعه دیگری، الریدی* و همکاران (2021) اثرات نانوذرات نیکل و نانوکامپوزیت نیکل گرافن را بر تولید بیوهیدروژن تخمیری تیره با استفاده از فاضلاب صنعتی مورد مطالعه قرار دادند. حداکثر بازده تولید بیوهیدروژن $24.73 \pm$ میلی لیتر H₂ / g COD_{initial} و 41.28 ± 1.69 میلی لیتر H₂ / g COD_{initial} به ترتیب با استفاده از نانوذرات Ni و Ni-گرافن در غلظت نانوذرات 60 میلی گرم در لیتر به دست آمد [17]. با این حال، نشان داده شد که افزایش بیشتر در غلظت نانوذرات، به دلیل خواص ضد میکروبی (ممانعت از مسیرهای تولید بیوهیدروژن)، عملکرد بیوهیدروژن را کاهش داد، همانطور که در مطالعات مشابه مشخص شد. رشد سریعی در بهره‌برداری از نانوذرات سیلیکا مزو متخلخل به دلیل ویژگی‌های متخلخل و مورفولوژیکی آنها وجود دارد که همچنین کاربرد آنها را در زمینه‌هایی مانند تصویربرداری زیستی، تحویل دارو/ژن و صنایع غذایی گسترش می‌دهد. این نانوحامل‌ها را می‌توان با استفاده از روش‌های مختلفی از جمله فرایندهای مقرون به صرفه و غیر سمی سنتز کرد. مورفولوژی، اندازه منافذ و اندازه ذرات نانوذرات سیلیکا مزوپور را می‌توان با کنترل شرایط واکنش مانند PH، دما، غلظت

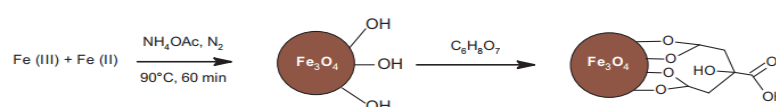
* . Alridi

سورفکتانت ها و منبع سیلیس تغییر داد [19]. در میان سیلیکاهای مزوپور، آمورف سانتا باربارا (SBA-15) ماده ای با خواص برجسته مانند نسبت سطح به حجم بالا، پایداری حرارتی بالا، منافذ یکنواخت و دیوارهای چارچوب ضخیم است. این ویژگی های منحصر به فرد، SB-15 را به یک ماده جذاب تبدیل کرده است که می تواند برای بهبود مسیرهای بیوشیمیایی تولید بیوهیدروژن استفاده شود [21]. ونکاتا موهان* و همکاران (2018) نشان داد که نانوذرات سیلیکا SBA-15 (120 میلی گرم در لیتر) می تواند تولید بیوهیدروژن را تا 544 درصد (7.02 mol/kg COD.d) در مقایسه با کنترل (1.09 mol/kg COD.d) در بارگذاری بالا افزایش دهد. نرخ 2.55 کیلوگرم COD/m³.d. نانوذرات سیلیکا همچنین یک بازده بیوهیدروژن (7.02 mol/kg COD.d) تولید کردند که 347 درصد بیشتر از نانوذرات کربن فعال (1.57 mol/kg COD.d) بود. علاوه بر این، روش های جدیدی در نانوذرات سیلیکا به منظور افزایش عملکرد و بازیابی آنها در فرآیندهای تخمیر تاریک گنجانده شده اند [8]. بنابراین، نانوذرات اکسید آهن (Fe₃O₄) از طریق پیوند آمیدی به نانوذرات سیلیس (SiO₂) کونژوگه می شوند تا نانوذرات Fe₃O₄@SiO₂ تولید کنند. نانوذرات Fe₃O₄@SiO₂ تازه سنتز شده در تخمیر تاریک سودمند هستند، زیرا پایداری بیشتری هستند، عملکرد کاتالیزوری بالایی دارند و می توانند پس از فرآیند تخمیر بازیابی شوند. نانوذرات Fe₃O₄@SiO₂ همچنین دارای پایداری حرارتی بالا، آب دوستی بالا، سمیت کم هستند و می توانند در محدوده PH وسیع تری عمل کنند [3].

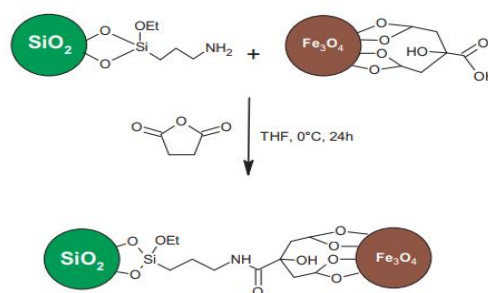
مرحله اول



مرحله دوم



مرحله سوم

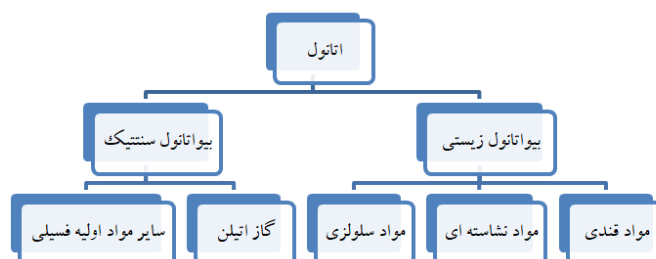
شکل (6): سنتز نانوذرات مزدوج Fe₃O₄@SiO₂

* .Vencata Moohan

7-2. بیواتانول

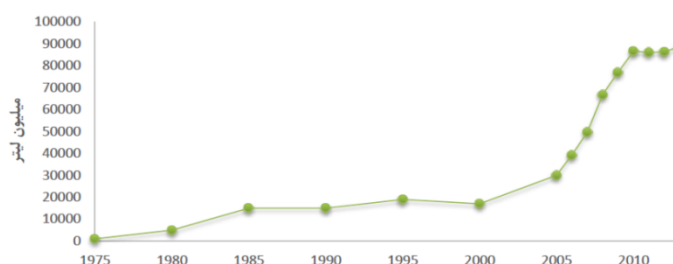
بیواتانول سوختی از دو جهت مدنظر می باشد. یکی از این نظر که الکلی سبک است که به جای مواد اولیه پتروشیمی، از مواد اولیه با منشأ زیستی (عمدتاً گیاهی) تولید می گردد. همچنین این امر سبب می شود که اثرات مخرب محیط زیست کاهش یابد و همچنین یک سوخت تجدیدپذیر می باشد که با کاربرد گسترده آن به عنوان بهبود دهنده و مکمل و یا جایگزین بنزین در خودرو، تأثیر قابل توجهی بر محیط زیست و در نهایت سلامتی مردم خواهد داشت [1].

بیواتانول یا اتانول زیستی الکلی است که دارای دو کربن به فرمول شیمیایی (C_2H_5OH) می باشد. که بر خلاف الکل های دیگر بیشتر از مواد اولیه زیستی با منشأ قندی و نشاسته ای و یا سلولزی تولید می گردد. تولید اتانول از مواد اولیه پتروشیمیایی (اتیلن و گاز سنتز) هم امکان پذیر است (اتانول سنتتیک)، امروزه اتانول کمتر از 5 درصد در دنیا از مواد اولیه غیر زیستی است، تولید می شود که همین روند هم روبه کاهش است [3]. تفاوت عمده اتانول تولیدی به روش سنتزی با بیواتانول این است که اولی سوختی است تجدیدناپذیر با منشأ فسیلی اما دومی سوختی است تجدیدپذیر. این دو محصول به عنوان یک سوخت از نظر خواص فیزیکی و شیمیایی تفاوتی باهم ندارند، اما کاربردهای خوراکی و بهداشتی و آرایشی و صنعتی مختلفی دارند [11].

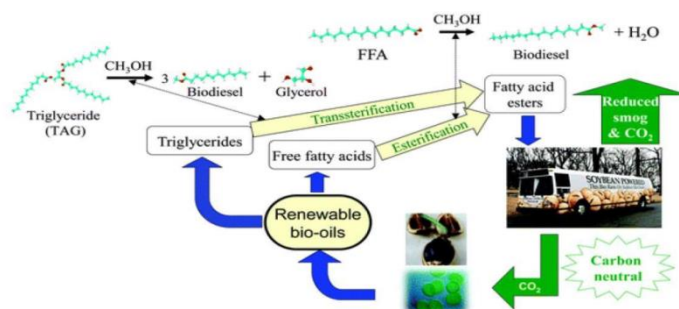


شکل (7): مواد اولیه تولید بیواتانول

در شکل بالا مواد اولیه تولید بیواتانول سوختی و بیواتانول سنتتیک نشان داده شده است. سه نسل برای بیواتانول سوختی تعریف شده است. بیواتانول نسل اول، بیواتانول تولیدی از مواد قندی نظیر ملاس چغندر و نیشکر و یا مواد اولیه نشاسته ای نظیر غلات، سیب زمینی می باشد. بیواتانول نسل دوم بیواتانولی است که با استفاده از گیاهان و یا زائدات گیاهی لیگوسوزی بدست می آید. بیواتانول تولیدی از گیاهان و زباله ها و پسماندهای گیاهی و صنعتی و شهری مرکب از مواد قندی و نشاسته ای و سلولزی را بیواتانول نسل سوم می نامند [12].



شکل (8): نمودار عمر چرخه عمر بیواتانول



شکل (9): چرخه عمر بیواتانول سوختی

مقایسه چرخه عمر بیودیزل سوخت های فسیلی و زیستی بیانگر این مهم است که در مراحل تولید تا مصرف سوخت های زیستی بر خلاف سوخت های فسیلی میزان کربن اتمسفر زمین افزایش نمی یابد. همانطور که در شکل زیر مشاهده می کنید، به طور کلی چرخه عمر بیواتانول سوختی را که از چاه آب در مزرعه شروع شده و به چرخه و خروجی اگزوز خودرو منتهی می گردد را می توان به دو بخش تقسیم کرد از مزرعه تا باک خودرو که شامل مراحل مختلف تهیه مواد اولیه و تولید بیواتانول می شود و از باک خودرو تا گردش چرخ های خودرو و خروج گازهای حاصل از احتراق اتانول (بخار آب و کربن دی اکسید) از اگزوز خودرو [14].

8-2. پیشینه

زارعین و همکاران [19] در مطالعه ای خود به این نتایج دست یافتند. انرژی و محیط زیست از اولویت های اساسی بشر امروز است. امروزه موتورهای دیزل به عنوان یک منبع توان اساسی در تأمین نیروی محرکه خودروها و ماشین های غیرجاده ای به حساب می آیند. با توجه به تأثیرات اضافه نمودن ذرات نانو به سوخت بیودیزل در جهت افزایش متغیرهای کیفی سوخت و بازده فرآیند احتراق، سوخت نانو بیودیزل در موتور دیزل می تواند باعث افزایش متغیرهای عملکردی موتور شود. نتایج نشان داد که با استفاده از نانو سوخت ها و افزایش غلظت نانو ذرات در سوخت بیودیزل B20 در تمامی دوره های موتور، توان و گشتاور افزایش و مصرف ویژه سوخت نسبت به بیودیزل خالص کاهش یافت. توان و گشتاور موتور، با استفاده از سوخت BD+CNT90 در دور موتور 2400 rpm به ترتیب به میزان 29/17 و 08/17 درصد افزایش یافته و مصرف ویژه سوخت موتور با این سوخت در دور 2700 rpm تا 21/7 درصد کاهش یافت.

اعالی و همکاران [18] در مطالعه ای خود به این نتایج دست یافتند. سنتز احتراقی در محلول (SCS)، روشی مطلوب به منظور تولید اکسیدهای گوناگون در مقیاس نانو می باشد. در این پژوهش سعی شده است با تولید نانو ذرات مگنتیت به روش سنتز احتراقی در محلول با استفاده از سوخت های گلاسیسین، سیتریک اسید و اوره با کنترل اتمسفر و بررسی خواص مغناطیسی و آنالیز فازی محصول، شرایط بهینه به منظور دستیابی به مگنتیت خالص تعیین شود. به این صورت که با انحلال سوخت و اکسید کننده در آب مقطر و سپس حرارت دهی محلول، پس از انجام واکنش احتراقی بین سوخت و اکسید کننده، محصول جامد اکسیدی در مقیاس نانو تولید می شود. به منظور مشخصه یابی محصول تولید شده آنالیزهای XRD، VSM، SEM و Particle Size بر روی نمونه های تولید شده انجام شد. نتایج حاصل از آنالیز XRD و VSM نمونه ها امکان دستیابی به مگنتیت خالص در اتمسفر خنثی و مغناطش اشباع را 73/69 emu/gr، 43/94 و 86/8 به ترتیب برای سه نوع سوخت نشان دادند. در پایان نتیجه گیری

شد که بیشترین درصد فازی مگنتیت و مغناطش اشباع در استفاده از گلاسیسین به عنوان سوخت در اتمسفر خنثی می باشد، همچنین با توجه به نتایج آنالیز Particle Size و SEM در امکان دستیابی به محصولی در مقیاس نانو یقین حاصل شد.

قره قانی[13] در مطالعه ای خود به این نتایج دست یافت. نگهداری و حفظ منابع انرژی و تشدید قوانین سختگیرانه محیط زیستی برای کنترل آلاینده های خروجی از موتور ، نیازمند احتراق پاک تر و بهبود عملکرد موتورها می باشد. استفاده از سوخت بیودیزل از یک طرف هم بعنوان راهکاری برای حفظ منابع انرژی و هم کاهنده آلاینده ها اهمیت بسیاری را در موتورها پیدا کرده است. از طرفی، سوخت بیودیزل باعث افزایش آلاینده NOx در موتورها می شود که استفاده از افزودنی آب برای کاهش دمای احتراق را ناگزیر می کند. برای جبران اثر منفی استفاده از آب بر آلاینده های CO و HC، استفاده از افزودنی نانوذرات فلزی می تواند راه حل قابل اطمینانی باشد. نتایج نشان می دهند که ترکیب B15W10N120 (سوخت دیزل با 15٪ جرمی بیودیزل و 10٪ جرمی آب و 120 ppm نانوذرات) باعث کاهش 3٪ مصرف سوخت، کاهش 34٪ آلاینده CO و نیز کاهش 54٪ آلاینده HC نسبت به ترکیب B15W10 خواهد شد. از طرفی، این ترکیب باعث افزایش 57٪ آلاینده NOx می گردد که اثر نامطلوبی محسوب می گردد. از طرفی، بازده گرمایی موتور برای ترکیب B15W10N120 حدود 5.16٪ بیشتر از ترکیب B15W10N0 (ترکیب سوخت بدون نانوذره) بوده است.

قنبری و همکاران[12] در مطالعه ای با این نتایج دست یافتند. وجود این ذرات در محفظه احتراق موتور، با توجه به افزایش نسبت سطح به حجم ذرات نانو باعث افزایش انتقال حرارت به سوخت و تسریع زمان سوختن شده، تأخیر در اشتعال سوخت را کاهش داده و در مرحله پاشش به سوخت کمک می کند تا به میزان بیشتری در هوای فشرده نفوذ کند. نتایج به دست آمده از آزمایش های موتوری، نشان دهنده بهبود احتراق سوخت در محفظه احتراق و کاهش آلاینده های منواکسید کربن، هیدروکربنهای نسوخته و افزایش گاز دی اکسیدکربن و اکسیدهای نیتروژن در اگزوز موتور دیزل تراکتور در دورهای مختلف موتور می باشد.

جهانبخش و پیروزمند[11] در مطالعه ای خود به این نتایج دست یافتند که در سال های اخیر بهینه سازی سوخت های جامد کامپوزیتی توجه بسیاری از محققان را به خود جلب کرده است. خواص ویژه این گونه سوخت ها وقتی با سوخت های متداول قبلی مقایسه می شود اهمیت استفاده از آن را آشکار می کند. آلومینیوم پرکلرات به عنوان یک پایه جامد برای این نانو ذرات استفاده می شود که در بررسی های اخیر آشکار شده است که اگر این پایه نیز در ابعاد نانو باشد، بهره وری این گونه سوخت ها رشد چشمگیری خواهد داشت؛ لذا در این کار تحقیقی سعی شده است روش های مختلف تولید و ترکیب پایه آلومینیومی مقایسه و مرور شود و بهترین روش مورد بررسی قرار بگیرد.

نتایج مطالعه ملک محمدی و همکاران[10] نشان داد، استفاده از سوختی جایگزین بنزین و همچنین کاهش آلاینده های خروجی در موتور اشتعال جرقه ای از اهمیت بالایی برخوردار است. نتایج نشان داد با افزایش مصرف اتانول مقدار تولید مونو اکسید کربن و هیدروکربن های نسوخته کم می شود. همچنین مقدار تولید اکسیژن و دی اکسید کربن افزایش می یابد. افزودن نانو ذرات کربنی باعث کاهش صدای موتور در دورهای بالا (در دور 3000 دور بر دقیقه مقدار صدا از 82/17 دسیبل با بنزین خالص به 79 دسیبل در مخلوط بنزین با 80 پی پی ام نانو ذرات کربنی) می شود. نتایج نشان داد استفاده از سیستم تزریق هوا به اگزوز قبل از کاتالیست نسبت به تیمار بنزین خالص، ترکیب های مختلفی از 80 پی پی ام نانو ذرات کربنی و همچنین اتانول صفر درصد برتری دارد.

نتایج مطالعه قنبری[4] نشان داد که، در این تحقیق، نانو ذرات اکسید آلومینیوم (40 و 80 ppm) به سوخت دیزل اضافه شدند. تأثیر ترکیب های سوخت بر عملکرد و آلاینده های موتور دیزل شش استوانه چهارزمانه بررسی و نتایج آن

با سوخت دیزل خالص مقایسه شد. نتایج تجربی نشان داد که با استفاده از نانوذرات و افزایش غلظت آنها در سوخت دیزل، متغیرهای عملکردی موتور شامل گشتاور و توان تا 2 درصد افزایش و مصرف ویژه سوخت تا 6.01 درصد در مقایسه با سوخت دیزل خالص کاهش یافت. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش غلظت نانو ذرات در سوخت دیزل منواکسیدکربن و هیدروکربن‌های نسوخته به ترتیب 13.1 و 23.4 درصد در مقایسه با سوخت دیزل خالص کاهش یافتند. دی‌اکسید کربن و اکسیدهای نیتروژن به ترتیب 29.5 و 33.3 درصد در مقایسه با سوخت دیزل خالص افزایش یافتند. بنابراین نتایج نشان داد که افزودنی‌های نانو ذرات اکسید آلومینیوم در سوخت دیزل سبب افزایش عملکرد و کاهش آلاینده‌گی خروجی از موتور دیزل می‌شود و می‌تواند به عنوان یک سوخت جایگزین و دوست‌دار محیط زیست در موتورهای دیزل استفاده شود.

نتایج مطالعه زارع نژاد اشکذری و همکاران [3] نشان داد، همواره موتورهای دیزلی به دلیل مصرف سوخت کمتر، توان، راندمان و دوام بیشتر نسبت به انواع موتورهای دیگر به عنوان منبع تولید قدرت، مورد توجه سازندگان بوده است. امروزه با سخت تر شدن استانداردهای آلاینده‌گی و همچنین بحران انرژی موجود در جهان و بالطبع افزایش قیمت‌های سوخت مصرفی، ضروری است تا بتوان گام اساسی در بهینه کردن فرآیندهای احتراق برای کاهش مصرف سوخت، آلاینده‌گی و بهبود عملکرد موتور برداشت. یکی از استراتژی‌های نوین در جهت نیل به این اهداف، استفاده از سوخت‌های جایگزین و نیز افزودنی‌های مناسب نظیر نانو ذرات جامد به سوخت دیزل می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد که افزودن نانو ذرات به سوخت، انتقال حرارت به سوخت را افزایش داده و با تسریع سوختن، زمان تأخیر در اشتعال را کاهش می‌دهد. همچنین نانو ذرات، مکانسیم اشتعالی سوخت را بهبود بخشیده و سبب نفوذ بهتر جت سوخت به داخل هوای فشرده می‌گردد که باعث به وجود آمدن احتراق کامل تر و افزایش توان می‌گردد.

نتایج مطالعه زمزمیان و همکاران [2] نشان داد که، با افزودن انواع نانومواد به سوخت پایه دیزل، سوخت‌های غنی شده با نانومواد یا به طور خلاصه نانوسوخت حاصل می‌شود. این افزودنی‌ها به دلیل خصوصیات منحصر به فرد نانومواد، می‌توانند به طور قابل توجهی بر خصوصیات و رفتار سوخت تأثیر بگذارند. چگالی سوخت، گرانی سوخت، سینماتیکی، نقطه اشتعال و ارزش حرارتی برای سوخت‌های پایه و نیز برای نانوسوخت‌ها، از ویژگی‌های احتراق سوخت دارای اهمیت است. افزودن نانوذراتی مانند اکسیدگرافن و اکسید منگنز باعث بهبود خواص می‌شوند، این اثرات ممکن است متفاوت باشند اما علاوه بر این، نانومواد افزودنی می‌توانند رسانایی حرارتی و سرعت تبخیر سوخت پایه را بهبود ببخشند. هدف از انجام این تحقیق، مطالعه خواص فیزیکی-شیمیایی سوخت دیزل حاوی نانوذرات منگنز اکساید (MnOX) سنتز شده با غلظت 100 ppm و گرافن اکساید (GO) با غلظت‌های 20 ppm و 10 و هیبرید آنها است. تغییرات جزئی خواص فیزیکی شامل چگالی و گرانی به ترتیب به میزان 0.2٪ و 0.6٪ برای نانودیزل‌های تهیه شده و نیز افزایش 7/7٪ ارزش حرارتی سوخت توسط بمب کالری متری برای نانودیزل حاوی نانوذرات هیبریدی منگنز اکساید و گرافن اکساید به صورت کاملاً معلق و پایدار، گزارش شده است. از طرف دیگر آنالیزهای BET، FESEM و EDS برای مشخصه‌یابی سایز، مورفولوژی، مساحت سطح و درصد عناصر تشکیل دهنده نانوذرات، به کار گرفته شده است.

نتایج مطالعه سعیدپور و همکاران [1] نشان داد، دوره حرارتی گذاری گرم شدن موتور به واسطه عواملی چون عدم تبخیر درست سوخت، عدم احتراق کامل سوخت، خاموشی پیش از موعد جبهه شعله و نفوذ مواد هیدروکربنی مانند روغن موتور به داخل محفظه احتراق یکی از مهم ترین عوامل مصرف سوخت بالا و عملکرد ضعیف موتور است. نتایج این پژوهش حاکی از آن است که استفاده از روغن موتور حاوی نانوذرات 0.2٪ و 0.4٪ درصد به ترتیب 5٪ و 9/1٪ درصد طی دوره گرم شدن کاهش مصرف سوخت را موجب شدند. همچنین وجود نانوذرات مس در روغن خواص انتقال حرارت را بهبود داده و این اثرات در کاهش دمای سرسیلندر مشهود است.

نتیجه گیری

بدیهی است که نانوذرات به دلیل خواص مفیدی که در این بررسی مستند شده است، می‌توانند نقشی محوری در جهت پیشرفت فرآیندهای تولید سوخت زیستی ایفا کنند. با این حال، برای تسریع در کاربرد آنها در فرآیندهای زیستی، بسیاری از موانع فنی باید برطرف شوند. اینها عبارتند از (i) سنتز نانوذراتی که برای میکروارگانیسم‌ها غیرسمی هستند، (ب) استفاده از نانوذراتی که هزینه کمتری دارند و (iii) استفاده از نانوذراتی که سازگار با محیط زیست هستند. علاوه بر این، توصیه‌های زیر برای مطالعات آتی پیشنهاد شده است:

- غربالگری نانوذرات با طیف وسیعی از غلظت‌ها برای درک اثرات آنها بر فعالیت میکروبی و ایجاد شرایط بهینه فرآیند.
- استفاده از نانوذرات با اشکال و اندازه‌های مختلف به منظور درک رفتار آنها بر عملکرد فرآیندهای زیستی.
- انجام مطالعات در مقیاس آزمایشی به منظور ارزیابی قابلیت استفاده از نانوذرات برای فرآیندهای تولید سوخت زیستی پیشرفته ضروری است. این شامل ارزیابی‌های فنی-اقتصادی برای اهداف امکان‌سنجی است.
- همچنین نیاز به انجام مطالعات تجربی و محاسباتی ترکیبی برای ارائه درک اساسی از برخی از مکانیسم‌های دخیل در واکنش‌های تولید سوخت زیستی وجود دارد.
- پیشرفت‌های قابل توجهی در الگوریتم‌ها و قدرت محاسباتی وجود دارد که می‌توان از آن برای اهداف غربالگری و شناسایی نانوذرات مناسب برای فرآیندهای تولید سوخت زیستی استفاده کرد.

منابع

1. سعیدپور، م ر؛ قاسمیان مقدم، ع، همتی، م و دولت یار، م پ. (1402)، تأثیر استفاده از نانو ذرات مس در روغن موتور درونسوز بر روی مصرف سوخت طی دوره گرم شدن، سیزدهمین همایش بین‌المللی موتورهای درونسوز و نفت، تهران.
2. زمزمیان، س ا ح؛ واعظی جز، م ر، تاج آبادی، ف و شه مرادی، ع. (1402)، بررسی تجربی خواص احتراق نانو سوخت هیبریدی بر پایه نانو ذرات منگنز اکساید و گرافن اکساید در سوخت دیزل.
3. زارع نژاد اشکذری، ع؛ حسین نژاد، ع، فراحت، س و فروزان، ح. (1392)، بررسی تأثیر افزودن نانو ذرات مختلف به سوخت بر روی عملکرد و آلاینده‌های موتورهای دیزلی، بیست و یکمین همایش سالانه بین‌المللی مهندسی مکانیک، تهران، محل انتشار: فصلنامه تحقیقات موتور، دوره: 46، شماره: 46.
4. قنبری، مانی. (1399)، بررسی تجربی تأثیر نانو ذرات اکسید آلومینیوم در سوخت دیزل بر مشخصات عملکردی و آلاینده‌های موتور دیزل، محل انتشار: فصلنامه تحقیقات موتور، دوره: 61، شماره: 61.
5. Oh Y-K, Hwang K-R, Kim C, Kim JR, Lee J-S. Recent developments and key barriers to advanced biofuels: a short review. *Bioresour Technol* 2018;257:320–33.
6. Sharma M, Kumar A. Promising biomass materials for biofuels in India's context. *Mater Lett* 2018;220:175–7.
7. Shields-Menard SA, Amirsadeghi M, French WT, Boopathy R. A review on microbial lipids as a potential biofuel. *Bioresour Technol* 2018;259:451–60.
8. Enagi II, Al-Attar KA, Zainal ZA. Liquid biofuels utilization for gas turbines: a review. *Renewable Sustainable Energy Rev* 2018;90:43–55.
9. Doumax-Tagliavini V, Sarasa C. Looking towards policies supporting biofuels and technological change: evidence from France. *Renewable Sustainable Energy Rev* 2018;94:430–9.
10. ملک محمدی، م؛ رهنما، م، آبدانان مهدی زاده، س و کاظمی، ن. (1400)، مطالعه برخی از آلاینده‌های موتور



انژکتوری بنزینی با سوخت ترکیبی بنزین، اتانول و نانو ذرات کربنی، محل انتشار: دوفصلنامه ماشین های کشاورزی، دوره: 11، شماره: 2.

11. جهانبخش، م ر و پیروزمند، م. (1397)، مروری بر روش سنتز نانو ذرات پرکلرات آلومینیوم برای بهینه سازی سوخت های جامد، پنجمین کنفرانس ملی پژوهش های نوین در شیمی و مهندسی شیمی، تهران.

12. قنبری، م، نجفی، غ و قبادیان، ب. (1397)، بررسی تأثیر افزودن نانو ذرات نقره و نانو لوله های کربنی به سوخت دیزل و بیودیزل بر آلاینده های موتور دیزل، دومین همایش ملی موتورهای درونسوز، بابل.

13. قره قانی، آ. (1397)، کاهش آلاینده های و مصرف سوخت و نیز افزایش بازده موتور با استفاده از نانو ذرات در ترکیب سوخت، اولین همایش بین المللی قوای محرکه نوین (با محوریت خودروهای برقی)، تهران.

14. Hosseini SE, Wahid MA. Hydrogen production from renewable and sustainable energy resources: promising green energy carrier for clean development. Renewable Sustainable Energy Rev 2022;57:850–66.

15. Saravanan AP, Mathimani T, Deviram G, Rajendran K, Pugazhendhi A. Biofuel policy in India: a review of policy barriers in sustainable marketing of biofuel. J Clean Prod 2018;193:734–47.

16. Adeniyi OM, Azimov U, Burluka A. Algae biofuel: Current status and future applications. Renewable Sustainable Energy Rev 2018;90:316–35.

17. Sekoai P, Yoro K. Biofuel development initiatives in sub-Saharan Africa: opportunities and challenges. Climate 2016;4:1–13.

18. اعالی، ح، وحدتی خاکی، ج و ملازاده بیدختی، س. (1396)، تأثیر نوع سوخت و اتمسفر محیط بر خلوص و خواص مغناطیسی نانو ذرات، ششمین کنفرانس بین المللی مهندسی مواد و متالورژی و یازدهمین همایش ملی مشترک انجمن مهندسی متالورژی و مواد ایران و انجمن علمی ریخته گری، تهران.

19. زارعین، ع، ملایی برزی، ی و قبادیان، ب. (1395)، تحلیل و بررسی تأثیر نانو ذرات اضافه شده به سوخت بیودیزل بر پارامترهای عملکردی موتور دیزل، کنفرانس ملی نانو ساختارها، علوم و مهندسی نانو، کاشان.

20. Yoro K, Sekoai P. The potential of CO2 capture and storage technology in SouthAfrica's coal-fired thermal power plants. Environments 2016;3:24.

21. Sekoai P, Fermentative biohydrogen modelling and optimization research in light of miniaturized parallel bioreactors. Biotechnol Biotechnol Equip 2019;4:3901–8.