



مقایسه عددی تأثیر شرایط فیزیکی بر رفتار فواره سوخت‌های دی‌متیل‌اتر، سوخت زیستی و دیزل

مهرناز جبارزاده^{۱*}، پریناز جبارزاده^۲، محمد تقی شروانی‌تبار^۳

^۱دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، m.j.fluidmechanic@gmail.com

^۲دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، prnz.jbz@gmail.com

^۳دانشگاه تبریز، تبریز، ایران، mtsherv@yahoo.com

*نویسنده مسئول، شماره تماس: ۰۹۱۳۴۱۵۱۶۶۹

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۰۳ مرداد ۱۳۹۳

پذیرش: ۱۶ دی ۱۳۹۳

کلیدواژه‌ها:

سوخت زیستی

دی‌متیل‌اتر

مقایسه عددی

طول نفوذ افشانه

قطر میانگین قطرات

چکیده

در این مقاله، سوخت‌های دی‌متیل‌اتر و سوخت زیستی به عنوان دو سوخت جایگزین دیزل، در شرایط مختلف فیزیکی اعم از فشار تزریق و فشار محفظه احتراق، مطالعه شده و رفتار فواره حاصل از آنها با هم مقایسه شده‌اند. برای این منظور، نرم‌افزار AVL-FIRE-2013 بر مبنای روش حجم محدود، برای شبیه‌سازی به کار گرفته شده است که در آن، فشار تزریق ۵۰ و ۱۰۰ (MPa) و فشار محفظه احتراق ۱ و ۲ (MPa) است. در نتیجه این مطالعه، افزایش فشار محفظه احتراق در هر سه نوع سوخت، باعث کاهش طول نفوذ افشانه و افزایش فشار تزریق باعث کاهش قطر میانگین قطرات فواره می‌شود. در شرایط فیزیکی یکسان برای هر سه سوخت، دی‌متیل‌اتر کمترین و سوخت دیزل بیشترین مقدار طول نفوذ فواره را دارد. قطر میانگین قطرات برای سوخت دیزل کوچکتر از سوخت زیستی است و دی‌متیل‌اتر، کمترین مقدار قطر میانگین قطرات را دارد که نشان‌دهنده اتمیزاسیون (atomization) بهتر دی‌متیل‌اتر در شرایط یکسان تزریق و محفظه احتراق نسبت به دو سوخت دیگر است. در فشار تزریق ۵۰ (MPa) افشانه سوخت زیستی به دلیل بالا بودن کشش سطحی، در ناحیه خارجی فواره، دارای طرح ناهموارتری نسبت به دو سوخت دیگر است.



تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.

۱- مقدمه

در بررسی انجام شده توسط لیانگ^۸ [۱۱]، ترکیب دی‌متیل‌اتر با سه مقدار درصد کسر حجمی مختلف با اتانول مطالعه شده است. نتایج نشان‌دهنده افزایش بازده گرمایی به مقدار ۱۵٪ است. همچنین مقدار هیدروکربن تولید شده در حالت ترکیب اتانول و دی‌متیل‌اتر، در مقایسه با سوخت اتانول خالص به اندازه ۳۵٪ کاهش می‌یابد.

مشخصه‌های فواره و احتراق سوخت‌های ترکیبی سوخت زیستی با نسبت ترکیب مختلف توسط لی^۹ [۱۲] بیان شده‌اند. نتایج، عدم تفاوت در الگوی نفوذ فواره را برای نسبت‌های مختلف ترکیب سوخت زیستی نشان می‌دهد. همچنین گردسازی برای سوخت‌های ترکیبی سوخت زیستی، نسبت به سوخت دیزل رایج، دارای کیفیت کمتری است که علت آن، قوی بودن کشش سطحی سوخت زیستی است. امروزه با پیشرفت روزافزون سرعت و دقت پردازشگرها در رایانه‌ها، روش‌های عددی برای تحلیل جریان در دینامیک سیالات محاسباتی^{۱۰} اهمیت ویژه‌ای دارد.

تاکنون بیشتر مطالعات پیشین، معطوف به بررسی نتایج احتراق سوخت‌های جایگزین سوخت‌های دیزلی بوده است. از اینرو، در این مطالعه سه نوع سوخت دیزل، سوخت زیستی و دی‌متیل‌اتر در شرایط فیزیکی مختلف به صورت عددی توسط نرم‌افزار فایر بررسی می‌شوند تا تفاوت رفتار فواره حاصل از این سه سوخت، اعم از طول نفوذ فواره، قطر میانگین قطرات و توزیع فواره مشخص و مقایسه گردند.

۲- متغیرهای مورد مطالعه

۲-۱- طول نفوذ فواره

طول نفوذ فواره را می‌توان به دو طریق بیان کرد: فاصله دسته قطرات که به دورترین طول پایین دست خروجی افشانه می‌رسند یا بیشترین فاصله فواره از افشانه که تجزیه صورت نپذیرفته است. بیشترین اهمیت طول نفوذ در شناسایی مشخصات تشکیل فواره درون محفظه احتراق است که در فرآیند طراحی یک موتور احتراق داخلی بسیار اهمیت دارد. برای یک احتراق درون استوانه‌ای کارآمد، طول نفوذ نباید خیلی بلند یا خیلی کوتاه باشد. اگر خیلی بلند باشد، باعث خیس کردن دیواره محفظه و یا بالای سمبه می‌شود و در پی آن تولید دوده و اتلاف سوخت را خواهیم داشت. اگر طول نفوذ خیلی کوتاه باشد، بازده ترکیب و احتراق پایین می‌آید.

طول نفوذ فواره، طبق مطالعه ناب^{۱۱} [۱۳] به دو ناحیه مجزا تقسیم می‌شود. ناحیه اول، از شروع تزریق ($t = 0$) تا شروع فروپاشی فواره مایع ($t = t_r$) است و در ناحیه دوم، حباب‌هایی در نوک فواره تشکیل می‌شود و ادامه نفوذ آن، به صورت گازی است.

در سال‌های اخیر به دلیل کاهش منابع نفتی، افزایش هزینه‌ها و نیاز به کاهش آلاینده‌های هوا، توجه به سوخت‌های جایگزین افزایش یافته است [۱-۳]. مطالعه رفتار فواره سوخت و مشخصات ریزسازی آن، به دلیل تأثیر آن بر اختلاط سوخت و هوا، فرایند احتراق و کارایی موتور، اهمیت زیادی دارد. توجه به سوخت‌های مختلف برای کاهش اتلافات خروجی و بهبود بازده گرمایی بسیار مهم است. از میان سوخت‌های مختلف مورد توجه در سال‌های اخیر، می‌توان به سوخت‌های سوخت زیستی و دی‌متیل‌اتر^۱ اشاره کرد، زیرا سوخت زیستی بدون ایجاد تغییرات در ساختار موتورهای دیزل مرسوم، قابل استفاده است و دی‌متیل‌اتر نیز با اصلاحات جزئی در سامانه تأمین سوخت، قابل استفاده است. این سوخت‌ها اکسیژن اتمی بیشتری در مقایسه با سوخت دیزل دارند و اتلافات خروجی از آن‌ها از قبیل هیدروکربن^۲، دوده و ذرات ریز^۳ به طور قابل توجهی کاهش می‌یابد [۴-۵].

در مطالعه‌ای که به صورت عددی انجام گرفته است [۶]، خواص ترمودینامیکی دی‌متیل‌اتر مایع از قبیل لزجت، چگالی، گرمای نهان، تنش سطحی، آنتالپی و فشار بخار بدست آمده و معادلات مختلفی برای خواص سوخت بر حسب دما حاصل شده است.

برای بررسی امکان فنی استفاده از دی‌متیل‌اتر به عنوان سوخت جایگزین، آرکومانیس و همکاران^۴ [۷-۸] خواص آن را با سوخت دیزل مقایسه نموده‌اند. نتایج حاکی از آن است که دی‌متیل‌اتر دارای عدد ستان بالا و دمای خود اشتعالی پایین تری نسبت به سوخت دیزل است. بالا بودن مقدار اکسیژن در آن، باعث احتراق بدون دوده در موتور می‌شود. با وجود تبخیر آسان و چگالی کم، مشخصه‌های فواره دی‌متیل‌اتر، امکان استفاده از آن را در موتورهای احتراق جرقه ای فراهم می‌سازد. کاهش ذرات ریز تولید شده حاصل از احتراق دی‌متیل‌اتر، استفاده از دی‌متیل‌اتر به عنوان سوخت جایگزین را به خوبی توجیه می‌کند.

سو و همکاران^۵ [۹] مشخصه‌های فواره دی‌متیل‌اتر و دیزل را باهم مقایسه و گزارش کرده‌اند که دی‌متیل‌اتر دارای طول نفوذ کمتری نسبت به دیزل است و قطر میانگین قطرات^۶ آن نیز کوچکتر از سوخت دیزل است. پارک و همکاران^۷ [۱۰] در مطالعه خود، خواص مختلف سوخت زیستی و ترکیب سوخت زیستی با اتانول، از قبیل وزن مخصوص، چگالی و لزجت دینامیک و سینماتیک را بدست آورده‌اند.

1 DME

2 HC

3 Particulate matter (PM)

4 Arcoumanis

5 Suh et al

6 Sauter mean diameter (SMD)

7 Park

8 Liang

9 Lee

10 Computational fluid dynamics

11 Naber & Siebers

در گسسته‌سازی معادلات، از روش تفاضلات مرکزی برای معادلات پیوستگی و تکانه و از روش تفاضلات پیشرو برای معادلات اغتشاش، انرژی استفاده شده است. شبیه‌سازی سازی جریان اغتشاش، به کمک روش $k-\epsilon$ و معیار همگرایی کاهش باقیمانده‌ها، 1×10^{-6} است.

۴- نتایج

۴-۱- استقلال جواب‌ها از شبکه

برای بررسی استقلال حل از شبکه‌بندی، شبکه با اندازه‌های متفاوت در نظر گرفته می‌شود و در هر مرحله اندازه شبکه را ریزتر کرده و به شبیه‌سازی جریان پرداخته می‌شود تا در نهایت شبکه‌ای انتخاب شود که افزایش بیشتر تعداد سلول، تغییری در روند و مقدار جواب‌ها نداشته باشد.

جدول ۱: شرایط شبیه‌سازی

سخت	دیزل - سوخت زیستی - دی‌متیل اتر
تعداد روزنه	۱
قطر روزنه	۰,۳ میلی متر
فشار تزریق	۱۰۰ و ۵۰ مگاپاسکال
فشار محفظه	۱ و ۲ مگاپاسکال
دمای سوخت	۲۹۳ کلوین
دمای محفظه	۲۹۳ کلوین
مدت زمان تزریق	۲ میلی ثانیه
گام زمانی	۰,۰۵ میلی ثانیه
شعاع محفظه	۰,۰۵ متر
طول محفظه	۰,۲ متر

جدول ۲: ضرایب under relaxation برای معادلات

ضریب under relaxation	معادلات
۰,۴	اندازه حرکت
۰,۲	فشار
۰,۱۵	انرژی جنبشی اغتشاش
۰,۱۵	نرخ پراکندگی اغتشاش
۰,۸	انرژی

جدول ۳: خواص فیزیکی سوخت‌های مورد مطالعه

خواص سوخت	دیزل	سوخت زیستی	دی‌متیل اتر
چگالی (kg/m^3)	۸۲۸	۸۸۴	۶۶۰
گرانروی (mm^2/s)	۳,۲۷۴	۵	۰,۱۳
نقطه اشتعال ($^{\circ}\text{C}$)	۴۴	۱۰۰-۱۷۰	-۴۲
عدد ستان	۶۰	۴۸-۶۵	۶۸
نقطه جوش ($^{\circ}\text{C}$)	۱۵۵	۳۱۵-۳۵۰	-۲۳

$$t < t_r \rightarrow S(t) = C_v \left(\frac{2\Delta p}{\rho_l} \right)^{0.5} \times t \quad (1)$$

$$t > t_r \rightarrow S(t) = \frac{C_v^{0.5} (2C_a)^{0.25}}{\left(a \tan \frac{\theta}{2} \right)^{0.5} \rho_g^{-0.25} \Delta p^{0.25} (D \times t)^{0.5}} \quad (2)$$

که در آن، t_r برابر است با:

$$t_r = \frac{(2C_a)^{0.5} \rho_g D}{C_v a \tan \frac{\theta}{2} (\rho_g \Delta p)^{0.5}} \quad (3)$$

۲-۲- قطر میانگین قطرات

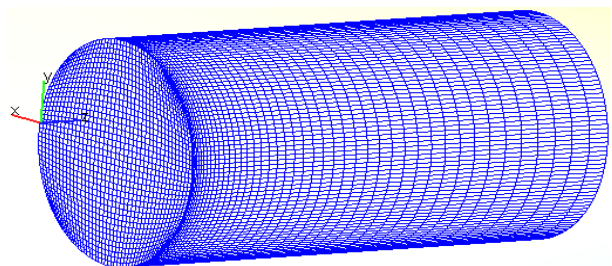
قطر میانگین قطرات، مشخص کننده اندازه قطرات به صورت متوسط است و برابر قطر یک قطره است که نسبت حجم به سطح آن با همین نسبت برای کل افشانه مساوی است [۱۴]. با این وصف می‌توان نوشت:

$$SMD = \frac{\sum_{i=1}^n d_i^3}{\sum_{i=1}^n d_i^2} \quad (4)$$

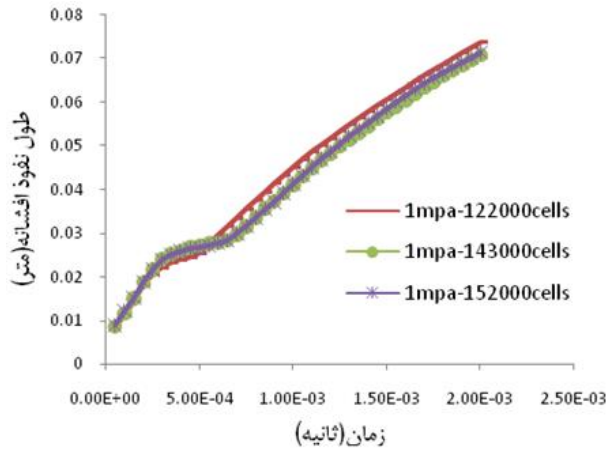
۳- شبیه‌سازی فواره

در این مطالعه، به بررسی مشخصه‌های فواره از قبیل طول نفوذ و قطر میانگین قطرات، برای سه نوع سوخت مختلف دیزل، سوخت زیستی و دی‌متیل اتر به صورت عددی پرداخته می‌شود. برای این منظور از نرم‌افزار AVL-Fire 2013 برای دانه بندی حجمی محفظه احتراق و تحلیل عددی استفاده شده است. مطابق شکل ۱، در قسمتی که سوراخ روزنه قرار می‌گیرد (در مرکز سطح بالایی استوانه)، از شبکه‌بندی ریزتری استفاده می‌شود. شرایط شبیه‌سازی در جدول ۱ نشان داده شده است. در میان شبیه‌سازی‌های مختلف فروپاشی فواره، در این مطالعه شبیه‌سازی فروپاشی WAVE که بیشترین سازگاری با نتایج تجربی وجود دارد، استفاده شده است. در این شبیه‌سازی، رشد یک اختلال اولیه بر روی سطح مایع، مرتبط با طول موج آن و متغیرهای دیگر فیزیکی و دینامیکی سوخت تزریقی و سیال دامنه است [۱۵].

ضرایب under relaxation برای حل معادلات ناویر استوکس به روش SIMPLE در جدول ۲ و خواص سه سوخت مورد استفاده در جدول ۳ نشان داده می‌شود.



شکل ۱: محفظه احتراق شبیه‌سازی شده



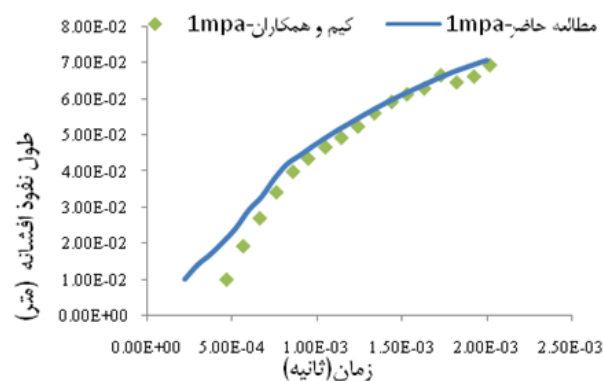
شکل ۳: استقلال جواب از شبکه بندی سوخت دی متیل اتر- فشار تزریق ۱۰۰ و فشار محفظه ۱ مگاپاسکال

۴-۲ صحنه گذاری نتایج

در این مرحله صحنه گذاری نتیجه حاصل برای طول نفوذ فواره دی متیل اتر ارائه می شود. شکل ۴، تطابق بین طول نفوذ فواره برای فشار محفظه احتراق ۱ و فشار تزریق ۵۰ مگاپاسکال با دبی جرمی ۱۵٫۶ میلی گرم طبق شرایط مطالعه تجربی انجام گرفته توسط کیم [۱۶] و مطالعه حاضر را نشان می دهد. برای فشار محفظه احتراق ۲ مگاپاسکال در شکل ۵، به طور مشابه داریم و با توجه به نمودارها نتیجه می شود که برای هر دو فشار محفظه احتراق، نتایج مطالعه حاضر تطابق قابل قبولی با نتایج تجربی در شرایط یکسان دارند.

۴-۳ بحث بر روی نتایج

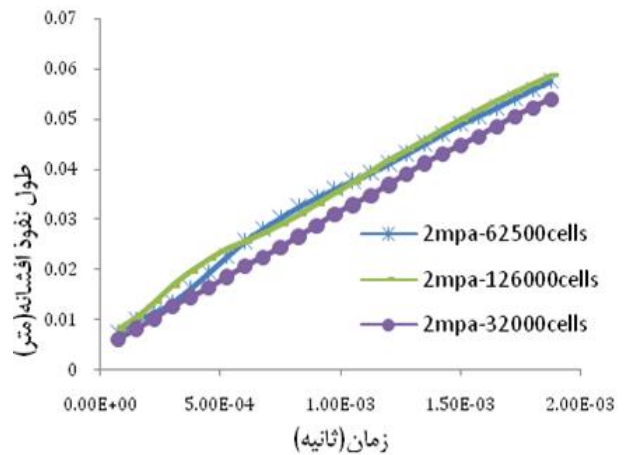
در این بخش نتایج بدست آمده از شبیه سازی نشان داده می شود. شکل های ۶ و ۷، به ترتیب نشان دهنده طول نفوذ فواره برای سه سوخت دی متیل اتر، سوخت زیستی و دیزل برای فشار تزریق ۵۰ مگاپاسکال در دو فشار محفظه ۱ و ۲ مگاپاسکال اند.



شکل ۴: صحنه گذاری طول نفوذ فواره برای سوخت دی متیل اتر- فشار محفظه ۱ مگاپاسکال

لازم به ذکر است به علت تعدد موارد شبیه سازی و نتایج حاصل از استقلال طول نفوذ فواره از تعداد سلول های شبکه، در این بخش، تنها به ارائه دو نمونه از نتایج حاصل اکتفا شده است و بقیه نتایج در جدول ۴ نشان داده می شود. شکل ۲ مربوط به سوخت دی متیل اتر برای فشار تزریق ۵۰ مگاپاسکال و فشار محفظه احتراق ۲ مگاپاسکال است.

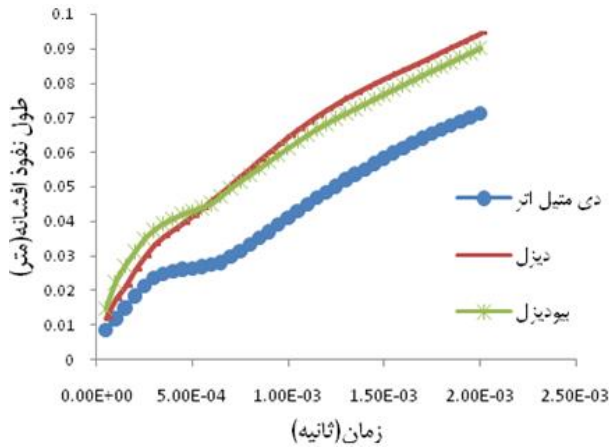
با توجه به شکل ۲، افزایش تعداد دانه ها به بیش از مقدار ۱۲۶۰۰۰ تغییری در روند مسأله ندارد و طول نفوذ فواره مستقل از شبکه بندی است. به طور مشابه برای سوخت دیزل و سوخت زیستی نیز استقلال جواب ها از تعداد سلول، در شکل ۳ مورد مطالعه قرار گرفته است. شکل ۳، میزان استقلال از شبکه برای سوخت دی متیل اتر در فشار تزریق ۱۰۰ مگاپاسکال و فشار محفظه احتراق ۱ مگاپاسکال را نشان می دهد.



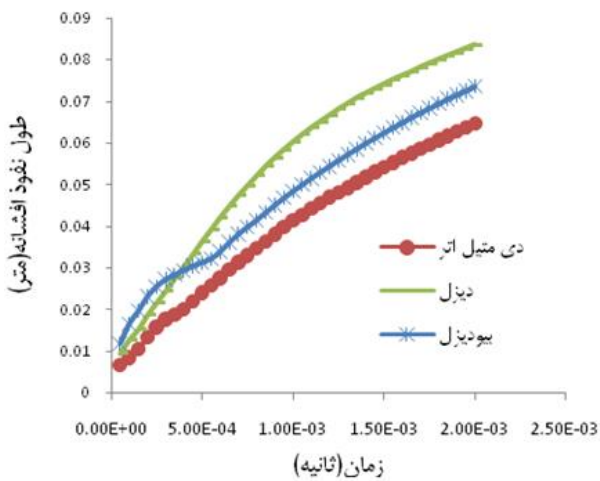
شکل ۲: استقلال جواب از شبکه بندی سوخت دی متیل اتر- فشار تزریق ۵۰ و فشار محفظه ۲ مگاپاسکال

جدول ۴: تعداد سلول های حل مستقل از شبکه

دی متیل اتر	سوخت زیستی	دیزل	فشار محفظه (MPa)	
			فشار تزریق (MPa)	فشار محفظه (MPa)
۱۲۶۰۰۰	۱۲۶۰۰۰	۱۲۶۰۰۰	۵۰	۱
۱۵۲۴۶۰	۱۴۳۳۶۰	۱۴۳۳۶۰	۱۰۰	۱
۱۲۶۰۰۰	۱۲۶۰۰۰	۱۲۶۰۰۰	۵۰	۲
۱۵۲۴۶۰	۱۹۶۰۰۰	۱۹۶۰۰۰	۱۰۰	۲



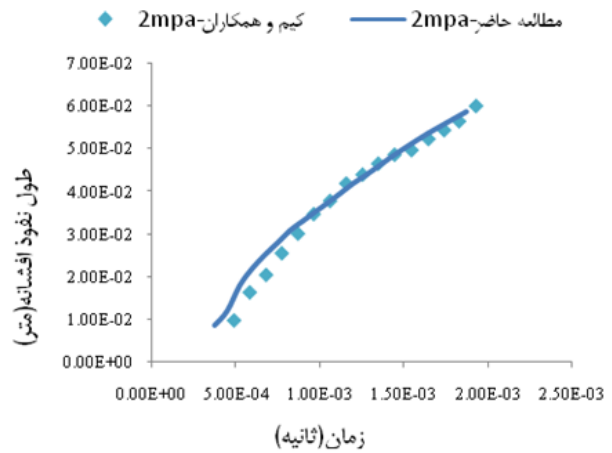
شکل ۸: طول نفوذ فواره بر حسب زمان تزریق - فشار تزریق ۱۰۰ و فشار محفظه ۱ مگاپاسکال



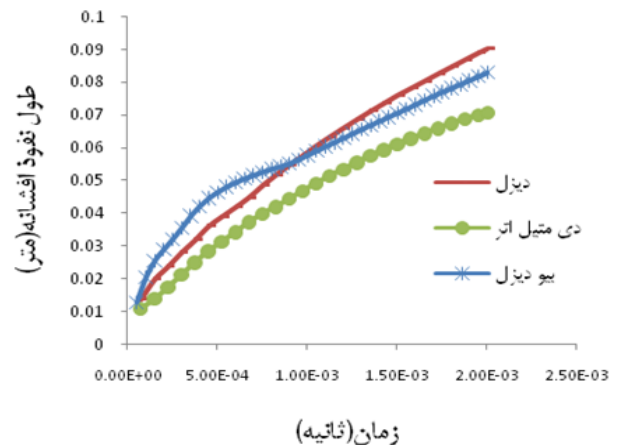
شکل ۹: طول نفوذ فواره بر حسب زمان تزریق - فشار تزریق ۱۰۰ و فشار محفظه ۲ مگاپاسکال

در هر چهار حالت موجود، طول نفوذ فواره هر سه سوخت با گذشت زمان افزایش می‌یابد. با دقت در اشکال ۹-۶، می‌توان دریافت که، دی‌متیل‌اتر دارای کمترین مقدار طول نفوذ است و این موضوع برای هر دو فشار تزریق صادق است. با مقایسه طول نفوذ دو سوخت دیگر، افزایش اولیه طول نفوذ سوخت زیستی نسبت به دیزل و سپس کاهش آن مشاهده می‌شود. در تفسیر این موضوع می‌توان اظهار داشت، از عوامل مؤثر بر طول نفوذ فواره، چگالی سوخت و سرعت پاشش آن است. با توجه به رابطه بنیادی اولر و رابطه تکمیل یافته برنولی، در فشارهای ورودی و خروجی ثابت، سوختی که چگالی بیشتری داشته باشد سرعت کمتری خواهد داشت و از طرفی باتوجه به برهم کنش سوخت و هوای داخل محفظه، سیالی که سرعت بیشتری داشته باشد، شاهد مقاومت بیشتری از طرف هوای اطراف خواهد بود. بنابراین سوخت دیزل با چگالی کوچکتر در مرحله اولیه پاشش که آهنگ ریزسازی سوخت به دلیل سرعت نسبی سریع بین سوخت و هوای محفظه، بسیار تند است، طول نفوذ کمتری نسبت به

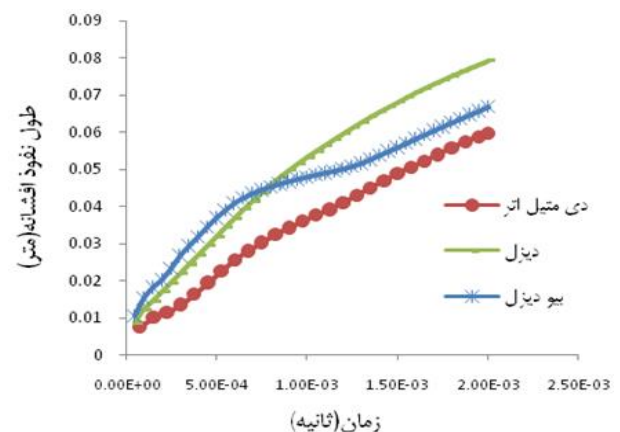
شکل‌های ۸ و ۹ مقایسه طول نفوذ فواره برای سه سوخت مورد مطالعه در فشار تزریق ۱۰۰ مگاپاسکال و فشار محفظه احتراق ۱ و ۲ مگاپاسکال را نشان می‌دهند.



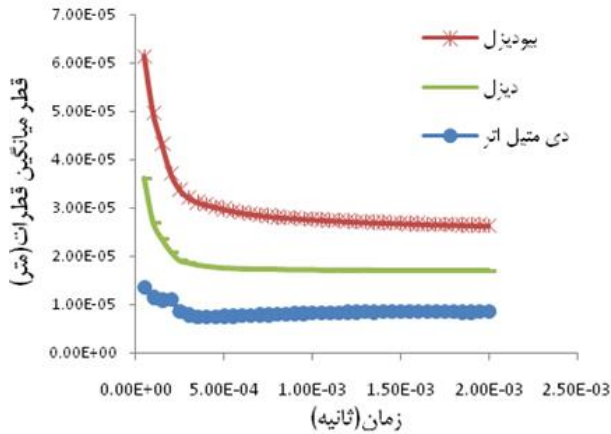
شکل ۵: صحنه گذاری طول نفوذ فواره برای سوخت دی‌متیل‌اتر - فشار محفظه ۲ مگاپاسکال



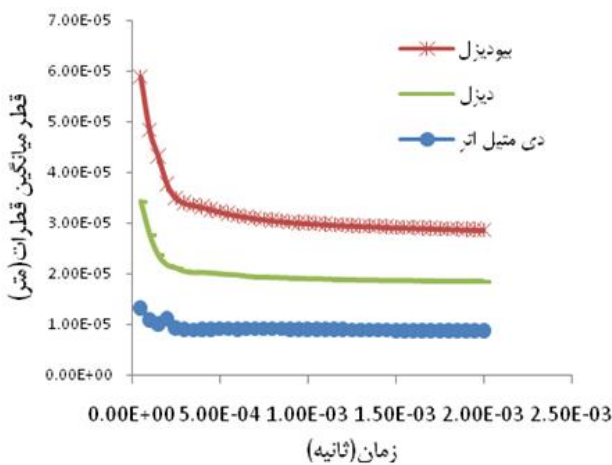
شکل ۶: طول نفوذ فواره بر حسب زمان تزریق - فشار تزریق ۵۰ و فشار محفظه ۱ مگاپاسکال



شکل ۷: طول نفوذ فواره بر حسب زمان تزریق - فشار تزریق ۵۰ و فشار محفظه ۲ مگاپاسکال



شکل ۱۲: قطر میانگین قطرات بر حسب زمان تزریق - فشار تزریق ۱۰۰ و فشار محفظه ۱ مگاپاسکال



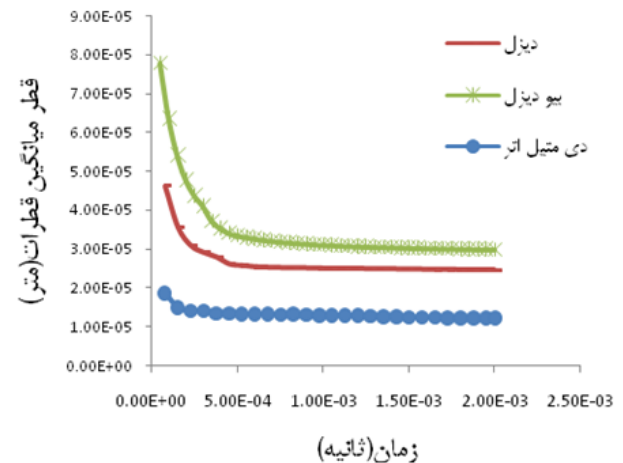
شکل ۱۳: قطر میانگین قطرات بر حسب زمان تزریق - فشار تزریق ۱۰۰ و فشار محفظه ۲ مگاپاسکال

با توجه به نمودارهای قبل، در هر سه نوع سوخت با گذشت زمان بعد از شروع تزریق، قطر میانگین قطرات کاهش می‌یابد. نمودار SMD بر حسب زمان تزریق، تقریباً تا ۰,۵ میلی ثانیه دارای شیب تندی است و پس از آن، کاهش می‌یابد. برای هر دو فشار محفظه و هر دو فشار تزریق، قطر میانگین قطرات سوخت دی‌متیل اتر کوچکتر است که نشان دهنده گردسازی بهتر این نوع سوخت در شرایط یکسان محفظه احتراق و تزریق است و سوخت زیستی بزرگترین مقادیر قطر میانگین قطرات را داراست.

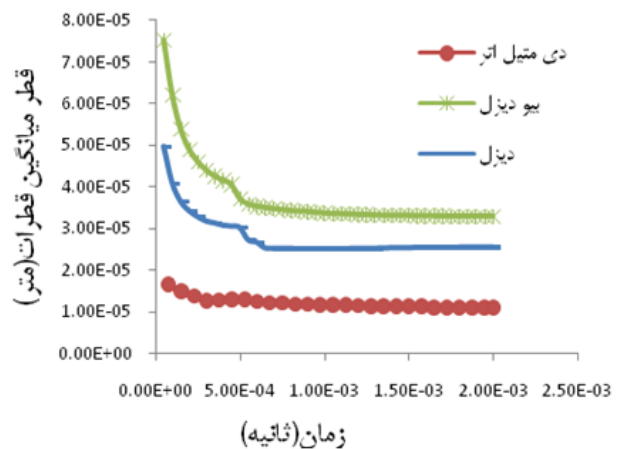
برای درک بیشتر این موضوع، فروپاشی فواره مایع توسط دو سازوکار تشریح می‌شود: ساز و کار اول تجزیه مایع به قطرات است که به آن فروپاشی اولیه گویند. ساز و کار دوم، تقسیم قطرات به ذرات ریز است که فروپاشی ثانویه نام دارد که در آن اندازه ذرات متغیر مشخصه است. در این دو سازوکار، مشخصات مایع و گاز داخل محفظه احتراق و همچنین سرعت نسبی بین این دو، از اهمیت ویژه‌ای برخوردارند. پس از تجزیه سوخت به قطرات در مرحله فروپاشی اولیه، تجزیه قطرات به ذرات ریزتر در فروپاشی ثانویه انجام می‌شود. این تجزیه به

سوخت زیستی خواهد داشت. پس از طی مدت زمانی از شروع پاشش، ریزسازی سوخت به حالت پایا می‌رسد و سوختی که ریزسازی کمتری داشته باشد، دارای قطرات با سطح بزرگتری خواهد بود در نتیجه نیروی پسای بیشتری بر آن وارد می‌شود که این نیرو عامل مقاومی در برابر نفوذ فواره داخل محفظه است و طول نفوذ کمتری را نتیجه می‌دهد. بنابراین با توجه به نمودار قطر میانگین قطرات و مقایسه آن برای سوخت دیزل و سوخت زیستی (شکل‌های ۱۰-۱۳)، می‌توان نتیجه گرفت سوخت زیستی در مقایسه با دیزل طول نفوذ کمتری خواهد داشت.

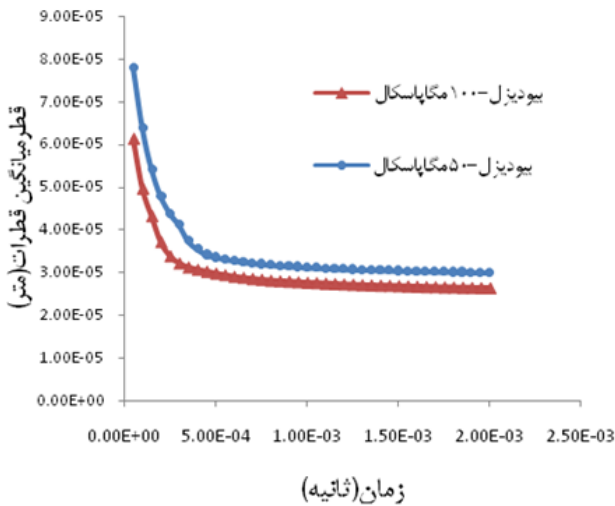
مقایسه قطر میانگین قطرات سه سوخت دی‌متیل اتر و سوخت زیستی و دیزل در دو فشار محفظه احتراق، برای فشار تزریق ۵۰ مگاپاسکال در شکل ۱۰-۱۱ آورده شده است. به طور مشابه برای فشار تزریق ۱۰۰ مگاپاسکال نیز قطر میانگین قطرات در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نشان داده شده است.



شکل ۱۰: قطر میانگین قطرات بر حسب زمان تزریق فشار تزریق ۵۰ و فشار محفظه ۱ مگاپاسکال

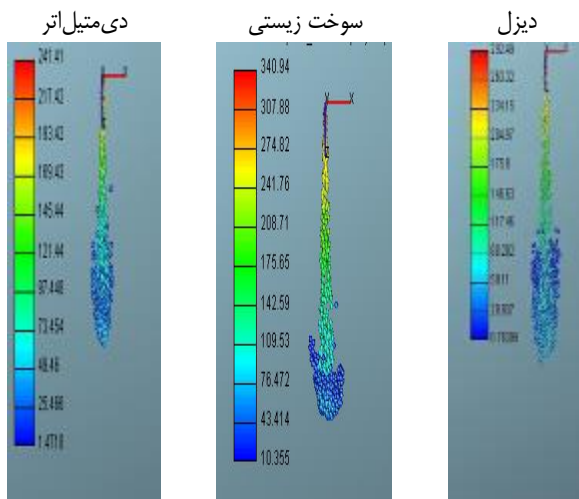


شکل ۱۱: قطر میانگین قطرات بر حسب زمان تزریق فشار تزریق ۵۰ و فشار محفظه ۲ مگاپاسکال



شکل ۱۵: تأثیر فشار تزریق بر قطر میانگین قطرات در سوخت زیستی

اشکال ۲۱-۱۶ تفاوت موجود در شکل فواره سه سوخت مورد بررسی را به وضوح نشان می‌دهند. فواره سوخت زیستی، در هر سه زمان و در هر دو فشار محفظه احتراق، دارای طرح ناهموارتری در نواحی بیرونی و نوک فواره نسبت به دو سوخت دیگر است که می‌توان آنرا به دلیل قوی بودن کشش سطحی آن و در نتیجه اصطکاک بیشتر سوخت زیستی با محیط دانست که باعث انحراف قطرات و ایجاد گردابه می‌شوند. سوخت دی‌متیل‌اتر به دلیل تبخیر قطرات آن در نواحی خارجی فواره، طرح هموارتری نسبت به سوخت زیستی دارا است. فواره سوخت دیزل در همه حالات، دارای طرح متقارنی است و گسترش بیشتری نسبت به دو سوخت دیگر نشان می‌دهد.



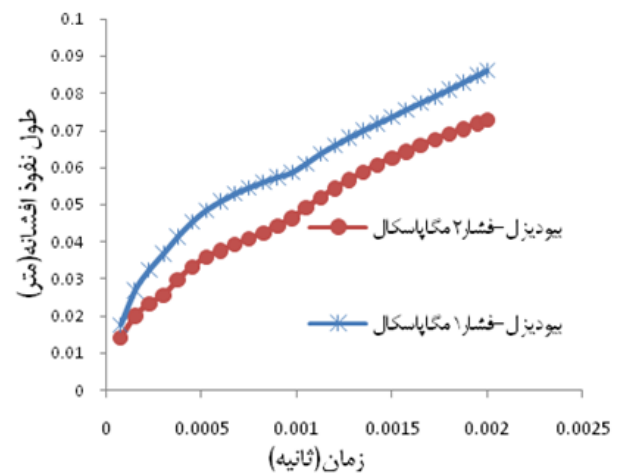
شکل ۱۶: مقایسه شکل فواره سوخت دی‌متیل‌اتر و سوخت زیستی و دیزل در فشار محفظه ۱ و فشار تزریق ۵۰ مگاپاسکال برای زمان تزریق ۰٫۹ میلی ثانیه

دلیل نیروهای آیرودینامیکی حاصل از سرعت نسبی بین قطرات و گاز محیطی شکل می‌گیرد، در سطح بین مایع و گاز امواج ناپایا رشد می‌کند که تمایل به تجزیه قطرات به ذرات ریز را دارد. از طرف دیگر در برابر این تمایل، کشش سطحی مقاومت می‌کند و سعی دارد پیوستگی قطرات سوخت را حفظ کند. در بحث ارتباط بین مایع و گاز، متغیری که اهمیت دارد عدد وبر است که نسبت نیروهای اینرسی به کشش سطحی است:

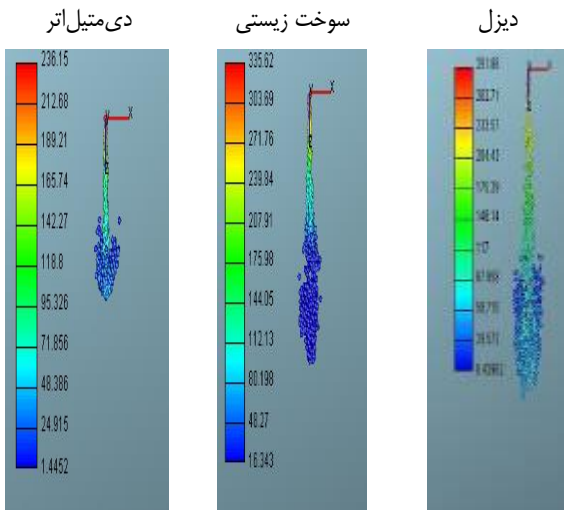
$$W_e = \frac{\rho_g u_{rel}^2 D_n}{\sigma_l} \quad (5)$$

که در آن، u_{rel} سرعت نسبی بین سوخت و محتویات محفظه است. بنابراین سوخت دی‌متیل‌اتر به دلیل پایین تر بودن کشش سطحی آن در شرایط یکسان محفظه و قطر روزه، تمایل بیشتری به تجزیه و فروپاشی نسبت به دو سوخت دیگر از خود نشان می‌دهد.

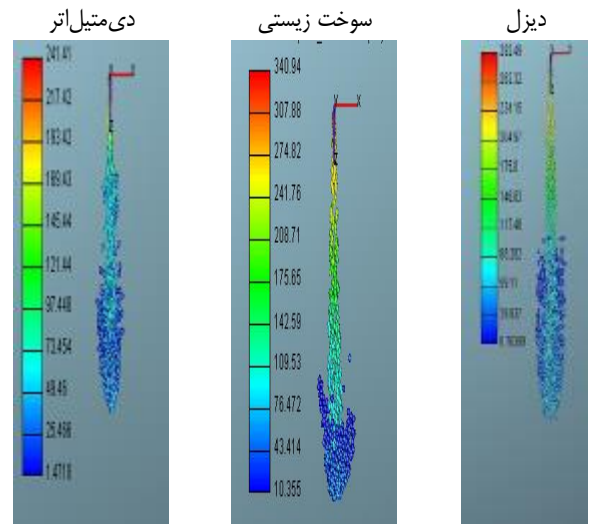
نکته قابل ذکر دیگر از این نمودارها، تأثیر فشار محفظه احتراق بر طول نفوذ فواره است. با توجه به نتایج، افزایش فشار محفظه احتراق در هر دو فشار تزریق باعث کاهش طول نفوذ فواره در هر سه سوخت می‌شود. در شکل ۱۴ این نتیجه برای سوخت زیستی نشان داده شده است. مورد دیگر، تأثیر فشار تزریق بر مقادیر قطر میانگین قطرات، برای هر سه سوخت است. تغییر فشار محفظه بر مقادیر قطر میانگین قطرات تأثیر قابل ملاحظه‌ای ندارد ولی با افزایش فشار تزریق، مقادیر SMD کاهش می‌یابد. در شکل ۱۵ تأثیر فشار تزریق بر مقادیر قطر میانگین قطرات برای سوخت زیستی نشان داده شده است. در ادامه، به مقایسه شکل فواره سه سوخت در دو فشار تزریق اعمال شده و برای دو فشار مختلف محفظه، در زمان‌های ۰٫۹، ۱٫۱۵، ۱٫۵۵ میلی‌ثانیه پس از شروع تزریق سوخت پرداخته می‌شود. شکل‌های ۲۱-۱۶ برای فشار تزریق ۵۰ مگاپاسکال و شکل‌های ۲۷-۲۲ برای فشار تزریق ۱۰۰ مگاپاسکال اند.



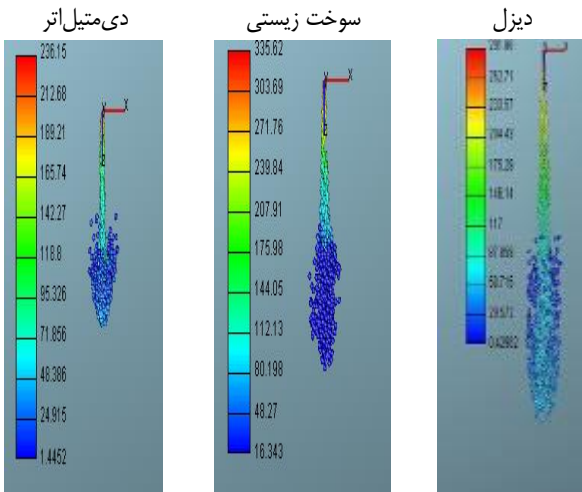
شکل ۱۴: تأثیر فشار محفظه بر طول نفوذ فواره در سوخت زیستی



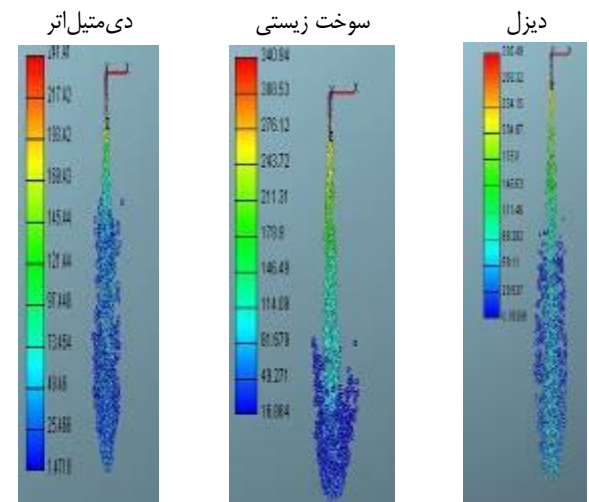
شکل ۱۹: مقایسه شکل فواره سوخت دی‌متیل اتر و سوخت زیستی و دیزل در فشار محفظه ۲ و فشار تزریق ۵۰ مگاپاسکال برای زمان تزریق ۰٫۹ میلی ثانیه



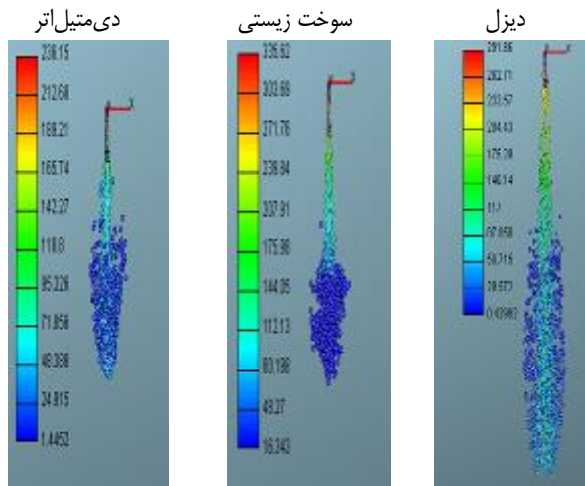
شکل ۱۷: مقایسه شکل فواره سوخت دی‌متیل اتر و سوخت زیستی و دیزل در فشار محفظه ۱ و فشار تزریق ۵۰ مگاپاسکال برای زمان تزریق ۱٫۰۵ میلی ثانیه



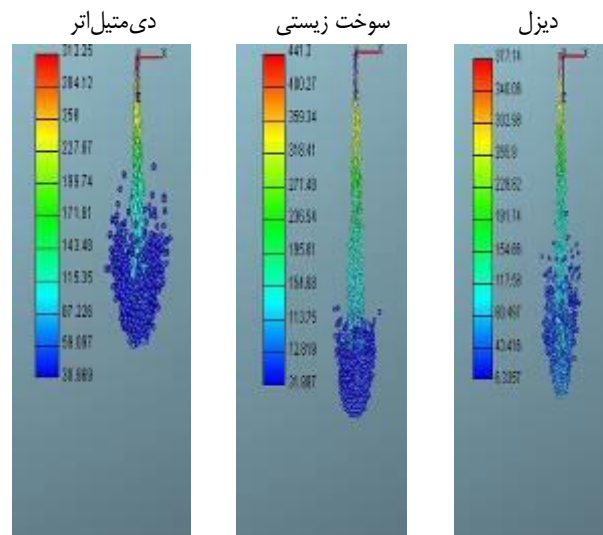
شکل ۲۰: مقایسه شکل فواره سوخت دی‌متیل اتر و سوخت زیستی و دیزل در فشار محفظه ۲ و فشار تزریق ۵۰ مگاپاسکال برای زمان تزریق ۱٫۱۵ میلی ثانیه



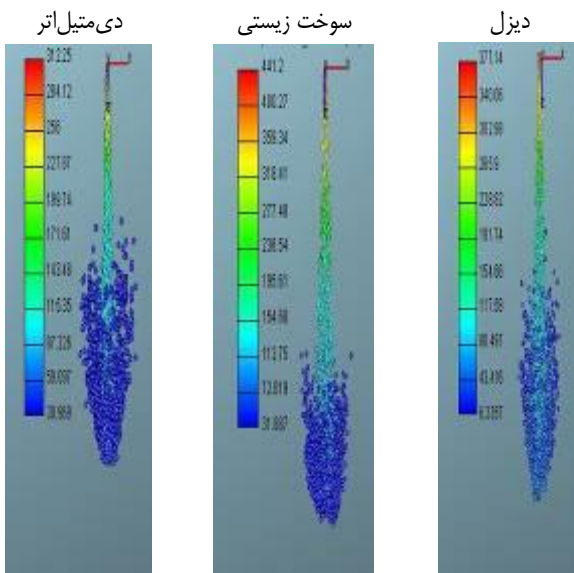
شکل ۱۸: مقایسه شکل فواره سوخت دی‌متیل اتر و سوخت زیستی و دیزل در فشار محفظه ۱ و فشار تزریق ۵۰ مگاپاسکال برای زمان تزریق ۱٫۵۵ میلی ثانیه



شکل ۲۲: مقایسه شکل فواره سوخت دی‌متیل‌اتر و سوخت زیستی و دیزل در فشار محفظه ۱ و فشار تزریق ۱۰۰ مگاپاسکال برای زمان تزریق ۹، میلی ثانیه



شکل ۲۱: مقایسه شکل فواره سوخت دی‌متیل‌اتر و سوخت زیستی و دیزل در فشار محفظه ۲ و فشار تزریق ۵۰ مگاپاسکال برای زمان تزریق ۱۵، میلی ثانیه



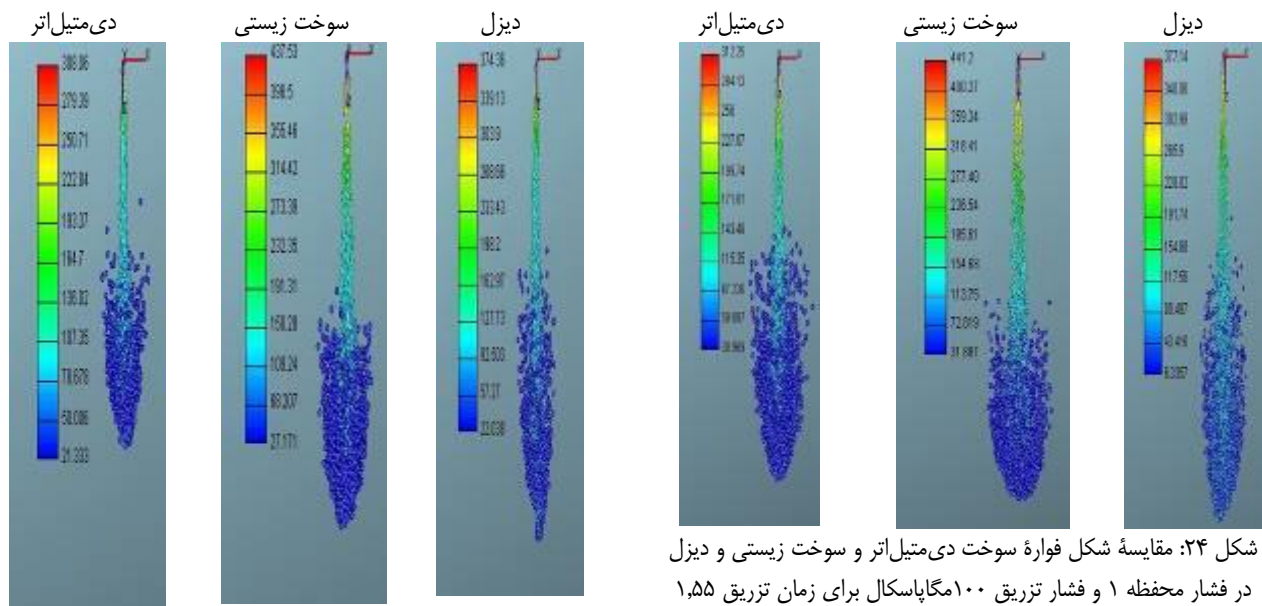
شکل ۲۳: مقایسه شکل فواره سوخت دی‌متیل‌اتر و سوخت زیستی و دیزل در فشار محفظه ۱ و فشار تزریق ۱۰۰ مگاپاسکال برای زمان تزریق ۱۵، میلی ثانیه

نکته قابل برداشت از اشکال ۲۲-۲۷ اینست که، ناهمواری در مرز بیرونی فواره سوخت زیستی در فشار ۵۰ مگاپاسکال، در فشار تزریق ۱۰۰ مگاپاسکال قابل توجه است و هر سه سوخت طرح بیرونی فواره مشابهی دارند. لازم به ذکر است که یکی از روش‌های شناساندن فرایند گردسازی فواره خروجی افزایشانه، استفاده از اعداد بی بعد زیر است [۱۷]:

$$Re = \frac{\rho_i u_a D_n}{\mu_i} \quad (۶)$$

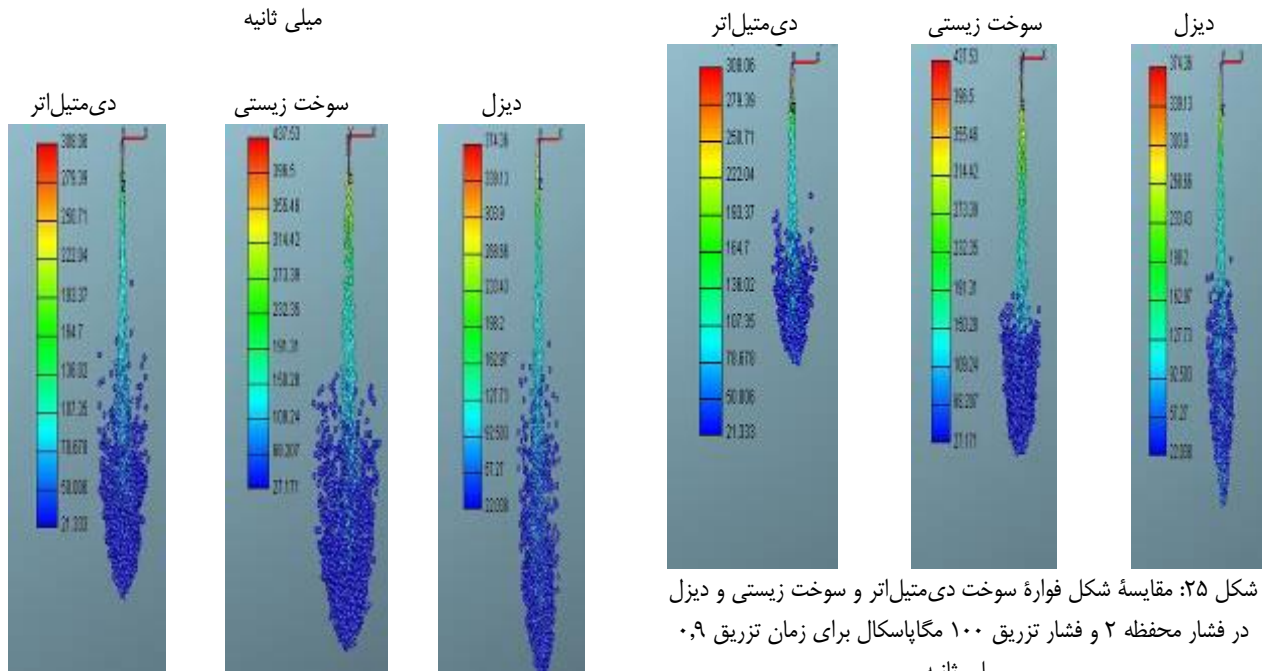
$$We = \frac{\rho_g \mu_a^2 D_n}{\sigma_i} \quad (۷)$$

با توجه به این اعداد بی بعد، سرعت قطرات فواره و کشش سطحی سوخت، از عوامل بسیار مؤثر در رفتار فواره‌اند. همانطور که گفته شد در فشار تزریق ۵۰ مگاپاسکال، بالا بودن کشش سطحی سوخت زیستی در شکل فواره تأثیر می‌گذارد ولی در فشار تزریق ۱۰۰ مگاپاسکال که سرعت قطرات در خروجی افزایشانه سریعتر است، کشش سطحی در مقایسه با سرعت تأثیر کندتری روی گردسازی و در نتیجه روی شکل فواره دارد.



شکل ۲۴: مقایسه شکل فواره سوخت دی‌متیل‌اتر و سوخت زیستی و دیزل در فشار محفظه ۱ و فشار تزریق ۱۰۰ مگاپاسکال برای زمان تزریق ۱,۵۵ میلی ثانیه

شکل ۲۶: مقایسه شکل فواره سوخت دی‌متیل‌اتر و سوخت زیستی و دیزل در فشار محفظه ۲ و فشار تزریق ۱۰۰ مگاپاسکال برای زمان تزریق ۱,۱۵ میلی ثانیه



شکل ۲۵: مقایسه شکل فواره سوخت دی‌متیل‌اتر و سوخت زیستی و دیزل در فشار محفظه ۲ و فشار تزریق ۱۰۰ مگاپاسکال برای زمان تزریق ۰,۹ میلی ثانیه

شکل ۲۷: مقایسه شکل فواره سوخت دی‌متیل‌اتر و سوخت زیستی و دیزل در فشار محفظه ۲ و فشار تزریق ۱۰۰ مگاپاسکال برای زمان تزریق ۱,۵۵ میلی ثانیه

۵- نتیجه گیری

در این مطالعه دو سوخت دی‌متیل‌اتر و سوخت زیستی، به عنوان سوخت‌های جایگزین سوخت‌های رایج بررسی شده است. رفتار فواره حاصل از این دو سوخت، در دو فشار مختلف محفظه احتراق و در دو فشار تزریق بررسی شده و طول نفوذ و قطر میانگین قطرات آن‌ها با سوخت دیزل مقایسه شده است. نتایج بدست آمده بدین صورت است: (۱) در هر سه سوخت، افزایش فشار محفظه احتراق، باعث کاهش طول نفوذ فواره می‌شود.

(۲) در فشار تزریق ثابت، سوخت دی‌متیل‌اتر در هر دو فشار محفظه احتراق، دارای کمترین طول نفوذ است.

(۳) در زمان‌های ابتدایی پاشش، سوخت زیستی به دلیل چگالی بزرگتر نسبت به دیزل، دارای سرعت نسبی و در نتیجه مقاومت کمتر از طرف هوای محفظه و طول نفوذ بزرگتری است و در ادامه فرآیند ریزسازی و پایا شدن آن، سوخت زیستی دارای قطرات بزرگتر و در نتیجه نیروی پسای بیشتری است که منجر به کمتر شدن طول نفوذ آن نسبت به دیزل می‌شود.

(۴) قطر میانگین قطرات سوخت دی‌متیل‌اتر، با تفاوت چشمگیری، کوچکتر از مقادیر آن برای سوخت‌های سوخت زیستی و دیزل است و سوخت زیستی بیشترین مقدار SMD را داراست. این موضوع نشان دهنده گردسازی بهتر دی‌متیل‌اتر در شرایط یکسان تزریق و محفظه احتراق است.

(۵) در هر سه سوخت، افزایش فشار تزریق، باعث کاهش قطر میانگین قطرات می‌شود.

(۶) فواره سوخت زیستی به دلیل بالا بودن کشش سطحی آن، در هر زمان و در هر دو فشار محفظه احتراق برای فشار تزریق ۵۰ مگاپاسکال، دارای طرح ناهموارتری در نواحی بیرونی و نوک فواره نسبت به دوسوخت دیگر است و مرز بیرونی فواره سوخت دی‌متیل‌اتر، به دلیل تبخیر قطرات در ناحیه خارجی فواره، دارای طرح هموارتری نسبت به سوخت زیستی است. فواره سوخت دیزل، دارای طرح متقارنی است و گسترش بیشتری نسبت به دو سوخت دیگر نشان می‌دهد.

(۷) در فشار تزریق ۱۰۰ مگاپاسکال، تفاوت قابل ملاحظه‌ای بین طرح بیرونی فواره سه سوخت مورد مطالعه مشاهده نمی‌شود.

فهرست علائم

C_a	ضریب سطح
C_v	ضریب سرعت
D	قطر سوراخ افشانه، m
d_i	قطر قطره، m
p	فشار، Pa
Re	عدد رینولدز

طول نفوذ فواره، m

زمان، sec

زمان فروپاشی، sec

سرعت، m/s

عدد وبر

علائم یونانی

چگالی

لزجت Pa.s

زاویه فواره

کشش سطحی، N.m²

زیرنویس‌ها

مایع

گاز

قطره

افشانه

References

- [1] S. Kook, L.M. Pickett, C.S. Lee, Liquid length and vapor penetration of conventional, Fischer-Tropsch, coal-derived, and surrogate fuel sprays at high-temperature and high-pressure ambient conditions, *Fuel*, Vol. 93, pp. 539-548, 2012
- [2] T.N.C. Anand, A.M. Mohan, R.V. Ravikrishna, Spray characterization of gasoline-ethanol blends from a multi-hole port fuel injector, *Fuel*, Vol. 102, pp. 613-623, 2012
- [3] P.G. Aleiferis, J. Serras-Pereira, A. Augoye, T. J. Davies, R.F. Cracknell, D. Richardson, Effect of fuel temperature on in-nozzle cavitation and spray formation of liquid hydrocarbons and alcohols from a real-size optical injector for direct-injection spark-ignition engines, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, Vol. 53, pp. 4588-4606, 2010
- [4] S.H. Park, C.S. Lee, Combustion performance and emission reduction characteristics of automotive DME engine system, *Progress in Energy and Combustion Science*, Vol. 39, No. 1, pp. 147-168, 2013
- [5] Z. Zhu, D.K. Li, J. Liu, Y.J. Wei, S.H. Liu, Investigation on the regulated and unregulated emissions of a DME engine under different injection timing, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 35, pp. 9-14, 2013
- [6] H. Teng, J.C. McCandless, Comparative study of characteristics of diesel fuel and dimethyl-ether sprays in the engine, *SAE International*, Paper No. 01-1723, 2005
- [7] C. Arcoumanis, C.B. Crookes, E. Kinoshita, The potential of di-methyl ether (DME) as an alternative fuel for compression-ignition engines: A review, *Fuel*, pp. 1014-1030, 2008

- [13] J.D. Naber, D.L. Siebers, Effects of gas density and vaporization on penetration and dispersion of diesel sprays, SAE International, Paper No. 960034, 1996
- [14] M.T. Shervani-Tabar, S. Parsa, M. Ghorbani, Numerical study on the effect of the cavitation phenomenon on the characteristics of fuel spray, Mathematical and Computer Modeling, Vol. 56, pp. 105-117, 2012
- [15] AVL-FIRE help, Spray, Version 8, 2013
- [16] H.J. Kim, S.H. Park, C.S. Lee, A study on the macroscopic spray behavior and atomization characteristics of biodiesel and dimethyl ether sprays under increased ambient pressure, Fuel Processing Technology, Vol. 91, pp. 354-363, 2010
- [17] K. Karimi, Characterization of multiple-injection diesel spray at elevated pressures and temperatures, PhD Thesis, University of Brighton, UK, 2007
- [8] D. Cipolat, D. Valentim, Comparison of theoretical and experimental diesel and DME injection spray characteristics, Fuel Processing Technology, Vol. 107, pp. 36-43, 2013
- [9] H.K. Suh, S.W. Park, C.S. Lee, Atomization characteristics of dimethyl ether fuel as an alternative fuel injected through a common-rail injection system, Energy and Fuels, Vol. 20, pp. 1471-1481, 2006
- [10] S.H. Park, S.H. Yoon, H.K. Suh, C.S. Lee, Effect of the temperature variation on properties of biodiesel and biodiesel-ethanol blends fuels, Oil and Gas Science and Technology, Vol. 63, pp. 737-745, 2008
- [11] C. Liang, C. Ji, B. Gao, Load characteristics of a spark-ignited ethanol engine with DME enrichment, Applied Energy, Vol. 112, pp. 500-506, 2013
- [12] C.S. Lee, S.W. Park, S.I. Kwon, An experimental study on the atomization and combustion characteristics of biodiesel-blended fuels, Energy and Fuels, Vol. 19, pp. 2201-2208, 2005



Numerical comparison of physical conditions effect on spray behavior of dimethyl ether, biodiesel and diesel fuels

M. Jabbarzadeh^{1*}, P. Jabbarzadeh², M.T. Shervani-Tabar³

¹Tabriz University, Tabriz, Iran, m.j.fluidmechanic@gmail.com

²Tabriz University, Tabriz, Iran, prnz.jbz@gmail.com

³Tabriz University, Tabriz, Iran, mtsherv@yahoo.com

*Corresponding Author, Phone Number: +98-914-4151669

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 25 July 2014

Accepted: 06 January 2015

Keywords:

Biodiesel

Dimethyl ether (DME)

Numerical comparison

Spray tip penetration

Sauter mean diameter (SMD)

ABSTRACT

Depleting petroleum resources, increasing costs, and requirements of energy security, have led to an increase interests in renewable fuels, in recent years. Among various alternative fuels, biodiesel and dimethyl ether (DME) fuels are the most popular. In this paper, spray characteristics of diesel and those two fuels have been studied numerically under different physical conditions via the AVL-FIRE software. Injection pressure was kept constant in 50 and 100 MPa and two different pressures were considered for ambient pressure; 1 and 2 MPa. The results were in a good agreement with experimental studies. Spray characteristics such as tip penetration, Sauter mean diameter (SMD) were analyzed. Results showed that in the same physical conditions, DME had the smallest value for spray penetration and diesel had the largest values. In addition, in the case of two different ambient and injection pressures, biodiesel had the largest SMD value and DME has the smallest value in comparison to two other fuels, which means better atomization of DME at same injection and ambient conditions. The spray tip penetration was influenced by ambient pressure in each studying fuels; decreased as the ambient pressure increased, and SMD values decreased as the injection pressure increased.

