

مطالعه عددی بر روی ویژگی‌های غیرواکنشی فواره ترکیب‌های متفاوت امولسیون سوخت دیزل دریایی - آب

هاشم نوروزی^۱، پرویز قدیمی^{۲*}، سید مصطفی میرسلیم^۳

^۱ دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی دریا، تهران، ایران h.nowruzi@aut.ac.ir

^۲ دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی دریا، تهران، ایران pghadimi@aut.ac.ir

^۳ دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی مکانیک، تهران، ایران mirsalim@csr.ir

* نویسنده مسئول

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:

دریافت: ۱۵ فروردین ۱۳۹۵

پذیرش: ۲۱ خرداد ۱۳۹۶

کلیدواژه‌ها:

مشخصه‌های غیرواکنشی

امولسیون سوخت دیزل دریایی و آب

نرم‌افزار OpenFOAM

چکیده

استفاده از امولسیون سوخت دیزل - آب یکی از راهکارهای اصلی کاهش آلایندگی در موتورهای دیزل است. از این رو در مقاله حاضر، ویژگی‌های غیرواکنشی فواره مایع ترکیب‌های متفاوت امولسیون سوخت دیزل - آب در دو فشار تزریق ۶۰۰ بار و ۱۰۰۰ بار به صورت عددی با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی، مطالعه شده است. سه درصد حجمی متفاوت ۵، ۱۰ و ۱۵٪ امولسیون آب با سوخت دیزل دریایی در محفظه احتراق حجم ثابت با دمای ۲۹۸ درجه کلوین در موتور دیزل دریایی دور متوسط در نظر گرفته شده است. همچنین از نرم‌افزار متن‌باز OpenFOAM با در نظرگیری طرحواره چندحالتی اولیری - لاگرانژی برای شبیه‌سازی اندرکنش حالت گسسته سوخت مایع با حالت پیوسته هوا استفاده شده است. شبیه‌سازی تجزیه ثانویه فواره مایع و آشفته‌گی به ترتیب با استفاده از الگوی Reitz-Diwakar و شبیه‌سازی استاندارد k-ε رویکرد RANS صورت گرفته است. مقایسه نتایج عددی با داده‌های تجربی نشان‌دهنده تطابق مناسب شبیه‌سازی ویژگی‌های فواره در هر دو فشار تزریق است. برپایه نتایج محاسباتی، طول نفوذ فواره، زاویه مخروطی و SMD با استفاده از امولسیون سوخت دیزل دریایی - آب به جای سوخت پایه، افزایش یافته است. این افزایش ویژگی‌های فواره مایع با افزایش درصد حجمی آب افزایش یافته است. از سویی دیگر، افزایش فشار تزریق از ۶۰۰ به ۱۰۰۰ بار منجر به ارتقاء ویژگی‌های غیرواکنشی فواره مایع شده است.

تمامی حقوق برای انجمن علمی موتور ایران محفوظ است.



۱- مقدمه

موتورهای دیزل دور متوسط و دور کند به دلیل بازده قوی به عنوان یکی از موتورهای درونسوز رایج در صنایع مختلفی نظیر صنایع دریایی به صورت گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرند. از سویی دیگر قوانین سختگیرانه‌ای همانند IMO^۱ با هدف کاهش آلاینده‌گی در موتورهای دیزل، همواره در حال محدودتر شدن است. لذا روش‌های کاهش آلاینده‌گی همانند استفاده از سوخت‌های جایگزین، به طور گسترده‌ای مورد توجه مجامع علمی قرار گرفته است. یکی از ویژگی‌های اساسی مورد توجه محققان در این راستا، بررسی و مطالعه تأثیر این قبیل سوخت‌ها بر رفتار فواره سوخت است.

سوخت اصلی مورد استفاده در موتورهای دیزل دور متوسط دریایی، سوخت دیزل دریایی یا سوخت سنگین^۲ (HFO) است. از این رو تا کنون، تحقیقات گسترده‌ای بر روی ویژگی‌های غیراثراتی و احتراقی فواره سوخت سنگین برای شناخت رفتار فواره در فشار تزریق قوی و فرآیند ریزسازی^۳ فواره این قبیل سوخت‌ها انجام گرفته است [۱-۴]. از سویی دیگر، با هدف کاهش آلاینده‌گی تحقیقاتی بر روی فواره سوخت‌های ترکیبی با سوخت سنگین نظیر ترکیب سوخت سنگین با الکل‌ها صورت گرفته است [۵ و ۶]. اما، یکی از سوخت‌های جایگزین در موتورهای سنگین دریایی، به کارگیری امولسیون سوخت دیزل دریایی-آب است. استفاده از آب در موتورهای دیزل با کاهش دمای پیشینه شعله احتراق، آلاینده‌گی NOx را کاهش می‌دهد. علاوه بر این تحقیقات نشان‌دهنده بهبود فرآیند ریزسازی و تشکیل مخلوط متناسب با خرد-انفجارهایی^۴ در قطرات امولسیون است [۷].

تحقیقات گسترده‌ای برای رفتار سوخت امولسیون دیزل-آب انجام شده است که در این زمینه می‌توان به تحقیق هو^۵ و همکاران اشاره کرد [۸]. آنان با آزمایشی تجربی ویژگی‌های احتراقی و فواره سوخت‌های امولسیون دیزل با ۱۰٪ و ۲۰٪ آب را مطالعه نموده‌اند. مطالعه آن‌ها نشانگر افزایش طول فواره با استفاده از سوخت امولسیون شده با آب تحت دمای محیطی کم است. در حالی که امولسیون سوخت با آب باعث طولانی شدن تأخیر اشتعال و در نتیجه بهبود مخلوط سوخت و هوا می‌گردد.

در مطالعه‌ای دیگر بالستر^۶ و همکاران [۹] در طرحی تجربی با مقیاس نیمه‌صنعتی، احتراق امولسیون‌های نفت کوره با آب را با توجه به مطالعه شعله سوخت بررسی کردند. در این مطالعه کاهش چشمگیر دمای شعله سوخت، آلاینده‌گی NOx و ذرات معلق با افزودن آب به نفت کوره بدست

آمده است. پارک^۷ و همکاران [۱۰] تأثیرات به کارگیری امولسیون سوخت دیزل-آب را بر روی NOx و دود را بررسی نموده‌اند. تحقیقات آن‌ها نشان‌دهنده کاهش چشمگیر NOx در دوره‌های بالای موتور و کاهش آرام در دوره‌های پایین است، در حالی که این سوخت جایگزین تأثیری بر روی HC و CO ندارد.

ماسکلس^۸ و همکاران [۱۱] با استفاده از تصویربرداری بر پایه نور متمرکز^۹ ساز و کار کاهش آلاینده‌گی به واسطه استفاده از امولسیون ۲۰٪ آب و سوخت دیزل را بررسی کردند. آن‌ها در این مطالعه، طولانی شدن ۳۰-۶۰٪ تأخیر اشتعال با جایگزینی سوخت امولسیون به جای دیزل را مشاهده کردند. همچنین مطالعه توسعه فواره و ویژگی‌های احتراقی امولسیون سوخت و آب و امولسیون خرد^{۱۰} سوخت و آب بر پایه ابزارهای تصویربرداری نوری توسط اوچوترا^{۱۱} و همکاران [۱۲] به اجرا درآمده است. بهبود فرآیند ریزسازی در امولسیون خرد سوخت و آب یکی از نتایج این مطالعه بوده است.

امروزه روش‌های عددی همانند دینامیک سیالات محاسباتی به دلیل قابلیت بالا در شناخت و بررسی پدیده‌های فواره سوخت، در کنار روش‌های تجربی مطرح است. نرم‌افزار عددی متن‌باز OpenFOAM به دلیل توانایی قوی در شبیه‌سازی و مطالعه پدیده‌های فواره سوخت در موتور دیزل مورد توجه محققان قرار گرفته است [۱۳ و ۱۴].

بهبود ویژگی‌های آلاینده‌گی احتراق فواره سوخت با افزودن آب به صورت امولسیون در موتورهای دیزل با ارجاع به مرور ادبیات فنی صورت‌گرفته، قابل پیش‌بینی و مشهود است. اما درصدهای متفاوت امولسیون منجر به ایجاد رفتاری متفاوت در فواره سوخت امولسیون می‌شود. از این رو مطالعه تغییرات درصد افزودن آب به سوخت دیزل دریایی در ویژگی‌های فواره امری ضروری به نظر می‌آید. از سویی دیگر، مطالعات فوق، نشانگر خلاء تحقیقات در حوزه مطالعه مشخصات غیرواکنشی کلان^{۱۲} و خرد^{۱۳} فواره امولسیون آب با سوخت سنگین به عنوان سوخت دیزل دریایی است. از این رو، هدف مطالعه حاضر بررسی تأثیرات افزودن آب به سوخت سنگین به عنوان سوخت دیزل دریایی بر روی مشخصه‌ها و رفتار غیرواکنشی^{۱۴} و غیرتبخیری^{۱۵} فواره سوخت با ساختار امولسیونی است. مطالعه حاضر در دو فشار تزریق صورت گرفته است.

در این مطالعه، ویژگی‌های غیرواکنشی فواره در دو فشار تزریق ۶۰۰ بار و ۱۰۰۰ بار و در ۳ درصد متفاوت از ترکیب آب با سوخت دیزل دریایی بررسی می‌شود.

⁹ Laser

¹⁰ Microemulsion

¹¹ Ochoterena

¹² Macroscopic

¹³ Microscopic

¹⁴ Non-reacting

¹⁵ Non-evaporating

¹ International Maritime Organisation

² Heavy Fuel Oil

³ Atomization

⁴ Micro-Explosion

⁵ Huo

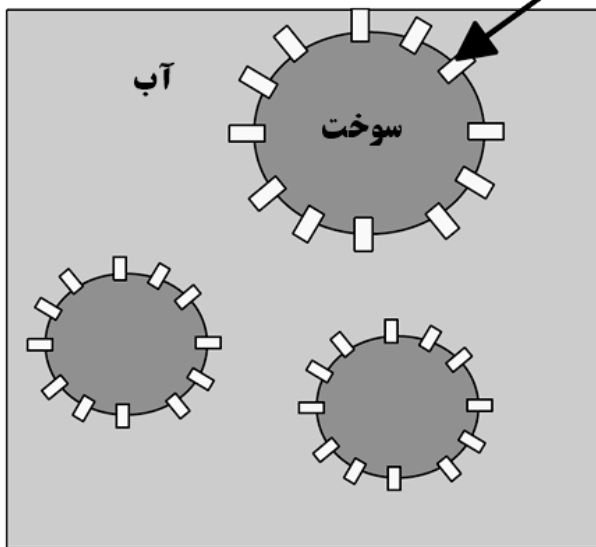
⁶ Ballester

⁷ Park

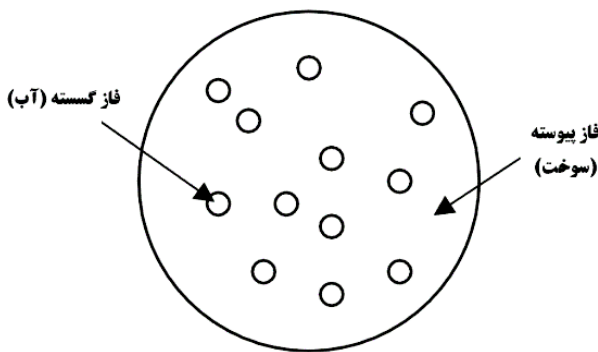
⁸ Musculus

امولسیون ترکیبی از دو سیال غیرقابل امتزاج است که یکی از این مایع‌ها به صورت قطرات کروی در سیال دیگر پراکنده می‌شود. در واقع در امولسیون، قطرات یک مایع (عموماً آب) درون صفحاتی از مایع دیگر (عموماً سوخت) محصور می‌شود. از سویی دیگر در امولسیون آب و سوخت دیزل از مقادیر بسیار کمی فعال سطحی^۹ برای کاهش کشش سطحی آب و سوخت، فعال‌سازی سطح این دو حالت مایع و افزایش تماس سطحی مابین دو سیال برای ایجاد امولسیون استفاده می‌شود. اساساً دو نوع مجزای امولسیون سوخت دیزل و آب وجود دارد. یکی سوخت در آب^{۱۰} و دیگری آب در سوخت^{۱۱} است [۱۵]. شکل ۱ نمایشی از این دو نوع امولسیون را نشان می‌دهد.

فعال سطحی



(الف)



(ب)

شکل ۱: نمایشی از ساختار فیزیکی امولسیون (الف): سوخت در آب و (ب): آب در سوخت [۱۷ و ۱۸]

۲- تشریح فنی مسئله و روش‌شناسی عددی

تزریق فواره سوخت مایع به داخل محیط گازی محفظه احتراق از افشانه سوخت، پدیده فیزیکی قابل مشاهده در موتورهای دیزل است. فیزیکی فواره مایع سوخت مشتمل بر سه ناحیه ریز کردن، ناحیه فواره متراکم^۱ و ناحیه فواره رقیق^۲ است. تفکیک^۳ هسته سوخت مایع به حباب‌ها^۴، رباط‌ها^۵ و قطرات^۶ پدیده مشهود در ناحیه ریز کردن است. تجزیه مقدماتی^۷ سوخت نیز در این ناحیه اتفاق می‌افتد. تجزیه ثانویه^۸ نیز با تفکیک حباب‌های سوخت به رباط‌ها و تبدیل رباط‌ها به قطرات کروی در ناحیه فواره متراکم صورت می‌پذیرد. همچنین در انتهای فواره، ناحیه‌ای با مشخصه حضور قطرات کوچکتر سوخت تحت عنوان ناحیه رقیق قابل مشاهده است.

۲-۱- ترکیب سوخت دیزل دریایی- آب

چهار شیوه اساسی برای افزودن آب به ناحیه احتراق ارائه شده است. این ۴ شیوه عبارتند از، تزریق مستقیم به داخل موتور از طریق افشانه‌های مجزا (DWSI)، تزریق دورگه با استفاده از یک افشانه سوخت (HDWI)، افزودن بخار آب به هوای ورودی موتور (FWIA) و امولسیون آب- دیزل (DWE) است [۱۵]. همچنین، روش امولسیون آب- دیزل با توجه به مقایسه صورت گرفته در جدول ۱ نسبت به سایر روش‌ها، پیشی می‌گیرد.

جدول ۱: روش‌های متفاوت افزودن آب به ناحیه احتراق [۱۵ و ۱۶]

DWE	FWIA	HDWI	DWSI	
قابل قبول	ضعیف	بهترین حالت	ضعیف	کاهش نسبی NOx
قابل قبول	ضعیف	بهترین حالت	ضعیف	تأثیر بر روی آلایندگی PM
قابل قبول	قابل قبول	ضعیف	قابل قبول	تنوع در افزودن آب
ضعیف	شدید	ضعیف	شدید	رقیق‌سازی روغن روان‌کننده
گران	ارزان	عادی	گران	هزینه

همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود، به دلیل ویژگی‌های نسبی بهتر امولسیون آب با سوخت‌های دیزل، در مقاله حاضر، روش DWE به عنوان روش برگزیده برای کاهش آلایندگی در نظر گرفته می‌شود.

7 Primary Breakup
8 Secondary Breakup
9 Surfactant
10 Fuel-in-Water
11 Water-in-Fuel

1 Dense Spray
2 Dilute Spray
3 Decomposition
4 Blobs
5 Ligaments
6 Droplets

مطالعه حاضر نیز از این الگوی شکست استفاده شده است که متناسب با این الگو، قطر ذرات پاشیده شده در مرحله نخست با قطر سوراخ افشانه برابر در نظر گرفته شده است.

در مطالعه حاضر برای شبیه‌سازی فواره سوخت و فرآیند تجزیه ثانویه از الگوی تجزیه ثانویه Reitz-Diwakar ارائه شده توسط ریتز و دیواکار [۲۰] استفاده شده است.

الگوی شکست ثانویه ریتز- دیواکار که در مطالعه حاضر استفاده شده است، الگویی عادی برای شبیه‌سازی شکست ثانویه است. در این الگو، مابین دو هنجار تجزیه تفکیک شده است. این دو هنجار، تجزیه بگ^۲ برای سرعت‌های نسبی کُند فواره و تجزیه استریپینگ^۳ برای سرعت‌های نسبی بالا است. دلایل استفاده از این الگوی تجزیه نسبت به سایر الگوهای شکست ثانویه را می‌توان در هزینه محاسباتی کم به همراه دقت قابل قبول این شیوه در شبیه‌سازی غیرتبخیری فواره سوخت دانست [۲۱ و ۲۲].

برای شبیه‌سازی برخورد قطرات، دو الگوی اصلی وجود دارد. نخستین الگو، الگوی برخورد ارورک^۴ است که بر پایه محاسبه برخورد احتمالی دو قطره در یک سلول است [۲۳]. این الگو به شدت وابسته به شبکه‌بندی دامنه محاسباتی است. الگوی دوم، الگوی شکست ارائه شده توسط نوردین^۵ است [۲۴]. در این الگو، مسیر و برخورد تمامی بسته‌های سوختی که در یک گام زمانی همدیگر را قطع می‌کنند، محاسبه می‌شود. در مطالعه حاضر الگوی نوردین برای برخورد قطرات استفاده شده است. دلیل این امر هزینه محاسباتی ارزانتر و دقت مناسب این الگوی برخورد است.

رویکرد چندحالتی اوپلری- لاگرانژی نیز با هدف بررسی تزریق قطرات مایع سوخت در محیط هوای داخل محفظه احتراق در نرم‌افزار OpenFOAM به کار گرفته شده است. در حالت لاگرانژی، مسیریابی ذره‌های لاگرانژی^۶ (LPT) به عنوان رویکرد شبیه‌سازی قطرات سوخت اتخاذ گردیده است. همچنین الگوی استاندارد $k - \epsilon$ به دلیل دقت کافی و هزینه محاسباتی کم، به عنوان الگوی آشفستگی برگزیده انتخاب شده است.

از سویی دیگر برای شبیه‌سازی رفتار جریان چند حالتی، معادلات جریان چندفازی اوپلری- لاگرانژی مطابق با معادلات ارائه شده توسط نوروزی و همکاران پیاده‌سازی شده است [۶]. آن‌ها با اعمال متغیر منبع در معادله بقای حالت گاز، تأثیرات حالت گسسته سوخت، بر حالت پیوسته هوای داخل محفظه را در نظر گرفته‌اند. همچنین شرایط مرزی در خانه‌های شبکه‌ای که قطرات مایع در هر گام زمانی از آن عبور می‌کنند نیز با مقادیر محلی متغیرهای گاز برای اعمال تأثیر حالت گاز بر پراکنش حالت مایع فواره به کار رفته است.

اما تحقیقات نشان‌دهنده آن است که، نوع امولسیون آب در سوخت بهترین نوع امولسیون در موتورهای دیزل به حساب می‌آید. دلیل این امر، پدیده خرد- انفجار قطرات آب و ایجاد تغییرات کم در لزجت و مشخصات فیزیکی سوخت است [۱۵]. در مطالعه حاضر نیز امولسیون آب در سوخت استفاده شده است.

برای شبیه‌سازی ویژگی‌های امولسیون سوخت دیزل دریایی- آب خواص گرمافیزیکی این امولسیون سوخت شامل ضرایب NASA jannaf محاسبه شده و در نرم‌افزار متن باز OpenFOAM اعمال شده است. ویژگی‌های ترکیب‌های امولسیونی سوخت آزمایش شده شامل درصد آب ترکیبی در سوخت دیزل دریایی و فشار تزریق در جدول ۲ ارائه شده است. همچنین ویژگی‌های سوخت دیزل دریایی به عنوان سوخت پایه با ساختار شیمیایی $C_{14}H_{30}$ در امولسیون موردنظر در جدول ۳ مشاهده می‌شود.

جدول ۲: ویژگی‌های درصد حجمی امولسیون سوخت‌های آزمون

درصد ترکیب حجمی آب در فشار تزریق ۶۰۰ بار		درصد ترکیب حجمی آب در فشار تزریق ۱۰۰۰ بار	
سوخت دیزل دریایی	آب	سوخت دیزل دریایی	آب
۱۰۰	۰	۱۰۰	۰
۹۵	۵	۹۵	۵
۹۰	۱۰	۹۰	۱۰
۸۰	۲۰	۸۰	۲۰

جدول ۳: ویژگی‌های فیزیکی سوخت دیزل دریایی

نام مشخصه (واحد)	سوخت دیزل دریایی
چسبندگی پویا در ۲۰ درجه (cP)	۱۰,۷
چگالی در ۲۰ درجه (kg/m^3)	۸۹۵
کشش سطحی (N/m)	۰,۰۳۱

۲-۲- فرآیند محاسباتی

شکست اولیه نشانگر شرایط قطره‌هایی است که فواره افشانه سوخت را ترک می‌کنند. این قطره‌ها محصول تجزیه هسته مایع اند. به دلیل چگالی قوی، ابعاد کوچک و فشار قوی فواره هسته مایع سوخت در مجاورت افشانه، ساز و کار شکست اولیه سوخت در شرایط متفاوت، به روشنی مشخص نیست. لذا، بایستی اشاره نمود که عدم قطعیت‌هایی در الگوهای توصیف تجزیه اولیه وجود دارد. با این وجود، یکی از کارآمدترین الگوهای استفاده شده در شبیه‌سازی این نوع شکست ذرات را ریتز [۱۹] ارائه کرده است و به نام الگوی قطره^۱ شناخته می‌شود. در

⁵ Nordin

⁶ Parcels

⁷ Lagrangian Particle Tracking

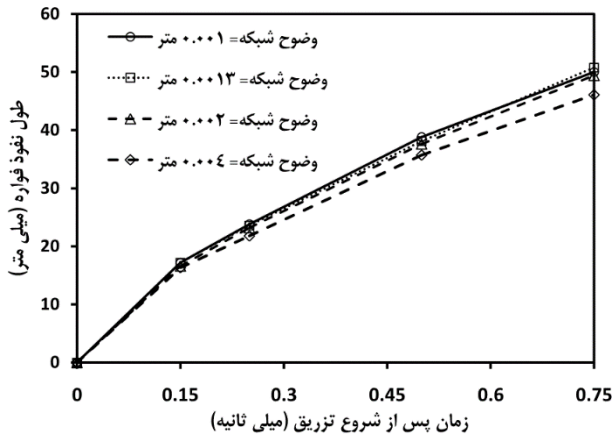
¹ Blob model

² Bag Breakup

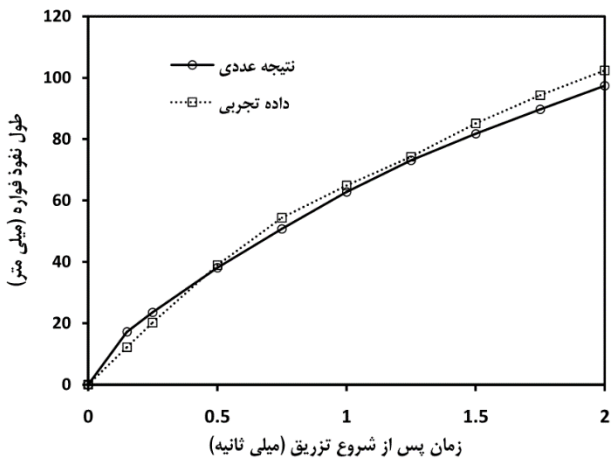
³ Stripping Breakup

⁴ O'Rourke

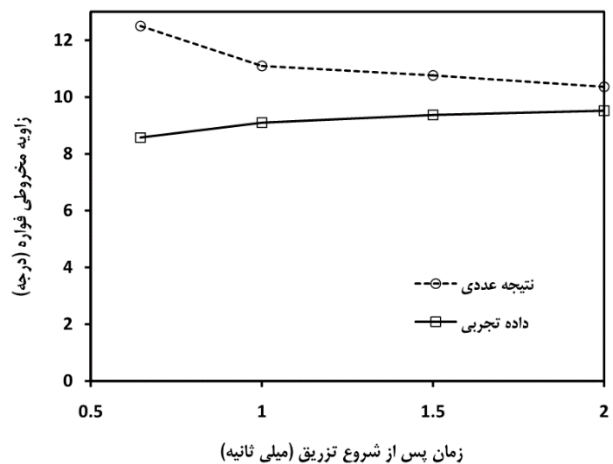
تجربی به ترتیب در شکل‌های ۴ و ۵ مقایسه شده است. خطای جذر میانگین مربعات (RMSE) به ترتیب ۳,۳۶ و ۲,۳۴۶ برای طول نفوذ و زاویه مخروطی فواره در این حالت محاسباتی بدست آمده است.



شکل ۳: آزمودن استقلال از شبکه طول نفوذ فواره سوخت‌سنگین در ۱۰۰۰ بار



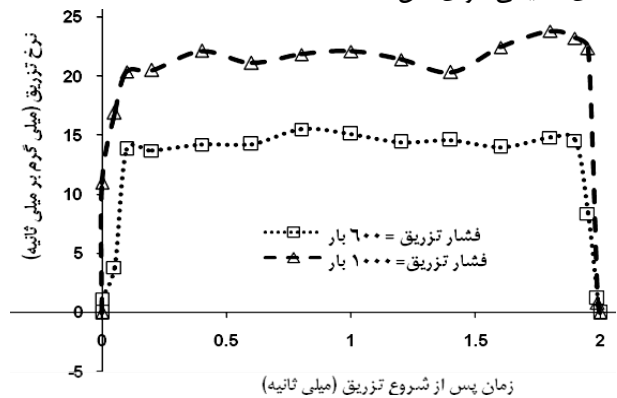
شکل ۴: مقایسه نتایج عددی و تجربی طول نفوذ فواره سوخت دیزل دریایی در ۱۰۰۰ بار [۱]



شکل ۵: مقایسه نتایج عددی و تجربی زاویه مخروطی فواره سوخت دیزل دریایی در ۱۰۰۰ بار [۱]

۳-۲- مشخصات هندسه محفظه احتراق و سامانه پاشش

در مطالعه حاضر، از افشانه‌ای تک‌سوراخ با قطر ۰,۲۷ میلی‌متر برای تزریق سوخت دیزل دریایی-آب به داخل محفظه احتراق حجم ثابت با شار جرمی تزریق در فشارهای تزریق متفاوت بر اساس مطالعه پیکت^۱ و همکاران [۲۵]، استفاده شده است. در شبیه‌سازی حاضر، نرخ شار جرمی تزریق مورد استفاده برای فشار تزریق ۶۰۰ و ۱۰۰۰ بار متناسب با شکل ۲ در نظر گرفته شده است. ویژگی‌های هندسی محفظه احتراق و ویژگی‌های تزریق در جدول ۴ ارائه شده است. همان‌گونه که در جدول ۴ مشاهده می‌شود، دو فشار تزریق ۶۰۰ بار و ۱۰۰۰ بار در نظر گرفته شده است. همچنین دمای در نظر گرفته شده در این مطالعه، دمای محیطی هوای اتاق است.



شکل ۲: منحنی نرخ شار جرمی تزریق برای فشار تزریق ۶۰۰ و ۱۰۰۰ بار.

جدول ۴: ویژگی‌های هندسی محفظه احتراق و ویژگی‌های تزریق

ویژگی‌های محفظه احتراق	طول (mm)	۴۵۰
	قطر (mm)	۱۵۰
	پس فشار (bar)	۱۴
	دمای محیطی (°K)	۲۹۸
ویژگی‌های تزریق	قطر نازل (mm)	۰,۲۷
	فشار تزریق سوخت (bar)	۱۰۰۰-۶۰۰
	دمای اولیه سوخت (°K)	۳۷۵
	جرم کل تزریق	۳۴
	ضریب K ^۲ نازل (mg)	۲,۲

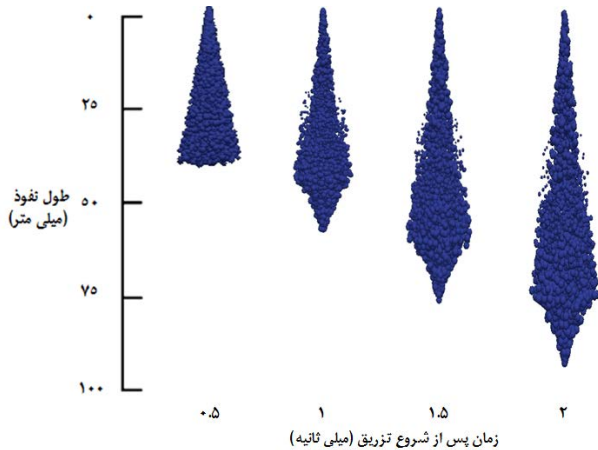
۳- تحلیل حساسیت وضوح شبکه‌بندی و صحنه‌گذاری

برای صحنه‌گذاری نتایج عددی، در ابتدا وضوح شبکه‌بندی، متناسب با شکل ۳ برای دست‌یابی به شبکه‌بندی مناسب برای شبیه‌سازی اجرا شده است. سپس متناسب با مناسب‌ترین شبکه‌بندی (۰,۰۰۱۳۳ متر)، در ابتدا نتیجه عددی محاسبه شده برای دو مشخصه اساسی طول نفوذ فواره و زاویه مخروطی فواره در فشار تزریق ۱۰۰۰ بار با داده‌های

² (Outer diam. - Inner diam.)/10

¹ Pickett

همچنین بایستی زاویه مابین دو خطی که از نازل افشانه شروع شده و تا دو نقطه‌ای که به صورت شعاعی، بیشینه فاصله را از هم دارند، برای محاسبه زاویه مخروطی فواره مایع در نظر گرفته شود. اما، SMD اصلی‌ترین مشخصه خرد در ارزیابی رفتار فواره مایع است. این مشخصه با متوسط‌گیری از قطر تمامی قطرات در زمانی معین محاسبه می‌شود. در ابتدا، ریخت‌شناسی فواره سوخت برای سوخت امولسیون شده با ۱۰ درصد حجمی آب در فشار تزریق ۶۰۰ بار در شکل ۷ ارائه شده است. همان‌گونه که در شکل ۷ مشاهده می‌شود، افزایش طول نفوذ فواره در حین فرآیند تزریق و تیز شدن لبه فواره سوخت دیده می‌شود. دلیل تیز شدن نوک فواره، ضربه فشاری وارد شده بر فواره از سوی محیط گازی محفظه احتراق است.



شکل ۷: ریخت‌شناسی سوخت امولسیون شده با ۱۰ درصد حجمی آب در فشار تزریق ۶۰۰ بار در طی فرآیند تزریق

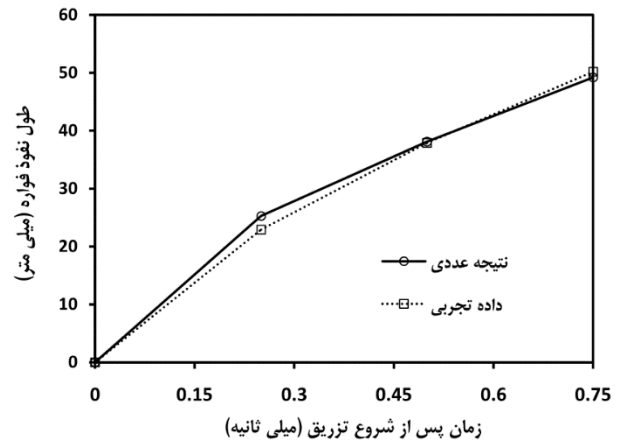
در ادامه تأثیر فشار تزریق بر ویژگی‌های خرد و کلان فواره مایع ترکیب‌های متفاوت سوخت امولسیون سوخت دیزل دریایی-آب ارائه شده است.

۴-۱- بررسی تأثیرات ترکیب‌های متفاوت امولسیون سوخت دیزل دریایی-آب در دو فشار تزریق متفاوت

طول نفوذ فواره مایع ترکیب‌های متفاوت امولسیون سوخت دیزل دریایی-آب در فشارهای بالای تزریق ۶۰۰ و ۱۰۰۰ بار به ترتیب در اشکال ۸ و ۹ مشاهده می‌شود.

برپایه شکل ۸ می‌توان استنتاج نمود که، درصدهای متفاوت ترکیب آب به صورت امولسیون در سوخت دیزل دریایی، رفتار یکسانی را از لحاظ روند توسعه فواره مایع در داخل محفظه پس از زمان تزریق خواهند داشت. از سویی دیگر، نرخ رشد طول نفوذ فواره از ابتدای تزریق تا ۰.۵ میلی‌ثانیه در تمامی درصدهای امولسیون، روندی تقریباً خطی دارد. در حالی‌که، پس از این زمان افزایش طول نفوذ فواره مایع با روندی مجانبی شکل می‌گیرد.

همچنین در ادامه برای امولسیون از سوخت دیزل و درصد حجمی ۱۸٪ آب، نتیجه محاسباتی شبیه‌سازی شده مشخصه طول نفوذ فواره در فشار تزریق ۶۰۰ بار با داده تجربی مقایسه شده است (شکل ۶). در این حالت نیز تطابق مناسب مابین داده تجربی و نتیجه عددی با RMSE به مقدار ۱,۵۰۱ قابل استنتاج است.



شکل ۶: مقایسه نتایج عددی و تجربی طول نفوذ فواره امولسیون سوخت دیزل-آب (درصد حجمی ۱۸٪) در ۶۰۰ باطرا [۱]

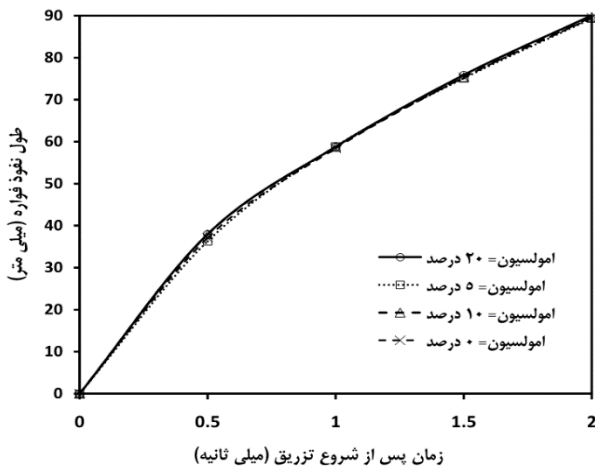
در ادامه، نتایج محاسباتی تأثیر درصدهای حجمی متفاوت امولسیون سوخت دیزل دریایی-آب بر ویژگی‌های فواره مایع سوخت، مورد مطالعه قرار گرفته است.

۴- بحث و بررسی نتایج

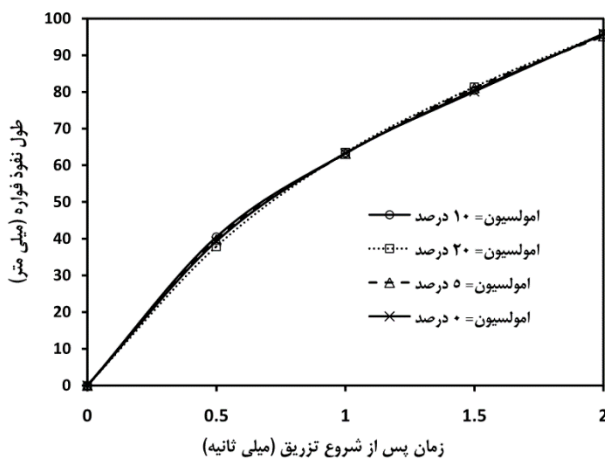
به صورت کلی، برای سنجش رفتار فواره در شرایط مختلف کارکردی، از مشخصات کلان و خرد فواره سوخت استفاده می‌شود. طول نفوذ فواره مایع پس از زمان شروع تزریق و زاویه مخروطی فواره مایع از شاخص‌های کلان بررسی رفتار فواره سوخت به حساب می‌آید. در این دو شاخص کلان، برای محاسبه طول نفوذ فواره مایع، فاصله محوری از افشانه سوخت تا انتهای نفوذ فواره مایع محاسبه می‌شود.

از منظری دیگر، برای محاسبه طول نفوذ فواره در روش‌های تجربی، فاصله مابین افشانه سوخت تا انتهای بخش گسسته نشده حالت مایع سوخت تزریق شده، معیار تعیین طول نفوذ فواره مایع تحت شرایط غیرواکنشی قلمداد می‌گردد [۱ و ۲۶]. در روش عددی نیز، طول نفوذ فواره مایع، طولی برابر با نفوذ حالت مایع فواره سوخت است. این مشخصه، به صورت فاصله محوری از نازل افشانه در راستای جت فواره تا دورترین موقعیت محوری مرز فواره که در حالت مایع قرار دارد، تعریف می‌گردد. لازم به ذکر است، طول نفوذ فواره معادل فاصله از افشانه در راستای محور آن تا جایست که نسبت حجمی سوخت به هوا به کمتر از ۰.۱ درصد برسد. چنین شرطی بیشترین قرابت را با معیار اندازه‌گیری تجربی طول نفوذ فواره، دارا می‌باشد. لذا، در مطالعه حاضر از این معیار برای محاسبه تمامی مرزهای فواره استفاده شده است [۲۷].

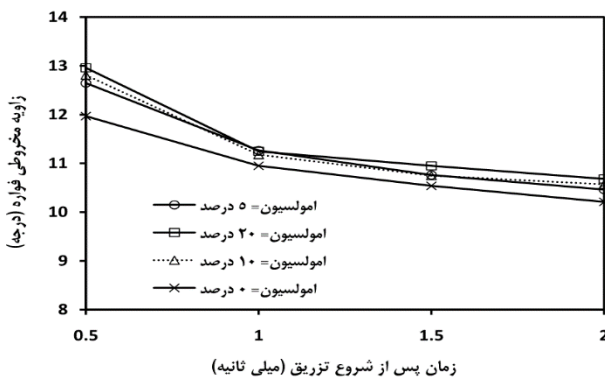
کشش سطحی (σ) و افزایش چگالی (ρ_L) منجر به کاهش عدد وبر شده که این امر باعث افزایش طول نفوذ فواره می‌گردد [۲۹].



شکل ۸: مقایسه طول نفوذ فواره مایع در درصدهای حجمی متفاوت امولسیون سوخت دیزل دریایی-آب در فشار تزریق ۶۰۰ بار



شکل ۹: مقایسه طول نفوذ فواره مایع در درصدهای حجمی متفاوت امولسیون سوخت دیزل دریایی-آب در فشار تزریق ۱۰۰۰ بار



شکل ۱۰: مقایسه زاویه مخروطی فواره مایع در درصدهای حجمی متفاوت امولسیون سوخت دیزل دریایی-آب در فشار تزریق ۶۰۰ بار

از مقایسه مابین شکل ۸ و ۹ می‌توان استنتاج نمود که، رفتار فواره مایع سوخت امولسیون از لحاظ روند افزایش فواره مایع در طی زمان در هر دو فشار تزریق متشابه است. علاوه بر این، با افزایش فشار تزریق از ۶۰۰ بار به ۱۰۰۰ بار، طول نفوذ فواره در طول زمان، به دلیل افزایش فشار فواره در برابر مقاومت هوای محیطی، افزایش یافته است. این پدیده در تمام درصدهای امولسیون سوخت دیزل دریایی با آب مشهود است. لذا می‌توان دریافت که، با افزایش فشار تزریق، بهبود شرایط شکل‌گیری مخلوطی همگن‌تر از هوا و سوخت و در نتیجه ارتقاء فرآیند ریزسازی و احتراق ممکن می‌گردد.

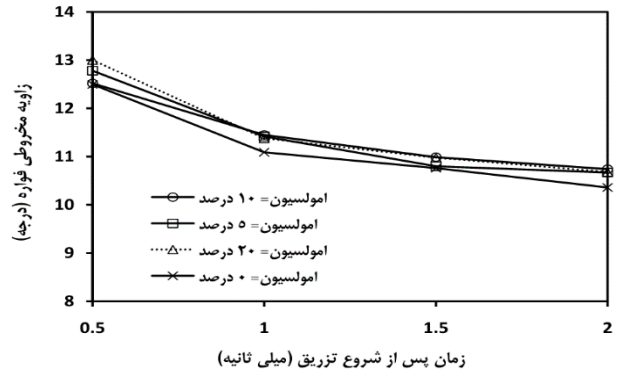
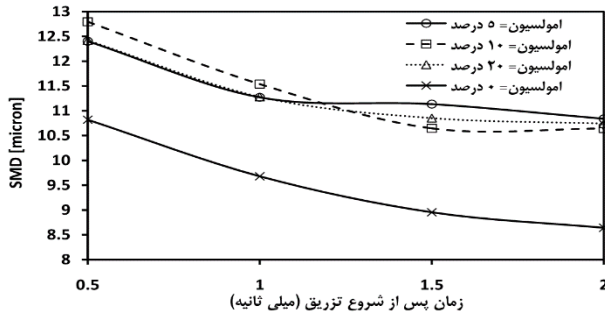
نمودارهای مشخصه کلان زاویه مخروطی فواره مایع در فشارهای تزریق ۶۰۰ بار و ۱۰۰۰ بار در به ترتیب در اشکال ۱۰ و ۱۱ ارائه شده است. زاویه مخروطی فواره مایع در طول زمان توسعه فواره در محفظه در هر دو فشار تزریق و تمامی درصدهای امولسیونی، روندی کاهشی را دارا است. از سویی دیگر، همان‌گونه که مشخص است، افزایش زاویه مخروطی فواره منجر به شکل‌گیری سریع‌تر و مناسب‌تر مخلوط سوخت و هوا در داخل محفظه شده که این امر بهبود شرایط ریزسازی و احتراق سوخت را فراهم می‌آورد. از مقایسه شکل ۱۰ با شکل ۱۱، افزایش زاویه مخروطی با افزایش فشار تزریق مشاهده می‌شود. از سویی دیگر، شیب کاهش زاویه مخروطی در سوخت پایه دیزل دریایی نسبت به امولسیون‌های مختلف سوخت دیزل دریایی-آب بیشتر است.

همچنین، بایستی اشاره داشت که، بر اساس تحقیقات لِفَبُور^۱ [۲۸]، چسبندگی، چگالی و کشش سطحی از مهم‌ترین مشخصه‌های فیزیکی سوخت مایع بوده که بر روی رفتار فواره مایع در موتور دیزل نقش دارند. بدین صورت که، با کاهش چسبندگی و کشش سطحی، طول نفوذ فواره افزایش می‌یابد [۲۸]. همچنین، با افزایش چگالی سوخت، طول نفوذ فواره نیز افزایش می‌یابد [۲۶ و ۲۸]. از اینرو، با توجه به چسبندگی کمتر و چگالی بیشتر در سوخت امولسیون شده (امولسیون سوخت دیزل دریایی-آب) نسبت به سوخت دیزل دریایی، طول نفوذ فواره افزایش یافته است. اما بایستی بدین نکته اشاره شود که دلیل تغییر بسیار کم مشخصه طول نفوذ فواره با استفاده از سوخت امولسیون شده به جای سوخت دیزل دریایی، افزایش کشش سطحی سوخت امولسیون شده نسبت به سوخت دیزل دریایی است، بدین صورت که، با افزودن آب به سوخت دیزل دریایی، مشخصه کشش سطحی افزایش یافته و در نتیجه منجر به تأثیر معکوس بر روند افزایش طول نفوذ فواره شده است. از منظری دیگر، برای درک بهتر تأثیرگذاری کشش سطحی و چگالی بر روی طول نفوذ فواره می‌توان اشاره نمود که، بر اساس عدد وبر ($We_L = \frac{\rho_L d_0 u_L}{\sigma}$)، کاهش

¹ Lefebvre

فواره (θ) به طول نفوذ فواره ($S(t)$) و سایر مشخصه‌هایی نظیر چگالی سوخت، چگالی گاز محیطی، فشار تزریق سوخت، فشار گاز محیطی و قطر نازل است.

شایان ذکر است که طول نفوذ فواره نیز خود تابعی از مشخصه‌های سوخت نظیر کشش سطحی، چگالی و چسبندگی است [۲۶ و ۲۸]. لذا، دلیل تغییر زاویه مخروطی در طی زمان تزریق و برای انواع سوخت‌های تزریق شده را می‌توان در تغییر چگالی سوخت، وابستگی زاویه مخروطی با زمان مطابق با $\tan^{-1/2} \left(\frac{\theta}{2} \right) \propto 1/t^{1/2}$ و طول نفوذ فواره ($S(t)$) دانست. همچنین، متناسب با معادله (۲) تغییر قطر میانگین ذرات برای انواع سوخت‌های آزمایش شده را می‌توان در تغییرات مشخصه‌های فیزیکی سوخت و فرآیند تجزیه اولیه و ثانویه فواره سوخت از ابتدا تا انتهای زمان فرآیند تزریق دانست.



شکل ۱۱: مقایسه زاویه مخروطی فواره مایع در درصد‌های حجمی متفاوت امولسیون سوخت دیزل دریایی-آب در فشار تزریق ۱۰۰۰ بار

مقایسه شاخص خرد SMD ترکیب‌های متفاوت امولسیون سوخت دیزل دریایی-آب در فشارهای تزریق متفاوت در اشکال ۱۲ و ۱۳ مشاهده می‌شود. مقدار کمیت SMD در لحظه خروج فواره مایع از افشانه، به اندازه سوراخ نازل افشانه است. سپس کاهش این کمیت با شکل‌گیری فرآیند ریزسازی و تجزیه اولیه و ثانویه در طی زمان توسعه فواره در داخل محفظه رخ می‌دهد. این پدیده در اشکال ۱۲ و ۱۳ نیز دیده می‌شود. علاوه بر این مشاهده می‌شود، افزودن آب به سوخت دیزل دریایی منجر به افزایش SMD فواره مایع در فرآیند غیراحتراقی می‌شود. همچنین دیده می‌شود که با افزایش فشار تزریق تا مقادیر بسیار شدید، به دلیل بهبود فرآیند ریزکردن، مقدار SMD کاهش یافته است.

شایان ذکر است که، همان‌گونه که در اشکال ۱۰ تا ۱۳ مشاهده می‌شود، زاویه مخروطی فواره و قطر میانگین ذرات به صورت زمانی برای تمام سوخت‌های آزمایش شده، تغییر کرده است. دلیل این تغییرات در مطالعه تجربی- تحلیلی وانگ و همکاران [۲۶] و با ارائه روابط تجربی برای زاویه مخروطی فواره و قطر میانگین ذرات تشریح شده است. معادله تجربی ارائه شده برای ارتباط بین طول نفوذ فواره با زاویه مخروطی در معادله (۱) و معادله تجربی قطر میانگین ذرات در معادله (۲)، ارائه شده است [۲۶].

$$SMD = 6156 \theta^{0.385} \sigma^{0.737} \rho_f^{0.737} \rho_a^{0.06} \Delta P^{-0.54}$$

$$S(t) \propto \left(\frac{\rho_f}{\rho_a} \right)^{\frac{1}{4}} \left(2 \frac{P_f - P_a}{\rho_f} \right)^{\frac{1}{2}} d_0^{\frac{1}{2}} t^{\frac{1}{2}} \tan^{-1} \left(\frac{\theta}{2} \right) \quad (1)$$

$$SMD = 6156 \theta^{0.385} \sigma^{0.737} \rho_f^{0.737} \rho_a^{0.06} \Delta P^{-0.54} \quad (2)$$

در ادامه تأثیرات جایگزینی ترکیب‌های متفاوت امولسیون سوخت دیزل دریایی-آب با سوخت دیزل دریایی بر مشخصات فواره مورد بررسی قرار گرفته است.

۴-۲- بررسی تأثیرات جایگزینی ترکیب‌های متفاوت امولسیون سوخت دیزل دریایی-آب با سوخت دیزل دریایی بر مشخصات فواره

رفتار متشابه در ویژگی‌های خرد و کلان فواره مایع سوخت پایه دیزل دریایی با ترکیب‌های متفاوت امولسیون سوخت دیزل دریایی-آب در

که، $S, \rho_f, \rho_a, P_f, P_a, d_0, t, \theta$ ، چگالی سوخت، چگالی گاز محیطی، فشار تزریق سوخت، فشار گاز محیطی، قطر نازل، زمان پس از شروع تزریق و زاویه مخروطی اند. همچنین، $\sigma, \Delta P$ به ترتیب چسبندگی، کشش سطحی و تغییرات فشار تزریق و فشار گاز محیطی است. معادله (۱)، بیانگر ارتباط بین زاویه مخروطی

زاویه مخروطی فواره مایع نسبت به فشار تزریق کمتر، ضعیفتر است. اما دلیل این افزایش، کشش سطحی و چسبندگی قویتر و فراریت کمتر امولسیون سوخت دیزل دریایی- آب نسبت به سوخت دیزل دریایی پایه در دمای اتاق است [۶]. لذا دو مشخصه کلان فواره سوخت امولسیون سوخت دیزل دریایی- آب نسبت به سوخت خالص دیزل دریایی، بهبود یافته و در نتیجه مخلوط همگن تر سوخت و هوا را منجر می شود. در حالی که بر اساس جدول ۵ مشاهده می شود که، میزان SMD در حالت غیرواکنشی در فواره مایع سوخت امولسیون شده، افزایش یافته است. این افزایش از درصد امولسیون ۵٪ به ۲۰٪ کاهش یافته است. از این رو قابل استنتاج است که در درصد بالاتر امولسیون، فرآیند ریزسازی در حالت غیرواکنشی مناسب تر صورت می گیرد. از سویی دیگر بایستی توجه شود که افزایش SMD با افزودن آب به صورت امولسیون شده به سوخت دیزل دریایی در دمای اتاق و در شرایط غیرواکنشی به دلیل قطر بیشتر قطرات آب در سوخت امولسیون شده نسبت به قطر قطرات سوخت دیزل دریایی است. در حالی که به دلیل خردانفجارهای قطرات آب در شرایط احتراقی فرآیند ریزسازی و کاهش SMD نسبت به حالت سوخت پایه قابل مشاهده است [۷].

همچنین، شایان ذکر است که، قطر میانگین ذرات به صورت مستقیم به چسبندگی، چگالی و کشش سطحی سوخت مایع وابسته است [۳۰]، بدین صورت که، چسبندگی قوی، ناپایداری های مورد نیاز برای تجزیه فواره سوخت را کاهش می دهد. در نتیجه، فرآیند ریزسازی را به تأخیر می اندازد. افزایش چگالی نیز به صورت معکوس بر فرآیند ریزسازی مؤثر است [۳۰]. این در حالی است که کشش سطحی، عامل مخالف شکل گیری قطرات از سوخت مایع است [۲۸]. حال از آنجایی که سوخت امولسیون شده نسبت به سوخت دیزل دریایی اولیه دارای چگالی و کشش سطحی قویتر است، قطر میانگین ذرات افزایش یافته است.

۵- نتیجه گیری

یکی از راهکارهای اساسی در کاهش آلاینده های موتورهای دیزل دریایی و بهبود بازده موتور، جایگزینی امولسیون سوخت دیزل دریایی- آب برای سوخت پایه است. لذا ویژگی های غیرواکنشی فواره ترکیب های متفاوت امولسیون سوخت دیزل دریایی- آب با استفاده از شبیه سازی عددی بر پایه دینامیک سیالات محاسباتی در مقاله حاضر مطالعه شد. برای این هدف، نرم افزار متن باز OpenFOAM به کار گرفته شد.

مسیریابی ذره ای لاگرانژی برای شبیه سازی قطرات گسسته سوخت مایع استفاده شده است. همچنین، محاسبه اندرکنش حالت گسسته سوخت مایع با حالت پیوسته هوا، با استفاده از طرحواره چندحالتی اولیری- لاگرانژی صورت گرفته است. از سویی دیگر، الگوی قطره و Reitz-Diwakar به ترتیب برای تجزیه اولیه و ثانویه اعمال گردیده

اشکال ۶ تا ۱۱ دیده شده است. اما همان گونه که مشهود است، افزودن آب با درصدهای متفاوت به صورت امولسیون به سوخت دیزل دریایی، بر ویژگی های خرد و کلان فواره تأثیرگذار است. از این رو در قالب جدول ۵، مقایسه کمی میانگین گیری زمانی شاخصه های طول نفوذ فواره، زاویه مخروطی و SMD با جایگزینی ترکیب های متفاوت امولسیون سوخت دیزل دریایی- آب به جای سوخت دیزل دریایی به عنوان سوخت سنگین خالص مورد استفاده در موتورهای دیزل دور متوسط دریایی، ارائه شده است.

جدول ۵: درصد تأثیر مثبت جایگزینی ترکیب های متفاوت امولسیون سوخت دیزل دریایی- آب با سوخت پایه دیزل دریایی بر میانگین زمانی ویژگی های فواره

ویژگی های فواره	دریایی- آب (درصد حجمی آب)			
	۵٪	۱۰٪	۲۰٪	
۵۰۰ فشار تزریق	طول نفوذ فواره	۰,۴۶	۰,۵۳	۰,۹۶
	زاویه مخروطی فواره	۳,۳۷	۳,۷۵	۴,۹۷
	SMD	۱۹,۸۲	۱۹,۷۶	۱۸,۸۹
۱۰۰۰ فشار تزریق	طول نفوذ فواره	۰,۲۵	۰,۵۰	۰,۷۱
	زاویه مخروطی فواره	۲,۱۴	۲,۲۱	۲,۹۷
	SMD	۳۲,۲۲	۳۰,۸۱	۲۹,۷۱

همان گونه که در جدول ۵ مشاهده می شود، افزودن آب به صورت امولسیون به سوخت دیزل دریایی بر روی طول نفوذ فواره مایع در هر دو فشار تزریق ۶۰۰ بار و ۱۰۰۰ بار تأثیری افزایشی دارد. همچنین دیده می شود که با افزایش درصد افزودن آب به امولسیون، رشد طول نفوذ فواره افزایش می یابد. دلیل این افزایش، کاهش فراریت^۱ سوخت ترکیبی امولسیون شده نسبت به سوخت پایه دیزل دریایی است [۶]. اما همان گونه که دیده می شود، مقدار این افزایش، در شرایط تزریق در دمای اتاق بسیار کم و قابل اغماض است.

از سویی دیگر، زاویه مخروطی فواره نیز با افزودن آب به صورت امولسیون به سوخت دیزل دریایی افزایش می یابد و این افزایش با بیشتر شدن مقدار آب افزودن شده، رشد بیشتری دارد. علاوه بر این دیده می شود که در فشار تزریق قویتر، تأثیر افزایشی سوخت امولسینی بر

¹ Volatility

- [3] D. Struckmeier, D. Tsuru, S. Kawauchi and H. Tajima, Multi-component modeling of evaporation, ignition and combustion processes of heavy residual fuel oil, SAE, 2009
- [4] C. Chryssakis, K. Pantazis and L. Kaiktsis, Combustion modeling with heavy fuel oil for large marine diesel engine applications", CIMAC Congress, Bergen, Norway, June 14-17, 2010
- [5] D.C. Rakopoulos, C.D. Rakopoulos, R.G. Papagiannakis and D.C. Kyritsis, Combustion heat release analysis of ethanol or n-butanol diesel fuel blends in heavy-duty DI diesel engine, Fuel, Vol. 90, No. 5, pp. 1855-1867, 2011
- [6] H. Nowruzzi, P. Ghadimi, M. Yousefifard, A Numerical Study of Spray Characteristics in Medium Speed Engine Fueled by Different HFO/n-butanol Blends, International Journal of Chemical Engineering, 2014
- [7] M.Y.E. Selim, M.T. Ghannam, Combustion Study of Stabilized Water-in-Diesel Fuel Emulsion, Energy Sources, Part A: Recovery Utilization, and Environmental Effects, Vol. 32, NO. 3, pp. 256-274, 2010
- [8] M. Huo, S. Lin, H. Liu, C.F.F. Lee, Study on the Spray and Combustion Characteristics of Water-Emulsified Diesel, Fuel, Vol. 123, pp. 218-229, 2014
- [9] J.M. Ballester, N. Fueyo, C. Dopazo, Combustion Characteristics of Heavy Oil-Water Emulsions, Fuel, Vol. 75, N0.6, pp. 695-705, 1996
- [10] J.W. Park, K.Y. Huh, J.H. Lee, Reduction of NOx, Smoke and Brake Specific Fuel Consumption with Optimal Injection Timing and Emulsion Ratio of Water-Emulsified Diesel. Proc. of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, Vol. 215, No. 1, pp. 83-93, 2001
- [11] M. Musculus, J. Dec, D. Tree, D. Daly et al., Effects of Water-Fuel Emulsions on Spray and Combustion Processes in a Heavy-Duty DI Diesel Engine, SAE Technical Paper, 2002
- [12] R. Ochoterena, A. Lif, M. Nydén, S. Andersson, I. Denbratt, Optical Studies of Spray Development and Combustion of Water-in-Diesel Emulsion and Microemulsion Fuels, Fuel, Vol. 89, pp. 122-132, 2010
- [13] R. Gjesing, J. Hattel and U. Fritsching, Coupled atomization and spray modeling in the spray forming process using OpenFOAM, Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, Vol. 3, No. 4, pp. 471-86, 2009
- [14] H.M. Ismail, H.K. Ng, S. Gan, T. Lucchini, Computational study of biodiesel-diesel fuel blends on emission characteristics for a light-duty diesel engine using OpenFOAM, Applied Energy, Vol. 111, pp. 827-41, 2013
- [15] D. Scarpete, Diesel-Water Emulsion, An Alternative Fuel to Reduce Diesel Engine Emissions. A

است. همچنین، روش استاندارد $k - \epsilon$ در رویکرد RANS برای شبیه‌سازی آشفستگی در سیال تراکم‌پذیر استفاده شده است. ویژگی‌های طول نفوذ، زاویه مخروطی فواره و قطر میانگین ذرات (SMD) برای ارزیابی رفتار فواره مایع سوخت امولسیون شده در ابعاد خرد و کلان به کار گرفته شده است. همچنین، این مطالعه در دو فشار تزریق بالای ۶۰۰ بار و ۱۰۰۰ بار و در دمای اتاق یعنی ۲۹۸ کلوین انجام شده است. علاوه بر این، درصدهای ۵٪، ۱۰٪ و ۲۰٪ حجمی آب در سوخت پایه دیزل دریایی در امولسیون سوخت دیزل دریایی با آب، بکار گرفته شده است. در ابتدا، تحلیل حساسیت شبکه‌بندی پیاده‌سازی شده است. سپس، با استفاده از شبکه‌بندی مناسب انتخاب‌شده، ویژگی‌های طول نفوذ فواره مایع و زاویه مخروطی در هر دو فشار تزریق با داده‌های تجربی، با دقت مطلوبی صحت‌گذاری شده است.

نتایج عددی مطالعه حاضر نشان دهنده آن است که، جایگزینی امولسیون سوخت دیزل دریایی-آب به جای سوخت پایه دیزل دریایی منجر به افزایش بسیار کم (کمتر از ۱٪) طول نفوذ فواره مایع در دمای اتاق و در شرایط غیراحتراقی در هر دو فشار تزریق می‌گردد. دلیل این امر، افزایش چگالی و کشش سطحی و کاهش چسبندگی سوخت امولسیون شده می‌باشد. از منظر ریخت‌شناسی فواره، شکل‌گیری نوک نیز در لبه جلویی فواره ناشی از ضربه فشاری محیط گازی محفظه احتراق نیز مشاهده شده است. علاوه بر این، افزایش درصد امولسیون آب در سوخت دیزل دریایی، منجر به افزایش نرخ رشد طول نفوذ فواره مایع می‌گردد.

از سویی دیگر، افزایشی در حدود ۳-۴ درصد در فشار تزریق ۶۰۰ بار و ۲-۳ درصد در فشار ۱۰۰۰ بار در مشخصه زاویه مخروطی فواره مایع با افزودن آب به سوخت پایه و ایجاد یک سوخت امولسیون شده مشاهده می‌شود.

همچنین، این افزایش زاویه مخروطی با افزایش درصد آب در امولسیون افزایش یافته است. اما مشخصه SMD در سوخت امولسیون شده نسبت به سوخت پایه، مقادیر بیشتری دارد. این افزایش با بیشتر شدن درصد امولسیون، کاهش می‌یابد. علاوه بر این، نتایج محاسباتی نشان‌دهنده آن است که، افزایش فشار تزریق از ۶۰۰ بار به ۱۰۰۰ بار، بهبود شرایط ریزسازی سوخت را با افزودن مشخص‌های طول نفوذ فواره مایع، زاویه مخروطی و کاهش SMD به همراه دارد.

مراجع

- [1] C. Fink, B. Buchholz, M. Niendorf and H. Harndorf, Injection spray analyses from medium speed engines using marine fuels, ILASS, Como Lake, Italy, September 8-10, 2008
- [2] N. Kyriakides, C. Chryssakis and L. Kaiktsis, Influence of heavy fuel properties on spray atomization for marine diesel engine applications, SAE, 2009

experiments, Proc I Mech E, Vol. 9, pp. 101-116, 1980.

[24] N. Nordin, L. Complex chemistry modeling of diesel spray combustion, PhD thesis, Dept. of Thermo and Fluid Dynamics, Chalmers University of Technology, Goteborg, Sweden, 2001.

[25] L. Pickett, J. Manin, R. Payri, M. Bardi and et al., Transient Rate of Injection Effects on Spray Development, SAE, 2013

[26] X. Wang, Z. Huang, O. Abiola Kuti, W. Zhang and K. Nishida, Experimental and analytical study on biodiesel and diesel spray characteristics under ultra-high injection pressure, International Journal of Heat and Fluid Flow, Vol. 31, No. 4, pp. 659-666, 2010

[27] A. Ghasemi and R. Balachandar, Spray-induced air motion in single and twin ultra-high injection diesel sprays, Fuel, Vol. 121, pp. 284-297, 2014.

[28] H. Lefebvre, Atomization and Sprays, Hemisphere Publishing Corporation, New York, pp. 9-17, 1989

[29] J.W. Wloka, A. Hubert and G. Wachtmeister, Injection spray comparison of diesel fuel and cold pressed rapeseed oil fuel, ILASS, Brno, Czech Republic, September 6-9, 2010

[30] C.M. Ejim, B.A. Fleck, A. Amirfazli, Analytical study for atomization of biodiesels and their blends in a typical injector: surface tension and viscosity effects, Fuel, Vol. 86, pp.1534-1544, 2007

Review, MACHINES, TECHNOLOGIES, MATERIALS, Vol. 7, 2013

[16] C. O'Sullivan, Investigation of the NOx and PM Emissions from a Diesel Engine Operating on Nano-emulsified Fuels, University College of Dublin, Ireland, 1997

[17] C.Y. Lin, L.W. Chen, Engine Performance and Emission Characteristics of Three-Phase Diesel Emulsions Prepared By an Ultrasonic Emulsification method, Fuel, Vol. 85, pp. 593-600, 2006

[18] K.I. Watanabe, M. Ueno, T. Okazaki, S. Nagasaka, Komatsu's low emission engine, STA6D140, using water emulsified fuel. Komatsu Technical Report, Vol. 48, No. 149, pp. 18-22, 2002

[19] R.D. Reitz, Modeling atomization processes in high-pressure vaporizing sprays, Atomization and Spray Technology, Vol. 3, pp. 309-337, 1987

[20] R.D. Reitz and R. Diwakar, Effect of drop breakup on fuel sprays, SAE, 1986

[21] L.L. Moyne, Trends in atomization theory, Journal of Spray and Combustion Dynamics, Vol. 2, pp. 49-84, 2010.

[22] F. Dos Santos, L.L. Moyne, Atomization Models in Engine Applications, from Correlations to Direct Numerical Simulations, Oil & Gas Science and Technology, Vol. 66, pp. 801-822, 2011.

[23] P.J. O'Rourke and F.V. Bracco, Modelling of drop interactions in thick sprays and a comparison with



A Numerical Study on Non-Reacting Spray Characteristics of Different Marine Diesel Fuel-Water Emulsion Blends

H. Nowruzi¹, P. Ghadimi^{2*}, S. M. Mirsalim³

¹ Amirkabir University of Technology, Department of Maritime Engineering, Tehran, Iran, h.nowruzi@aut.ac.ir

² Amirkabir University of Technology, Department of Maritime Engineering, Tehran, Iran, pghadimi@aut.ac.ir

³ Amirkabir University of Technology, Department of Mechanical Engineering, Tehran, Iran, mirsalim@csr.ir

*Corresponding Author

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 3 April 2016

Accepted: 11 June 2017

Keywords:

Non-Reacting Characteristic
Marine Diesel Fuel and water
Emulsion

OpenFOAM Software

ABSTRACT

Use of diesel fuel-water emulsion is one of the basic strategies to reduce emission in diesel engines. So in the present paper, non-reacting characteristics of different diesel fuel-water emulsion blends by use of CFD at two injection pressure of 600bar and 1000bar is studied. Three different volumetric percentage of 5%, 10% and 15% of water emulsion with marine diesel fuel in a constant volume chamber of medium speed marine diesel engine at temperature of 298K have been considered. Furthermore, OpenFOAM CFD toolbox with Eulerian-Lagrangian multiphase scheme for simulation of fuel discrete phase interaction with air continuous phase has been applied. Liquid spray secondary breakup and continuous phase turbulence have been simulated respectively by Reitz-Diwakar scheme and standard model of $k-\epsilon$ in RANS. Also, with appropriate accordance, the numerical results of spray characteristics are validated by experimental data. Based on computational results, by use of marine diesel fuel-water emulsion instead of basic fuel, the spray penetration length, spray cone angle and SMD are increased. Moreover, this increasing are improved by enhance of volumetric percentage of water in emulsion. However, promotion of non-reacting liquid spray characteristics with injection pressure enhancement has been observed.

