

مطالعه عددی تأثیر ایجاد شیار درون نازل افشانه بر رفتار فواره سوخت‌های موتور دیزل و بیودیزل

امیرحمزه فرج‌الهی^۱، رضا فیروزی^۲

۱ استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه امام علی (ع)، تهران، a.farajollahi@sharif.edu

۲ دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره) قزوین، قزوین

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۲/۲۵

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۵/۱۴

چکیده

در این پژوهش به بررسی رفتار پاشش سوخت دیزل و بیودیزل در یک محفظه احتراق استوانه‌ای حجم ثابت برای سوراخ نازل دارای شیار به منظور بهبود خواص فواره سوخت و عملکرد موتور دیزل با کمک دینامیک سیالات محاسباتی پرداخته شده است. بدین منظور خصوصیات ماکروسکوپی و میکروسکوپی فواره سوخت دیزل و بیودیزل برای هندسه سوراخ نازل ایجاد شده به صورت عددی و به کمک نرم‌افزارهای ای وی ال فایر و متلب مدل‌سازی و مورد تحلیل قرار گرفته است. ابتدا جریان سوخت مایع درون افشانه دارای سوراخ نازل استوانه‌ای و مخروطی همگرا مدل‌سازی شده و در ادامه از سوخت دیزل و بیودیزل در سوراخ نازل دارای شیار استفاده شده است. نتایج عددی حاصل نشان می‌دهند که در این حالت بیودیزل دارای طول نفوذ کمتر و قطر ذرات و زاویه مخروطی فواره بیشتری می‌باشد. بنابراین خصوصیات ماکروسکوپی و میکروسکوپی فواره سوخت‌های مختلف با ایجاد شیار می‌تواند بهبود یافته و کنترل شوند. نتایج عددی و داده‌های تجربی در تحقیقات پیشین اعتبارسنجی شده‌اند.

واژگان کلیدی

سوراخ نازل افشانه، شیار، دیزل، بیودیزل، فواره

۱. مقدمه

الزامی می‌باشد. فرآیند احتراق در موتورهای دیزل به شدت وابسته به مشخصه‌های پاشش سوخت و پدیده آمیزاسیون جهت افزایش نرخ تبخیر و اختلاط سوخت و هوا می‌باشد. عوامل فشار پاشش سوخت، نوع سوخت، زمان شروع، نرخ پاشش، هندسه نازل و شرایط محیط داخل سیلندر تأثیر زیادی بر نرخ اختلاط، احتراق و میزان آلاینده‌های خروجی موتور دیزل پاشش مستقیم دارند [۱].

موتورهای دیزل به دلیل داشتن ویژگی‌هایی همچون نسبت تراکم، توان تولیدی و گشتاور بالا، مصرف سوخت پایین و راندمان نسبتاً بالا نسبت به انواع موتورهای احتراق داخلی در صنایع مختلف حمل و نقل جاده‌ای و تولید الکتریسیته کاربرد گسترده‌ای دارند. با توجه به کاربری روزافزون این موتورها و مشکلات ناشی از آلاینده‌های آن‌ها، تلاش برای کاهش آلاینده‌ها حائز اهمیت و

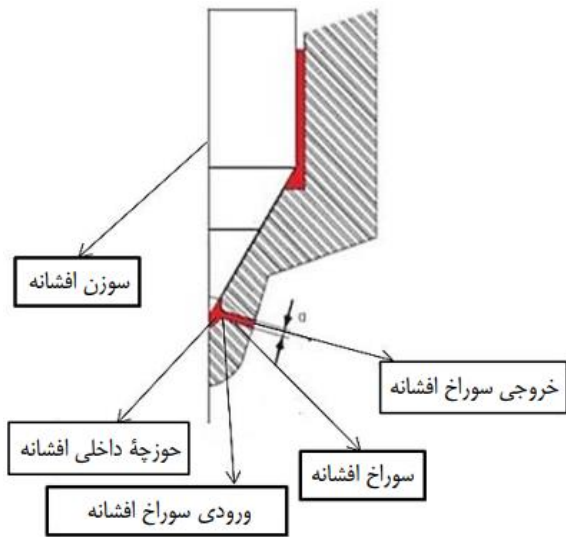
تاکنون سوخت‌های مختلفی از جمله بیودیزل به‌عنوان سوخت جایگزین زیستی برای دیزل بررسی شده‌اند. بیودیزل سوخت حاصل از ضایعات روغن‌های گیاهی می‌باشد. این نوع سوخت‌ها از منابع سوخت‌های تجدیدپذیر به شمار رفته و دارای خواص مشابه سوخت‌های فسیلی می‌باشند. تفاوت اساسی در ترکیب این سوخت‌ها، محتوای اکسیژن آن‌ها است. میزان اکسیژن موجود در سوخت دیزل صفر است در صورتی که ۱۰ تا ۱۲ درصد سوخت بیودیزل را اکسیژن تشکیل می‌دهد. به همین علت استفاده از آن در موتورهای دیزل منجر به کاهش آلایندگی هیدروکربن‌های نسوخته می‌گردد، در صورتی که در این حالت افزایش آلایندگی اکسید نیتروژن می‌تواند به عنوان یک مشکل مطرح گردد. برای استفاده از بیودیزل به عنوان سوخت جایگزین در موتورهای دیزل، تغییرات اساسی در موتور لازم نیست و فقط بسته به ارزش حرارتی و سایر مشخصه‌های سوخت، لازم است تا تنظیماتی بر روی زمان شروع و فشار پاشش سوخت انجام شود [۲-۵].

در مقالات گذشته مشخصات جریان سوخت مایع درون افشانه و مشخصات فواره برای شرایط مختلف هندسه سوراخ نازل و انواع سوخت‌های جایگزین مورد بررسی قرار گرفته است. میشل و کارلو به بررسی جریان درون نازل و مشخصات افشانه برای سوخت‌های دیزل و بیودیزل در افشانه دیزل به صورت عددی پرداختند. نتایج شبیه‌سازی جریان درون افشانه نشان داد که پدیده کاویتاسیون برای دیزل در نواحی نسبتاً بیشتری نسبت به بیودیزل درون نازل رخ می‌دهد. همچنین نتایج شبیه‌سازی فواره نشان داد که سوخت دیزل طول نفوذ بیشتر و قطر متوسط ساتر کمتری نسبت به سوخت بیودیزل دارد [۶]. پاپیری و همکاران به بررسی جابجایی سوزن و خواص سوخت در سیستم‌های پاشش سوخت پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که برای پاشش‌های طولانی فواره بیودیزل دارای طول نفوذ بیشتر و زاویه مخروطی کمتری می‌باشد [۷]. آلوکا و همکاران فواره سوخت‌های مختلف بیودیزل را در هر دو شرایط تبخیری و غیر تبخیری بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در دمای محیط، فواره بیودیزل دارای طول نفوذ و زاویه مخروطی کمتری می‌باشد [۸]. گرمالدی و پاستریوتی به صورت تجربی به مقایسه خصوصیات فواره سوخت دیزل و بیودیزل پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که سوخت بیودیزل منجر به تأخیر در شروع پاشش، تغییر مشخصات فواره و کاهش مدت زمان فروپاشی می‌شود [۹]. سو و همکاران

مشخصه‌های فواره دی متیل اتر و دیزل را با هم مقایسه و گزارش کردند که دی متیل اتر دارای طول نفوذ و قطر میانگین قطرات کمتری نسبت به دیزل می‌باشد [۱۰]. پاستریوتی و همکاران به بررسی مشخصات فواره سوخت افشانه سیستم تغذیه مشترک برای سوخت‌های مختلف پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که فشارهای تزریق بالا برای سوخت بیودیزل منجر به کاهش شیب دبی جرمی خروجی می‌شود [۱۱]. سام و همکاران به صورت تجربی و عددی به بررسی تأثیر شکل سوراخ نازل و زبری سطح نازل بر خصوصیات فواره بیودیزل پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که افزایش شعاع منحنی ورودی سوراخ افشانه به صورت قابل توجهی شدت وقوع کاویتاسیون را کاهش داده و در نهایت منجر به افزایش قطر ذرات و طول نفوذ فواره و کاهش زاویه مخروطی آن می‌گردد [۱۲]. آرکومانیس و همکاران خواص دی متیل اتر به عنوان سوخت جایگزین با دیزل مقایسه کرده‌اند. نتایج حاکی از آن است که دی متیل اتر دارای عدد ستان بالا و دمای خود اشتعالی پایین‌تری 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 دی متیل اتر، امکان استفاده از آن را در موتورهای احتراق جرقه ای فراهم می‌سازد [۱۳]. جبارزاده و همکاران به مقایسه عددی تأثیر شرایط فیزیکی بر رفتار فواره سوخت‌های دی متیل اتر، سوخت زیستی و دیزل پرداختند. در نتیجه مطالعه آن‌ها افزایش فشار محفظه احتراق در هر سه نوع سوخت، باعث کاهش طول نفوذ فواره و افزایش فشار تزریق باعث کاهش قطر میانگین قطرات فواره می‌شوند. همچنین در شرایط فیزیکی یکسان برای هر سه سوخت، دی متیل اتر کمترین و دیزل بیشترین مقدار طول نفوذ فواره را دارد [۱۴].

مرور مقالات گذشته نشان می‌دهد که مطالعات زیادی بر روی عوامل تأثیرگذار بر جریان درون سوراخ نازل افشانه، ایجاد کاویتاسیون و بهبود مشخصات فواره سوخت انجام شده است ولی تاکنون تأثیر ایجاد شیار بر نحوه شکل‌گیری کاویتاسیون و تأثیر آن بر مشخصات فواره سوخت‌های دیزل و بیودیزل انجام نشده است. هدف و نوآوری تحقیق حاضر، بررسی عددی تأثیر تغییر همزمان هندسه نازل و ایجاد شیار روی شکل‌گیری کاویتاسیون و رفتار فواره سوخت‌های دیزل و بیودیزل در افشانه دیزل CRII ساخت شرکت بوش آلمان می‌باشد. لازم به ذکر است که طول

شامل معادلات بقای جرم، ممنتوم و انرژی جنبشی و نرخ تلفات آشفته‌گی می‌باشند. به دلیل فرض هم‌دما بودن از آوردن معادله انرژی صرف نظر شده است.



شکل ۱. هندسه افشانه و نامگذاری قسمت‌های مختلف آن

معادله بقای جرم

$$\frac{\partial \alpha_k \rho_k}{\partial t} + \nabla \cdot \alpha_k \rho_k v_k = \sum_{i=1, k \neq i}^N \Gamma_{ki} \quad (1)$$

$$k = 1, \dots, N$$

که در آن، α_k کسر حجمی فاز k ، v_k سرعت فاز k و Γ_{kl} بیانگر تبادل جرمی بین دو فاز k و l می‌باشد [۱۵]. همچنین شرط سازگاری نیز بایستی صدق کند.

$$\sum_{k=1}^N \alpha_k = 1 \quad (2)$$

معادله بقای ممنتوم

$$\frac{\partial \alpha_k \rho_k v_k}{\partial t} + \nabla \cdot \alpha_k \rho_k v_k = -\alpha_k \nabla p + \nabla \cdot \alpha_k (\vec{\tau}_k + \vec{T}_k) + \alpha_k \rho_k \vec{f} + \sum_{l=1, k \neq l}^N M_{kl} + v_k \sum_{l=1, k \neq l}^N \Gamma_{kl}, k = 1, \dots, N \quad (3)$$

که در آن، f بردار نیروی حجمی شامل نیروی جاذبه و اینرسی است. T بردار تنش برشی، T^t بردار تنش رینولدزی، M بیانگر اندرکنش مومتوم بین حالت‌ها و p فشار استاتیکی می‌باشد.

معادله انرژی جنبشی آشفته‌گی

$$\frac{\partial \alpha_k \rho_k K_k}{\partial t} + \nabla \cdot \alpha_k \rho_k v_k K_k = \nabla \cdot \alpha_k \left(\mu_k + \frac{\mu_k^t}{\sigma_k} \right) \nabla K_k \quad (4)$$

نفوذ و زاویه مخروطی فواره از خصوصیات ماکروسکوپی و قطر متوسط سائر خصوصیت میکروسکوپی آن می‌باشد.

۲. بررسی تئوری

در این مقاله، در دو مرحله به بررسی تاثیر ایجاد شیار بر ایجاد کاویتاسیون و رفتار فواره برای سوخت‌های دیزل و بیودیزل پرداخته شده است. مدل اوپلر-اوپلر برای شبیه‌سازی جریان چند فاز درون افشانه بکار برده شده است. نتایج حاصل از محاسبات جریان داخل افشانه در مقطع خروجی نازل ذخیره می‌شوند. در ادامه شبیه‌سازی فواره به کمک داده‌های ذخیره شده در مقطع خروجی نازل به عنوان داده‌های ورودی صورت می‌گیرد. مدل استفاده شده در شبیه‌سازی فواره، مدل اوپلر-لاگرانژ می‌باشد. در این مطالعه از یک افشانه دیزل پنج سوراخه که در آن سوراخ‌ها بافاصله یکسانی از هم قرار گرفته‌اند، استفاده شده است. هندسه افشانه مورد نظر و نامگذاری قسمت‌های مختلف تشکیل‌دهنده آن در شکل ۱ نشان داده شده و با نرم افزار سالیدورکز ایجاد شده است. به‌منظور افزایش دقت و کاهش مدت‌زمان محاسبات عددی با توجه به شرط مرزی متقارن انزکتور، در نازل‌های بدون شیار شبیه‌سازی تنها یک دهم و در نازل‌های دارای شیار شبیه‌سازی تنها یک پنجم از کل هندسه مورد نظر با استفاده از نرم‌افزار دینامیک سیالات محاسباتی ای وی ال فایر^۱ که یک نرم افزار تخصصی برای مدل‌سازی پاشش سوخت است، انجام شده است.

۲-۱. معادلات حاکم بر شبیه‌سازی افشانه

پدیده جوشش سیال در اثر ایجاد افت فشار به‌طوری‌که فشار سیال به فشار بخار آن نزدیک گردد، کاویتاسیون نامیده می‌شود. از مهم ترین عواملی که در این پدیده دخیل هستند می‌توان به عوامل هندسی مانند تغییر در شکل محل عبور جریان، انحنا یا انحراف در مسیر جریان و عوامل هیدرودینامیکی نظیر دبی مخصوص، سرعت جریان و توسعه لایه مرزی اشاره کرد. هندسه نازل افشانه، نحوه جابجایی سوزن، نوع سوخت و دمای آن از عوامل مهم در ایجاد کاویتاسیون سوخت مایع محسوب می‌شوند. با وقوع کاویتاسیون درون سوراخ نازل افشانه، حباب‌های بخار در نواحی دارای فشار پایین‌تر از فشار بخار تشکیل شده و در نواحی دارای فشار بالاتر می‌ترکند. برای شبیه‌سازی جریان چندفازی و گذرا درون افشانه از مدل اوپلر-اوپلر استفاده می‌شود. معادلات حاکم

۲-۲-۲. تبادل بین حالتی ممتوم

تبادل ممتوم بین دو حالت مایع و بخار با در نظر گرفتن تاثیر نیروهای پسا و پخش آشفته‌گی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$M_c = \frac{1}{8} C_D \rho_c A_i''' |v_r| v_r + C_{TD} \rho_c k_c \nabla \alpha_d = -M_d \quad (10)$$

C_D ضریب پسا، v_r سرعت نسبی بین دو حالت مایع و بخار، C_{TD} ضریب پخش آشفته‌گی و K انرژی جنبشی آشفته‌گی می‌باشد. A_i''' بیانگر چگالی سطح مشترک بین دو حالت می‌باشد و برای مدل کاونتاسیون پسا به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$A_i''' = \pi D_b^2 N''' = (36\pi N''')^{\frac{1}{3}} \alpha_d^{\frac{2}{3}} \quad (11)$$

ضریب پسا تابعی از عدد رینولدز حباب بوده و به صورت زیر محاسبه می‌شود [۱۵]:

$$C_D = \begin{cases} \frac{192}{Re_b} (1 + 0.1 Re_b^{0.75}) & Re_b \leq 1000 \\ 0.438 & Re_b > 1000 \end{cases} \quad (12)$$

$$Re_b = \frac{|v_r| D_b}{\nu_c} \quad (13)$$

۳-۲. معادلات حاکم بر شبیه‌سازی فواره

در شبیه‌سازی فواره، هر دو رویکرد اویلری و لاگرانژی کاربرد زیادی دارند. در رویکرد اویلری، سیال همانند یک محیط پیوسته رفتار می‌کند در حالی که در رویکرد لاگرانژی، مدل‌سازی بر ردیابی مسیر قطرات متمرکز است. یکی از ویژگی‌های برجسته مدل فواره لاگرانژی، تمرکز آن بر فروپاشی جت مایع و قطره است. از آنجایی که در نزدیکی خروجی نازل فواره غلیظ است، رویکرد لاگرانژی برای این ناحیه مناسب نیست. از طرفی شبیه‌سازی فواره با رویکرد اویلری در نواحی دور از نازل که فواره رقیق است، توصیه نمی‌شود. بنابراین، شبیه‌سازی اویلری-لاگرانژی به‌طور کلی روشی ایده آل است. این روش نیازمند ایجاد شبکه‌ای متمایز در نزدیک نازل است که با شبکه اصلی (محفظه احتراق) سطوح مشترکی دارد [۱۶]. در رابطه با فاز مایع، امروزه عملاً تمامی محاسبات مربوط به فواره در محیط مهندسی بر پایه روش آماری قطره گسسته صورت می‌گیرد. این روش با حل کردن معادلات دیفرانسیل معمولی برای مسیر، مومتوم، انتقال جرم و حرارت قطرات واحد که هر کدام از آنها عضو یک گروه قطرات بدون فعل و انفعال داخلی یکسان که یک دسته نامیده می‌شوند، انجام می‌شود. بنابراین یک عضو گروه نمایانگر رفتار کامل یک دسته می‌باشد. معادلات حاکم به صورت زیر می‌باشند [۱۷]:

$$+ \alpha_k \rho_k - \alpha_k \rho_k \varepsilon_k + \sum_{l=1, k \neq l}^N K_{kl} + K_k \sum_{l=1, k \neq l}^N \Gamma_{kl}, k = 1, \dots, N$$

معادله تلفات آشفته‌گی

$$\frac{\partial \alpha_k \rho_k \varepsilon_k}{\partial t} + \nabla \cdot \alpha_k \rho_k v_k \varepsilon_k = \nabla \cdot \alpha_k \left(\mu_k + \frac{\mu_k^t}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla \varepsilon_k + \sum_{l=1, k \neq l}^N D_{kl} + \varepsilon_k \sum_{l=1, k \neq l}^N \Gamma_{kl} + \alpha_k C_{1p} p_k \frac{\varepsilon_k}{k_k} - \alpha_k \rho_k C_2 \frac{\varepsilon_k^2}{k_k} + \alpha_k C_{4p} \rho_k \varepsilon_k \nabla \cdot v_k, k = 1, \dots, N \quad (5)$$

۲-۲. معادلات حاکم بر شبیه‌سازی اندرکنش بین حالتی

معادلات حاکم بر شبیه‌سازی اندرکنش بین حالتی شامل معادلات تبادل جرم و تبادل ممتوم بین دو حالت می‌باشند.

۱-۲-۲. تبادل بین حالتی جرم

تبادل جرم بین دو حالت مایع و بخار با مدل کاونتاسیونی خطی مدل شده است. معادله حاکم به صورت زیر می‌باشد:

$$\Gamma_c = \rho_d N''' 4\pi R^2 \dot{R} = -\Gamma_d \quad (6)$$

که در آن، N''' چگالی عددی حباب و R شعاع حباب می‌باشد. مشتق زمانی شعاع حباب با کمک معادله رایلی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$R \ddot{R} + \frac{3}{2} \dot{R}^2 = \frac{\Delta p}{\rho_c} \quad (7)$$

که در آن Δp اختلاف فشار موثر و ρ_c چگالی حالت پیوسته (مایع) می‌باشد. چگالی عددی حباب، N''' ، با توجه به رمپ خطی نزولی فرض شده به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$N''' = \begin{cases} N_0'''' & \alpha_d \leq 0.5 \\ 2(N_0'''' - 1)(1 - \alpha_d) & \alpha_d > 0.5 \end{cases} \quad (8)$$

N_0'''' چگالی عددی اولیه حباب می‌باشد که به مشخصات فاز مایع وابسته است. اختلاف فشار موثر شامل اثرات نوسانات فشار می‌باشد و برابر است با:

$$\Delta p = p_{sat} - \left(p - \frac{2}{3} C_E \rho_c k_c \right) \quad (9)$$

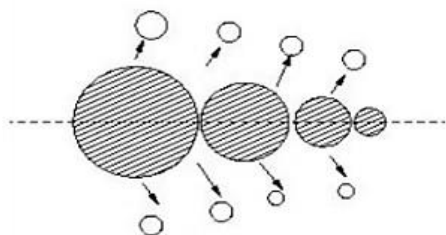
در معادله فوق، C_E ضریب اگر بوده و وابسته به سطح آشفته‌گی محلی می‌باشد. این ضریب به بررسی تاثیر آشفته‌گی بر روی فشار محلی می‌پردازد.

به‌دست می‌آید. سپس با توجه به مدل نوردین مقدار احتمال برخورد تعیین گشته و یک عدد تصادفی بین صفر و یک انتخاب می‌گردد. اگر عدد تصادفی انتخاب شده کمتر از مقدار احتمال باشد، آن‌گاه فرض می‌شود که برخورد صورت گرفته است و در غیر این صورت برخوردی صورت نمی‌گیرد. مدل تزریق گلوله در فروپاشی اولیه مورد استفاده قرار گرفته است. شماتیک مدل مورد استفاده در شکل ۲ آورده شده است. در این مدل مشخصه شعاع قطره r_A و مشخصه‌ی زمان فروپاشی τ_A می‌باشد. R بیانگر شعاع واقعی قطره بوده و نرخ فروپاشی آیرودینامیکی به صورت زیر قابل محاسبه می‌باشد:

$$\left(\frac{dr}{dt}\right)_a = R_a = -\frac{(r - r_a)}{C_2 \cdot \tau_a} \quad (18)$$

$$r_a = C_1 \cdot \Lambda \quad (19)$$

ضرایب ثابت مدل، C_1 و C_2 به منظور تنظیم زمان فروپاشی و مشخصه شعاع قطره مورد استفاده قرار می‌گیرند.



شکل ۲. شماتیک مدل تزریق گلوله در فروپاشی اولیه

نرخ فروپاشی اغتشاش از مقیاس‌های طول اغتشاش r_T و زمان اغتشاش τ_T محاسبه می‌شود.

$$r_T = C_\mu^{0.75} \frac{k^{1.5}}{\varepsilon} \quad (20)$$

$$\tau_T = C_\mu \frac{k}{\varepsilon} \quad (21)$$

$$\frac{dR}{dt} = -\frac{r - C_3 r_T}{C_4 \tau_T} \quad (22)$$

در معادله (۲۲)، C_3 و C_4 ثابت‌های مسئله می‌باشند. با صرف نظر کردن از تاثیر پخش‌شدگی، معادله اغتشاش برای سوخت مایع می‌تواند به صورت زیر نوشته شود:

$$\frac{dk}{dt} = -\varepsilon + S_k \quad (23)$$

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = -C \cdot \frac{\varepsilon}{k} \cdot (\varepsilon - S_k) \quad (24)$$

در معادلات فوق K انرژی جنبشی اغتشاش، ε نرخ تلفات اغتشاش و C ثابت مدل می‌باشد و تاثیر کوانتاسیون توسط ترم S_k اعمال شده است. زیرمدل استفاده شده برای فروپاشی ثانویه،

$$m_d \frac{du_{id}}{dt} = F_{idr} + F_{ig} + F_{ip} + F_{ib} \quad (14)$$

که در آن، F_{idr} نیروی پسا می‌باشد و برابر است با:

$$F_{idr} = \frac{1}{2} \rho_g A_d C_d |u_{rel}| \cdot u_{irel} \quad (15)$$

$$C_d = \begin{cases} \frac{24}{Re_d C_p} (1 + 0.15 Re_d^{0.687}) & Re_d < 1000 \\ \frac{0.44}{C_p} & Re_d \geq 1000 \end{cases}$$

عدد رینولدز ذره به‌صورت زیر محاسبه می‌شود که در آن μ_g لزجت سیال می‌باشد.

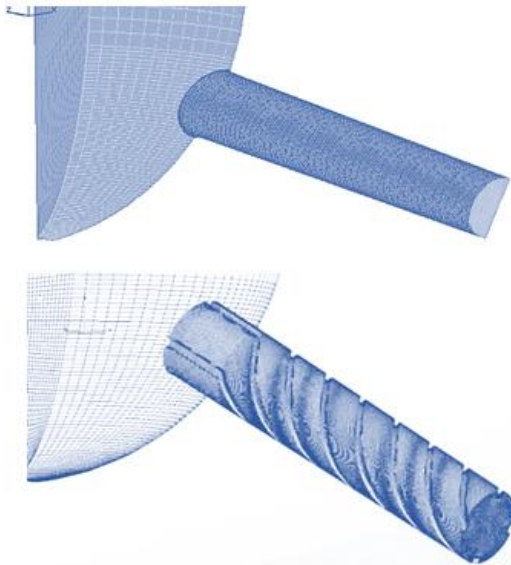
$$Re_d = \frac{\rho_g |u_{rel}| D_d}{\mu_g} \quad (16)$$

در معادله (۱۴)، تمامی نیروهای سطحی و بدنی روی قطره فواره لحاظ شده‌اند. از آن جایی که بزرگی نیروهای فشاری و سایر نیروها در مقایسه با نیروهای پسا و گرانشی قابل اغماض است، فقط نیروی پسا روی قطره فواره (شامل مولفه‌های فشار و ویسکوز) برای فروپاشی اولیه و ثانویه فواره سوخت مایع لحاظ شده است [۱۸]. شتاب قطره در محیط گازی نیز به‌صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{du_{id}}{dt} = \frac{3}{4} C_D \frac{\rho_g}{\rho_d} \frac{1}{D_d} |u_g - u_d| (u_{ig} - u_{id}) + \left(1 - \frac{\rho_g}{\rho_d}\right) g_i \quad (17)$$

با توجه به فشار تزریق خیلی بالا در افشانه‌های دیزل، فرایند فروپاشی فواره به دو قسمت تقسیم و بررسی می‌شود. فروپاشی فواره در نزدیکی خروجی نازل که در آن ستون مایع اولیه به لیگامنت‌ها یا قطرات کوچک تجزیه می‌شوند، فروپاشی اولیه نامیده می‌شود. پیش‌بینی ادامه فرایند فروپاشی از قطرات ایجادشده توسط مدل‌های فروپاشی ثانویه صورت می‌گیرد. زیرمدل‌های استفاده شده برای تبخیر قطرات مدل دوکوویچ^۲ می‌باشد که ضرورتاً بر مبنای فرض کروی و متقارن بودن قطره، جریان نیمه آرام فیلم گاز اطراف قطره، دمای یکنواخت قطره در طول قطر آن، خواص فیزیکی یکنواخت سیال احاطه‌کننده و تعادل گرمایی مایع با بخار بر روی سطح قطره شکل گرفته است. مدل نوردین^۳ برای برخورد و انعقاد قطرات که پیشرفته‌ترین مدل موجود در نرم افزار می‌باشد، استفاده شده است. عمده‌ترین مزیت این مدل نسبت به مدل ارورکه عدم وابستگی به اندازه شبکه می‌باشد. در این روش با دانستن مکان و سرعت هر ذره، حداقل فاصله میان دو ذره و مقدار زمان لازم برای طی این مسافت

دیزل و بیودیزل (متیل استر روغن سویا) استفاده شده است که خواص آن‌ها در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد در جدول ۲ آورده شده است [۶ و ۲۰-۲۴]. نمودار نحوه جابجایی سوزن بر حسب زاویه میل‌لنگ در شکل ۴ آورده شده است. سرعت دورانی موتور برابر ۳۷۵۰ دور بر دقیقه است. افت فشار درون سوراخ نازل افشانه منجر به کاویتاسیون می‌شود. به همین دلیل جریان دو فازی (دیزل مایع و دیزل بخار) در نظر گرفته شده است. مدل آشفته‌گی مورد استفاده روش ک اپسیلون با رفتار تابع دیواره استاندارد برای تمامی مقادیر γ^+ در مدل آشفته‌گی مورد نظر می‌باشد. روش گسسته‌سازی برای مومنتوم، آشفته‌گی و کسر حجمی از نوع بالادست مرتبه دوم و برای پیوستگی از نوع تفاضل مرکزی می‌باشند. تبادل جرم مابین دو فاز مایع و بخار توسط مدل کاویتاسیون خطی مدل شده است. در این مدل ضریب اگلر، عدد چگالی و ضریب کاهش چگالش به ترتیب برابر ۱، ۲، ۱۰، ۱۲، ۵ در نظر گرفته شده است. تبادل مومنتوم مابین دو فاز مایع و بخار توسط مدل درگ کاویتاسیونی مدل شده است. همچنین برای کوپل فشار-مومنتوم از الگوریتم سمیل استفاده شده است.



شکل ۳. شبکه‌بندی افشانه در نزدیکی سوراخ نازل بدون شیار (بالا) و دارای شیار (پایین)

جدول ۲. شرایط اولیه و مرزی جریان سیال درون افشانه [۶]

شرایط	فشار	دما
شرایط اولیه	۱۳۵۰ بار	۳۱۳ کلوین
شرایط مرزی	فشار ورودی: ۱۳۵۰ بار فشار خروجی: ۱۰ بار	-

مدل موج می‌باشد. در این مدل نرخ کاهش شعاع قطره نسبت به زمان به صورت زیر ارائه می‌شود:

$$\frac{dr}{dt} = -\frac{(r - r_{stable})}{\tau_a} \quad (25)$$

که در آن، τ_a زمان فروپاشی مدل می‌باشد و برابر است با:

$$\tau_a = \frac{3.726 \cdot C_2 \cdot r}{\Lambda \cdot \Omega} \quad (26)$$

ثابت C_2 زمان فروپاشی مدل را تصحیح می‌کند.

شعاع نهایی قطره و متناظر با طول موج Λ مربوط به موج با سریع‌ترین رشد روی سطح قطره می‌باشد.

$$r_{stable} = C_1 \cdot \Lambda \quad (27)$$

طول موج Λ و نرخ رشد موج Ω وابسته به مشخصات محلی سیال بوده و به صورت زیر بیان می‌شوند:

$$\Lambda = 9.02 \cdot r \frac{(1+0.45 \cdot oh^{0.5})(1+0.4 \cdot T^{0.7})}{(1+0.87 \cdot We_g^{1.67})^{0.6}} \quad (28)$$

$$\Omega = \left(\frac{\rho_a r^3}{\sigma} \right)^{-0.5} \frac{0.34 + 0.38 \cdot We_g^{1.5}}{(1 + oh)(1 + 1.4 \cdot T^{0.6})}$$

در معادلات فوق، We عدد وبر و Oh عدد اونسورگ می‌باشد:

$$T = oh \cdot We^{0.5} \quad (29)$$

۳. محاسبات عددی

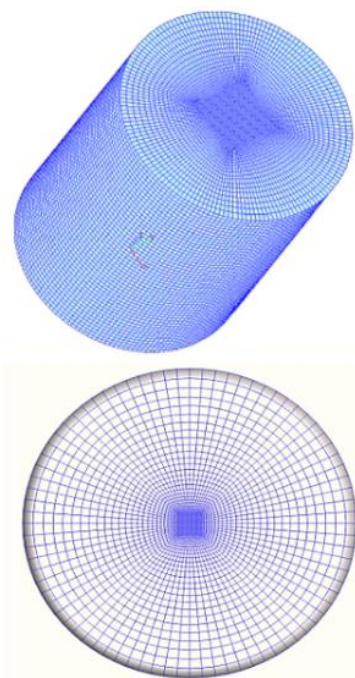
۳-۱. افشانه

به منظور بهبود خصوصیات فواره سوخت از ۴ عدد شیار دارای گام ۰،۱ میلی‌متر و ارتفاع ۰،۰۴ میلی‌متر درون نازل افشانه دیزل مورد نظر استفاده شده است. سوراخ نازل مورد استفاده در این مقاله دارای طول ۰،۷ میلی‌متر، قطر ورودی ۰،۱۴۳ میلی‌متر، قطر خروجی ۰،۱۳ میلی‌متر و همچنین شعاع منحنی ورودی ۱۰ میکرومتر می‌باشد. شبکه‌بندی افشانه در دو حالت نازل دارای شیار و بدون شیار به صورت شکل ۳ می‌باشد که با کمک نرم‌افزار ای وی ال فایر انجام شده است. برای بررسی استقلال حل از شبکه، به مطالعه تاثیر اندازه شبکه بر دبی جرمی جریان سوخت خروجی از نازل انژکتور در هر حالت پرداخته شده و نتایج حاصل در مرجع مورد نظر [۱۹] ارائه شده است. با توجه به نتایج حاصل، در شبیه‌سازی افشانه با نازل دارای شیار از تعداد سلول ۷۱۶۱۴۸ و در نازل بدون شیار از تعداد سلول ۱۵۴۰۰۰ استفاده شده است. شرایط مرزی و اولیه برای شبیه‌سازی افشانه در تمامی حالت‌های مورد نظر در جدول ۱ آورده شده است. به منظور بررسی نوع سوخت بر وقوع کاویتاسیون و خصوصیات فواره از سوخت‌های

روش گسسته‌سازی برای مومنتوم و پیوستگی از نوع تفاضل مرکزی و برای آشفتگی، انرژی و کسر حجمی از نوع بالا دست مرتبه دوم و روش گسسته‌سازی زمانی مورد نظر ضمنی مرتبه دوم می‌باشند. مدت‌زمان پاشش سوخت ۰/۸ میلی‌ثانیه می‌باشد. همچنین برای کوپل فشار-ممنتوم از الگوریتم SIMPLE استفاده شده است. شرایط ورودی مورد نیاز برای شبیه‌سازی پاشش سوخت به محفظه احتراق مورد نظر در جدول ۳ آورده شده است.

۴. اعتبارسنجی مدل عددی

بهمنظور بررسی دقت نتایج عددی حاصل، به مقایسه داده‌های عددی مشخصه طول نفوذ و قطر متوسط ذرات حاصل از شبیه‌سازی فواره سوراخ نازل‌های استوانه‌ای و مخروطی همگرا با نتایج تجربی و عددی موجود [۱۹] پرداخته شده و تطابق خوبی بین نتایج حاصل به دست آمده است.



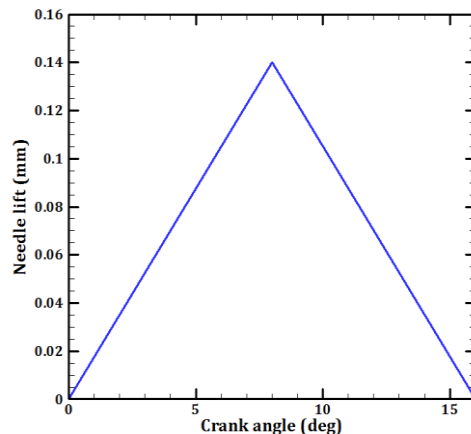
شکل ۵. هندسه محفظه احتراق استوانه‌ای (بالا) و جزئیات شبکه بندی محفظه احتراق در محل پاشش سوخت (پایین)

جدول ۳. شرایط ورودی برای شبیه‌سازی پاشش سوخت

مشخصه	توضیحات
شرایط مرزی	دیواره
تعداد سوراخ‌های نازل	۱
زاویه پاشش سوخت از نازل (درجه)	۰

جدول ۱. خواص سوخت دیزل در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد

نوع سوخت فاز سوخت	دیزل		بیودیزل	
	مایع	بخار	مایع	بخار
چگالی ($\frac{kg}{m^3}$)	۸۲۵	۵	۸۷۰	۸۵
لزجت (Pa-s)	۰،۰۰۲۱	۰،۰۰۰۰۱	۰،۰۰۰۳۹	۰،۰۰۰۰۱
کشش سطحی (N/m)	۰،۰۲۴	-	۰،۰۲۸	-
فشار بخار (Pa)	۱۰۰۰	-	۱	-



شکل ۴. نحوه جابجایی سوزن برحسب زاویه میل‌لنگ

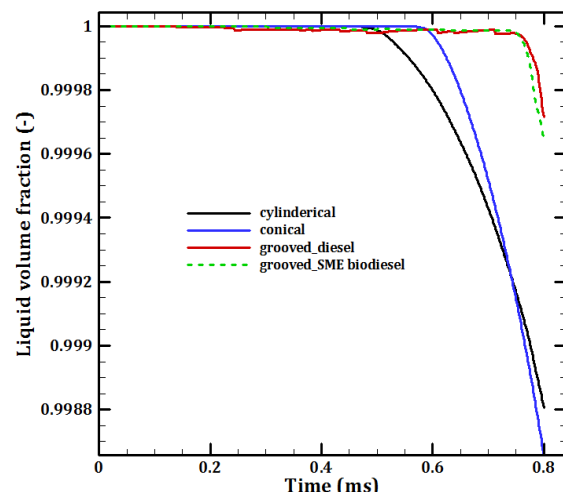
۳-۲. فواره

برای شبیه‌سازی و مشاهده نتایج فواره حاصل از هندسه‌های مختلف سوراخ نازل و سوخت‌های متفاوت از یک محفظه احتراق استوانه‌ای حجم ثابت با قطر ۴۰ میلی‌متر و ارتفاع ۱۳۰ میلی‌متر که هندسه و جزئیات آن در شکل ۵ آورده شده، استفاده شده است [۱۸]. با توجه به این شکل به‌منظور افزایش دقت حل عددی در محل پاشش سوخت از شبکه‌بندی ریزتری استفاده شده است. هدف مدل‌سازی پاشش سرد در یک محفظه احتراق می‌باشد. مدت زمان کل تزریق سوخت ۰/۸ میلی‌ثانیه و گام زمانی مورد استفاده در حل، از ۸-۱۰ تا ۷-۱۰×۵ ثانیه با گام‌های کوچکتر در شروع حل می‌باشد. شبیه‌سازی فواره حاصل با توجه به نتایج بررسی استقلال حل از شبکه [۱۹]، در تعداد سلول ۲۴۸۰۰۰ صورت گرفته است. طول نفوذ فواره برابر فاصله بین سوراخ نازل و نوک فواره سوخت می‌باشد. قطر متوسط ساتر یک ذره برابر با قطر کره‌ای می‌باشد که نسبت حجم به مساحت آن با نسبت حجم به مساحت ذره‌ی مورد نظر برابر باشد. سیال مورد استفاده هوای متراکم دارای فشار ۱۰ بار و دمای ۳۰۰ کلوین می‌باشد. مدل آشفتگی مورد استفاده روش k-epsilon می‌باشد.

۵. بحث بر روی نتایج

۵-۱. افشانه

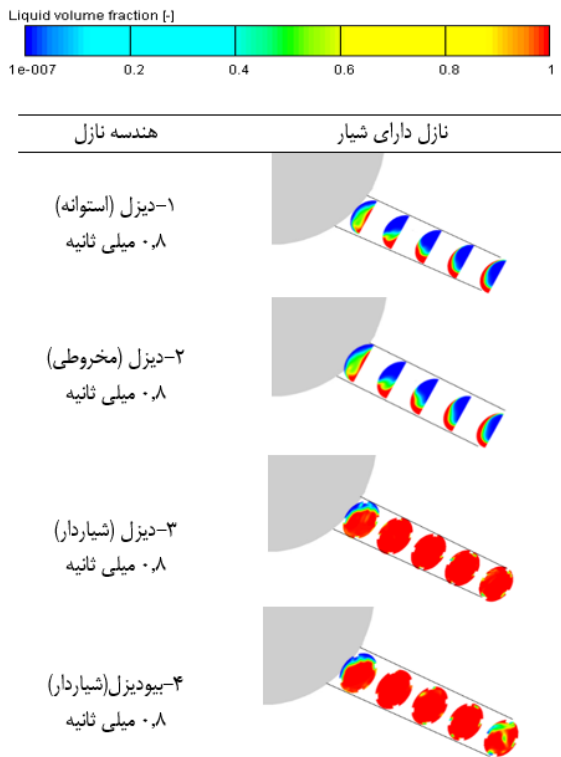
کاویتاسیون درون سوراخ نازل افشانه یکی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در رفتار هیدرودینامیکی فواره سوخت می‌باشد که ایجاد این پدیده و رشد و فروپاشی حباب‌های آن منجر به بهبود پدیده اتمیزاسیون سوخت و با هدف افزایش نرخ تبخیر و اختلاط بهتر سوخت و هوا صورت می‌گیرد. تغییر هندسه سوراخ نازل بر روی افزایش و یا کاهش شدت وقوع این پدیده می‌تواند تأثیر گذار باشد. بدین منظور سوراخ نازل استوانه‌ای را به شکل مخروطی همگرا تغییر داده و از شیار درون نوع مخروطی همگرا استفاده شده است. در این نوع افشانه‌ها معمولاً کاویتاسیون در قسمت ورودی سوراخ نازل سوخت توسعه می‌یابد. به منظور بررسی شدت وقوع این پدیده درون سوراخ نازل افشانه در هر حالت به بررسی کسر حجمی فاز مایع در هندسه‌ها و سوخت‌های مختلف مورد استفاده در مدت زمان یکسان پاشش پرداخته شده است. نمودار کسر حجمی فاز مایع بر حسب مدت‌زمان پاشش برای افشانه دیزل مورد نظر در حالت‌های مختلف در شکل ۶ آورده شده است. با توجه به این نمودار در حالت‌های مختلف مورد نظر کاویتاسیون با شدت‌های مختلفی رخ داده و با تغییر نوع سوخت تغییر خاصی بر روی شدت وقوع این پدیده تقریباً ایجاد نشده و کاویتاسیون در حالت نازل دارای شیار برای سوخت بیودیزل نسبت به دیزل کمی بیشتر رخ داده است. متیل استر روغن سویا دارای چگالی و لزجت بیشتری نسبت به دیزل و در نتیجه افت فشار بیشتری بوده و لذا در این حالت با افزایش افت فشار درون نازل دارای شیار، پدیده کاویتاسیون با شدت نسبتاً بیشتری در آن رخ می‌دهد.



شکل ۶. کسر حجمی فاز مایع برای افشانه در حالات مختلف

نتایج مربوط به توزیع کسر حجمی فاز مایع درون سوراخ نازل افشانه دارای شیار در برای سوخت‌های دیزل و بیودیزل در مدت زمان انتهایی پاشش ($t=0.8 \text{ ms}$) در شکل ۷ آورده شده است. در این شکل، بیشترین مقدار کسر حجمی فاز مایع برابر با ۱ و با رنگ قرمز و کمترین مقدار کسر حجمی فاز مایع برابر با ۰-۷- $\times 10$ با رنگ آبی نشان داده شده است. با توجه به این شکل، در حالت نازل دارای شیار برای سوخت بیودیزل کاویتاسیون با شدت نسبتاً بیشتری رخ داده و لذا شاهد نواحی نسبتاً بیشتری از فاز بخار نسبت به سوخت دیزل هستیم. ضریب تخلیه به صورت نسبت دبی جرمی واقعی به دبی جرمی نظری تعریف می‌شود:

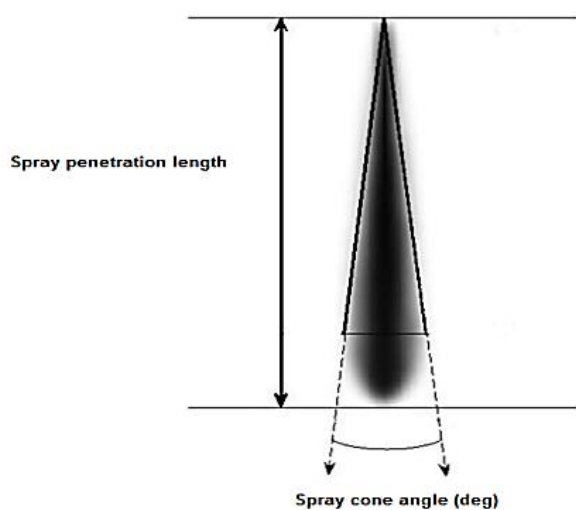
$$C_d = \frac{\dot{m}}{\dot{m}_{th}} = \frac{\dot{m}}{A_{th}\sqrt{2\rho_f\Delta p}} \quad (30)$$



شکل ۷. توزیع کسر حجمی فاز مایع درون سوراخ نازل افشانه دارای شیار برای سوخت‌های مختلف در مدت زمان انتهایی پاشش

که در آن \dot{m} دبی جرمی واقعی است که از شبیه‌سازی جریان افشانه محاسبه می‌شود. A_{th} سطح مقطع خروجی نازل، ρ_f چگالی سوخت حالت مایع و Δp اختلاف فشار بین ورودی و خروجی افشانه است. نتایج مربوط به ضریب تخلیه در مدت‌زمان پاشش سوخت برای هر حالت در شکل ۸ آورده شده است. با توجه به این شکل، با افزایش شدت وقوع کاویتاسیون و توسعه آن تا

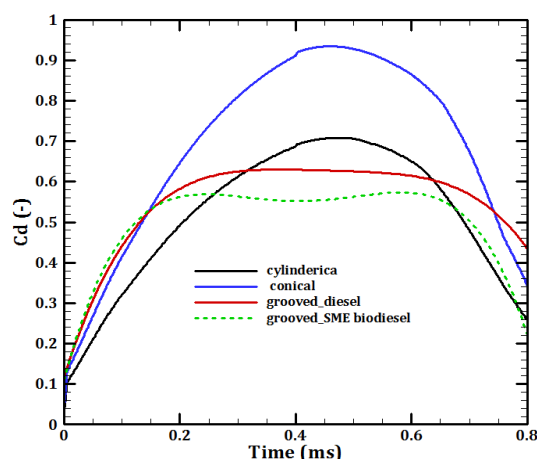
تاثیرگذار هستند، در هر قسمت پرداخته شده است. در شکل ۱۰ شماتیک مشخصه‌های فواره سوخت آورده شده است.



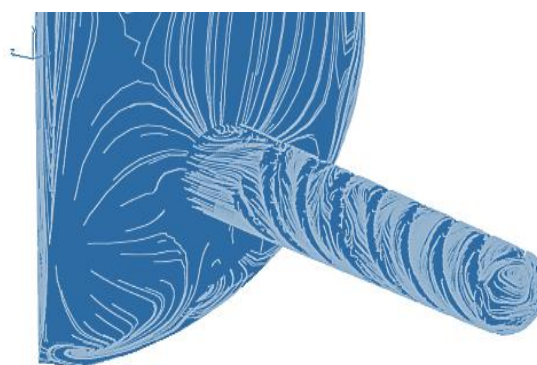
شکل ۱۰. شماتیک مشخصه‌های فواره سوخت

در شکل ۱۱ نمودار مربوط به سرعت متوسط خروجی نازل و در شکل ۱۲ نمودار مربوط به دبی جرمی خروجی در هر حالت مورد نظر آورده شده است. با توجه به این شکل‌ها، ایجاد شیار منجر به افزایش تلفات اصطکاکی جریان سوخت درون نازل شده و در نتیجه آن، سرعت متوسط در خروجی نازل کاهش می‌یابد. همچنین کاهش سرعت متوسط در خروجی نازل منجر به کاهش دبی جرمی خروجی می‌گردد. همچنین در حالت نازل دارای شیار برای سوخت بیودیزل دبی جرمی و سرعت متوسط خروجی نسبت به دیزل کمتر است. دلیل این امر افزایش شدت وقوع کاویتاسیون برای سوخت بیودیزل (متیل استر روغن سویا) به دلیل بیشتر بودن چگالی و لزجت و در نتیجه افزایش افت فشار سوخت مایع درون نازل می‌باشد. با افزایش شدت وقوع کاویتاسیون، مقدار بیشتری از سوخت تبدیل به بخار شده و در نتیجه دبی جرمی خروجی آن کاهش می‌یابد. در شکل ۱۳ نتایج مربوط به طول نفوذ فواره و در شکل ۱۴ نتایج مربوط به قطر متوسط ذرات در هر حالت آورده شده است. چگالی سوخت و سرعت پاشش آن، از مهمترین عوامل موثر بر طول نفوذ فواره می‌باشند. با توجه به رابطه بنیادی اولر و همچنین رابطه تکمیل یافته برنولی، در شرایط یکسان عملکرد افشانه، سوختی که چگالی بیشتری داشته باشد، سرعت کمتری خواهد داشت. با توجه به نتایج شکل‌های ۱۳ و ۱۴، پس از طی مدت‌زمانی از شروع تزریق سوخت به درون محفظه احتراق، سوختی که دارای اندازه قطرات بزرگتری می‌باشد، نیروی پسی

خروجی نازل، ضریب تخلیه کاهش و با کاهش شدت وقوع این پدیده و عدم توسعه یا توسعه کمتر حباب‌های بخار تشکیل شده تا خروجی نازل، ضریب تخلیه افزایش می‌یابد. در واقع وقوع و توسعه کاویتاسیون تا خروجی نازل منجر به کاهش سطح مقطع خروجی نازل گردیده و شدت وقوع کاویتاسیون تاثیر بسزایی بر روی مقدار این ضریب دارد. همچنین خطوط جریان درون سوراخ افشانه در حالت نازل مخروطی همگرا دارای شیار در شکل ۹ آورده شده است. با توجه به این شکل، ایجاد شیار درون افشانه منجر به حرکت چرخشی سوخت درون افشانه شده که تا خروجی آن به سمت محفظه احتراق ادامه دارد.



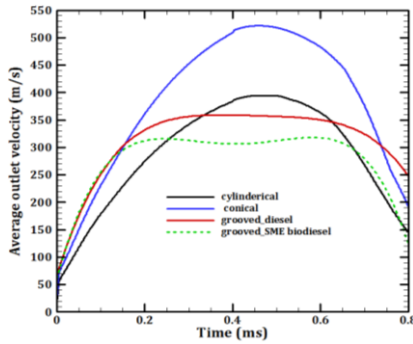
شکل ۸. ضریب تخلیه در خروجی نازل برای حالت‌های مختلف



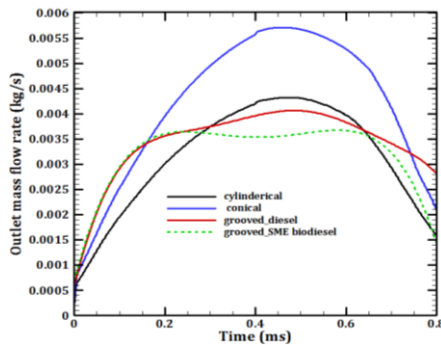
شکل ۹. خطوط جریان درون افشانه با نازل دارای شیار

۵-۲. فواره

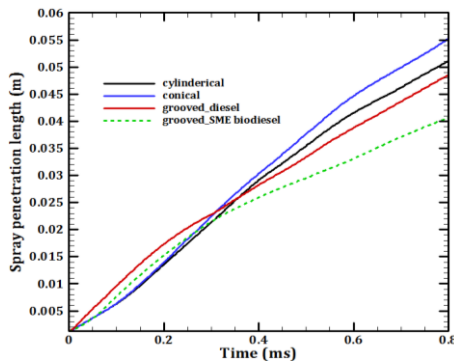
در ادامه به منظور بررسی تاثیر ایجاد شیار بر روی رفتار هیدرودینامیکی فواره سوخت‌های دیزل و بیودیزل، به مقایسه طول نفوذ، قطر متوسط ذرات و زاویه مخروطی فواره که از مهم‌ترین مشخصه‌های فواره سوخت می‌باشند و بر عملکرد موتور دیزل مانند میزان توان تولیدی، آلاینده‌ها و مصرف سوخت ویژه



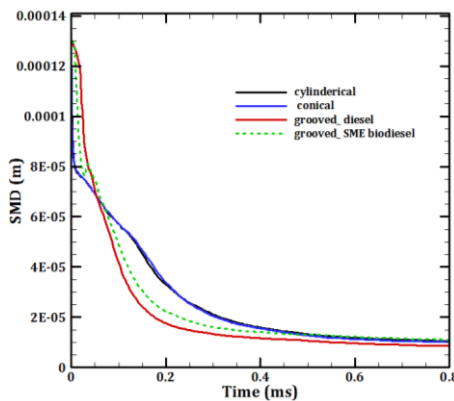
شکل ۱۱. سرعت متوسط در خروجی نازل برای حالت‌های مختلف



شکل ۱۲. دبی جرمی خروجی نازل برای حالت‌های مختلف



شکل ۱۳. طول نفوذ فواره برای حالت‌های مختلف



شکل ۱۴. قطر متوسط ساتر برای حالت‌های مختلف

بیشتری بر آن وارد شده و در نتیجه طول نفوذ آن کاهش می‌یابد. نیروی پسای وارده بر ذرات سوخت به عنوان یک عامل مقاوم برای فواره سوخت محسوب می‌شوند. کشش سطحی عاملی است که منجر به افزایش و یا کاهش قطر ذرات فواره سوخت می‌شود. در این میان متغیری که دارای اهمیت است، عدد بدون بعد وبر است که نسبت نیروی اینرسی به کشش سطحی است و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$We = \frac{\rho_g u_{rel}^2 D_n}{\sigma_l} \quad (31)$$

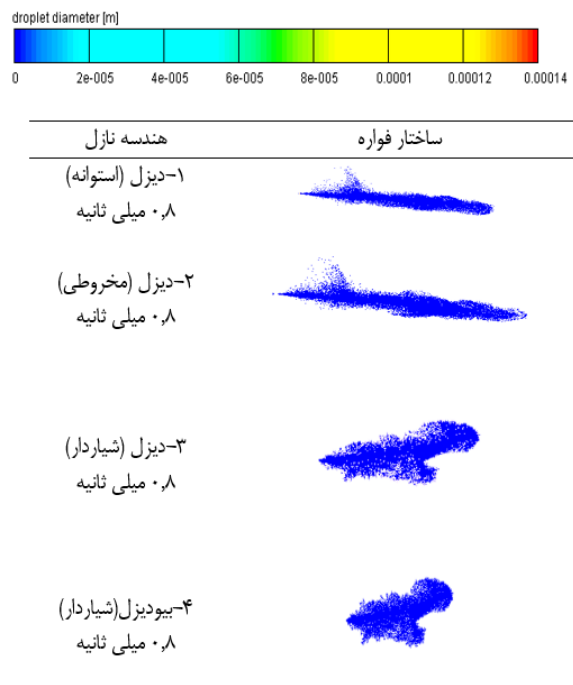
در رابطه فوق، u_{rel} سرعت نسبی بین ذرات فواره و هوای متراکم درون محفظه احتراق می‌باشد. سوخت بیودیزل مورد نظر دارای کشش سطحی بیشتری نسبت به دیزل بوده و در نتیجه آن تمایل کمتری به فروپاشی فواره داشته و لذا در این حالت قطر ریز ذرات آن نسبت به دیزل بیشتر می‌باشد. به دلیل بیشتر بودن قطر ذرات بیودیزل، نیروی پسای وارده بر سوخت در این حالت افزایش یافته و در نتیجه آن طول نفوذ فواره کاهش می‌یابد. در برهم کش سوخت و هوای درون محفظه احتراق، سیالی که سرعت بیشتری داشته باشد، شاهد مقاومت بیشتری از طرف هوای اطراف خواهد بود. سوخت دیزل نیز به دلیل کمتر بودن کشش سطحی، دارای تمایل بیشتری به فروپاشی و تجزیه قطرات سوخت داشته که در این حالت قطر ذرات مورد نظر کاهش یافته است. همچنین سوخت دیزل دارای چگالی کمتری نسبت به بیودیزل می‌باشد و در نتیجه سرعت خروجی آن بیشتر است. با افزایش سرعت در خروجی نازل، طول نفوذ فواره نیز افزایش می‌یابد. به منظور بررسی دقیق تاثیر ایجاد شیار درون نازل افشانه و تغییر نوع سوخت بر روی زاویه مخروطی فواره حاصل، به محاسبه دقیق این زاویه از طریق نرم‌افزار متلب پرداخته شده است. برای تعیین زاویه مخروطی فواره لازم است تا مرز میان هوا و سوخت در محفظه احتراق شبیه‌سازی شده به‌طور دقیق تعیین گردد. بدین منظور ابتدا شکل‌های ظاهری فواره حاصل در زمان‌های مختلف که خروجی نرم‌افزار فایر هستند، به عنوان ورودی به نرم‌افزار متلب داده می‌شوند. سپس به کمک دستور مربوطه شکل ظاهری پاشش به ماتریس شدت نور تبدیل شده که با بررسی داده‌های این ماتریس می‌توان مرز بین سوخت و هوا را مشخص کرد. در ادامه با کمک شکل ظاهری فواره سوخت، زوایای مخروطی حاصل را می‌توان به شکل دقیق محاسبه کرد.

با توجه به این شکل، فواره سوخت بیودیزل نسبت به دیزل در حالت نازل دارای شیار، دارای زاویه مخروطی بیشتری می‌باشد. دلیل این امر بیشتر بودن شدت وقوع کاویتاسیون برای سوخت بیودیزل نسبت به دیزل می‌باشد. با افزایش شدت وقوع کاویتاسیون، بخارات تولید شده با آزادی بیشتری از قطرات مایع مشابه حرکت می‌کنند که در این حالت منجر به افزایش زاویه مخروطی فواره بیودیزل می‌گردد. در این حالت زاویه مخروطی فواره برای سوخت بیودیزل نسبت به دیزل در حالت شیاردار، ۷/۸۳ درصد افزایش یافته و نسبت به حالت استوانه‌ی مخروطی همگرا، بیش از دو برابر شده است.

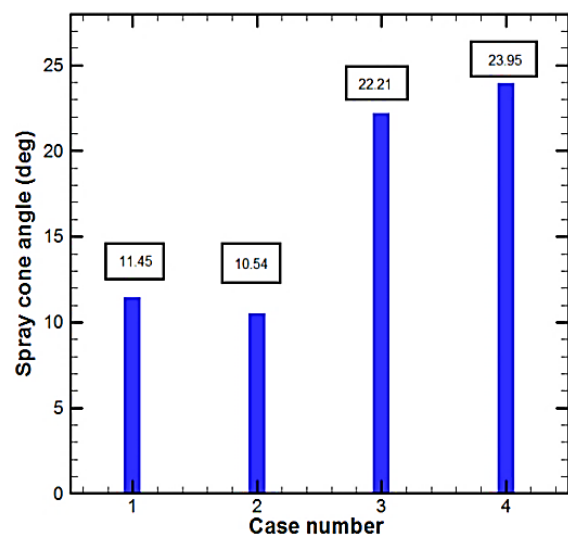
۶. نتیجه‌گیری

در مقاله حاضر، در دو مرحله به بررسی تاثیر ایجاد شیار درون نازل افشانه بر روی جریان داخلی سوخت مایع و رفتار هیدرودینامیکی فواره سوخت‌های دیزل و بیودیزل (متیل استر روغن سویا) پرداخته شده است. همچنین نتایج عددی با داده‌های تجربی در مقالات پیشین اعتبار سنجی شده و تطابق خوبی بین آن‌ها مشاهده گردید. بدین منظور در ادامه به منظور بهبود مشخصات فواره و ایجاد جریان چرخشی و افزایش شدت توربولانسی درون محفظه احتراق به ایجاد شیار با مشخصات معلوم برای سوخت‌های مورد نظر پرداخته شده است. نتایج عددی حاصل نشان می‌دهند که کاویتاسیون برای سوخت بیودیزل نسبت به دیزل اندکی بیشتر می‌باشد که دلیل آن افت فشار بالاتر به دلیل بیشتر بودن لزجت و چگالی بیودیزل می‌باشد. در بررسی مشخصات فواره حاصل مشخص گردید که استفاده از شیار برای سوخت زیستی مورد نظر منجر به افزایش زاویه مخروطی فواره، کاهش طول نفوذ و کیفیت پودرسازی آن نسبت به دیزل می‌گردد. کاهش طول نفوذ فواره و کیفیت پودرسازی بیودیزل به دلیل بیشتر بودن کشش سطحی آن می‌باشد. با توجه به محدودیت منابع سوخت‌های فسیلی و آلاینده‌ی و مشکلات آن‌ها و همچنین شباهت این سوخت‌ها به نوع فسیلی آن‌ها و سازگاری با موتورهای دیزل موجود، استفاده از سوخت‌های زیستی الزامی به نظر می‌رسد. بنابراین هندسه و مشخصات شیارهای ایجادشده تاثیر مهمی بر خواص فواره سوخت و کیفیت پودرسازی آن دارند و خواص فواره سوخت‌های زیستی جایگزین دیزل از طریق تغییر مشخصات شیار ایجادشده قابل کنترل می‌باشند.

نتایج مربوط به ساختار فواره محاسبه‌شده درون محفظه احتراق استوانه‌ای حجم ثابت در هر حالت در مدت زمان انتهایی پاشش در شکل ۱۵ آورده شده است. با توجه به این شکل، با ایجاد شیار درون نازل افشانه و ایجاد جریان چرخشی درون آن، زاویه مخروطی فواره افزایش می‌یابد. نتایج مربوط به اندازه‌گیری زاویه مخروطی فواره با کمک نرم افزار متلب در هر حالت در مدت‌زمان انتهایی پاشش در شکل ۱۶ آورده شده است.



شکل ۱۵. ساختار فواره محاسبه شده در محفظه احتراق در مدت زمان انتهایی پاشش



شکل ۱۶. زوایای مخروطی محاسبه شده برای فواره در هر حالت

۷. مأخذ

- [1] J. B. Heywood, Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill, Inc., New York, 1998.
- [2] S. M. Sapuan, H. H. Masjuki, and A. Azlan, The use of palm oil as diesel fuel substitute. *Proc Inst Mech Engrs Part A J Power Energy*, Vol. 210, pp. 47-53, 1996.
- [3] S. Murillo, J. Miguez, L. J. Porteiro, E. Granada, and J. C. Moran, Performance and exhaust emissions in the use of biodiesel in outboard diesel engines. *Fuel*, Vol. 86, pp.1765-1771, 2007.
- [4] B. Ghobadian, H. Rahimi, A. M. Nikbakht, G. Najafi, and T. F. Yusaf, Diesel engine performance and exhaust emission analysis using waste cooking biodiesel fuel with an artificial neural network. *Renewable Energy*, Vol. 34, pp.976-982, 2009.
- [5] M. Graboski, and R. McCormick, Combustion of fatand vegetable oil derived fuels in diesel engines. *Progressin Energy and Combustion Science*, Vol. 24, pp.125-164, 1999.
- [6] M. Battistoni, C. N. Grimaldi, Numerical analysis of injector flow and spray characteristics from diesel injectors using fossil and biodiesel fuels, *Applied Energy*, Vol. 97, No. 1, pp. 656-666, 2012.
- [7] R. Payri, J. M. Desantes, F. J. Salvador, J. Manin, Influence on diesel injection characteristics and behavior using biodiesel fuels, *SAE paper 2009-01-0851*; 2009.
- [8] L. Allocca, E. Mancaruso, A. Montanaro, B. M. Vaglieco, A. Vassallo, Renewable biodiesel/reference diesel fuel mixtures distribution in non-evaporating and evaporating conditions for diesel engines. *SAE paper 2009-24-0054*; 2009.
- [9] C.N. Grimaldi, L. Postrioti, Experimental comparison between conventional and bio-derived fuels sprays from a common rail injection system. *SAE paper 2000-01-1252*, 2000.
- [10] H. K. Suh, S.W. Park, and C. S. Lee, Atomization characteristics of di-methyl ether fuel as an alternative fuel injected through a common-rail injection system, *Energy and Fuels*, Vol. 20, pp. 1471-1481, 2006.
- [11] L. Postrioti, C. N. Grimaldi, M. Ceccobello, and R. Di Gioia, Diesel common rail injection system behavior with different fuels. *SAE paper 2004-01-0029*; 2004.
- [12] S. Som, A. L. Ramirez, D.E. Longman, and S.K. Aggarwal, Effect of nozzle orifice geometry on spray, combustion, and emission characteristics under diesel engineconditions, *Fuel*, Vol. 90, pp.1267-1276, 2011.
- [13] C. Arcoumanis, C. B. Crookes, and E. Kinoshita, The potential of di-methyl ether (DME) as an alternative fuel for compression-ignition engines: A review, *Fuel*, pp. 1014-1030, 2008.
- [14] M. Jabbarzade, P. Jabbarzadeh, M. T. Shervanitar, Numerical comparison of physical conditions effect on spray behavior of di-methyl ether, biodiesel and diesel fuels, *Journal of engine research*, Vol. 35, pp. 17-29, 2014. (in Persian)
- [15] Avl List GmbH. AVL Fire v. 2013, *CFD solver, Eulerian multiphase*, 2013.
- [16] W. Edelbauer, Coupling of 3D Eulerian and Lagrangian Spray Approaches in Industrial Combustion Engine Simulations, *Journal of Energy and Power Engineering*, Vol. 8, No. 1, pp. 190-200, 2014.
- [17] Avl List GmbH. AVL Fire v. 2013, *CFD solver, Spray*, 2013.
- [18] H. Mohammadi, P. Jabbarzadeh, M. Jabbarzadeh, M. T. Shrevani-Tabar, Numerical investigation on the hydrodynamics of the internal flow and spray behavior of diesel fuel in a conical nozzle orifice with the spiral rifling likeguides, *Fuel*, Vol. 196, No. 5, pp. 419-430, 2017.
- [19] A. H. Farajollahi, R. Firuzi, M. Pourseifi, A. Mardani, M. Rostami, Numerical investigation of the effect of swirl and needle lift profile change on the diesel fuel spray behavior, *Journal of engine research*, Vol. 54, pp. 25-38, 2019. (in Persian)
- [20] H. Fujimoto, T. Mishikori, T. Tsumakoto, J.Senda, Modeling of atomization and vaporization process in flash boiling spray, *ICLASS-94 Conference*, France, 1994.
- [21] R. H. Perry, and D. W. Green, Perry's chemical engineer's handbook, *McGraw-Hill*, 1997.
- [22] W. Yuan, A. C. Hansen, and Q. Zhang, Vapor pressure and normal boiling point predictions for pure methyl esters and biodiesel fuels, *Fuel*, Vol. 84, pp. 943-950, 2005.
- [23] W. Yuan, A. C. Hansen, and Q. Zhang, Predicting the temperature dependent viscosity of biodiesel fuels. *Fuel*, Vol. 88, pp. 1120-1126, 2009.
- [24] C. A. W. Allen, K. C. Watts, R. G. Ackmanb, Predicting the surface tension of biodiesel fuels from their fatty acid composition. *J Am Oil Chem Soc*, Vol. 76, pp. 317-323, 1999.

پی‌نوشت

-
1. AVL_Fire
 2. Dukowicz
 3. Nordin