بررسی عددی تاثیر تغییر هندسه نازل و پروفیل جابجایی سوزن روی جریان کاویتاسیون و کارایی انژکتور موتور دیزل دریایی

امیرحمزه فرج‌الهی[1*]، رضا فیروزی[2]

[1]استادیار، مهندسی هوافضا، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه امام علی (ع)،a.farajollahi@sharif.edu
[2]دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، rezafiruzi@edu.ikiu.ac.ir

اطلاعات مقاله

تاریخچه مقاله:
تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۱/۳۰
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۵/۳۰

کلمات کلیدی:
موتورهای دیزل دریایی
نازل انژکتور دیزل
پروفیل جابجایی سوزن
طول نفوذ فواره
قطر متوسط ساتر

چکیده

در این پژوهش به بررسی رفتار جریان کاویتاسیون و پاشش سوخت دیزل در یک محفظه احتراق حجم ثابت برای هندسه‌های سوراخ نازل و پروفیل‌های جابجایی سوزن متفاوت به‌منظور بهبود خواص فواره سوخت و عملکرد موتور دیزل دریایی با کمک نرم‌افزار فایر پرداخته شده است. بنابراین ابتدا جریان سوخت درون انژکتور دارای سوراخ نازل استوانه‌ای، مخروطی همگرا و واگرا با جابجایی سوزن حالت پایه شبیه‌سازی شده و در ادامه از پروفیل‌های جابجایی متفاوت در نازل‌های مخروطی همگرا و واگرا استفاده شده است. نتایج عددی نشان می‌دهند که افزایش قطر و شعاع منحنی ورودی سوراخ نازل و مدت‌زمان بازبودن سوزن انژکتور سبب افزایش جرم سوخت پاشش‌شده و بخارشده و همچنین افزایش طول نفوذ فواره می‌شوند. با افزایش میزان جرم تبخیرشده، قطر متوسط ساتر نیز کاهش می‌یابد. بنابراین خصوصیات فواره سوخت با تغییر هندسه نازل و پروفیل جابجایی سوزن می‌توانند کنترل شوند. نتایج عددی و داده‌های تجربی از تحقیقات پیشین اعتبارسنجی شده‌اند.

Numerical investigation on the effect of nozzle geometry and needle lift profile on the cavitation flow and efficiency of the marine diesel engine injector

Amir Hamzeh Farajollahi[1*], Reza Firuzi[2]

[1]Mechanical Engineering Department, Imam Ali University;a.farajollahi@sharif.edu
[2]Mechanical Engineering Department, Imam Khomeini International University; rezafiruzi@edu.ikiu.ac.ir

ARTICLE INFO

Article History:
Received: 18 Apr. 2020
Accepted: 20 Aug. 2020

Keywords:
Marine Diesel Engines
Diesel Injector Nozzle
Needle Lift Profile
Spray Penetration length
Sauter Mean Diameter (SMD)

ABSTRACT

In this study, spray behavior of the cavitation flow and the diesel fuel in a fixed volume combustion chamber for different nozzle hole geometries and needle lift profiles has been investigated using Fire software in order to improve the fuel spray characteristics and marine diesel engine performance. Thus, Firstly fuel flow inside the injector with cylindrical, convergent and divergent conical nozzle holes have been simulated with the base needle lift and then in the following, different needle lift profiles have been used in converged and diverged conical nozzles. Numerical results show that increasing the nozzle hole diameter and rounding edge and duration of needle opening lead to increase the injected and evaporated fuel mass and spray penetration length. With the increase in the amount of evaporated mass,SMD is decreasing. Thus spray characteristics can be controlled by varying the nozzle geometry and needle lift profile. Numerical results and experimental data was validated from previous researches.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.32.8.9]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.32.47]

۱- مقدمه

موتورهای دیزل به دلیل بالاتر بودن نسبت تراکم، توان و گشتاور تولیدی و همچنین مصرف سوخت کمتر نسبت به سایر موتورهای احتراق داخلی در صنایع دریایی کاربرد گسترده‌ای دارند. از جمله کاربرد این نوع موتورها می‌توان به کشتی‌های تجاری، گردشگری و انواع شناورهای سطحی و زیرسطحی اشاره کرد. امروزه بیشتر از ۸۰ درصد تجارت جهانی از طریق دریا انجام می‌شود. همین امر باعث شده است که سهم مصرف سوخت در این بخش بسیار قابل توجه بوده و بیش از ۳ درصد تولید دی اکسید کربن در جهان توسط کشتی‌ها صورت می‌گیرد. با توجه به کاربری روزافزون موتورهای دیزل دریایی و مشکلات ناشی از محدود بودن منابع سوخت‌های فسیلی و آلایندگی آن‌ها، تلاش برای کاهش آلاینده‌ها و بهینه‌سازی مصرف سوخت حائز اهمیت و الزامی می‌باشد. فرآیند احتراق در موتورهای دیزل دریایی به شدت وابسته به مشخصه‌های پاشش سوخت و پدیده اتمیزاسیون جهت افزایش نرخ تبخیر و اختلاط سوخت و هوا می‌باشد. عوامل فشار پاشش سوخت، زمان شروع، نرخ پاشش، هندسه سوراخ نازل و شرایط محیط داخل سیلندر و همچنین نوع سوخت و دمای آن تاثیر زیادی بر نرخ اختلاط، احتراق و میزان آلاینده‌های خروجی موتور دیزل دارند [۱]. جریان درون نازل می‌تواند توسط دینامیک، هیدرودینامیک و فاکتورهای هندسی که به‌صورت گسترده در ترم‌های فشار تزریق، جریان دوفازی سوخت مایع درون نازل، پروفیل جابجایی سوزن و هندسه اریفیس مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، کنترل شود[۲ و۳]. رفتار هیدرودینامیک جریان سوخت مایع میان گذرگاه درونی نازل شامل وقوع پدیده کاویتاسیون و آشفتگی می‌تواند اتمیزاسیون فواره سوخت دیزل را بهبود بخشیده [۴و۵ و۶] و زاویه مخروطی آن را افزایش دهد [۷ و ۸]. مشخصات فواره سوخت دیزل می‌توانند بر روی عملکرد موتور دیزل دریایی مانند توان، گشتاور، مصرف سوخت ویژه و راندمان آن و همچنین آلایندگی ناشی از احتراق سوخت تاثیرگذار باشند.

۱-۱ پیشینه تحقیق

در مطالعات گذشته مشخصات جریان سوخت مایع درون انژکتور و مشخصات فواره برای شرایط مختلف عملکردی انژکتور و وقوع پدیده کاویتاسیون به‌صورت تجربی و عددی مورد بررسی قرار گرفته است.

سهرابی و همکاران [۹] به بررسی تاثیر تعداد سوراخ‌های نازل بر جریان داخل نازل وپدیده کاویتاسیون پرداختند. بدین منظور تعداد سوراخ‌های انژکتور را از ۲ تا ۸ تغییر دادند. نتایج نشان داد که با افزایش تعداد سوراخ‌های انژکتور، ساختار و قدرت جریان‌های گردابه‌ای درون کیسه و سوراخ‌های آن به شدت تغییر می‌کند. از نقطه نظر مشخصه‌های جریان داخل انژکتور، با افزایش تعداد سوراخ‌ها، کاهش سرعت تزریق و شار جرمی جریان موجب افزایش شدت کاویتاسیون می‌شود. همچنین ضریب تخلیه و سطح مقطع موثر حاصل کاهش می‌یابد.

اکبری و عزیزی[۱۰] به بررسی عددی تاثیر پدیده کاویتاسیون روی رفتار فواره سوخت دیزل از قبیل طول نفوذ و قطر متوسط ذرات پرداختند. آن‌ها برای ایجاد پدیده کاویتاسیون از دو انژکتور مشابه با سطح مقطع ورودی نازل متفاوت که این کار با تغییر محل نازل روی بدنه انژکتور انجام شد، استفاده کردند. نتایج نشان داد که با قرار دادن نازل در قسمت پایین‌تر کیسه انژکتور میزان کسرحجمی فازبخار افزایش یافته و رشد پدیده کاویتاسیون بیشتر می‌شود. همچنین نتایج شبیه‌سازی فواره نشان داد که طول نفوذ برای سوراخ نازلی که در قسمت پایین‌تر قرار دارد افزایش پیدا می‌کند، ولی تغییر قابل توجهی در اندازه قطرات فواره برای هر دو انژکتور دیده نمی‌شود. برگ استراند [۱۱] ۵ نوع نازل با شکل‌های مختلف را بررسی نمود. نتایج نشان داد که نازل مخروطی همگرا به‌طور کلی دوده و گاز نیتروژن اکسید خروجی و مصرف سوخت کمتری نسبت به نازل استوانه‌ای دارد و نازل با قطر کوچک‌تر دوده کمتری نسبت به نازل با قطر بزرگ‌تر تولید می‌کند.

دسانتس و همکاران [۱۲] از یک روش ویژه برای مشاهده ۱/۵ میلی-متر اول فواره سوخت دیزل به‌منظور آزمودن رابطه بین پدیده کاویتاسیون درون نازل و رفتار فواره حاصل پرداختند. بدین منظور به بررسی یک نازل متقارن دیزل پرداختند. نتایج حاصل حاکی از افزایش قابل توجه زاویه مخروطی و بی‌نظمی‌های کانتور فواره به دلیل وجود حباب‌های کاویتاسیون در خروجی اریفیس بود.

شروانی‌تبار و همکاران [۱۳] به بررسی تاثیر نسبت شعاع منحنی ورودی نازل به قطر آن را بر روی پدیده کاویتاسیون پرداختند. آن‌ها گزارش دادند که افزایش این نسبت منجر به کاهش ترکیدن حباب-های کاویتاسیون می‌شود و این باعث افزایش قطر متوسط ذرات می-شود.

پایری و همکاران [۱۴] به بررسی تاثیر پروفیل جابجایی سوزن انژکتور بر روی رفتار فواره سوخت دیزل به‌صورت تجربی پرداختند. بدین منظور آن‌ها از سه پروفیل مربعی، رمپ و بوت استفاده کردند. نتایج حاصل نشان داد که طول نفوذ سوخت پاشش‌شده در حالت مربعی بیشتر از دو حالت دیگر می‌باشد.

شوگر و همکاران [۱۵] به انجام مطالعات تجربی بر روی نازل با هندسه‌های ورودی مختلف پرداختند. نتایج نشان داد که لبه‌های تیز ورودی نسبت به لبه‌های انحنادار منجر به ایجاد کاویتاسیون بیشتری شده و زاویه مخروطی فواره حاصل را افزایش می‌دهند.

پایری و همکاران [۱۶] در یک بررسی تجربی با کمک ابزار اندازه-گیری پیشرفته به مطالعه رفتار تانژانت زاویه مخروطی فواره با عدد

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.32.8.9]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.32.47]

کاویتاسیون پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که با ایجاد پدیده کاویتاسیون این زاویه قابل توجه می‌شود. با ایجاد پدیده کاویتاسیون در سوراخ نازل انژکتور، سرعت جریان در ورودی محفظه احتراق و زاویه مخروطی افزایش می‌یابد و منجر به ایجاد مخلوط سوخت و هوای بهتری می‌شود.

هیونکیو و همکاران [۱۷] به بررسی تاثیرات پدیده کاویتاسیون بر روی اتمیزاسیون سوخت دیزل پرداختند. نتایج نشان داد در حالتی که ضریب تخلیه در یک محدوده مشخصی باشد، کاویتاسیون به ازای مقادیر مختلف نسبت طول به قطر ($\frac{L}{D}$) ظاهر شده و به ازای مقادیر کوچک‌تر این نسبت، توسعه خواهد یافت و منجر به فروپاشی بهتر می‌شود.

مرور مقالات گذشته نشان می‌دهد که مطالعات زیادی بر روی انژکتور و خصوصیات فواره آن در حالت‌های مختلف انجام شده است ولی تاکنون تاثیر تغییر همزمان هندسه سوراخ نازل و پروفیل جابجایی سوزن بر روی وقوع پدیده کاویتاسیون و مشخصات فواره سوخت دیزل در انژکتور موتور دیزل دریایی انجام نشده است که این هدف و نوآوری کار حاضر می‌باشد.لازم به ذکر است که طول نفوذ فواره سوخت یکی از خصوصیات ماکروسکوپیک و قطر متوسط ساتر خصوصیت میکروسکوپیک فواره سوخت می‌باشند.

۲- معادلات حاکم

۲-۱ معادلات حاکم بر شبیه‌سازی انژکتور

پدیده جوشش سیال در اثر ایجاد افت فشار به‌طوری‌که فشار سیال به فشار بخار آن نزدیک گردد، کاویتاسیون یا حفره زایی نامیده می‌شود. از مهم‌ترین 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 انژکتور، پروفیل جابجایی سوزن، نوع سوخت و دمای آن از عوامل مهم در ایجاد کاویتاسیون سوخت مایع محسوب می‌شوند. با وقوع کاویتاسیون درون سوراخ نازل انژکتور، حباب‌های بخار در نواحی دارای فشار پایین‌تر از فشار بخار تشکیل شده و در نواحی دارای فشار بالاتر می‌ترکند. اختلاف فشار بالا مابین ابتدا و انتهای اریفیس انژکتور علاوه بر مشخصات هندسی نازل انژکتور که سرعت جریان را در خروجی نازل افزایش می‌دهد، منجر به داشتن فشار دینامیکی بالاتر و فشار استاتیکی پایین‌تر در جریان داخلی نازل شده و در نهایت باعث رشد کاویتاسیون می‌گردد [۱۰]. برای شبیه‌سازی جریان چند فازی و گذرا درون انژکتور از مدل اویلر- اویلر استفاده می‌شود.

معادلات حاکم بر شبیه سازی جریان درون انژکتور شامل معادلات بقای جرم، مومنتوم و انرژی جنبشی آشفتگی می‌باشند. با توجه به فرض همدما بودن از آوردن و حل معادله انرژی صرف نظر شده است.

معادله بقای جرم

$$\frac{\partial \alpha_k \rho_k}{\partial t} + \nabla.\alpha_k \rho_k v_k = \sum_{l=1,k\neq l}^{N} \Gamma_{kl}, \quad k=1,...,N \qquad (۱)$$

که در آن، α_k کسر حجمی فاز k ، v_kسرعت فاز k و Γ_{kl} بیانگر تبادل جرمی بین دو فازk و l می‌باشد. همچنین شرط سازگاری نیز بایستی صدق کند[۱۹].

$$\sum_{k=1}^{N} \alpha_k = 1 \qquad (۲)$$

معادله بقای مومنتوم

$$\frac{\partial \alpha_k \rho_k v_k}{\partial t} + \nabla.\alpha_k \rho_k v_k = -\alpha_k \nabla p + \nabla.\alpha_k (\vec{\tau}_k + \vec{T}^t_k) + \alpha_k \rho_k \vec{f} + \sum_{l=1,k\neq l}^{N} M_{kl} + v_k \sum_{l=1,k\neq l}^{N} \Gamma_{kl}, \quad k=1,...,N \qquad (۳)$$

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

معادله انرژی جنبشی آشفتگی

$$\frac{\partial \alpha_k \rho_k K_k}{\partial t} + \nabla.\alpha_k \rho_k v_k K_k = \nabla.\alpha_k (\mu_k + \frac{\mu^t_k}{\sigma_k}) \nabla K_k + \alpha_k p_k - \alpha_k \rho_k \varepsilon_k + \sum_{l=1,k\neq l}^{N} K_{kl} + K_k \sum_{l=1,k\neq l}^{N} \Gamma_{kl}, \quad k=1,...,N \qquad (۴)$$

۲-۲معادلات حاکم بر شبیه‌سازی اندرکنش بین حالتی

معادلات حاکم بر شبیه سازی اندرکنش بین حالتی شامل معادلات تبادل جرم و تبادل مومنتوم بین دو حالت می‌باشند.

۲-۲-۱ تبادل بین حالتی جرم

معادلات حاکم بر شبیه سازی اندرکنش بین حالتی شامل معادلات تبادل جرم و تبادل مومنتوم بین دو حالت می‌باشند.

تبادل جرم بین دو حالت مایع و بخار با مدل کاویتاسیونی خطی مدل شده است. معادله حاکم به‌صورت زیر می‌باشد[۱۹]:

$$\Gamma_c = \rho_d N''' 4\pi R^2 \dot{R} = -\Gamma_d \qquad (۵)$$

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

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.32.8.9]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.32.47]

$$R\ddot{R} + \frac{3}{2}\dot{R}^2 = \frac{\Delta p}{\rho_c} \qquad (۶)$$

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 به‌صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$N''' = \begin{cases} N_0''' & \alpha_d \le 0.5 \\ 2(N_0''' - 1)(1-\alpha_d) + 1 & \alpha_d > 0.5 \end{cases} \qquad (۷)$$

N_0''' چگالی عددی اولیه حباب می‌باشد که به مشخصات فاز مایع وابسته است و برای سوخت دیزل که اکثرا مورد استفاده قرار می‌گیرد برابر 10^{12} می‌باشد[۱۸].

۲-۲-۲ تبادل بین حالتی مومنتوم

تبادل مومنتوم بین دوحالت مایع و بخار با در نظر گرفتن تاثیر نیروهای پسا و پخش آشفتگی به‌صورت زیر محاسبه می‌شود[۱۹]:

$$M_c = \frac{1}{8} C_D \rho_c A_i''' |v_r| v_r + C_{TD} \rho_c k_c \nabla \alpha_d = -M_d \qquad (۸)$$

C_D ضریب پسا، v_r سرعت نسبی بین دو حالت مایع و بخار، C_{TD} ضریب پخش آشفتگی و K انرژی جنبشی آشفتگی می‌باشد. A''' بیانگر چگالی سطح مشترک بین دو حالت می‌باشد و برای مدل کاویتاسیونی پسا به‌صورت زیر محاسبه می‌شود[۱۹]:

$$A_i''' = \pi D_b^2 N''' = (36\pi N''')^{\frac{1}{3}} \alpha_d^{\frac{2}{3}} \qquad (۹)$$

۲-۳ معادلات حاکم بر شبیه‌سازی فواره سوخت

در شبیه‌سازی فواره، هر دو رویکرد اویلری[۱] و لاگرانژی[۲] 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 [۲۰]. در رابطه با فاز مایع، امروزه عملا 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، مومنتوم، 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 [۲۱]. معادلات حاکم به‌صورت زیر می‌باشند[۲۱]:

معادله بقای مومنتوم

$$m_d \frac{du_{id}}{dt} = F_{idr} + F_{ig} + F_{ip} + F_{ib} \qquad (۱۰)$$

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

$$F_{idr} = \frac{1}{2} \rho_g A_d C_d |u_{rel}| u_{irel} \qquad (۱۱)$$

در معادله (۱۴)، تمامی نیروهای سطحی و بدنی روی قطره افشانه 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 افشانه (شامل مولفه‌های فشار و ویسکوز) برای فروپاشی اولیه و ثانویه افشانه سوخت مایع لحاظ شده است [۱۲].

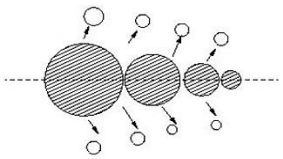
شتاب قطره در محیط گازی نیز به‌صورت زیر می‌باشد[۲۱]:

$$\frac{du_{id}}{dt} = \frac{3}{4} C_D \frac{\rho_g}{\rho_d} \frac{1}{D_d} |u_g - u_d| (u_{ig} - u_{id}) + (1 - \frac{\rho_g}{\rho_d}) g_i \qquad (۱۲)$$

زیرمدل استفاده شده برای مدل‌سازی برخورد و انعقاد قطرات، مدل نوردین که پیشرفته‌ترین مدل موجود در نرم‌افزار فایر می‌باشد، استفاده شده است. اصلی‌ترین مزیت این مدل نسبت به مدل اورکه عدم وابستگی به اندازه شبکه می‌باشد[۲۱]. مدل مورد استفاده برای تبخیر سوخت مدل دوکوویچ و مدل مورد استفاده در فروپاشی اولیه فواره سوخت مدل تزریق گلوله می‌باشد. شماتیک مدل مورد استفاده در شکل ۱ آورده شده است. در این مدل مشخصه‌ی 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[۲۱]:

$$\left(\frac{dr}{dt}\right)_a = R_a = -\frac{(r - r_a)}{C_2 . \tau_a} \qquad (۱۳)$$

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



شکل ۱- شماتیک مدل تزریق گلوله در فروپاشی اولیه[۲۱]

زیرمدل استفاده شده برای فروپاشی ثانویه فواره سوخت، مدل موج می‌باشد. در این مدل نرخ کاهش شعاع قطره نسبت به زمان به‌صورت زیر ارائه می‌شود[۲۱]:

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.32.8.9]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.32.47]

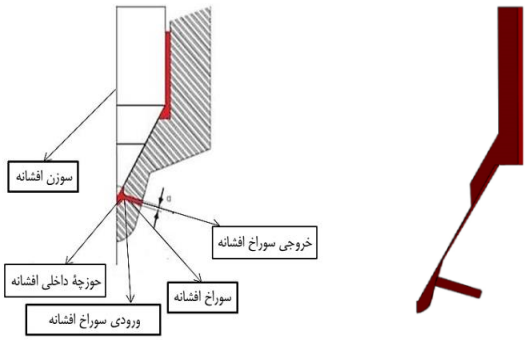
$$\frac{dr}{dt} = -\frac{(r - r_{stable})}{\tau_a} \quad (۱۴)$$

که در آن، τ_a زمان فروپاشی مدل می‌باشد.

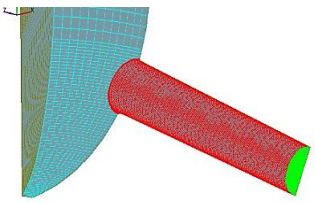
۳- محاسبات عددی

۳-۱ انژکتور

انژکتور مورد استفاده، انژکتور موتور دیزل دریایی پنج سوراخه می‌باشد که در آن سوراخ‌ها با فاصله یکسانی از هم قرار گرفته‌اند. به‌منظور افزایش دقت و کاهش مدت زمان محاسبات عددی با توجه به شرط مرزی متقارن انژکتور، در سوراخ نازل‌های استوانه‌ای و مخروطی شبیه سازی تنها یک دهم از کل هند سه انژکتور صورت گرفته است. هندسه انژکتور و نامگذاری قسمت‌های مختلف آن در شکل ۲ نشان داده شده است. شبکه‌بندی انژکتور در نزدیکی سوراخ نازل به صورت شکل ۳ می‌باشد که با کمک نرم‌افزار ای وی ال فایر انجام شده است. با توجه به این شکل، به دلیل تغییرات زیاد جریان در ورودی سوراخ، در این ناحیه از شبکه بندی ریزتری استفاده شده است.



شکل ۲- هندسه انژکتور و نامگذاری قسمت‌های مختلف آن

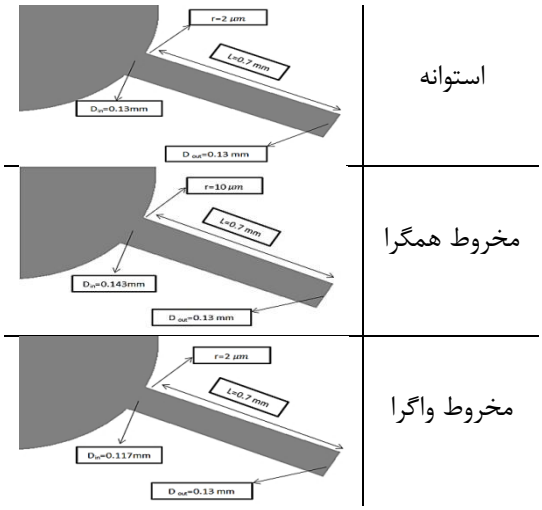


شکل ۳- شبکه‌بندی انژکتور در نزدیکی سوراخ نازل

به‌منظور بررسی تاثیر هندسه نازل انژکتور و پروفیل جابجایی سوزن بر ایجاد پدیده کاویتاسیون و مشخصات فواره از سه سوراخ نازل استوانه‌ای، مخروطی همگرا و واگرا و دو پروفیل متفاوت استفاده شده است. پروفیل جابجایی سوزن در حالت پایه به صورت مثلثی می‌باشد که از محاسبات هیدرولیک یک بعدی به دست آمده است. سپس در ادامه به منظور بررسی شیب نمودار جابجایی سوزن (سرعت حرکت سوزن در زمان باز و بسته شدن آن) و همچنین افزایش مدت‌زمان بازبودن سوزن انژکتور بر روی شدت وقوع کاویتاسیون و رفتار هیدرودینامیکی فواره سوخت دیزل و همچنین میزان جرم تزریق شده درون محفظه احتراق که بر روی عملکرد موتور دیزل و آلایندگی نا شی از آن نیز می‌تواند تاثیرگذار با شد، از پروفیل‌های ارائه شده استفاده شده است. در سوراخ نازل مخروطی همگرا در یک انژکتور، ضریب k به‌صورت زیر تعریف می‌شود[۲۲]:

$$k - factor = \frac{D_{in}[\mu m] - D_{out}[\mu m]}{10[\mu m]} \quad (۱۵)$$

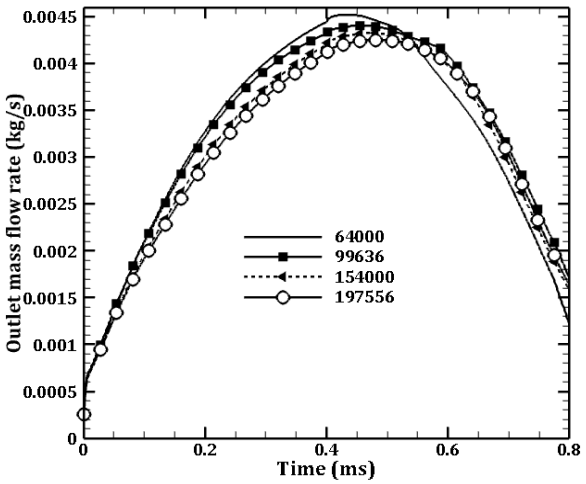
که در آن، D_{in} قطر ورودی و D_{out} قطر خروجی سطح مقطع دایروی نازل انژکتور می‌باشد. معمولا در کاربردهای مربوط به صنعت حمل و نقل، این ضریب بین اعداد ۱/۱ تا ۲ می‌باشد [۲۳]. هر سه سوراخ نازل مورد استفاده در این مقاله دارای طول یکسان ۰/۷ میلی‌متر و همچنین قطر خروجی یکسان ۰/۱۳ میلی‌متر می‌باشند. قطر ورودی سوراخ نازل مخروطی واگرا ۰/۱۱۷ میلی‌متر است. همچنین سوراخ نازل‌های استوانه‌ای و مخروطی واگرا دارای شعاع منحنی ورودی ۲ میکرومتر و سوراخ نازل مخروطی همگرا دارای شعاع منحنی ورودی ۱۰ میکرومتر می‌باشند. ضریب k مربوط به سوراخ نازل مخروطی همگرا نیز برابر ۱/۳ می‌باشد. هندسه سوراخ نازل‌های استوانه‌ای، مخروطی همگرا و واگرا در شکل ۴ آورده شده است. لازم به‌ذکر است که در این شکل L طول نازل، r شعاع منحنی وردی سوراخ نازل، D_{in} قطر ورودی سوراخ نازل و D_{out} قطر خروجی آن می‌باشد.



شکل ۴- هندسه و ابعاد سوراخ‌های نازل مورد استفاده درشبیه‌سازی

برای بررسی استقلال حل از شبکه، به مطالعه تاثیر اندازه شبکه بر دبی جرمی جریان سوخت خروجی از نازل انژکتور دارای هندسه‌های نازل مختلف پرداخته شده است. با توجه به شکل ۵ در سوراخ نازل-های استوانه‌ای و مخروطی در تعداد سلول ۱۵۴۰۰۰ دبی جرمی جریان سوخت خروجی انژکتور به مقدار نسبتا یکنواختی می‌رسد. لذا از این تعداد سلول محاسباتی برای حل جریان داخل انژکتور استفاده شده است.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.32.8.9]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.32.47]

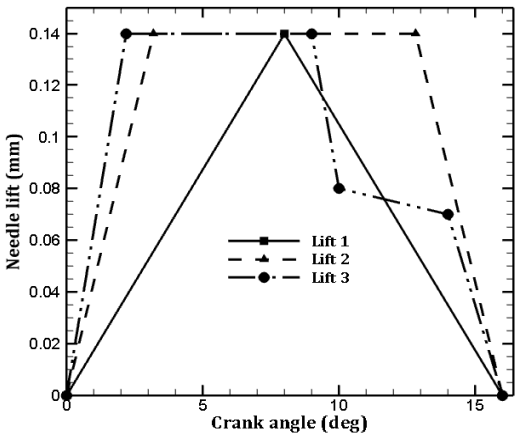


شکل ۵-دبی جرمی خروجی سوراخ نازل برای مقادیر متفاوت سلول

در سوراخ نازل‌های استوانه‌ای و مخروطی، تعداد سلول‌ها در نازل و نزدیکی ورودی سوراخ برابر۹۲۴۰۰و تعداد سلول مورد استفاده در قسمت‌های باقی‌مانده نیز ۶۱۶۰۰ می‌باشد. به‌منظور جلوگیری از صفرشدن ضخامت سلول‌ها حداقل مقدار جابجایی سوزن در شبکه-بندی انژکتور برابر با μm۱۰در نظر گرفته شده است. سوخت مورد استفاده در این شبیه‌سازی دیزل می‌باشد که خواص آن‌ها در دمای ۴۰ درجه سانتی گراد در جدول ۱ آورده شده است [۲۴و۲۵]. نمودار جابجایی سوزن بر حسب زاویه میل لنگ در شکل ۶ آورده شده است. همچنین سرعت دورانی موتور برابر۳۷۵۰دور بر دقیقه است. افت فشار درون سوراخ نازل انژکتور منجر به ایجاد پدیده کاویتاسیون می‌شود. به همین دلیل جریان دو فازی (دیزل مایع و بخار) در نظر گرفته شده است.

جدول ۱- خواص سوخت دیزل در دمای ۴۰ درجه سانتی‌گراد

فاز سوخت	مایع	بخار
چگالی($\frac{kg}{m^3}$)	۸۲۵	۵
لزجت(Pa.s)	۰,۰۰۲۱	۰,۰۰۰۰۱
فشار بخار(Pa)	۱۰۰۰	-



شکل ۶- پروفیل جابجایی سوزن برحسب زاویه میل‌لنگ در حالت پایه [۲۶] ومتغیر

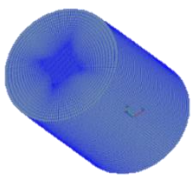
مدل آشفتگی مورد استفاده k-zeta-f می‌باشد. شرایط مرزی و اولیه برای شبیه سازی انژکتور در حالت پایه در جدول ۲ آورده شده است. شرط مرزی در ورودی و خروجی انژکتور از نوع فشار ثابت در نظر گرفته شده است. شرایط مرزی در طرفین قطاع نیز از نوع تقارن است. همچنین برای کوپل فشار- مومنتوم از الگوریتم سیمپل[۳] استفاده شده است.

جدول ۲- شرایط اولیه و مرزی جریان سیال درون انژکتور

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

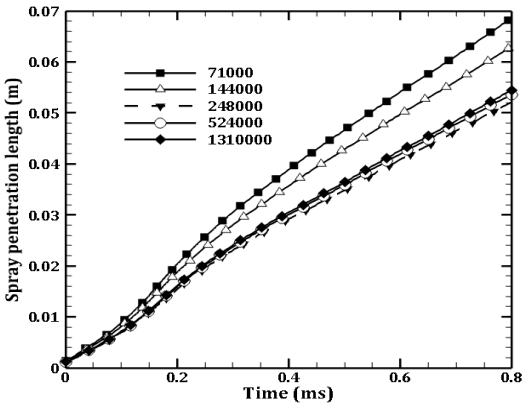
۳-۲ افشانه

برای شبیه‌سازی و مشاهده نتایج فواره حاصل از هندسه‌های مختلف سوراخ نازل و پروفیل‌های متفاوت جابجایی سوزن از یک محفظه احتراق استوانه‌ای حجم ثابت با قطر ۴۰میلی‌متر و ارتفاع ۱۳۰ میلی-متر که در شکل ۷ آورده شده، استفاده شده است[۲۲ و ۲۷]. شبیه-سازی فواره حاصل با توجه به نتایج بررسی استقلال حل از شبکه، در تعداد سلول ۲۴۸۰۰۰ صورت گرفته است. نتایج مربوط به این بررسی در شکل ۸ آورده شده است. باتوجه به شکل ۷، در محل پاشش سوخت به منظور افزایش دقت محاسبات عددی از شبکه‌بندی ریزتری استفاده شده است. سیال مورد استفاده هوای متراکم دارای فشار ۱۰ بار و دمای ۳۰۰ کلوین می‌باشد. مدت زمان کل تزریق سوخت ۰/۸میلی‌ثانیه است. همچنین گام زمانی مورد استفاده در حل از 1×10^{-8} ثانیه تا 5×10^{-7} ثانیه، با گام‌های کوچکتر در شروع حل می‌باشد. همچنین مدل آشفتگی مورد استفاده k-zeta-f می‌باشد. همچنین برای کوپل فشار- مومنتوم از الگوریتم سیمپل استفاده شده است.



شکل ۷-محفظه احتراق استوانه‌ای حجم ثابت

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.32.8.9]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.32.47]



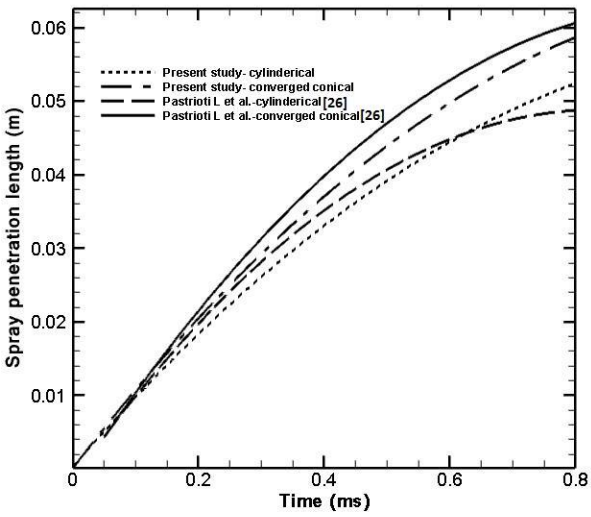
شکل ۸- طول نفوذ فواره سوخت برای مقادیر متفاوت سلول

جدول ۳- شرایط ورودی برای شبیه‌سازی پاشش سوخت

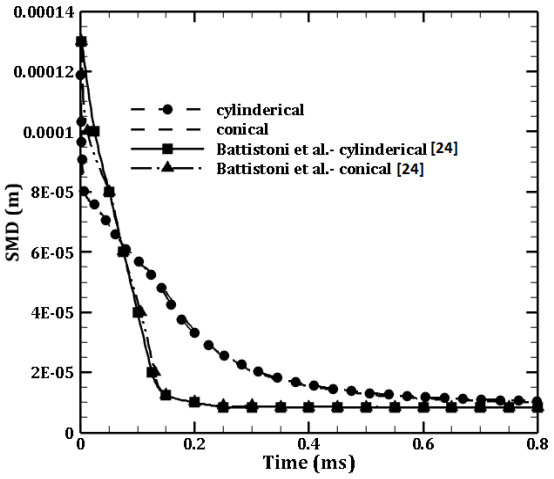
مشخصه	توضیحات
شرایط مرزی	دیواره
تعداد سوراخ‌های نازل	۱
زاویه پاشش سوخت از نازل	۰

۴- اعتبار سنجی نتایج عددی

به‌منظوربررسی دقت نتایج عددی حاصل، به مقایسه داده‌های عددی مشخصه طول نفوذ فواره و قطر متوسط ذرات حاصل از شبیه سازی سوراخ نازل‌های ا ستوانه‌ای و مخروطی همگرا با نتایج تجربی [۲۶] و عددی موجود [۲۴] پرداخته شده ا ست. با توجه به شکل ۹ تطابق خوبی بین نتایج تجربی و عددی وجود دارد.



(الف)



(ب)

شکل ۹- اعتبارسنجی نتایج عددی با نتایج تجربی[۲۶] و عددی موجود[۲۴]، (الف) نتایج تجربی طول نفوذ فواره، (ب) نتایج عددی قطر متوسط ساتر

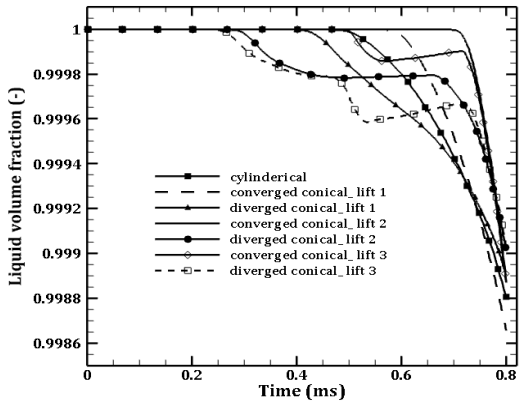
۵- بحث بر روی نتایج

۵-۱ انژکتور

پدیده کاویتاسیون درون سوراخ نازل انژکتور یکی از مهم‌ترین عوامل تاثیرگذار 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 تاثیرگذار باشد. بدین منظور سوراخ نازل استوانه‌ای به شکل‌های مخروطی همگرا و واگرا تغییر داده شده است. پارامتر دیگری که بر شدت وقوع پدیده کاویتاسیون و در نتیجه رفتار هیدرودینامیکی فواره سوخت تاثیرگذار است، پروفیل جابجایی سوزن می‌باشد که در این راستا نیز همچنین پروفیل‌های مختلف به‌کار برده شده است. در این نوع انژکتورها معمولا کاویتاسیون در قسمت ورودی سوراخ نازل سوخت توسعه می‌یابد. به‌منظور بررسی شدت وقوع این پدیده درون سوراخ نازل انژکتور به برر سی کسرحجمی فاز مایع در هند سه‌ها و جابجایی‌های متفاوت در طول مدت زمان یکسان پاشش سوخت پرداخته شده است. نمودار کسر حجمی فاز مایع بر حسب مدت‌زمان پاشش برای انژکتور دیزل مورد نظر با هندسه‌ها و پروفیل‌های جابجایی متفاوت در شکل ۱۰ آورده شده است. با توجه به این نمودار در هندسه ها و پروفیل های مورد نظر پد یده کاویتا سیون با شدت‌های مختلفی رخ داده وتغییر پروفیل جابجایی سوزن در هندسه‌های مختلف سوراخ نازل نقش مهمی را بر روی شدت وقوع این پدیده ایفا کرده است. سوراخ نازل مخروطی همگرا نسبت به سوراخ نازل‌های ا ستوانه‌ای و مخروطی واگرا دارای قطر و شعاع منحنی ورودی بیشتری می‌باشد و لذا کاویتا سیون در حالت

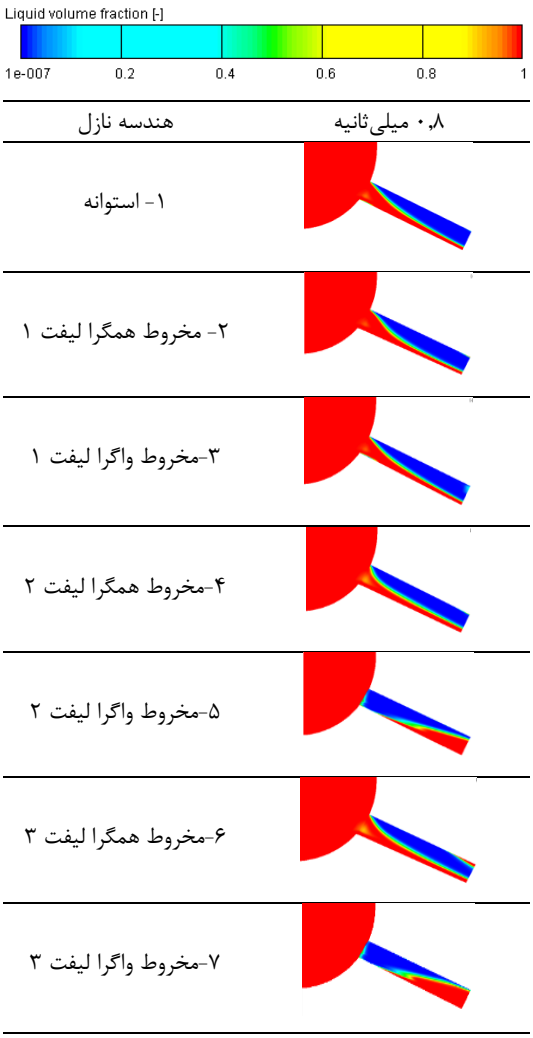
[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.32.8.9]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.32.47]

پروفیل جابجایی یکسان با شدت کمتری در آن رخ می‌دهد. افزایش قطر و شعاع منحنی ورودی سوراخ نازل منجر به کاهش افت فشار درون سوراخ نازل گردیده و لذا کاویتاسیون با شدت کمتری در این حالت رخ می‌دهد. با توجه به یکسان بودن شعاع منحنی ورودی سوراخ نازل‌های استوانه‌ای و مخروطی واگرا، کاهش قطر ورودی سوراخ نازل مخروطی واگرا منجر به افزایش شدت وقوع کاویتاسیون و کاهش کسر حجمی فاز مایع نسبت به سایر هندسه‌ها گردیده است. پارامتر دیگری که بر روی شدت وقوع کاویتاسیون تاثیرگذار است، پروفیل جابجایی سوزن است. با توجه به شکل ۱۰ میزان کسر حجمی فاز مایع در مدت‌زمان انتهای پاشش پروفیل lift 3 با هندسه‌های مختلف سوراخ نازل، بیشتر از پروفیل lift 2 با هند سه‌های مختلف سوراخ نازل می‌باشد. با افزایش شیب نمودار جابجایی سوزن در لحظه بسته شدن آن، مقدار فشار جریان سیال درون نازل مقدار نسبتا کمی افزایش یافته و افت فشار آن کاهش می‌یابد. لذا در این حالت کاویتاسیون با شدت کمتری رخ داده و میزان کسر حجمی فاز مایع افزایش می‌یابد. همچنین کاهش شیب نمودار جابجایی سوزن پروفیل lift 3 در لحظات ابتدایی بسته‌شدن آن منجر به افزایش افت فشار جریاندرون سوراخ نازل گردیده و در نتیجه میزان کسر حجمی فاز مایع کاهش یافته است.



شکل ۱۰- کسر حجمی فاز مایع برای انژکتور در حالات مختلف سوراخ نازل

نتایج دوبعدی مربوط به توزیع کسر حجمی فاز مایع درون نازل انژکتور در هر حالت در مدت‌زمان انتهای پاشش در شکل ۱۱ 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 ۱×۱۰^{-۷} و با رنگ آبی نشان داده شده است.



شکل ۱۱- توزیع کسر حجمی فاز مایع درون سوراخ نازل انژکتور در هر حالت در انتهای پاشش

۵-۲ فواره

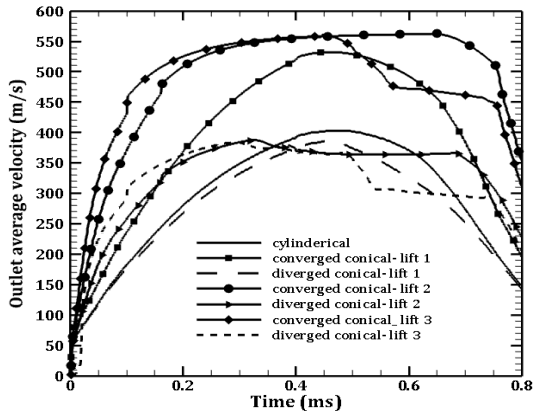
درادامه به‌منظور بررسی تاثیر همزمان تغییر هندسه و پروفیل جابجایی سوزن بر روی رفتار هیدرودینامیکی فواره سوخت، به مقایسه طول نفوذ و قطر متوسط ذرات که از مهم‌ترین مشخصه‌های فواره سوخت می‌باشند و بر عملکرد موتور دیزل دریایی مانند میزان توان تولیدی، آلاینده‌ها و مصرف سوخت ویژه تاثیرگذار هستند، درهرقسمت پرداخته شده است. درشکل ۱۲ نمودار مربوط به سرعت متوسط خروجی نازل و در شکل ۱۳ نمودار مربوط به دبی جرمی خروجی در هر حالت مورد نظر آورده شده است. با توجه به این شکل‌ها، در حالت پروفیل جابجایی سوزن یکسان، سوراخ نازل مخروطی همگرا نسبت به نوع استوانه‌ای و مخروطی واگرا سرعت متوسط خروجی بیشتری دارد. دلیل این امر بیشتر بودن قطر و شعاع منحنی ورودی سوراخ نازل مخروطی همگرا نسبت به دو سوراخ دیگر می‌باشد. با افزایش قطر و شعاع منحنی ورودی سوراخ نازل میزان تلفات اصطکاکی درون آن کاهش یافته و لذا سرعت متوسط خروجی افزایش می‌یابد. همچنین افزایش سرعت در خروجی نازل منجر به افزایش دبی جرمی خروجی می‌گردد. با توجه به شکل ۱۳ نازل

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.32.8.9]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.32.47]

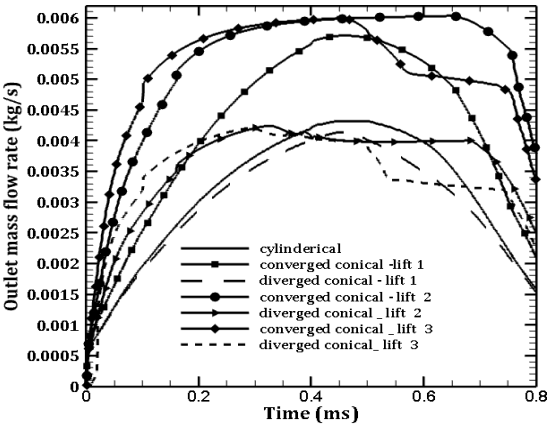
مخروطی همگرا دارای دبی جرمی خروجی بیشتری نسبت به سایر حالت‌ها می‌باشد. در حالت تغییر پروفیل جابجایی سوزن، با توجه به این که پروفیل‌های lift 2 و lift 3 نسبت به پروفیل حالت پایه (lift 1) دارای شیب بیشتری در لحظات بازشدن و لحظات انتهایی بسته-شدن دارند، لذا تلفات اصطکاکی درون آن‌ها کاهش یافته و سرعت متوسط خروجی نازل در آن‌ها افزایش می‌یابد که این افزایش سرعت منجر به افزایش دبی جرمی خروجی نازل گردیده است. همچنین در پروفیل‌های جابجایی جدید، میزان بازبودن سوزن انژکتور نسبت به حالت پایه بیشتر شده است که در نتیجه آن منجر به افزایش دبی جرمی خروجی نازل نیز گردیده است. ضریب تخلیه به صورت نسبت دبی جرمی واقعی به دبی جرمی نظری تعریف می‌شود[۹]:

$$C_d = \frac{\dot{m}}{\dot{m}_{th}} = \frac{\dot{m}}{A_{th}\sqrt{2\rho_f \Delta p}} \qquad (۱۶)$$

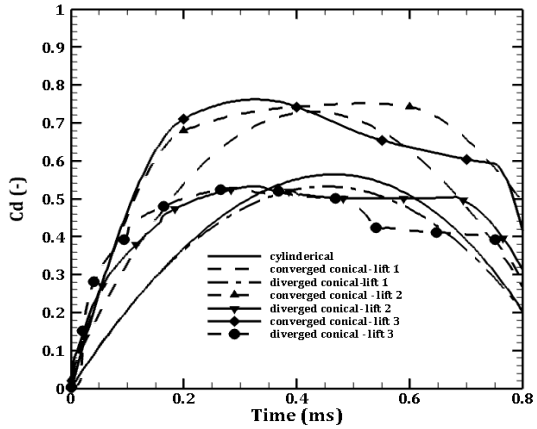
که در آن $\dot{m}$دبی جرمی واقعی است که از شبیه‌سازی جریان انژکتور محاسبه می‌شود. A_{th} سطح مقطع خروجی نازل، ρ_f چگالی حالت مایع و Δp اختلاف فشار بین ورودی و خروجی انژکتور است. نتایج مربوط به ضریب تخلیه در مدت‌زمان پاشش سوخت برای هر حالت در شکل ۱۴ آورده شده است. با توجه به این شکل، با افزایش شدت وقوع کاویتاسیون و توسعه آن تا خروجی نازل، ضریب تخلیه کاهش و با کاهش شدت وقوع این پدیده و عدم توسعه یا توسعه کمتر حباب‌های بخار تشکیل‌شده 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. در شکل ۱۵ نتایج مربوط به طول نفوذ فواره سوخت دیزل در هر حالت آورده شده است. با توجه به این شکل در حالت پروفیل جابجایی سوزن یکسان، سوراخ نازل مخروطی همگرا دارای طول نفوذ بیشتری نسبت به سایر هندسه‌ها می‌باشد که دلیل این امر افزایش سرعت متوسط خروجی نازل به علت بیشتر بودن قطر و شعاع منحنی سوراخ ورودی نازل انژکتور و کاهش تلفات اصطکاکی می‌باشد. با تغییر پروفیل جابجایی سوزن و افزایش شیب نمودار در لحظه باز و بسته شدن و افزایش مدت‌زمان بازبودن سوزن انژکتور، به‌دلیل کاهش تلفات اصطکاکی درون سوراخ نازل، سرعت متوسط خروجی افزایش و در نتیجه آن طول نفوذ فواره حاصل نیز افزایش یافته است.



شکل ۱۲- سرعت متوسط در خروجی نازل برای حالت‌های مختلف

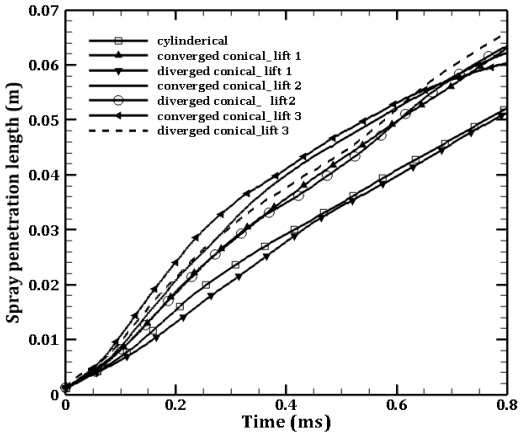


شکل ۱۳- دبی جرمی خروجی نازل برای حالت‌های مختلف

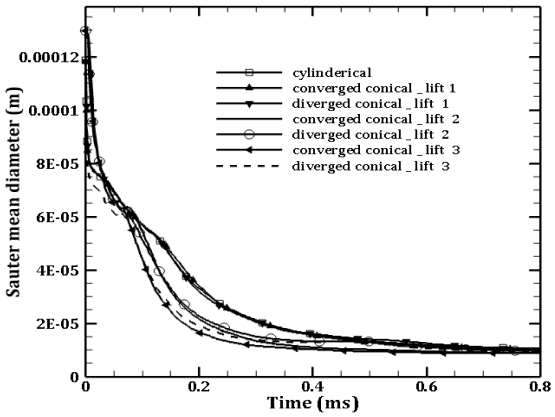


شکل ۱۴- ضریب تخلیه در خروجی نازل برای حالت‌های مختلف

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.32.8.9]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.32.47]

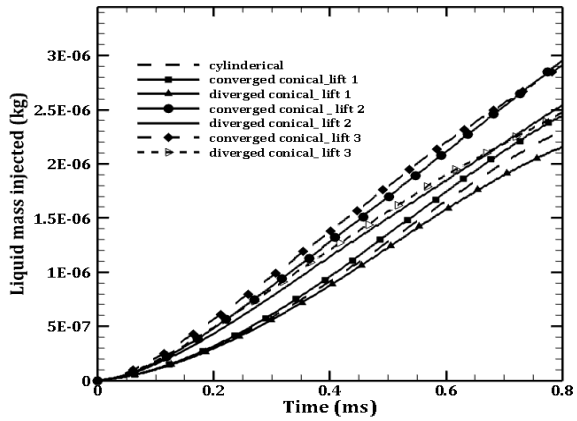


شکل۱۵- طول نفوذ فواره برای حالت‌های مختلف

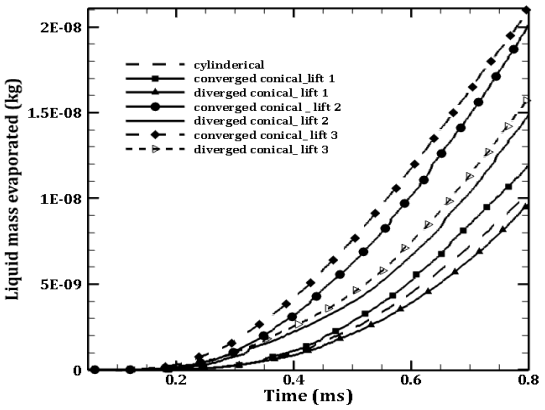


شکل ۱۶- قطر متوسط ساتر برای حالت‌های مختلف

نتایج مربوط به اندازه قطر متوسط ذرات در شکل ۱۶ و نتایج مربوط به میزان جرم پاشش‌شده و تبخیرشده درون محفظه احتراق به‌ترتیب در شکل‌های ۱۷ و ۱۸ آورده شده است. با توجه شکل ۱۶ اندازه قطر متوسط ذرات برای سه سوراخ نازل مخروطی همگرا، واگرا و استوانه‌ای دارای پروفیل حالت پایه تقریبا برابر است. در سوراخ نازل‌های استوانه‌ای و مخروطی واگرا وقوع کاویتاسیون و در سوراخ مخروط همگرا افزایش سرعت متوسط خروجی نازل منجر به بهبود فروپاشی فواره سوخت گردیده و در نهایت اندازه قطر متوسط ذرات کاهش می‌یابد. با افزایش سرعت متوسط در خروجی نازل، سرعت نسبی بین ذرات فواره و هوای متراکم درون محفظه احتراق افزایش یافته و در نتیجه نیروی آیرودینامیکی پسا که منجر به فروپاشی فواره سوخت می‌گردد، افزایش یافته و قطر متوسط ذرات کاهش می‌یابد. در حالت تغییر پروفیل جابجایی سوزن نیز با توجه به افزایش سرعت متوسط در خروجی نازل، نیروی آیرودینامیکی پسا افزایش می‌یابد و در نتیجه فروپاشی فواره با شدت بیشتری رخ داده و منجر به‌کاهش بیشتر اندازه قطر متوسط ذرات نسبت به حالت پروفیل یکسان گردد. با توجه به شکل ۱۳ با افزایش دبی جرمی خروجی نازل به‌دلیل تغییر پروفیل جابجایی سوزن، میزان جرم پاشش شده درون محفظه احتراق افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش جرم پاشش‌شده درون محفظه احتراق، مقدار جرم تبخیرشده نیز افزایش یافته و در نتیجه قطر متوسط ذرات نیز در این حالت بیشتر کاهش یافته است. نتایج مربوط به ساختار فواره محاسبه‌شده درون محفظه احتراق استوانه‌ای حجم ثابت در هر حالت در مدت‌زمان انتهای پاشش در شکل ۱۹ آورده شده است.

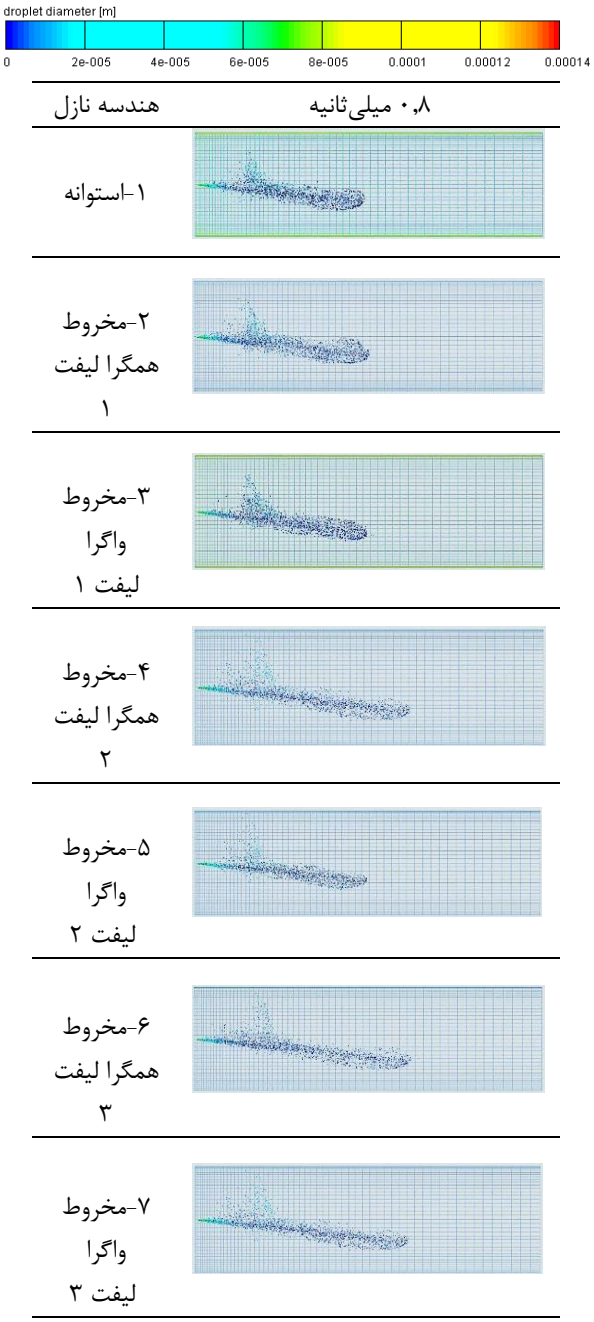


شکل ۱۷- میزان جرم مایع پاشش‌شده درون محفظه احتراق در حالت-های مختلف در مدت‌زمان پاشش سوخت



شکل ۱۸- میزان جرم مایع تبخیرشده درون محفظه احتراق در حالت-های مختلف

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.32.8.9]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.32.47]



شکل ۱۹- ساختار فواره محاسبه شده در محفظه احتراق در مدت زمان انتهای پاشش

۶- نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر، در دو مرحله به بررسی تاثیر تغییر هندسه سوراخ نازل انژکتور و پروفیل جابجایی سوزن بر روی جریان داخلی سوخت مایع و رفتار هیدرودینامیکی فواره آن پرداخته شده است. در مرحله اول هندسه سوراخ نازل استوانه‌ای را به مخروطی همگرا و واگرا تغییر داده و در مرحله دوم از دو پروفیل جابجایی متفاوت در سوراخ نازل‌های مخروطی همگرا و واگرا استفاده شده است. نتایج عددی حاصل با نتایج تجربی و عددی موجود اعتبارسنجی شده و نتایج حاصل حاکی از تطابق خوب بین نتایج تجربی و عددی موجود می‌باشند. نتایج عددی حاصل در مرحله اول نشان می‌دهند که پدیده کاویتاسیون درون سوراخ نازل مخروطی واگرا با شدت بیشتری رخ می‌دهد. در بررسی مشخصات فواره حاصل مشخص گردید که با افزایش سرعت در خروجی نازل مخروطی همگرا به دلیل کاهش تلفات اصطکاکی، طول نفوذ افزایش می‌یابد ولی قطر متوسط ذرات برای هر سه حالت تقریبا یکسان است. همچنین نتایج عددی حاصل در مرحله دوم بیانگر تاثیر قابل توجه تغییر همزمان هندسه و پروفیل جابجایی سوزن بر روی شدت وقوع کاویتاسیون و رفتار هیدرودینامیکی فواره سوخت می‌باشند. در بررسی مشخصه طول نفوذ فواره، نتایج نشان دهنده افزایش این مشخصه در مرحله دوم نسبت به مرحله اول می‌باشند که دلیل آن افزایش سرعت جریان سوخت در خروجی نازل به علت تلفات اصطکاکی کمتر در سوراخ آن و تغییر پروفیل جابجایی سوزن می‌باشد. همچنین در بررسی مشخصه قطر متوسط ذرات نتایج نشان دهنده کاهش این پارامتر در مرحله دوم نسبت به مرحله اول بعد از گذشت زمان‌های ابتدایی پاشش به دلیل افزایش سرعت نسبی بین ذرات سوخت و هوای فشرده درون محفظه احتراق و همچنین وقوع کاویتاسیون می‌باشند. در موتورهای دیزل دریایی، طول نفوذ سوخت پاشش شده به‌منظور تشکیل مخلوط سوخت و هوای بهتر و همچنین جلوگیری از برخورد آن با دیواره موتور بایستی متناسب با هندسه محفظه احتراق باشد. زیرا در صورت برخورد آن با پیستون و دیواره‌های سیلندر، میزان هیدروکربن‌های نسوخته افزایش و بازده موتور کاهش می‌یابد. همچنین در حالتی که طول نفوذ کمتر باشد مخلوط سوخت و هوای ضعیفی تشکیل می‌شود. بنابراین شدت وقوع کاویتاسیون و سرعت خروجی نازل در بهبود پدیده اتمیزاسیون سوخت نقش مهمی دارند و کنترل مشخصات فواره سوخت از طریق تغییر همزمان هندسه سوراخ نازل و پروفیل جابجایی سوزن به‌دلیل نقش آن‌ها بر عملکرد و آلایندگی موتوردیزل دریایی حائز اهمیت می‌باشد.

کلید واژگان

1-Eulerian
2-Lagrangian
3-Nordin
4- Fire
5-O_Rourke
6-Dukowicz
7-Wave
8-Simple

۷ – مراجع

1- Heywood, J. B.,(1998),*Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill, Inc., New York.
2-Som, S., Aggarwal, S.K., El-Hannouny, E.M., Longman, D.E.,(2010),*Investigation of nozzle flow and cavitation characteristics in a diesel injector*, Journal of Engineering for Gas Turbine and Power, Vol. 132, p. 1–12.

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]
[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.32.8.9]
[DOI: 10.29252/marineeng.16.32.47]

3-Som, S., Longman,D.E., Ramirez, A. I., Aggarwal, S.,(2012), *Influence of nozzle orifice geometry and fuel properties on flow and cavitation characteristics of a diesel injector*, In: Lejda Kazimierz, editor, Fuel injection in automotive engineering, InTech, ISBN: 978-953-51-0528-2.

4-Salvador, F.J., Martinez-Lopez, J., Caballer, M., et al, (2013), *Study of the influence of the needle lift on the internal flow and cavitation phenomenon in diesel injector nozzles by CFD using RANS methods*, Energy Conversion and Management, Vol. 66, No. 2, p. 246–256.

5-Soteriou, C., Andrews, R., Smith,M.,*(*1995*), Direct injection diesel sprays and the effect of cavitation and hydraulic flip on atomization*, SAE Technical Paper 950080.

6-Suh, H.K., and Lee, C.S.,(2008),*Effect of cavitation in nozzle orifice on the diesel fuel atomization characteristics*, Internal Journal of Heat and Fluid Flow, Vol. 29, p.1001–1009.

7-Payri, F., Bermúdez, V., Payri, R., Salvador, F.J.,(2004),*The influence of cavitation on the internal flow and the spray characteristics in diesel injection nozzles*, Fuel, Vol. 83, p. 419–431.

8-Payri, R., Salvador, F.J., Gimeno, J., de la Morena, J.,(2009),*Study of cavitation phenomena based on a technique for visualizing bubbles in a liquid pressurized chamber*, Internal Journal of Heat and Fluid Flow, Vol. 30, p. 768–777.

9-Sohrabi, S., Zandi, A., Shams, M.,(2013),*Numerical investigation of the effect of the number of injector holes on the flow inside the nozzle*, 8th International Conference on Internal Combustion Engines & Oil, Tehran, Iran (In Persian).

10-Akbari, N., Azizi Hasanakloo, S.,(2018),*Numerical investigation of the cavitation phenomenon on spray behavior of diesel fuel in injector*, Modares Mechanical Engineering, Vol. 18, No. 03, p. 189-196 (In Persian).

11-Bergstrand, P.,(2004),*The effects of orifice shape on diesel combustion*, SAE Technical Paper, Vol. 13, No. 3, p. 106-116.

12-Desantes, J.M. , Payri, R., Salvador, F.J. , De la Morena, J.,(2010), *Influence of cavitation phenomenon on primary break-up and spray behavior at stationary conditions*, Fuel, Vol. 89, p. 3033–3041.

13-Shervani-Tabar, M.T., Parsa, S., Ghorbani, M.,(2012), *Numerical study on the effect of the cavitation phenomenon on the characteristics of fuel spray*, Mathematical and Computer Modelling, Vol. 56, No. 5, p. 105-117.

14-Payri, R., Gimeno, J., Viera, J.P., Alejandro, H. P., (2013), *Needle lift profile influence on the vapor phase penetration for a prototype diesel direct acting piezoelectric injector*, Fuel, Vol. 113, p. 257–265.

15-Schugger, C., Renz, U.,(2003),*Experimental investigations on the primary breakup zone of high pressure diesel spray from multiorifice nozzles*, in: ICLASS Europe 03.

16-Payri, F., Bermudez, V., Payri, R., Salvador, F.J., (2004), *Theinfluence of cavitation on the internal flow and spray characteristics in diesel injection nozzles*, Fuel, Vol.83, p. 419–431.

17-KyuSuh, H.,Lee, C.S.,(2008),*Effects of cavitation in nozzle orifice on the diesel fuel atomization characteristics*, International Journal of Heat and Fluid Flow, Vol. 29, p. 1001–1009.

18-Fujimoto, H., Mishikori, T., Tsumakoto, T., Senda, J., (1994), *Modeling of atomization and vaporization process in flash boiling spray*, ICLASS-94 Conference, France.

19-Avl List GmbH. AVL Fire v. 2013, CFD solver, Eulerian multiphase.

20-Edelbauer, W., (2014), *Coupling of 3D Eulerian and Lagrangian Spray Approaches in Industrial Combustion Engine Simulations*, Journal of Energy and Power Engineering, Vol. 8, No. 1, p. 190-200.

21-Avl List GmbH. AVL Fire v. 2013, CFD solver, Spray.

22-Mohammadi, H., Jabbarzadeh, P., Jabbarzadeh, M., Shrevani-Tabar, M.T., (2017), *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, p. 419-430.

23-Brusiani, F., Falfari, S., Pelloni, P., (2014), *Influence of the Diesel injector hole geometry on theflow conditions emerging from the nozzle*, 68th Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association, ATI2013, Energy Procedia, Vol. 45, p. 749 – 758.

24-Battistoni, M., Grimaldi, C.N., (2012), *Numerical analysis of injector flow and spray characteristics from diesel injectors using fossil and biodiesel fuels*, Applied Energy, Vol. 97, No. 1,p. 656-666.

25-Perry, R.H., Green, D.W., (1997), *Perry's chemical engineer's handbook*, McGraw-Hill.

26-Postrioti, L., Grimaldi, C.N., Ceccobello, M., Di Gioia, R., (2004), *Diesel common rail injection system behavior with different fuels*, SAE Technical paper 2004-01-0029.

27-Farajollahi, A.H., Firuzi, M., Pourseifi, M., Mardani, A., and Rostami, M., *Numerical investigation of the effect of swirl and needle lift profile change on the diesel fuel spray behavior*. JER. 2019; 54 (54):25-38, URL:http://engineresearch.ir/article-1-692-a.html .

[Downloaded from marine-eng.ir on 2026-11-09]

[DOR: 20.1001.1.17357608.1399.16.32.8.9]

[DOI: 10.29252/marineeng.16.32.47]