



فصلنامه علمی ((دفاع هوافضایی))

دوره ۱، شماره ۲، شهریور ۱۴۰۱

عنوان مقالات

مقاله پژوهشی

مطالعه عددی پاشش سوخت در موتورهای دیزل مورد استفاده در سامانه‌های موشکی پدافند هوایی تحت تأثیر پدیده کاویتاسیون داخل مجرای انژکتور

محمد پورجعفرقلی^۱، علی مهدوی^۲

۱. - استادیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه پدافند هوایی خاتم‌الانبیاء (ص)، تهران، ایران.

۲. کارشناس ارشد مکانیک، دانشگاه پدافند هوایی خاتم‌الانبیاء (ص)، تهران، ایران.

چکیده

در مطالعه حاضر، پاشش سوخت و رفتار هیدرودینامیک افشانه سوخت، تحت پدیده کاویتاسیون داخل مجرای انژکتور در محفظه احتراق موتور دیزل به وسیله نرم‌افزار AVL-Fire به صورت عددی مورد مطالعه قرار گرفته است. شبیه‌سازی افشانه شامل پدیده جریان دوفازی بوده و نیازمند حل عددی معادلات بقا برای فاز گاز و مایع به صورت همزمان می‌باشد. جریان کاویتاسیونی داخل نازل با استفاده از روش دوسیالی اویلر-اویلری شبیه‌سازی شده است. در این روش، سوخت مایع و بخار آن به صورت دو فاز پیوسته در نظر گرفته می‌شود و معادلات حاکم برای هر فاز به صورت جداگانه حل می‌شود. توسعه و فروپاشی افشانه با استفاده از روش اویلری-لاگرانژی شبیه‌سازی می‌شود. در این روش، گاز درون محفظه احتراق در مختصات اویلری و قطرات سوخت در مختصات لاگرانژی در نظر گرفته می‌شود. در شبیه‌سازی‌های انجام‌گرفته برای فشار تزریق دو مقدار ۶۰ و ۱۰۰ مگاپاسکال و فشار محفظه برابر ۲ مگاپاسکال در نظر گرفته شده است. نتایج نشان داد که برای هر دو فشار تزریق، پدیده کاویتاسیون ایجاد می‌شود، هرچند پدیده کاویتاسیون فقط برای فشار تزریق ۱۰۰ مگاپاسکال تا انتهای خروجی نازل ادامه می‌یابد. بنابراین فشار تزریق بالا، باعث افزایش سرعت سوخت در اریفیس انژکتور شده و باعث به وجود آمدن پدیده کاویتاسیون می‌شود. در فشارهای بالا کاویتاسیون سریع رشد می‌کند، در نتیجه باعث امتیازسیون بهتر شده و قطر متوسط ذرات کاهش می‌یابد.

اطلاعات مقاله

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۱۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۸/۱۲

کلمات کلیدی:

نازل، کاویتاسیون، افشانه سوخت، طول نفوذ افشانه، قطر میانگین قطرات.



نویسنده مسئول:

محمد پورجعفرقلی

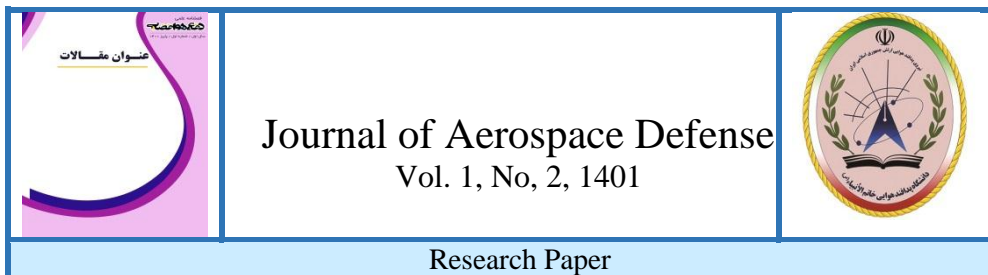
ایمیل:

mpourjafargholi@gmail.com

استناد به مقاله: محمد پورجعفرقلی، علی مهدوی، مطالعه عددی پاشش سوخت در موتورهای دیزل مورد استفاده

در سامانه‌های موشکی پدافند هوایی تحت تأثیر پدیده کاویتاسیون داخل مجرای انژکتور، مجله علمی دفاع هوافضایی

دوره ۱، شماره ۲، شهریور ۱۴۰۱.



Numerical Study of fuel spray on diesel engines used in Air defense missile systems influenced by the phenomenon of cavitation in injection duct

Mohammad pourjafargholi¹, Ali mahdavi²

1. Department of Mechanical Engineering, Khatam Ol Anbia (PBU) University, Tehran, Iran
2. Department of Mechanical Engineering, Khatam Ol Anbia (PBU) University, Tehran, Iran

Article Information

Accepted: 1401/03/14

Received: 1400/08/12

:Keywords

Nozzle, Cavitation, Fuel spray, Spray penetration length, Average diameter of droplets.



Corresponding author:

Mohammad pourjafargholi

Email:

mpourjafargholi@gmail.com

Abstract

In the present study, fuel injection and hydrodynamic behavior of fuel spray has been studied numerically under the cavitation phenomenon inside the injector chamber in the combustion chamber of the diesel engine using AVL-Fire software. Spray simulation involves the phenomenon of two-phase flow and requires the numerical solution of the survival equations for the gas phase and the liquid simultaneously. The cavitation flow inside the nozzle is simulated using the Euler-Eulerian method. In this method, liquid and vapor fuels are considered as continuous two-phase, and the governing equations are solved separately for each phase. Spray development and decomposition are simulated using the Eulerian- Lagrangian method. In this method, the gas inside the combustion chamber is considered in the Eulerian coordinates and fuel droplets in Lagrangian coordinates. In the simulations carried out for compression, two values of 60 and 100 MPa are considered for a pressure of 2 MPa. The results showed that for both injections, the cavitation phenomenon is created, although the cavitation phenomenon continues only for the injection pressure of 100 MPa until the end of the nozzle outlet. Therefore, the high injection pressure causes an increase in fuel velocity in the injector orifice and causes a cavitation phenomenon. At high pressures, cavitation grows rapidly, resulting in better atomization and lower average particle diameter.

HOW TO CITE: Mohammad pourjafargholi, Ali mahdavi, Numerical Study of fuel spray on diesel engines used in Air defense missile systems influenced by the phenomenon of cavitation in injection duct, Journal of Aerospace Defense, Vol. 1, No. 2, 1401.

۱. مقدمه

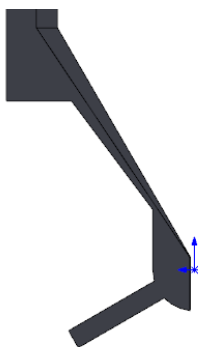
امروزه افزایش نگرانی‌ها برای حفاظت از محیط‌زیست باعث شده است که کاهش گازهای آلاینده و احتراق سوخت یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در طراحی موتورهای دیزل شود. اساس طراحی موتورهای دیزل، جریان داخلی نازل و افشانه سوخت و در نتیجه آن ترکیب هوا-سوخت می‌باشد. در سامانه‌های نظامی مانند سامانه موشکی هاک که منبع تغذیه آن‌ها جریان الکتریکی می‌باشد برای تولید برق این سامانه‌ها از دیزل ژنراتور استفاده می‌شود که نحوه پاشش سوخت در محفظه احتراق موتور دیزل، شکل افشانه و کیفیت اتمیزه شدن آن به شدت در عملکرد و خروجی گازهای گلخانه‌ای موتور تأثیر می‌گذارد. اگر این افشانه به قطرات کوچک‌تر تبدیل شود، احتراق بهتر و سریع‌تر صورت می‌گیرد و همچنین عملکرد موتور و گشتاور افزایش می‌یابد و خروجی موتور کاهش می‌یابد [۱]. فهم جزئیات جریان سوخت در اریفیس ۱ و تأثیر آن بر روی ویژگی‌های افشانه یکی از ضعف‌ها در شبیه‌سازی رفتار افشانه سوخت در داخل محفظه احتراق می‌باشد. نازل‌ها دارای ابعاد کوچکی هستند و جریان در داخل اریفیس دارای سرعت بالایی می‌باشد، علاوه بر آن جریان در داخل انژکتور به صورت ناپایا است و مدت زمان پاشش بسیار کم است. مطالعات تجربی بر روی رفتار جریان سوخت در داخل اریفیس بسیار مشکل است و مطالعات عددی ابزارهای قدرتمندی را برای درک بهتر از رفتار جریان سوخت در انژکتور فراهم می‌کنند. بهبود ویژگی‌های افشانه باعث بهبود در عملکرد موتورهای دیزل می‌گردد. خصوصیات افشانه سوخت به شدت تحت تأثیر رفتار جریان سوخت در انژکتور می‌باشد و تعیین نسبت سوخت در خروجی نازل شرایط اولیه را برای تعیین خصوصیات افشانه در محفظه احتراق فراهم می‌کند [۲]. بنابراین برای درک بهتر رفتار افشانه، مطالعات عددی و تجربی مهم می‌باشد. خصوصیات افشانه به طور چشمگیری با رژیم جریان سیال در سوراخ انژکتور تأثیرپذیر است. تحقیقات نشان می‌دهد که پدیده کاویتاسیون در جریان سیال زمانی اتفاق می‌افتد که پمپ انژکتور بتواند فشار بالایی را ایجاد کند [۳]. در مطالعه انجام گرفته توسط دکتر شروانی تبار و همکاران [۴] برای یک هندسه خاص از نازل، تأثیرات کاویتاسیون بر روی کیفیت و خصوصیات افشانه نظیر طول نفوذ، قطر متوسط ذرات و توزیع سوخت به صورت عددی بررسی شده است. آن‌ها به بررسی تأثیر شعاع انحنای ورودی نازل روی ایجاد کاویتاسیون و افشانه تشکیل گرفته، پرداخته و نشان دادند که با کاهش شعاع انحنای ورودی (R/D) قطر میانگین قطرات کاهش می‌یابد. این کاهش به معنای کاویتاسیون بهتر در داخل نازل، اتمیزاسیون بهتر افشانه، مخلوط سوخت و هوای بهتر و در نتیجه تجزیه بهتر سوخت می‌باشد. نتیجه دیگر این که با کاهش شعاع انحنای، جزء بخاری سیال داخل افزایش می‌یابد که به معنای افزایش میزان

Orifice-1

کاویتاسیون می‌باشد. قوی‌ترین کاویتاسیون در $(R/D = 0)$ رخ می‌دهد، زمانی که چگالی سوخت کمترین مقدار در مرکز افشانه را دارد که نشان‌دهنده ترکیب هوا-سوخت بهتر می‌باشد. با افزایش (R/D) و کاهش کاویتاسیون، چگالی سوخت در مرکز افشانه بیشتر می‌شود و کیفیت ترکیب هوا-سوخت کاهش می‌یابد. پدیده کاویتاسیون در روزه نازل اثر مهمی بر روی ویژگی‌های افشانه مانند طول نفوذ، قطر متوسط قطرات و توزیع سوخت دارد [۵ و ۶]. ساختار کاویتاسیون به هندسه نازل و شرایط مرزی فشار بستگی دارد. حباب‌های کاویتاسیون بعد از خروج از نازل دچار فروپاشی می‌شوند و باعث تجزیه اولیه می‌شوند، کاویتاسیون باعث کاهش تنش برشی بین دیوار و جریان سیال می‌شود، بنابراین زمانی که کاویتاسیون افزایش می‌یابد سرعت نیز افزایش می‌یابد [۷ و ۸]. در سال‌های اخیر مطالعات زیادی درباره جریان داخل نازل و هندسه نازل و رابطه آن‌ها با اتمیزاسیون سوخت و خصوصیات افشانه انجام گرفته است [۹ و ۱۰]. هون کیو سو [۱۱] نیز تأثیرات کاویتاسیون بر روی اتمیزاسیون سوخت دیزل را مورد بررسی قرار داده و نشان داد جریان کاویتاسیون در داخل اوریفیس برای مقادیر مختلف (L/D) ایجاد می‌شود. میلان ویانوویچ و همکاران [۱۲] پاشش سوخت در موتورهای دیزلی را با استفاده از رویکرد چند فازی اولرین به صورت عددی بررسی کرده و نتایج آن را با نتایج تجربی مقایسه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که طول نفوذ مایع با افزایش فشار محفظه کوتاه می‌شود، درحالی‌که طول نفوذ بخار با افزایش فشار تزریق بیشتر می‌شود. همچنین گنگ وو و همکاران [۱۳] تکامل زمانی پاشش سوخت تزریقی تقسیم‌شده در فشارهای محفظه بالا را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که میزان نفوذ در موقعیت دم پاشش هیچ ارتباطی با فشار تزریق سوخت ندارد. با این حال، افزایش فشار تزریق باعث توسعه سریع‌تر نفوذ در موقعیت نوک پاشش می‌شود. در مطالعه حاضر، پاشش سوخت و رفتار هیدرودینامیک افشانه سوخت، تحت پدیده کاویتاسیون داخل مجرای انژکتور در محفظه احتراق موتور دیزل به وسیله نرم‌افزار AVL-Fire به صورت عددی بررسی خواهد شد.

۲. مدل محاسباتی

برای شبیه‌سازی پدیده کاویتاسیون در داخل نازل با در نظر گرفتن جریان دوفازی شامل دیزل مایع و دیزل بخار، از مدل اوپلر- اوپلر استفاده شده است، نتایج حاصل از محاسبات جریان داخل نازل در مقطع خروجی اریفیس ذخیره شده و برای شبیه‌سازی افشانه به عنوان داده‌های ورودی مورداستفاده قرار گرفته است. برای شبیه‌سازی افشانه از یک انژکتور تک سوراخه با طول اریفیس ۱ میلی‌متر و قطر خروجی ۰/۲ میلی‌متری و تقریب اوپلر- لاگرانژ استفاده شده است. با توجه به شرایط مرزی متقارن انژکتور و برای افزایش دقت و کاهش زمان محاسبات عددی، تنها یک دوازدهم هندسه انژکتور (شکل ۱) شبیه‌سازی شده است.



شکل ۱: هندسه انژکتور

۳. معادلات حاکم

۳-۱ معادلات حاکم بر جریان چند فازی در نازل

کاویتاسیون در نازل انژکتور دیزل، در ورودی سوراخ نازل ظاهر می‌شود. به علت وقوع پدیده کاویتاسیون در جریان داخل نازل، حباب‌های بخار در نواحی با فشار پایین‌تر از فشار بخار اشباع ایجاد شده و همراه با جریان به نواحی با فشار بالاتر منتقل شده و منفجر می‌شوند. اختلاف فشار بالا مابین ابتدا و انتهای ارفیس 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 پایین در جریان داخلی نازل شده و در نهایت باعث رشد کاویتاسیون می‌شود. معادلات بقایی در قالب چند سیالی به صورت زیر تعریف شده‌اند [۱۴].

الف- معادله بقای جرم

معادله بقای جرم با رابطه (۱) تعریف می‌شود:

$$(1) \quad \frac{\partial \alpha_k \rho_k}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha_k \rho_k \mathbf{v}_k) = \sum_{l=1, l \neq k}^N \Gamma_{kl} \quad k = 1, \dots, N$$

که در آن کسر حجمی فاز k ، α_k ، سرعت فاز k و Γ_{kl} تبادل جرم بین دو فاز k و l را در سطح مشترک نشان می‌دهد. شرایط سازگاری به صورت رابطه زیر باید ارضا شود:

$$\sum_{k=1}^N \alpha_k = 1$$

ب- معادله بقای مومنتوم

$$\begin{aligned} \frac{\partial \alpha_k \rho_k v_k}{\partial t} + \nabla \cdot \alpha_k \rho_k v_k v_k & \quad (2) \\ & = -\alpha_k \nabla p + \nabla \cdot \alpha_k (\tau_k + T_k^t) + \alpha_k \rho_k f \\ & + \sum_{l=1, l \neq k}^N M_{kl} \\ & + v_k \sum_{l=1, l \neq k}^N \Gamma_{kl} \quad . K = 1, \dots, N \end{aligned}$$

پ- معادله انرژی جنبشی آشفته‌گی

$$\begin{aligned} \frac{\partial \alpha_k \rho_k k_k}{\partial t} + \nabla \cdot \alpha_k \rho_k v_k k_k & \quad (3) \\ & = \nabla \cdot \alpha_k \left(\mu_k + \frac{\mu_k^t}{\sigma_k} \right) \nabla k_k + \alpha_k P_k \\ & - \alpha_k \rho_k \varepsilon_k + \sum_{l=1, l \neq k}^N k_{kl} \\ & + k_k \sum_{l=1, l \neq k}^N \Gamma_{kl} \quad k = 1, \dots, N \end{aligned}$$

۳-۲ معادلات حاکم بر افشانه

شبیه‌سازی افشانه شامل پدیده‌ی جریان چند فاز می‌باشد و نیازمند حل عددی معادلات بقا برای فاز گاز و مایع به صورت همزمان می‌باشد. در رابطه با فاز مایع، عملاً امروزه تمام محاسبات افشانه در محیط‌های مهندسی بر اساس یک روش آماری به نام روش قطره مجزا ۲ می‌باشد. این روش به وسیله حل معادلات دیفرانسیل معمولی برای مسیر، مومنتوم، انتقال گرما و جرم برای قطرات واحدی که از گروه‌های متفاوت انجام می‌شود. معادلات حاکم به صورت زیر می‌باشند.

الف- معادله بقای مومنتوم

معادله بقای مومنتوم نیز به شکل زیر داده شده است:

$$m_d \frac{du_{id}}{dt} = F_{idr} + F_{ig} + F_{ip} + F_{ivm} + F_{ib} \quad (۴)$$

$$F_{idr} = \frac{1}{2} \rho_g A_d C_D |u_{rel}| \cdot u_{irel} \quad (۵)$$

$$C_d = \begin{cases} \frac{24}{Re_d C_p} (1 + 0.15 Re_d^{0.687}) & Re_d < 10^3 \\ 0.44 / C_p & Re_d \geq 10^3 \end{cases} \quad (۶)$$

در رابطه بالا F_{idr} نیروی درگ است.

عدد رینولدز ذرات به صورت زیر تعریف می شود که در آن μ_g ویسکوزیته سیال است. C_p ضریب رابطه کانینگهام است.

$$Re_d = \frac{\rho_g |u_{rel}| D_d}{\mu_g} \quad (۷)$$

در معادله (۴) تمامی نیروهای سطحی و بدنی روی قطره افشانه لحاظ شده اند. از آنجایی که بزرگی نیروهای فشاری و سایر نیروهای در مقایسه با نیروهای درگ و گرانشی قابل اغماض است فقط نیروی درگ روی قطره افشانه برای فروپاشی اولیه و ثانویه افشانه سوخت مایع لحاظ شده است. شتاب قطره در محیط گازی به صورت زیر داده شده است.

$$\frac{du_{id}}{dt} = \frac{3}{4} C_d \frac{\rho_g}{\rho_d} \frac{1}{D_d} |u_g - u_d| (u_{ig} - u_{id}) + \left(1 - \frac{\rho_g}{\rho_d}\right) g_i \quad (۸)$$

زیر مدل های استفاده شده در مدول افشانه شامل مدل تبخیر دوکویچ^۳، مدل فروپاشی اولیه تزریق گلوله^۴ و مدل فروپاشی ثانویه موج می باشند .

۳-۳ فروپاشی اولیه - مدل تزریق گلوله

نرخ فروپاشی آشفته‌گی از مقیاس‌های طول آشفته‌گی r_T و زمان آشفته‌گی τ_T محاسبه می‌شود:

$$r_T = C_\mu^{0.75} \frac{k^{1.5}}{\varepsilon} \quad (9)$$

$$\tau_T = C_\mu \frac{k}{\varepsilon} \quad (10)$$

$$\frac{dR}{dt} = -\frac{r - C_3 r_T}{C_4 \tau_T} \quad (11)$$

که در آن r شعاع قطره و C_3 و C_4 ثابت‌های مسئله هستند. با فرض ناچیز بودن اثرات پخش δ ، معادلات آشفته‌گی مربوط به آشفته‌گی هسته سوخت مایع به شکل زیر خواهد بود:

$$\frac{dk}{dt} = -\varepsilon + S_k \quad (12)$$

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = -C \cdot \frac{\varepsilon}{k} \cdot (\varepsilon - S_k) \quad (13)$$

در معادله بالا k انرژی جنبشی آشفته‌گی، ε نرخ پراکندگی، C ثابت مدل و S_k عبارت منبع کاویتاسیون می‌باشد.

۳-۴ فروپاشی ثانویه - مدل موج

در این مدل فروپاشی قطره به صورت نرخ کاهش شعاع قطره نسبت به زمان ارایه شده است:

$$\frac{dr}{dt} = -\frac{(r - r_{stable})}{\tau_a} \quad (14)$$

که در آن r_{stable} شعاع نهایی قطره و متناسب با طول موج Λ متناظر با موج با سریع‌ترین رشد روی سطح قطره است:

$$r_{stable} = C_1 \Lambda \quad (15)$$

τ_a ، زمان فروپاشی مدل است که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\tau_a = \frac{3 \cdot 726 \cdot C_2 \cdot r}{\Lambda \cdot \Omega} \quad (16)$$

$$\Lambda = 9 \cdot 02 \cdot r \frac{(1 + 0 \cdot 45 \cdot oh^{0.5})(1 + 0 \cdot 4 \cdot T^{0.7})}{(1 + 0 \cdot 87 \cdot We_g^{1.67})^{0.6}} \quad (17)$$

$$\Omega = \left(\frac{\rho_g r^3}{\sigma}\right)^{-0.5} \frac{0 \cdot 34 + 0 \cdot 38 \cdot We_g^{1.5}}{(1 + oh)(1 + 1 \cdot 4 \cdot T^{0.6})} \quad (18)$$

۴. محاسبات عددی

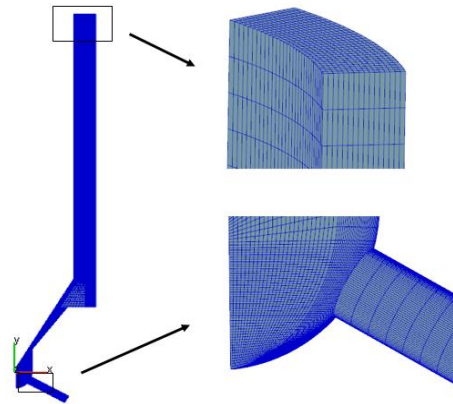
۴-۱ انژکتور

برای شبیه‌سازی جریان داخلی انژکتور از یک انژکتور تک سوراخه با نازل استوانه‌ای به قطر ۰/۲ میلی‌متر و طول ۱ میلی‌متر استفاده شده است. برای بررسی جریان داخلی انژکتور و حل معادلات بقایی از کد اقتصادی ای‌وی‌ال فایر استفاده شده است که بر پایه روش حل عددی حجم محدود می‌باشد. شبکه‌بندی انژکتور به صورت شکل ۲ انجام شده است. با توجه به افت فشار درون سوراخ نازل انژکتور که منجر به ایجاد کاویتاسیون می‌شود، جریان چند فازگی گرفته شده است. مشخصات هندسی انژکتور و شرایط کارکردی آن در جدول ۱ آمده است. با توجه به پیچیدگی جریان توربلانس نازل، برای حل معادلات توربلانس جریان نازل مدل شبیه‌سازی گرداب بزرگ انتخاب شده است.

جدول ۱: مشخصات نازل

طول نازل (mm)	قطر خروجی نازل (mm)	قطر ورودی نازل (mm)	نوع سوراخ نازل
---------------	---------------------	---------------------	----------------

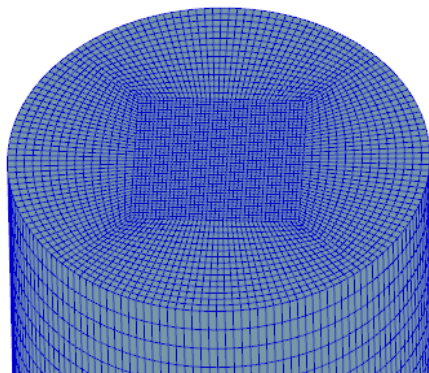
استوانه‌ای	۰/۲	۰/۲	۱
------------	-----	-----	---



شکل ۲: مدل شبکه‌بندی انژکتور

۴-۲ افشانه

برای شبیه‌سازی افشانه از یک حجم محدود استوانه‌ای شکل به طول ۲۰ سانتی‌متر و قطر ۱۰ سانتی‌متر استفاده شده است که در شکل ۳ نشان داده شده است. برای افزایش دقت محاسبات در بخش ورودی محفظه احتراق جایی که سوخت پاشیده می‌شود از شبکه‌بندی ریزتری استفاده شده است.

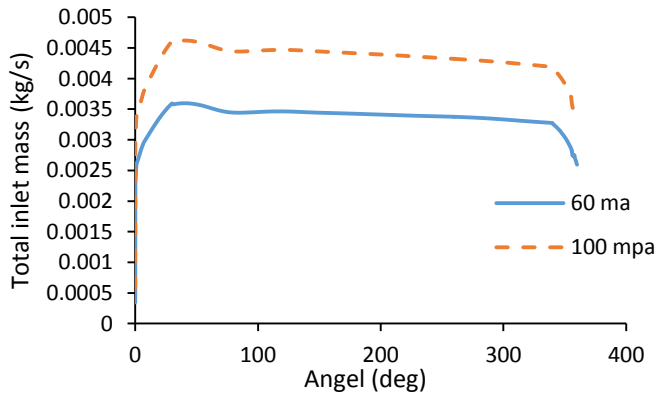


شکل ۳: شبکه‌بندی محفظه احتراق

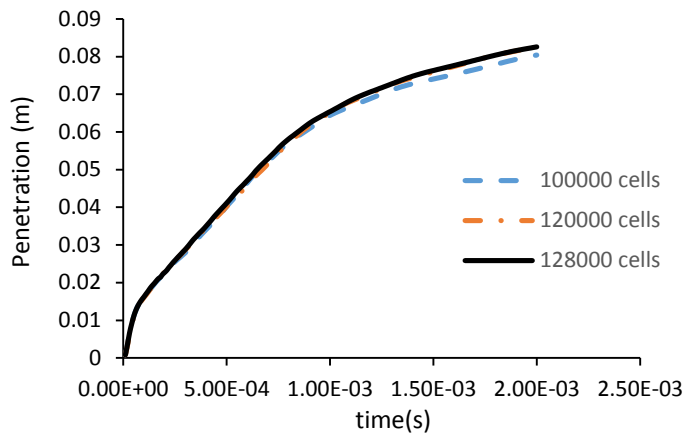
در کار حاضر از سوخت دیزل (DIESEL-D2) استفاده شده است و برای آن دو مقدار فشار تزریق ۶۰ و ۱۰۰ مگاپاسکال در نظر گرفته شده است. سیال مورد استفاده در محفظه احتراق، هوا بوده و مقدار فشار محفظه ۲ مگاپاسکال می باشد. دمای محفظه احتراق ثابت و برابر ۲۹۳/۱۵ کلوین در نظر گرفته شده است. یکی از روش های رایج مطالعه افشانه، مطالعه افشانه در حالت سرد و غیر تبخیری است. در این شرایط تمرکز مدل سازی بر اتمیزه شدن، متلاشی شدن و نیروهای مؤثر بر قطرات است. در واقع حتی با ساده سازی مسئله به حالت سرد، هنوز مشکلات زیادی در شبیه سازی وجود دارد که می توان به مشکلات مدل ها در فشارهای بالا اشاره کرد. در این شرایط تبخیر قابل توجهی اتفاق نخواهد افتاد. شبیه سازی افشانه سوخت به صورت ناپایا، وابسته به زمان، با پله های زمانی ۰/۰۱ میلی ثانیه و مدت زمان پاشش ۱ میلی ثانیه در نظر گرفته شده است. نرخ پاشش سوخت برای هر دو فشار تزریق ۶۰ و ۱۰۰ مگاپاسکال که مستقیماً از نتایج خروجی انژکتور بدست آمده است، در شکل ۴ آورده شده است. برای بررسی عدم وابستگی نتایج افشانه به تعداد شبکه های محفظه احتراق، نتایج حاصله برای تعداد شبکه های متعددی بدست آمده است. با توجه به شکل ۵ طول نفوذ افشانه سوخت در ۱۲۸۰۰۰ سلول رفتار یکنواخت تری دارد.

در بخش گسسته سازی، برای محاسبه مقادیر شرایط مرزی از روش برون یابی ۶ و برای محاسبه مشتقات از روش کمترین مربعات استفاده شده است. برای کوپل سرعت و فشار، الگوریتم سیمپل ۷ مورد استفاده قرار گرفته است. معادلات به کار رفته معادلات مومنوم، پیوستگی و توربولانس می باشند. و برای مدل سازی توربولانس از مدل $k-\epsilon$ استفاده شده است.

برای گسسته سازی معادلات مومنوم و پیوستگی از روش تفاضل محدود و برای معادلات توربولانس از روش بالادست ۸ استفاده شده است. مقادیر ورودی برای افشانه از نتایج خروجی جریان چند فازی انژکتور بدست آمده اند. در طول تزریق ورودی و خروجی سیلندر بسته می ماند، بنابراین برای شرایط مرزی حجم کنترل، دیوار انتخاب شده اند.



شکل ۴: دبی جرمی سوخت ورودی به انژکتور



شکل ۵: استقلال طول نفوذ افشانه از شبکه‌بندی

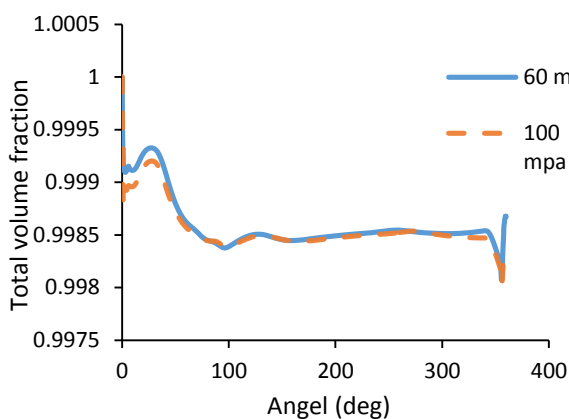
۵. نتایج حل عددی و بحث

۵-۱ جریان داخل نازل

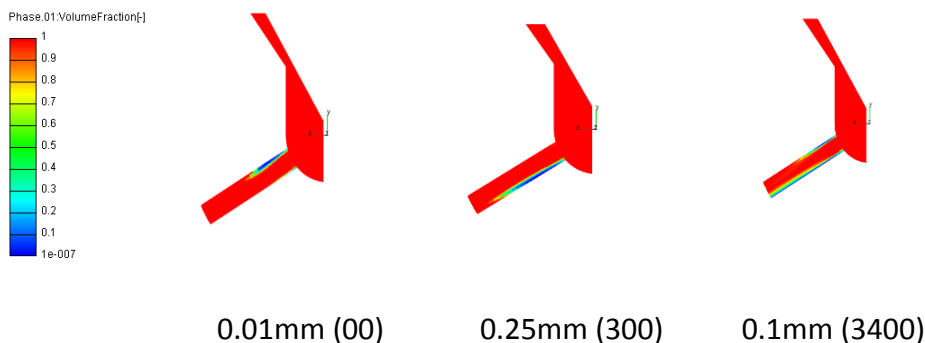
کاویتاسیون یکی از مهم‌ترین پدیده‌ای است که روی رفتار هیدرودینامیکی افشانه سوخت تأثیر می‌گذارد. رشد و ترکیدن حباب‌های کاویتاسیون از جمله مهم‌ترین عواملی است که فروپاشی قطرات افشانه را تسهیل می‌کند. به عبارت دیگر وقوع کاویتاسیون در سوراخ نازل کیفیت اتمیزاسیون را بهبود می‌دهد. در این بخش تعدادی از نتایج دوبعدی و سه‌بعدی جریان داخل نازل انژکتور نشان داده شده است. کسر حجمی فاز مایع از مهم‌ترین مشخصه‌های پدیده کاویتاسیون می‌باشد که می‌تواند شدت وقوع پدیده کاویتاسیون را نشان دهد.

نمودار کسر حجمی فاز مایع برای دو فشار ۶۰ و ۱۰۰ مگاپاسکال در شکل ۶ نشان داده شده است. بیشترین مقدار کسر حجمی فاز مایع برابر ۱ و کمترین آن ۰ می‌باشد. فشار تزریق بالا باعث افزایش سرعت سوخت در اریفیس انژکتور می‌شود بنابراین باعث به وجود آمدن پدیده کاویتاسیون می‌شود. در فشارهای بالا کاویتاسیون سریع رشد می‌کند و باعث تولید حباب‌های زیادی می‌شود.

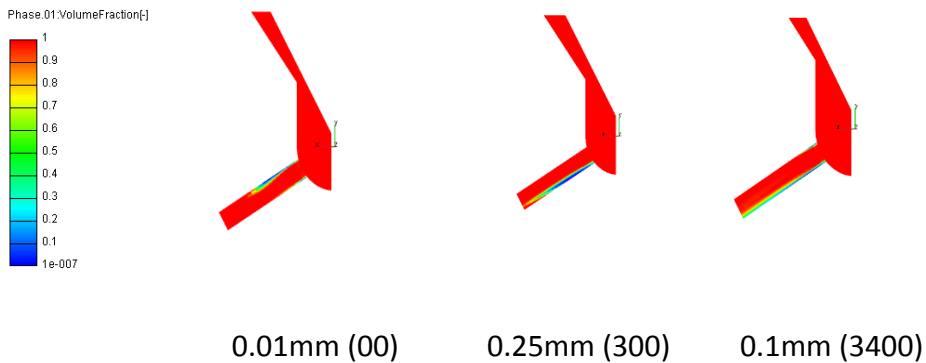
در شکل‌های ۷ و ۸ توزیع کسر حجمی درون حجم کنترل با فشار پاشش ۶۰ و ۱۰۰ مگاپاسکال در موقعیت‌های مختلف سوزن با سه زاویه متفاوت آورده شده است. همان‌طور که در شکل دیده می‌شود در زاویه ۰ درجه سوزن در پایین‌ترین محل خود قرار دارد و مسیر جریان بسته می‌باشد و در زاویه ۳۰ درجه سوزن کاملاً بالا رفته و مسیر جریان سوخت باز می‌باشد، سپس رفته‌رفته با پایین آمدن سوزن مسیر جریان بسته می‌شود.



شکل ۶: نمودار کسر حجمی فاز مایع



شکل ۷: توزیع کسر حجمی فاز مایع درون حجم کنترل با فشار پاشش ۶۰ مگاپاسکال

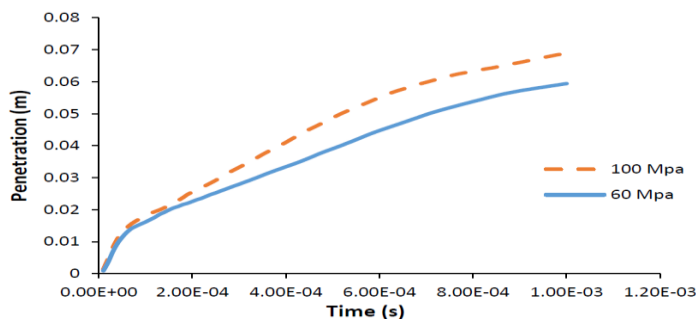


شکل ۸: توزیع کسر حجمی فاز مایع درون حجم کنترل با فشار پاشش ۱۰۰ مگاپاسکال

همان‌طور که در شکل‌های ۷ و ۸ دیده می‌شود در ناحیه ورودی نازل که به دلیل تغییر ناگهانی و شدید سطح مقطع فشار موضعی افت پیدا می‌کند و مقدار فاز بخار شروع به افزایش می‌کند و بر میزان حباب‌های کاویتاسیونی افزوده می‌شود. مقایسه شکل‌ها نشان می‌دهند که برای هر دو فشار تزریق پدیده کاویتاسیون ایجاد شده است اما برای فشار تزریق ۱۰۰ مگاپاسکال کاویتاسیون تا انتهای خروجی نازل ادامه پیدا کرده است، به عبارت دیگر برای فشار ۱۰۰ مگاپاسکال میزان فاز بخار افزایش پیدا می‌کند و موجب ایجاد بهتر پدیده کاویتاسیون می‌شود.

۵-۲ افشانه

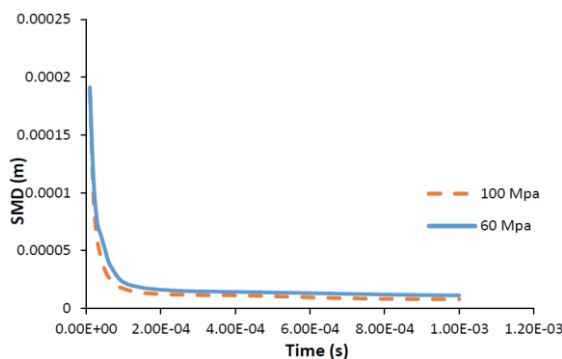
برای بررسی رفتار افشانه سوخت دو مشخصه طول نفوذ افشانه و قطر میانگین قطرات که از مهم‌ترین معیارهای بررسی رفتار افشانه می‌باشد مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در شکل ۹ طول نفوذ افشانه در مقابل زمان پاشش سوخت برای دو فشار تزریق ۶۰ و ۱۰۰ مگاپاسکال نشان داده شده است.



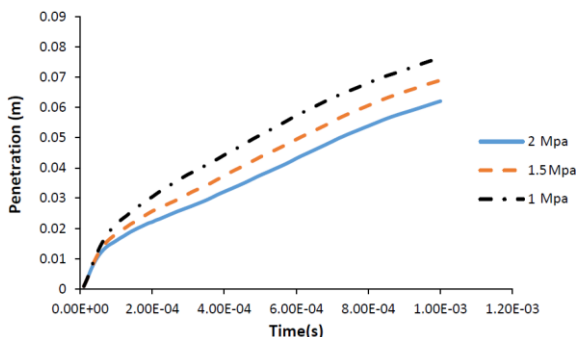
شکل ۹: طول نفوذ افشانه برای دو فشار تزریق ۶۰ و ۱۰۰ مگاپاسکال

با توجه به شکل ۹، طول نفوذ افشانه با گذشت زمان افزایش می‌یابد که به مفهوم نفوذ بیشتر افشانه به داخل محفظه احتراق است. با افزایش فشار تزریق مقدار طول نفوذ افشانه افزایش می‌یابد. شکل ۱۰ قطر میانگین قطرات در مقابل زمان پاشش سوخت برای دو فشار تزریق ۶۰ و ۱۰۰ مگاپاسکال را نشان می‌دهد.

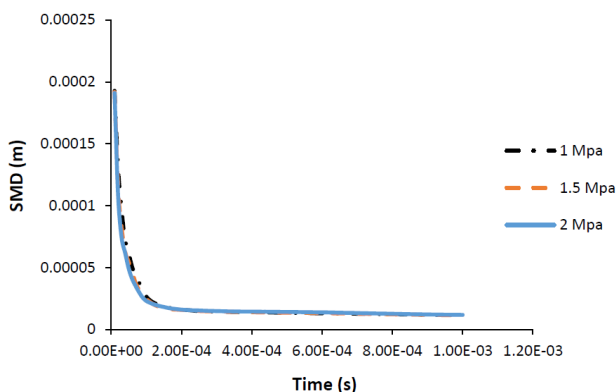
با توجه به شکل ۱۰ نتیجه می‌شود که قطر میانگین قطرات خروجی از نازل با گذشت زمان کاهش می‌یابد که بیانگر تجزیه سوخت پاشیده شده به ذرات ریزتر در اثر مکانیسم‌های فروپاشی اولیه و ثانویه می‌باشد. در شروع تزریق روند این تغییرات بسیار شدید است ولی با گذشت زمان کاهش می‌یابد. افزایش فشار تزریق باعث افزایش سرعت سوخت در اریفیس انژکتور می‌شود که باعث اتمیزاسیون بهتر می‌شود و قطر متوسط ذرات کاهش می‌یابد. شکل ۱۱ تأثیر فشار محفظه احتراق بر روی طول نفوذ افشانه را نشان می‌دهد. با افزایش فشار محفظه احتراق طول نفوذ افشانه کمتر می‌شود. با توجه به شکل ۱۱ در فشار محفظه ۲ مگاپاسکال افشانه دارای کمترین طول نفوذ و در فشار محفظه ۱ مگاپاسکال دارای بیشترین طول نفوذ می‌باشد. شکل ۱۲ نیز تأثیر فشار محفظه احتراق بر روی قطر میانگین قطرات را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰: قطر میانگین قطرات برای دو فشار تزریق ۶۰ و ۱۰۰ مگاپاسکال

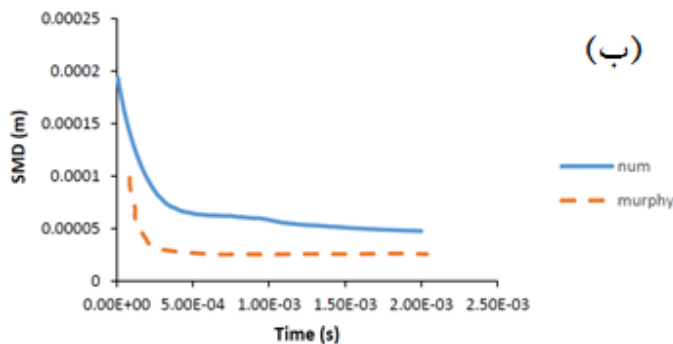
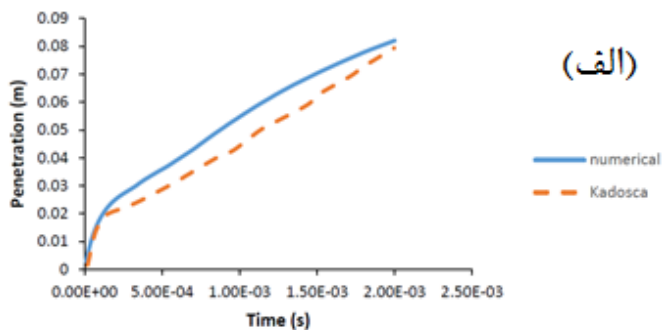


شکل ۱۱: تأثیر فشار محفظه احتراق بر روی طول نفوذ افشانه



شکل ۱۲: تأثیر فشار محفظه احتراق بر روی قطر میانگین قطرات

با توجه به این که با افزایش فشار محفظه احتراق طول نفوذ افشانه کمتر می‌شود بنابراین فرایند اتمیزاسیون به خوبی صورت نمی‌گیرد و قطر میانگین قطرات نسبت به حالت فشار محفظه کم، بیشتر می‌باشد. برای دستیابی به دقت نتایج بدست آمده، داده‌های عددی برای طول نفوذ افشانه و قطر متوسط قطرات با نتایج تجربی [۱۵ و ۱۶] مقایسه شده است. با توجه به شکل ۱۳ تطابق خوبی بین نتایج عددی و نتایج تجربی وجود دارد.



شکل ۱۳: اعتبار سنجی نتایج مطالعه حاضر با نتایج تجربی و عددی

(الف) طول نفوذ افشانه، (ب) قطر میانگین قطرات

۶. نتیجه گیری

در این مقاله، پاشش سوخت و رفتار هیدرودینامیک افشانه سوخت، تحت پدیده کاویتاسیون داخل مجرای انژکتور در محفظه احتراق موتور دیزل به صورت عددی مورد مطالعه قرار گرفته است. شبیه سازی های انجام گرفته برای فشار تزریق ۶۰ و ۱۰۰ مگاپاسکال و فشار محفظه احتراق برابر ۲ مگاپاسکال می باشد. با بررسی جریان داخل نازل انژکتور مشخص شد که برای هر دو فشار تزریق، پدیده کاویتاسیون ایجاد شده است اما برای فشار تزریق ۱۰۰ مگاپاسکال کاویتاسیون تا انتهای خروجی نازل ادامه پیدا کرده است، به عبارت دیگر برای فشار ۱۰۰ مگاپاسکال میزان فاز بخار افزایش پیدا می کند و موجب ایجاد بهتر پدیده کاویتاسیون می شود. بنابراین فشار تزریق بالا باعث افزایش سرعت سوخت در اریفیس انژکتور می شود و باعث به وجود آمدن پدیده کاویتاسیون می شود. در فشارهای بالا کاویتاسیون سریع رشد می کند در نتیجه باعث اتمیزاسیون بهتر می شود و قطر متوسط ذرات کاهش می یابد. برای بررسی رفتار افشانه سوخت دو معیار مهم طول نفوذ افشانه و قطر میانگین قطرات بررسی شده است. طول نفوذ افشانه با گذشت زمان در داخل محفظه احتراق افزایش می یابد و قطر میانگین قطرات خروجی از نازل کاهش می یابد که بیانگر تجزیه سوخت پاشیده شده به ذرات ریزتر در اثر مکانیسم های فروپاشی اولیه و ثانویه می باشد. نتایج نشان می دهد برای فشار تزریق ۱۰۰ مگاپاسکال طول نفوذ افشانه بیشتر از فشار تزریق ۶۰ مگاپاسکال می باشد و همچنین قطر میانگین قطرات در فشار تزریق ۱۰۰ کمتر از فشار تزریق ۶۰ مگاپاسکال می باشد.

کاهش طول نفوذ باعث می شود عمل اختلاط سوخت با هوا به خوبی صورت نگیرد و باعث تولید NOX شود که باعث آلودگی می گردد. همچنین در حالت افزایش طول نفوذ افشانه سوخت، امکان برخورد افشانه با دیواره محفظه احتراق و تولید دوده وجود دارد. در هر دو مورد بالا مصرف سوخت موتور افزایش یافته و احتراق دچار مشکل می شود و در نتیجه باعث افزایش گازهای آلاینده می شود.

۷. منابع

[1] A. Mohammadi, Y. Kidoguchi, K. Miwa, Effect of injection parameters and wall-impingement on atomization and gas entrainment processes in diesel sprays, SAE paper, 2002-01-0497, 2002.

- [2] E. De Villiers, A. Gosman, H. Weller, Large Eddy simulation of primary diesel spray atomization, SAE Paper, 2004, 01-0100.
- [3] H. Chaves, M. Knapp, A. Kubitzek, Experimental study of cavitation in a nozzle hole of diesel injector using transparent Nozzle, SAE paper 1996. 962004,
- [4] Mohammad Taghi Shervani-Tabar, Soran Parsa, Morteza Ghorbani, Numerical study on the effect of the cavitation phenomenon on the characteristics of fuel spray, Mathematical and Computer Modelling 56 (2012) 105–117.
- [5] F. Payri, V. Bermudez, R. Payri, F.J. Salvador, The influence of cavitation on the internal flow and spray characteristics in diesel injection nozzles, Fuel J. (Sep.) (2004) 419–431.
- [6] H.K. Lee, M.F. Russell, C.S. Bae, H.D. Shin, Development of cavitation and enhanced injector models for diesel fuel injection system simulation, Department of Mechanical Engineering, Korea Advanced Institute of Science and Technology, South Korea, 2002.
- [7] J.M. Desantes, R. Payri, F.J. Salvador, J. Gimeno, Measurements of spray momentum for the study of cavitation in diesel injection nozzles, Society of Automotive Engineers, 2003-01-0703.
- [8] Payri R., Salvador F.J., Gimeno J., Zapata L.D., Diesel nozzle geometry influence on spray liquid-phase fuel penetration in evaporation conditions, FUEL 87 (2008) 1165–1176.
- [9] G.W. Brown, H. McCallion, Simulation of an injection system with delivery pipe cavitation using a digital computer, Proc. Instn. Mech. Engrs 182 (1967–1968) Pt3L.
- [10] E.B. Wylie, J.A. Bott, M.F. El-Erian, Diesel fuel injection system simulation and experimental correlation, SAE Paper, 1971, No. 710569.
- [11] Hyun Kyu Suh, Chang Sik Lee, Effects of cavitation in nozzle orifice on the diesel fuel atomization characteristics, International Journal of Heat and Fluid Flow 29 (2008) 1001–1009.
- [12] Milan Vujanovic, Zvonimir Petranovic, Wilfried Edelbauer, Jakov Baleta, Neven Duic, Numerical modelling of diesel spray using the

Eulerian multi-phase Approach, Energy Conversion and Management, 2015.

[13] Gang Wu, Xinyi Zhou, Tie Li, Temporal Evolution of Split-Injected Fuel Spray at Elevated Chamber Pressures, Energies, 2019.

[14] AVL – FIRE HELP, Eulerian Multiphase, FIRE , version 2013.

[15] András Kadocsa, Reinhard Tatschl, Gergely Kristóf , Analysis of spray evolution in internal combustion engines using numerical simulation, Journal of Computational and Applied Mechanics, Vol. 8., No. 1., (2007), pp. 85–100.

[16] J. Murphy, D. Schmidt, S.P. Wang, M.L. Corradini , Multi-dimensional modelling of multiphase flow physics: high-speed nozzle and jet flows -a case study , Nuclear Engineering and Design 204 (2001) 177–190.