مجله مهندسی مکانیک مدرس، اردیبهشت 1396، دوره 17، شماره 2، ص‌ص 135-146

ماهنامه علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

بررسی عددی تاثیر اندازه قطر قطره‌ی سوخت مایع در احتراق در یک هندسه‌ی دو بعدی متقارن محوری

توحید خاک‌زند[1]، رامین کوهی‌کمالی[2*]، جواد محمودی مهر[3]

1- دانشجوی کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه گیلان، رشت

2- دانشیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه گیلان، رشت

3- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه گیلان، رشت

* رشت، صندوق پستی 3756، kouhikamali@guilan.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: 01 آذر 1395

پذیرش: 22 دی 1395

ارائه در سایت: 13 بهمن 1395

کلید واژگان:

اندازه قطرات

اسپری سوخت

شبیه‌سازی عددی

احتراق

چکیده

پاشش سوخت و تبخیر آن نقش بسیار مهمی در بسیاری از فرآیندهای احتراقی در صنعت مانند صنایع حمل و نقل، صنایع نظامی، نیروگاه‌ها و کوره‌ها دارد. کار حاضر بر روی تاثیر قطر قطره‌ی سوخت مایع بر ویژگی‌های محفظه احتراق و تشکیل آلاینده‌ها مانند مونواکسید کربن و ناکس در یک محفظه احتراق دوبعدی متقارن محوری تمرکز کرده است. برای شبیه‌سازی سیستم احتراقی از روش مدل فاز گسسته استفاده شده است که مبنای این روش بر پایه‌ی روش اویلری-لاگرانژی است. در این مدل فاز پیوسته به صورت اویلری و فاز گسسته به صورت لاگرانژی شبیه-سازی می‌شوند. برهم‌کنش بین فازها و تشعشع در شبیه‌سازی لحاظ شده است. احتراق با مدل غیر پیش آمیخته و تابع احتمال چگالی شبیه‌سازی شده است. برای معادلات آشفتگی از مدل کی-اپسیلون استفاده شده است. با تغییر در قطر قطرات سوخت تاثیر این عامل در دمای محفظه احتراق و همچنین تولید آلاینده‌ها از جمله ناکس و مونواکسید کربن مورد بررسی قرار می‌گیرد. با توجه به نتایج به دست آمده قطرات کوچک ناکس بیشتری در مقایسه با قطرات بزرگ‌تر تولید می‌کنند. همچنین قطرات بزرگ‌تر مونواکسید کربن بیشتری نسبت به قطرات کوچک‌تر تولید کرده‌اند.

Numerical investigation of the effect of a liquid fuel droplet diameter in combustion in a 2-D axisymmetric geometry

Tohid Khakzand, Ramin Kouhikamali*, Javad Mahmoudimehr

Department of Mechanical Engineering, University of Guilan, Rasht, Iran

* P.O.B. 3756, Rasht, Iran, kouhikamali@guilan.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper

Received 21 November 2016

Accepted 11 January 2017

Available Online 01 February 2017

Keywords:

Droplet Size

Fuel Spray

Numerical Simulation

Combustion

ABSTRACT

Spray combustion is utilized in a number of engineering applications such as energy conversion, military industrial, furnace and propulsion devices. Current work focused on the effect of liquid fuel droplet diameter on the efficiency of the combustion chamber and formed emission such as NO_x and CO in a two-dimensional axisymmetric combustion chamber. The discrete phase model approach was employed for simulating combustion. The gas phase is simulated using an Eulerian approach, while the droplets are treated with a Lagrangian method. The coupling between the two phases and effect of radiation is considered. The mixture-fraction/probability density function (PDF) equilibrium chemistry model is used to predict the combustion of the vaporized fuel. Also, the conservative equations of mass, momentum and energy in the turbulent flow field were solved in conjunction with the k–ε two equation turbulence model. A numerical simulation was carried out to study the influence of droplet size on the formation and emission of NO_x and other contaminants. This effect was investigated under different droplet diameter and type of injection. The following conclusions can be drawn: Smaller droplets produce higher NO_x emission than the larger ones. Larger droplets produce higher CO than smaller ones.

1- مقدمه

احتراق راه متداول تولید انرژی در بسیاری از سیستم‌های صنعتی، صنایع حمل و نقل و صنایع نظامی از جمله توربین‌های گاز، موتورهای احتراق داخلی، کوره‌ها و بویلرها است [1]. تأمین انرژی یکی از اساسی‌ترین پیش‌نیازهای توسعه اقتصادی و بهبود کیفی زندگی بشر است. روند افزایش مصرف انرژی در جهان بشر را با دو بحران بزرگ روبرو کرده است، نخست شتاب فزاینده در جهت به پایان بردن منابع سوخت‌های فسیلی و دیگری آلودگی محیط‌زیست در اثر سوزاندن این منابع. از جمله مشکلات آلودگی زیست‌محیطی ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی می‌توان به صدور آلاینده-های ناشی از احتراق سوخت‌های فسیلی مانند ناکس[1] و مونواکسید کربن[2] اشاره کرد که باعث افزایش صدور گازهای گلخانه‌ای و به تبع آن افزایش

[1] NO_x

[2] CO

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:

T. Khakzand, R. Kouhikamali, J. Mahmoudimehr, Numerical investigation of the effect of a liquid fuel droplet diameter in combustion in a 2-D axisymmetric geometry, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 17, No. 2, pp. 135-146, 2017 (in Persian)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-03-29]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.2.39.1]

دمای زمین، افزایش گازهای سمی و آلودگی شهرها، ایجاد تغییراتی در آب‌و-هوا از جمله باران‌های اسیدی شده است [2]. توجه به این مسائل و مشکلات بهینه‌سازی و افزایش راندمان و کاهش سطح آلاینده‌های ناشی از احتراق سوخت‌های مایع اهمیت بسیاری یافته است به‌طوری‌که احتراق قطرات سوخت مایع مبحث موردعلاقه‌ی بسیاری از تحقیقات انجام‌گرفته در 5 دهه‌ی اخیر بوده است. برای غلبه بر مشکلات و مسائل ذکرشده به‌طور کلی از دو روش اصلی استفاده می‌شود:

- استفاده از سوخت‌ها و منابع انرژی جایگزین و تجدید پذیر
- بهینه‌سازی و بهبود ویژگی‌های احتراق سوخت‌های فسیلی و افزایش کیفیت اختلاط سوخت و هوا

کار حاضر بر روش دوم یعنی بهینه‌سازی و بهبود احتراق سوخت مایع و افزایش راندمان احتراق تکیه دارد. شناخت و بررسی دقیق برهم‌کنش پیچیده‌ی بین فاز گاز و فاز مایع در احتراق سوخت پاشش شده‌ی مایع کلید اصلی در بهبود عملکرد محفظه‌ی احتراق و افزایش راندمان احتراق و کاهش سطح آلاینده‌ها است. برای سوخت‌های معمول فسیلی مانند بنزین و دیزل سطح آلاینده‌های خروجی می‌تواند به‌وسیله‌ی تغییرات و بهینه‌سازی ویژگی-های پاشش سوخت و کیفیت اختلاط سوخت و هوا کاهش یابد. برای دستیابی به این مهم لازم است که تمام سوخت پاشش شده با هوای در دسترس بیشترین ارتباط و برخورد را داشته باشد تا احتراق کامل‌تر صورت پذیرد [2].

اکسیدهای نیتروژن (ناکس)[1] در شعله‌ی احتراق سوخت مایع ناشی از دو فرآیند اصلی است: ناکس حرارتی[2] و ناکس فوری. ناکس دمایی از اکسیداسیون نیتروژن اتمسفر به وجود می‌آید و ناکس فوری از واکنش نیتروژن اتمسفر با رادیکال‌های هیدروکربن در ناحیه سوخت-غنی شعله حاصل می‌گردد. تحقیقات نشان داده است که مقدار ناکس دمایی برای ناحیه‌ای از شعله که دما در آن از 1700 کلوین پایین‌تر باشد به نسبت کم است [3] در حالی که در چنین نواحی ممکن است ناکس تولید شده از مکانیسم فوری (پرامپت) بیشتر باشد. هر یک از این مکانیسم‌ها در بخش بعد تشریح خواهد شد. برای مدل‌سازی فرآیند احتراق از مدل غیر-پیش آمیخته استفاده‌شده است که معادلات انتقال را برای کسرهای مخلوط[3] حل می‌کند. معادلات برای هر جزء خاص حل نمی‌شوند بلکه غلظت هر جزء از میدان کسر مخلوط که از روابط ترموشیمیایی محاسبه‌شده است به دست می‌آید. از سال 1970 تاکنون محققان بسیاری بر اسپری و ویژگی‌های احتراق سوخت مایع تمرکز کرده‌اند. مطالعات مربوط به ویژگی‌های سوخت را می‌توان به دو نوع کلی تقسیم کرد: ویژگی‌های ماکروسکوپیک مانند زاویه پاشش سوخت و طول نفوذ شعله و ویژگی‌های میکروسکوپیک مانند سرعت و قطر ذرات پاشش شده. هایاشی و همکاران [4] با استفاده از مدل‌سازی آزمایشگاهی تأثیرات توزیع اندازه ذرات را بر تشکیل دوده در شعله‌ی آرام بررسی نمودند. آواسی و همکاران [2] تاثیر اندازه قطره‌ی ایزوله‌ی متان را در احتراق سوخت به‌صورت تحلیلی مورد بررسی قرار دادند. تای لی و همکاران [5] تحقیقات آزمایشگاهی برای بررسی تاثیر توزیع اندازه قطرات و خصوصیات تبخیر سوخت در مدل احتراق پیش آمیخته جریان چرخشی انجام دادند و مشاهده کردند کاهش در فشار محیط باعث بهتر شدن تبخیر قطرات می‌گردد. فوجیتا و همکاران [6] تاثیر اندازه قطرات و تشعشع و نسبت تناسب سوخت و هوا را با حل عددی در محفظه احتراق دو بعدی و مدل احتراق پیش آمیخته مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند هرچه اندازه قطرات افزایش می‌یابد دمای منطقه مرکزی پایین‌دست جریان کاهش می‌یابد. واتانابه و همکاران [7] بر روی تاثیر تشعشع بر خصوصیات شعله‌ی اسپری و تشکیل دوده، به‌وسیله‌ی حل مستقیم عددی دو بعدی در حالت آرام اقدام نمودند و مشاهده کردند که تشعشع به‌طور زیادی بر تشکیل دوده و ساختار شعله تاثیر می‌گذارد. شارما و سوم [8] تأثیرات مواد قابل تبخیر سوخت و ویژگی‌های پاشش سوخت را در خصوصیات احتراق و تشکیل ناکس بررسی عددی نمودند و مشاهده کردند با افزایش زاویه پاشش تولید ناکس افزایش می‌یابد. تمرکز کار حاضر بر تغییر قطر قطرات سوخت مایع و تغییر زاویه پاشش سوخت و بررسی آلاینده‌های تشکیل‌شده از جمله ناکس و مونواکسید کربن در یک محفظه احتراق دو بعدی متقارن محوری است. تاثیر قطرات در سه بخش شامل پاشش قطراتی با قطر یکسان، پاشش قطرات با توزیع خطی و پاشش قطرات با توزیع قطر روسین رملر هرکدام تحت سه زاویه پاشش 0 درجه، 30 درجه و 60 درجه بررسی می‌شود.

2- معادلات حاکم

2-1- فرضیات شبیه‌سازی

فرضیات زیر برای مدل‌سازی فرآیندهای مختلفی که در داخل محفظه احتراق اتفاق می‌افتد در نظر گرفته شده است:

- یک آنالیز دینامیک سیالات محاسباتی دو بعدی متقارن محوری یک شعله‌ی آشفته قادر است تا سرعت گاز، دما و غلظت هر جزء را با دقت مناسب پیش‌بینی کند.
- اسپری سوخت از قطراتی با اندازه مشخص و محدود تشکیل شده است.
- برهم‌کنش دو طرفه بین فاز پیوسته و فاز گسسته[4] حاکم است.
- نیروی شناوری ناچیز است.
- کروزن[5] به‌عنوان سوخت مایع در نظر گرفته شده است.

2-2- معادلات

بسیاری از جریان‌های مهندسی مورد استفاده در صنعت شامل برهم‌کنش فاز پیوسته (مانند گاز) و فاز گسسته (مانند قطرات مایع یا جامد) است. از جمله‌ی این جریان‌ها و کاربردها می‌توان به جداکننده‌های گردبادی[6]، بویلرهای پودر زغالی[7]، موتورهای احتراق داخلی و... اشاره کرد. این برهم‌کنش‌ها می‌تواند به‌وسیله‌ی مدل فاز گسسته شبیه‌سازی شود. پایه مدل فاز گسسته بر مبنای روش اویلری-لاگرانژی است. روش اویلری-لاگرانژی برای مشخص کردن دسته‌ای از تکنیک‌های مدل‌سازی و شبیه‌سازی استفاده می‌شود که در آن قطرات یا ذرات (فاز گسسته) به روش لاگرانژی بیان می-شوند درحالی‌که جریان حامل این ذرات (فاز پیوسته) به روش اویلری توصیف می‌گردد.

مسیر حرکت ذره از (قطره یا حباب) فاز گسسته به‌وسیله‌ی انتگرال‌گیری از تعادل نیرویی[8] روی ذره که در مختصات لاگرانژی نوشته شده است به دست می‌آید. این تعادل نیرویی لختی ذره را برابر با نیروهایی که روی ذره عمل می‌کنند قرار می‌دهد و برای مثال در مختصات افقی به‌صورت معادله‌ی

[1] NO
[2] Thermal NO
[3] Mixture fraction

[4] Discrete Phase
[5] Kerosene ($C_{12}H_{23}$)
[6] Cyclone Separator
[7] Pulverized coal/oil fired boilers
[8] Force Balance

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.2.39.1]

(1) نوشته می‌شود.

$$\frac{du_p}{dt} = F_D\left(\overline{U} - \overline{U_p}\right) + \frac{\overline{g}(\rho_p - \rho)}{\rho_p} + \overline{F} \quad (1)$$

که در آن $\overline{F}$ ترم شتاب اضافی است (نیرو بر واحد جرم ذره) و $F_D\left(\overline{U} - \overline{U_p}\right)$ نیروی پسا بر واحد جرم ذره می‌باشد که F_D از رابطه‌ی (2) به دست می‌آید. نیروی جرم مجازی، نیروی پسا، نیروی سافمن، نیروی برونین، نیروی باست و فاکسن و اثرات مگنس و گرادیان فشار و اثرات گرانش در حالت کلی بر ذره اثر دارند که در کار حاضر نیروی درگ بر ذره اعمال شده است و از نیروی گرانش به دلیل قطر کم محفظه، از گرادیان فشار به دلیل طول کم محفظه و برابر بودن فشار ورودی و خروجی (فشار محفظه برابر اتمسفر در نظر گرفته شده است) و از نیروی جرم مجازی به دلیل نبود گرادیان فشار صرف نظر شده است. همچنین نیروی سافمن و برونین نیز فقط برای قطرات زیر میکرون لحاظ می‌گردد که تمام قطرات پاشش شده قطر بزرگ‌تری دارند همچنین از تأثیرات متقابل ذره بر ذره نیز در این کار صرف نظر شده است پس نیروی باست که تاثیر گذشته‌ی قطرات بر دیگر قطرات است در نظر گرفته نشده است. نیروی فاکسن هم برای جریان‌های خزشی حضور دارد که جریان مورد مطالعه این‌گونه نیست. از اثرات مگنس نیز به دلیل اینکه دورانی برای ذرات در نظر گرفته نشده صرف نظر شده است.

$$F_D = \frac{18\mu}{\rho_p d_p^2}\frac{C_D \mathrm{Re}}{24} \quad (2)$$

Re عدد رینولدز است و طبق رابطه‌ی (3) به دست می‌آید [10,9].

$$\mathrm{Re} = \frac{\rho d_p \left|\overline{U_p} - \overline{u}\right|}{\mu} \quad (3)$$

معادله‌ی (4) برای تعیین دمای ذرات به‌وسیله‌ی انتگرال‌گیری بر روی آن استفاده می‌شود.

$$m_p c_p \frac{dT_p}{dt} = hA_p\left(T_\infty - T_p\right) - \frac{dm_p}{dt}h_{fg} + \varepsilon_p A_p \sigma(\theta_R^4 - T_p^4) \quad (4)$$

که در آن θ دمای تشعشعی است و از رابطه‌ی (5) به دست می‌آید.

$$\theta = \left(\frac{G}{4\sigma}\right)^{\frac{1}{4}} \quad (5)$$

در رابطه‌ی (5)، G پدیده‌ی تشعشع است و طبق رابطه‌ی (6) به دست می‌آید.

$$G = \int_{\Omega=0}^{4\pi} I d\Omega \quad (6)$$

مومنتوم انتقالی از فاز پیوسته به فاز گسسته با استفاده از تغییرات مومنتوم ذرات (معادله (1)) و ضرب این معادله در دبی جرمی ذرات و گام زمانی به‌صورت معادله‌ی (7) به دست می‌آید.

$$F = \sum\left(\frac{\mu C_D \mathrm{Re}}{24\,\rho_p d_p^2}\left(u_p - u\right) + F_{\mathrm{other}}\right)\dot{m}_p\,\Delta t \quad (7)$$

تبادل انرژی بین فاز پیوسته و فاز گسسته از معادله‌ی (8) به دست می‌آید.

$$Q = \frac{\dot{m}_{p,0}}{m_{p,0}}\left[\left(m_{p_{\mathrm{in}}} - m_{p_{\mathrm{out}}}\right)\left[-H_{\mathrm{lat}_{\mathrm{ref}}} + H_{\mathrm{pyrol}}\right]\right] - m_{p_{\mathrm{out}}}\int_{T_{\mathrm{ref}}}^{T_{p_{\mathrm{out}}}} C_{p_p} dT + m_{p_{\mathrm{in}}}\int_{T_{\mathrm{ref}}}^{T_{p_{\mathrm{in}}}} C_{p_p} dT \quad (8)$$

برای تبادل جرم از معادله‌ی (9) استفاده می‌شود.

$$M = \frac{\Delta m_p}{m_{p,0}}\dot{m}_{p,0} \quad (9)$$

در این مطالعه روش جهات مجزا[1] برای حل معادله‌ی انتقال تشعشع مورد استفاده قرار گرفته است. مدل جهات مجزا یک مدل مناسب برای شبیه‌سازی احتراق در بسیاری از مدل‌های کاربردی است [7].

[1] Discrete Ordinates

$$\Omega.\nabla I(r,\Omega) = -(\alpha+\kappa)I(r,\Omega) + \alpha I_b(r) + \frac{\kappa}{4\pi}\int_{\Omega'=4\pi} I(r,\Omega)\times\Phi(\Omega'\dashrightarrow\Omega)d\Omega \quad (10)$$

κ و α ضرایب جذب و پخش پلانک به‌صورت زیر محاسبه می‌شوند.

$$\alpha = \int_0^\infty i_{b,\lambda}\alpha_\lambda \frac{d\lambda}{I_b} \quad , \quad \kappa = \eta_s \pi \frac{d_p^2}{4} N_d \quad (11)$$

تحت فرض ضریب پخش برابر در مدل احتراقی غیر پیش آمیخته، معادلات اجزاء واکنش احتراقی می‌تواند به یک معادله برای کسر مخلوط f کاهش یابد. معادله‌ی کسر مخلوط میانگین چگالی به‌صورت زیر است.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho\overline{f}) + \nabla\cdot(\rho\overline{\vartheta}\overline{f}) = \nabla\cdot\left(\frac{\mu_t}{\sigma_t}\nabla\overline{f}\right) + S_{\mathrm{m}} + S_{\mathrm{add}} \quad (12)$$

به‌علاوه برای حل معادله‌ی (12) باید معادله بقای زیر برای واریانس کسر مخلوط $\overline{f}^2$ حل شود.

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\rho\overline{f'^2}\right) + \nabla\cdot\left(\rho\overline{\vartheta}\overline{f'^2}\right) = \nabla\cdot\left(\frac{\mu_t}{\sigma_t}\nabla\overline{f'^2}\right) + C_g\mu_t(\nabla\overline{f})^2 - C_d\rho\frac{\varepsilon}{\kappa}\overline{f'^2} + S_{\mathrm{add}} \quad (13)$$

در این معادله $f' = f - \overline{f}$ و ضرایب σ_t, C_g, C_d به ترتیب برابر 2.0، 2.86 و 0.85 هستند [11].

برای شبیه‌سازی فرآیندهای مربوط به ناکس دمایی از مکانیسم زلدوویچ استفاده شده است [3].

$$\frac{d[\mathrm{NO}]}{dt} = 2k_{f,1}[\mathrm{O}][\mathrm{N_2}]\frac{\left(1 - \frac{k_{r,1}k_{r,2}[\mathrm{NO}]^2}{k_{f,1}[\mathrm{N_2}]k_{f,2}[\mathrm{O_2}]}\right)}{\left(1 + \frac{k_{r,1}[\mathrm{NO}]}{k_{f,2}[\mathrm{O_2}] + k_{f,3}[\mathrm{OH}]}\right)} \quad (14)$$

$$[\mathrm{O}] = 3.97\times10^5\, T^{-\frac{1}{2}}\,[\mathrm{O_2}]^{\frac{1}{2}}\,\mathrm{e}^{-\frac{31090}{T}} \quad (15)$$

برای شبیه‌سازی فرآیندهای مربوط به ناکس فوری از مدل دی سوئته استفاده شده است [12].

$$\frac{d[\mathrm{NO}]}{dt} = f k'_{\mathrm{pr}}[\mathrm{O_2}]^a[\mathrm{N_2}][\mathrm{fuel}]\mathrm{e}^{-\mathrm{E}'_a/RT} \quad (16)$$

$$f = 4.75 + 0.0819n - 23.2\emptyset + 32\emptyset^2 - 12.2\emptyset^3 \quad (17)$$

$$k'_{\mathrm{pr}} = 6.4\times10^6\left(\frac{RT}{p}\right)^{a+1} \quad (18)$$

که در آن E'_a برابر با 303474.125 ژول بر مول است. E'_a و k'_{pr} ضرایبی هستند که به‌وسیله‌ی دپارتمان سوخت و انرژی دانشگاه لیدز محاسبه شده‌اند. $\emptyset$ نسبت تعادل و n تعداد کربن در هر مولکول سوخت هیدروکربنی است. a نیز مرتبه واکنش اکسیژن است.

2-3- مدل عددی

در این مطالعه تبخیر و احتراق سوخت مایع با استفاده از قابلیت مدل‌سازی فاز گسسته در بسته‌ی تجاری انسیس و نرم‌افزار فلوئنت برای محاسبه و پیش‌بینی فیزیک جریان گاز و اسپری مایع مورد بررسی قرار گرفته است. برای مدل‌سازی احتراق سوخت تبخیر شده در محفظه‌ی احتراق از مدل احتراق غیر پیش آمیخته[2] و مدل تعادل شیمیایی تابع احتمال چگالی[3] استفاده شده است. همچنین برای مدل‌سازی خصوصیات آشفتگی جریان فاز پیوسته از مدل کی-اپسیلون آر ان جی[4] استفاده شده است. در این بررسی مدل پاشش غیر اتومایزری از یک نقطه با زاویه پاشش 45 درجه و با توزیع روسین-رملر[5] در 10 گروه از 10 میکرومتر تا 100 میکرومتر برای صحت سنجی با آزمایش بشیر نژاد و همکاران [13] استفاده شده است و برای ادامه

[2] NON-premixed Combustion
[3] probability density function(PDF)
[4] $K-\varepsilon$
[5] Rosin-Rammler

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.2.39.1]

بررسی تاثیر اندازه قطرات سوخت در ویژگی‌های محفظه از زوایای پاشش 0 درجه، 30 درجه و 60 درجه که تشکیل مخلوط توپر می‌دهند در ورودی محفظه احتراق استفاده شده است. همچنین تاثیر اندازه قطرات در 3 دسته‌ی قطرات با قطرهای یکسان، قطرات با توزیع روسین-رملر و قطرات با توزیع خطی بررسی خواهد شد. سیستم احتراق سوخت مایع در شکل 1 نشان داده شده است. یک پاشش سوخت کروزن وارد محفظه احتراق متقارن محوری می‌شود که در آن هوا با دمای 298 کلوین و سرعت 3 متر بر ثانیه جریان دارد. دمای دیواره‌های محفظه احتراق در 1200 کلوین ثابت نگه داشته شده‌اند و شرط مرزی دیواره بازگشتی در نظر گرفته شده است. طول محفظه احتراق 1 متر در نظر گرفته شده است. قطر محفظه احتراق 0.36 متر فرض شده است. جریان هوا آشفته است و برای مدل‌سازی احتراق از مدل احتراقی غیر پیش آمیخته استفاده شده است. سوخت در دمای323 کلوین و با سرعت 500 متر بر ثانیه [14] به داخل محفظه احتراق تزریق می‌شود. دبی جرمی سوخت 0.05 کیلوگرم بر ثانیه است.

2-4- استقلال از شبکه و صحت‌سنجی

شکل 2 دما روی محور محفظه احتراق اندازه‌گیری شده به‌وسیله‌ی آزمایش بشیرنژاد و همکاران [13] و دمای پیش‌بینی‌شده به‌وسیله‌ی شبیه‌سازی در کار حاضر را برای تعداد شبکه‌های استفاده‌شده نمایش می‌دهد. برای بررسی استقلال از شبکه چندین شبکه‌ی محاسباتی مورد بررسی قرار گرفت که سه شبکه 120 × 240 و 180 × 360 و 240 × 480 کمترین اختلاف را با داده‌های تجربی داشتند و برای شبکه‌های ریزتر از آن‌ها تغییری در نتایج مشاهده نگردید. پس برای شبیه‌سازی شبکه 180 × 360 که دارای جواب بهتر و سرعت حل بیشتری بود انتخاب گردید. بررسی نمودارها نشان می‌دهد که برای این تعداد شبکه میانگین خطای نسبی برابر 17.3% است. این خطا ناشی از سرعت پاشش قطرات به داخل محفظه احتراق در مدل آزمایشگاهی و مدل شبیه‌سازی‌شده می‌باشد.

3- بحث و بررسی

برای بررسی تاثیر اندازه قطر قطرات سوخت مایع در محفظه احتراق سه زاویه پاشش مختلف 60 درجه، 30 درجه و 0 درجه با سرعت 500 متر بر ثانیه با ویژگی‌هایی که در جدول (1) تشریح شده است استفاده شده است. همچنین برای بررسی تاثیر قطر ذرات، سه روش پاشش روسین-رملر، خطی و یکسان استفاده شده است.

3-1- توزیع قطرات با قطر یکسان

برای بررسی تاثیر اندازه قطرات، از قطرهای یکسان برای هر ذره استفاده شده است. در نتیجه قطر میانگین ساتر[1] برای گروه برابر با قطر هریک از

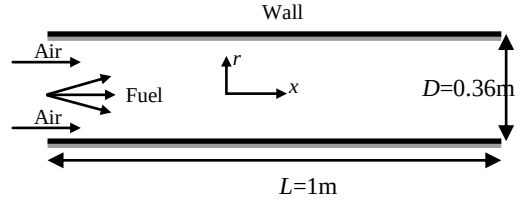


Fig. 1 A schematic diagram of the numerical set-up

شکل 1 نمایش مدل مورد استفاده در شبیه‌سازی محفظه احتراق

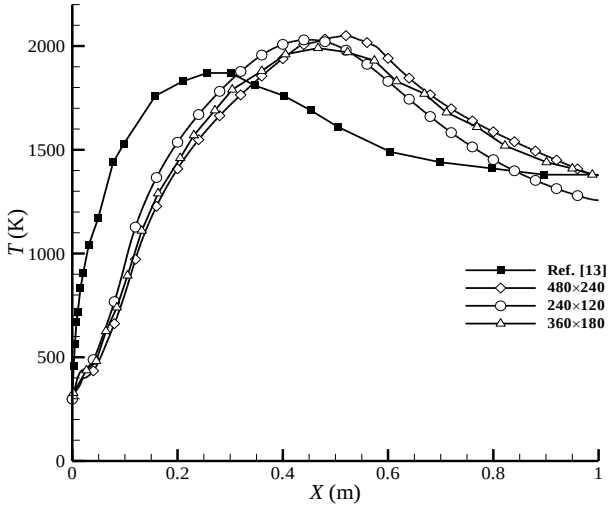


Fig. 2 Temperature on Combustor centerline

شکل 2 دما روی محور محفظه احتراق

جدول 1 متغیرهای اولیه مدل‌سازی محفظه احتراق

Table 1 Parameters of injection characteristic

خصوصیات	اندازه
طول محفظه احتراق	1 m
قطر محفظه احتراق	0.36 m
سرعت هوای ورودی	3 m/s
دمای هوای ورودی	298 k
دمای دیواره محفظه احتراق	1200 k
سرعت پاشش سوخت	500 m/s
دبی سوخت	0.05 kg/s

قطرات آن خواهد بود به عبارت دیگر قطر بیان شده همان قطر ساتر نیز است. قطرها در 5 دسته که در جدول (2) آورده شده‌اند مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

شکل 3 مقدار ناکس را برای 3 زاویه پاشش مختلف در قطر پایه‌ی 0.1 میلی‌متر نشان می‌دهد. همان‌طور که از شکل مشخص است با افزایش زاویه پاشش ناکس افزایش یافته است. با توجه به اینکه در زاویه‌های بزرگ‌تر قطرات به دلیل اصطکاک بیشتری که با فاز پیوسته دارند در فواصل کوتاه‌تری تبخیر می‌شوند و احتراق زودتر رخ می‌دهد پس فرصت تشکیل ناکس در این مدل‌های پاشش بیشتر است و آلاینده بیشتری تولید می‌کنند. با افزایش زاویه پاشش از 0 درجه به 30 درجه ناکس خروجی 26% افزایش یافته است و به ازای افزایش زاویه پاشش از 30 درجه به 60 درجه ناکس خروجی 16% افزایش داشته است.

جدول 2 ویژگی‌های توزیع هم‌اندازه قطر قطرات

Table 2 droplet diameter equal diameter distribution characteristics

خصوصیات	اندازه قطرات	قطر میانگین ساتر (SMD)
دسته 1	1μm	1μm
دسته 2	5μm	5μm
دسته 3	10μm	10μm
دسته 4	50μm	50μm
دسته 5	100μm	100μm

[1] Sauter mean diameter

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.2.39.1]

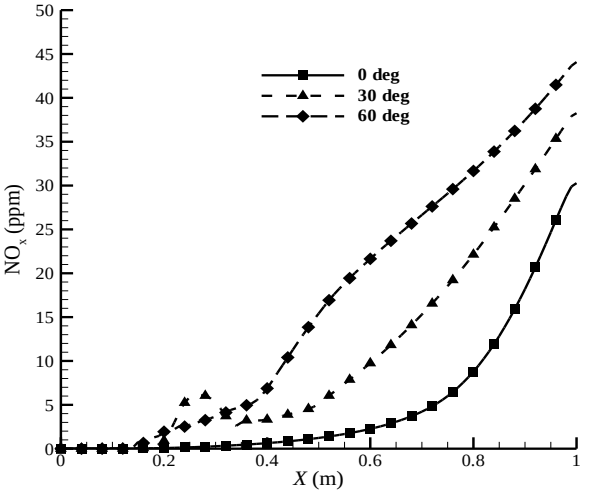


Fig.3 NO_x on Length of combustor

شکل 3 مقدار ناکس در طول محفظه احتراق

شکل 4 کانتورهای دمای محفظه احتراق را برای سه زاویه پاشش 0،30 و 60 درجه در قطر پایه‌ی 0.1 میلی‌متر نمایش می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است با افزایش زاویه پاشش احتراق در حجم بیشتری از محفظه صورت گرفته است بنابراین تولید ناکس در زاویه پاشش 60 درجه نسبت به زوایای پاشش 30 و 0 درجه بیشتر و 30 درجه نیز نسبت به زاویه پاشش 0 درجه بیشتر بوده است.

شکل5 نمودار دمای میانگین وزنی در طول محفظه احتراق را برای سه زاویه پاشش مختلف نمایش می‌دهد. همان‌طور که در مورد شکل 3 گفته شد هرچه زاویه بالاتر رود احتراق در فاصله‌ی کوتاه‌تری صورت گرفته و در نتیجه دمای میانگین وزنی در محفظه احتراق در طول زیادتری افزایش می‌یابد که همین عامل موجب تولید ناکس بیشتری می‌گردد. پرش‌هایی که در دو نمودار مشاهده می‌شود به دلیل برخورد قطرات با دیواره محفظه می‌باشد. در این مواقع قطرات در فاصله‌ی طولی کمتری تبخیر شده و چون سریع‌تر ناکس تولید شده است در نتیجه برآمدگی در شکل نمودار ایجاد شده است. دلیل

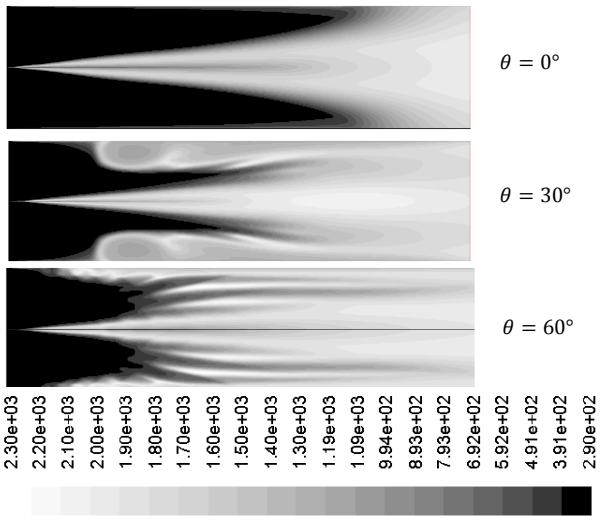


Fig.4 Temperature Contour [K] for 0°, 30° and 60° injection at d_p=0.1 mm

شکل 4 کانتورهای دما برحسب کلوین برای سه زاویه پاشش در قطر پایه‌ی 0.1 میلی‌متر

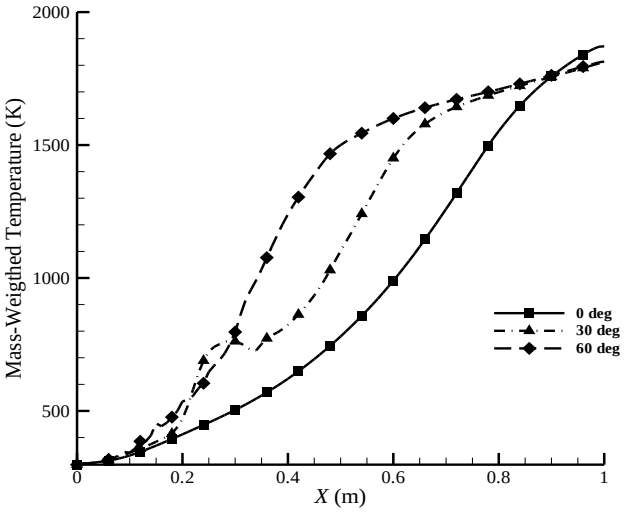


Fig.5 Mass-weighted temperature on length of combustor

شکل5 نمودار دمای میانگین وزنی در طول محفظه احتراق

اینکه در زاویه 60 درجه پرشی مشاهده نمی‌شود به این خاطر است که تعداد جریان قطراتی که به دیواره می‌خورند و در اثر شرط در نظر گرفته شده برای دیواره به قسمت‌های مرکزی محفظه برمی‌گردند بیشتر از زاویه پاشش 30 درجه است بنابراین دما به‌صورت ناگهانی افزایش نمی‌یابد در نتیجه ناکس تولید شده نیز به‌تدریج تولید می‌گردد. در شکل 5 این افزایش دما مشخص است.

شکل 6 کانتورهای دما را برای زاویه پاشش 0 درجه برای 5 قطر مختلف پاشش نمایش می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است با افزایش قطر قطرات حجم احتراق تولید شده کاهش یافته است. این تغییر برای قطرات کوچک‌تر که احتراق آن‌ها سریع رخ می‌دهد چندان محسوس نیست ولی برای قطرات بزرگ‌تر از 0.05 میلی‌متر تغییرات شدیدتر می‌گردد. طبیعتاً هرچه احتراق در فاصله‌ی دورتری اتفاق بیفتد زمان کافی برای کامل شدن آن پیش نمی‌آید و در نتیجه ناکس خروجی کاهش و مونواکسید خروجی افزایش می‌یابد.

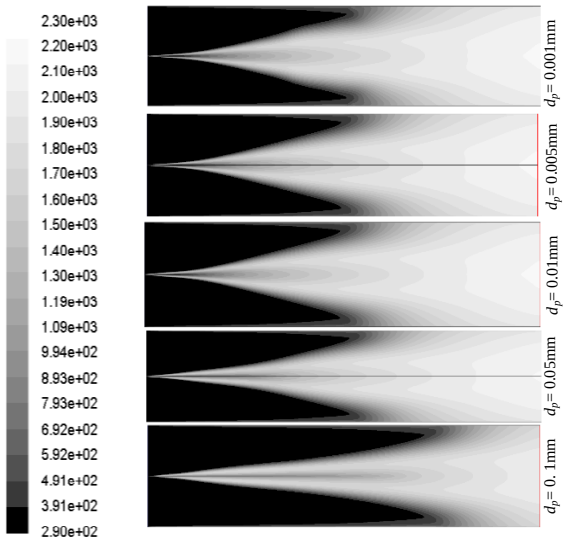


Fig.6 Temperature Contour [K] for 0° injection for various diameter of drops

شکل 6 کانتورهای دما برحسب کلوین برای زاویه پاشش 0 درجه در قطرهای مختلف

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.2.39.1]

شکل 7 و 8 کانتورهای دما را به ترتیب برای زاویه پاشش 30 درجه و 60 درجه برای قطرهای مختلف پاشش نمایش می‌دهد. برای قطرات کوچک‌تر از 0.05 میلی‌متر کانتورهای دما بسیار مشابه حالت زاویه پاشش 0 درجه می‌باشد. برای قطرات بزرگ‌تر از 0.05 میلی‌متر احتراق در نزدیکی دیواره شکل گرفته و حجم بیشتری از محفظه درگیر فرآیند احتراق گشته است.

شکل 9 نمودار مقدار ناکس را برای زاویه پاشش 0 درجه نشان می‌دهد. در این نوع پاشش با افزایش قطر، مقدار ناکس به‌طور پیوسته کاهش یافته است. دلیل آن به این علت است که هرچه قطر قطرات افزایش می‌یابد مطابق شکل 6 حجم کمتری درگیر افزایش دمای محفظه احتراق می‌شود (احتراق

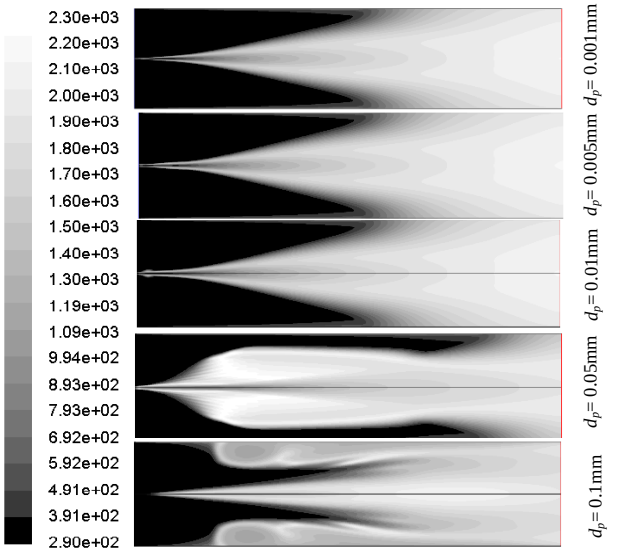


Fig.7 Temperature Contour [K] for 30° injection for various diameter of drops

شکل 7 کانتورهای دما برحسب کلوین برای زاویه پاشش 30 درجه در قطرهای مختلف

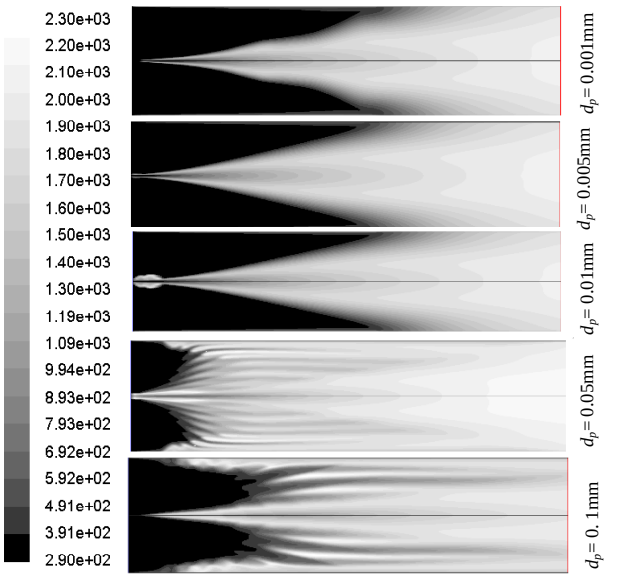


Fig.8 Temperature Contour [K] for 60° injection for various diameter of drops

شکل 8 کانتورهای دما برحسب کلوین برای زاویه پاشش 60 درجه در قطرهای مختلف

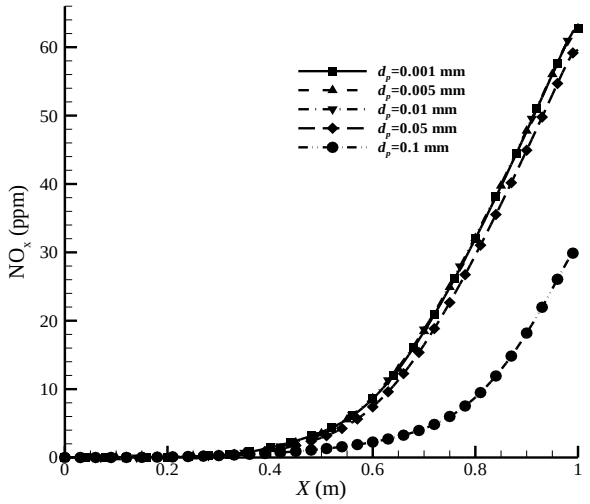


Fig.9 NO_x for 0 deg

شکل 9 نمودار مقدار ناکس در طول محفظه احتراق برای زاویه 0 درجه

در حجم کمتری اتفاق می‌افتد) چون احتراق دیرتر اتفاق افتاده و فرصت کافی برای تبادل گرما میسر نیست. پس با کاهش دمای تولید شده ناکس نیز کاهش می‌یابد.

شکل 10 و 11 نمودار مقدار ناکس را در طول محفظه برای زاویه پاشش 30 درجه و 60 درجه به تصویر کشیده است. همان‌طور که از شکل مشخص است برای قطرات کوچک‌تر مقادیر ناکس همانند حالت پاشش با زاویه 0 درجه می‌باشد. هرچه قطر قطرات افزایش یافته به دلیل آن‌که شعله در فضای محفظه پخش شده ناکس تولیدی کاهش می‌یابد. همچنین در قطرهای بزرگ‌تر قطرات به دیواره برخورد می‌کنند و موجب می‌شود که ناکس تولید شده افزایش یابد.

شکل 12، شکل 13 و شکل 14 نسبت جرمی مونواکسید کربن را برای زوایای پاشش 0 ، 30 و 60 درجه نمایش می‌دهد. برای قطراتی که قطر بزرگ‌تری دارند تبخیر و احتراق سوخت در فاصله‌ی دورتری از ورودی محفظه احتراق اتفاق می‌افتد بنابراین مونواکسید تولید شده که باید در فرآیند احتراق تولید و سپس از بین برود فرصت کافی برای از بین رفتن پیدا

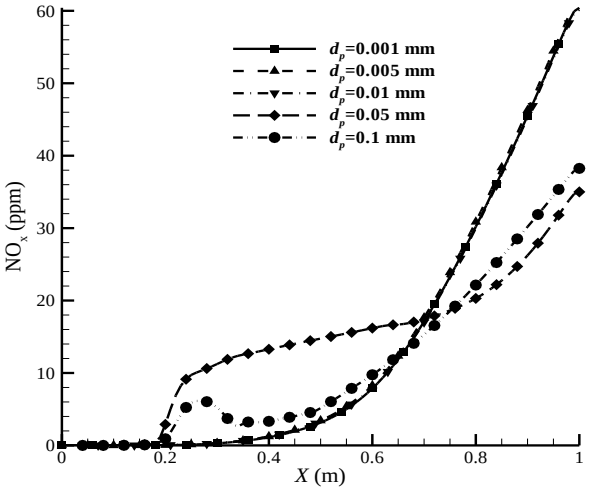


Fig.10 NO_x for 30° injection

شکل 10 نمودار مقدار ناکس در طول محفظه احتراق برای زاویه 30 درجه

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.2.39.1]

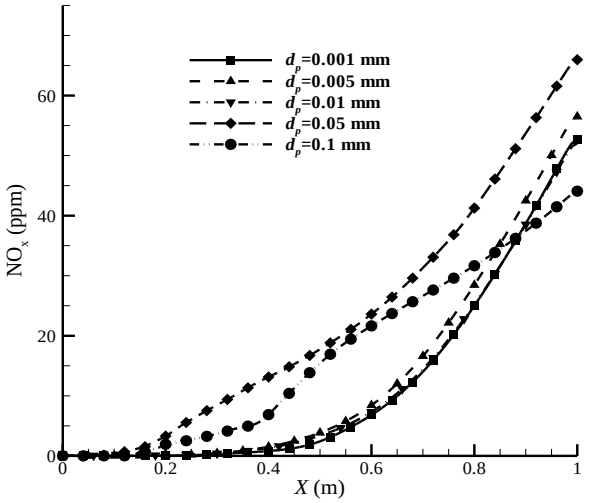


Fig.11 NO_x for 60° injection

شکل 11 نمودار مقدار ناکس در طول محفظه احتراق برای زاویه 60 درجه

نمی‌کند و مقداری از آن محفظه احتراق را ترک می‌کند در نتیجه فرآیند احتراق کامل نمی‌شود. برای زاویه پاشش 0 درجه چون قطرات اصطکاک کمتری با فاز پیوسته دارند و همچنین به دیواره محفظه برخورد نمی‌کنند با افزایش قطر ذرات نسبت جرمی مونواکسید کربن افزایش می‌یابد ولی برای زاویه پاشش 30 و 60 درجه با توجه به شکل شعله‌ی تشکیل‌شده و زاویه پاشش نتایج دستخوش تغییراتی می‌شود. هرچه قطر ذرات بزرگ‌تر و زاویه بیشتر باشد این تغییرات شدیدتر و غیرقابل پیش‌بینی‌تر می‌گردد.

2-3- توزیع خطی اندازه قطرات

در این توزیع اندازه سه دسته از قطرات برای زوایای پاشش 0، 30 و 60 درجه به داخل محفظه احتراق پاشش شده‌اند. ویژگی‌های اندازه و قطر قطرات در جدول (3) آورده شده است.

شکل 15 مقدار ناکس را در محفظه احتراق برای زاویه پاشش 0 درجه نمایش می‌دهد. همان‌طور که در نمودار مشخص است با افزایش قطر متوسط ساتر ناکس خروجی از محفظه احتراق کاهش یافته است. هرچه قطر قطرات

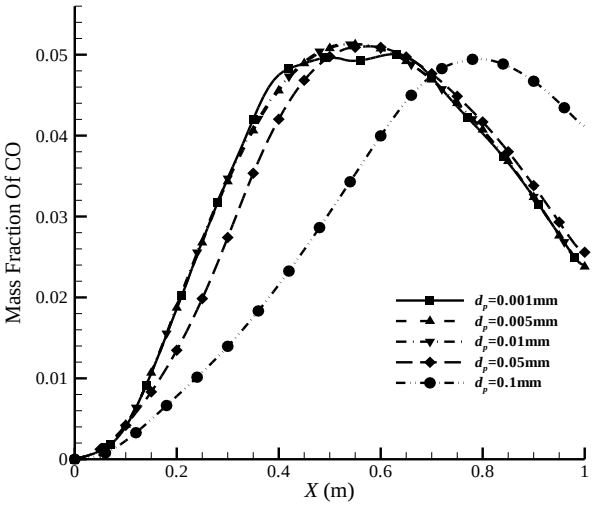


Fig.12 Mass Fraction of CO for 0°

شکل 12 نمودار نسبت جرمی مونواکسیدکربن در طول محفظه احتراق برای زاویه 0 درجه

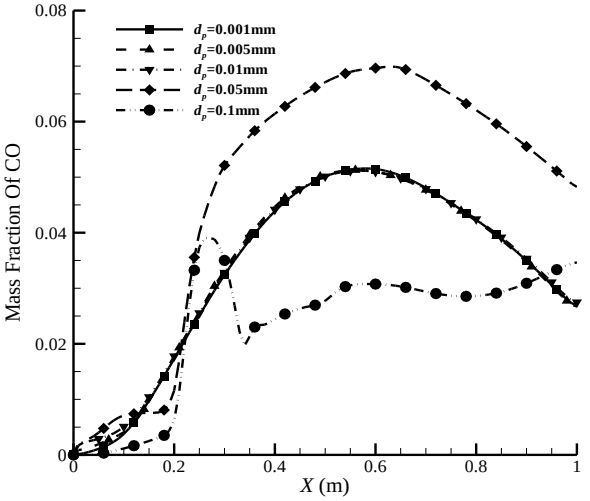


Fig.13 Mass fraction of CO for 30° injection

شکل 13 نمودار نسبت جرمی مونواکسیدکربن در طول محفظه احتراق برای زاویه 30 درجه

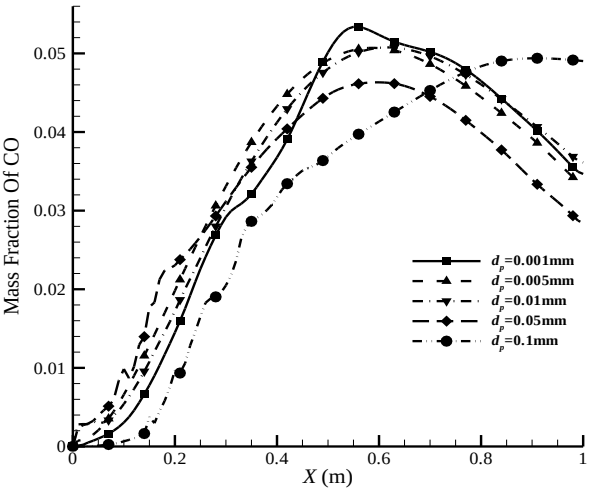


Fig.14 Mass Fraction of CO for 60° injection

شکل 14 نمودار نسبت جرمی مونواکسیدکربن در طول محفظه احتراق برای زاویه 60 درجه

جدول 3 ویژگی‌های توزیع خطی اندازه قطرات

Table 3 droplet diameter linear distribution characteristics

خصوصیات	اندازه قطرات	قطر میانگین ساتر (SMD)
دسته 1	از 1μm تا 10μm	3.41 μm
دسته 2	از 11μm تا 20μm	14.95 μm
دسته 3	از 21μm تا 30μm	25.17 μm

کوچک‌تر باشد تغییرات آن تاثیر کوچک‌تری بر مقدار ناکس تولیدی می‌گذارد به‌طوری که افزایش قطر از 3.41μm به 14.95μm باعث کاهش 1.6% ناکس خروجی شده است. در حالی که افزایش قطر از 14.95μm به 25.17μm باعث کاهش 6.4% ناکس خروجی گشته است.

شکل 16 مقدار ناکس را برای زاویه پاشش 30 درجه نشان می‌دهد. در این شکل نیز با افزایش قطر قطرات ناکس خروجی کاهش می‌یابد ولی این کاهش نسبت به زاویه 0 درجه شدیدتر است. دلیل آن این است که با افزایش زاویه سرعت نسبی بین دو فاز کاهش یافته و عدد رینولدز نسبی (معادله 3)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.2.39.1]

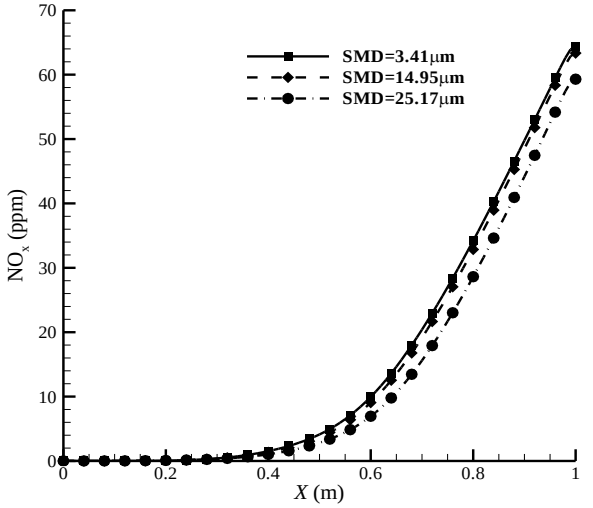


Fig.15 NO_x on combustor for 0^o injection

شکل 15 مقدار ناکس در محفظه احتراق برای زاویه پاشش 0 درجه

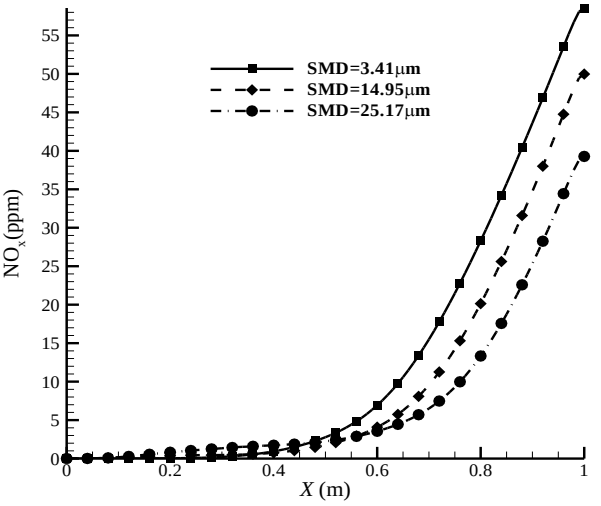


Fig.16 NO_x on combustor for 30^o injection

شکل 16 مقدار ناکس در محفظه احتراق برای زاویه پاشش 30 درجه

افزایش می‌یابد در نتیجه نیروی پسا (معادله 2) افزایش می‌یابد. از شکل مشخص است که به ازای افزایش قطر از 3.41μm به 14.95μm ناکس خروجی 14% کاهش داشته است. در حالی که افزایش قطر از 14.95μm به 25.17μm باعث کاهش 21.5% ناکس خروجی گشته است.

شکل 17 نیز نمودار تغییرات ناکس در محفظه احتراق را برای زاویه پاشش 60 درجه نمایش می‌دهد. با بررسی نمودار مشخص می‌شود که به ازای افزایش قطر از 3.41μm به 14.95μm ناکس خروجی 25% کاهش داشته است. در حالی که افزایش قطر از 14.95μm به 25.17μm باعث افزایش مجدد ناکس به اندازه 26% در خروجی گشته است.

شکل 18 نسبت جرمی مونو اکسید کربن را برای زاویه پاشش 0 درجه نمایش می‌دهد. با افزایش اندازه قطرات همان‌طور که در موارد قبلی بیان شد مونواکسیدکرین افزایش می‌یابد. از شکل مشخص است که به ازای افزایش قطر از 3.41μm به 14.95μm مونواکسیدکربن خروجی 4.5% افزایش داشته است. در حالی که در افزایش قطر از 14.95μm به 25.17μm مونواکسید خروجی از محفظه احتراق 13% افزوده شده است.

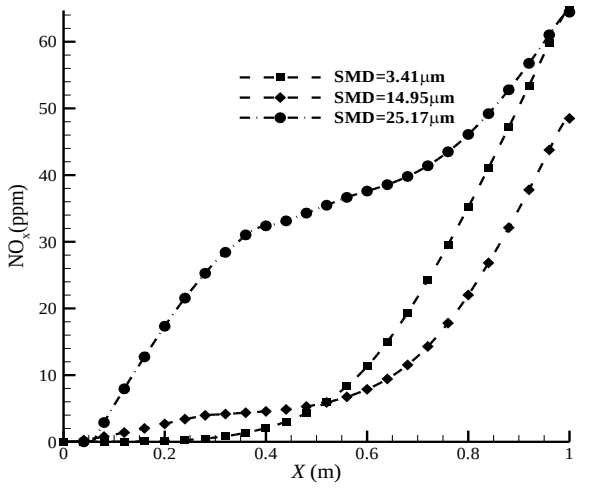


Fig.17 NO_x on combustor for 60^o injection

شکل 17 مقدار ناکس در محفظه احتراق برای زاویه پاشش 60 درجه

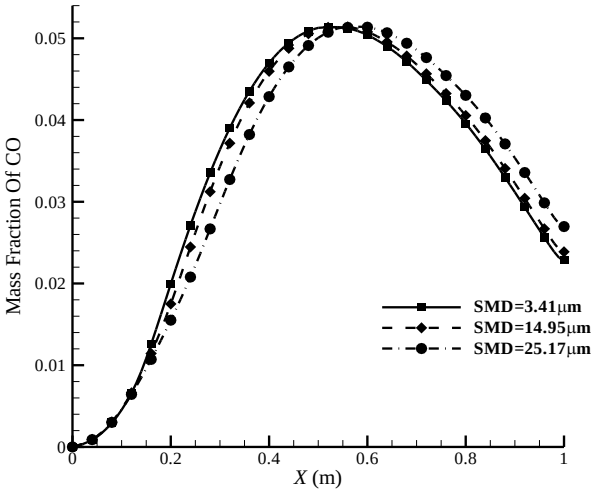


Fig.18 Mass Fraction of CO for 0^o injection

شکل 18 نمودار نسبت جرمی مونواکسیدکربن در محفظه احتراق برای زاویه 0 درجه

شکل 19 نسبت جرمی مونو اکسید کربن را برای زاویه پاشش 30 درجه بیان می‌نماید. با بررسی شکل مشخص می‌شود که در صورت افزایش قطر از 3.41μm به 14.95μm مونواکسیدکربن خروجی 21.6% افزایش پیدا کرده است. در حالی که در افزایش قطر از 14.95μm به 25.17μm مونواکسید خروجی از محفظه احتراق 18.8% افزوده شده است.

شکل 20 نسبت جرمی مونو اکسید کربن را برای زاویه پاشش 60 درجه بیان می‌نماید. با بررسی شکل مشخص است که در صورت افزایش قطر از 3.41μm به 14.95μm مونواکسیدکربن خروجی 40% افزایش پیدا کرده است. در حالی که در افزایش قطر از 14.95μm به 25.17μm مونواکسید خروجی از محفظه احتراق 15.2% افزوده شده است.

3-3- توزیع روسین-رملر اندازه قطرات

سه نوع توزیع قطر روسین رملر برای پاشش قطرات در زوایای پاشش 0، 30 و 60 درجه استفاده شده است. قطرات در محدوده‌ی قطر 1μm تا 50μm با پارامتر توزیع 3 و سه قطر میانگین 12.5μm، 25μm و 37.5μm به داخل محفظه احتراق تزریق می‌شوند. ویژگی‌های اندازه و قطر قطرات در جدول (4) آورده شده است.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.2.39.1]

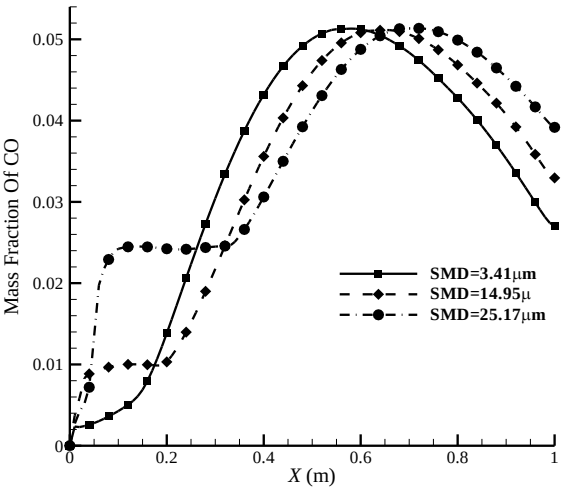


Fig.19 Mass Fraction of CO for 30° injection

شکل 19 نمودار نسبت جرمی مونواکسیدکربن در محفظه احتراق برای زاویه 30درجه

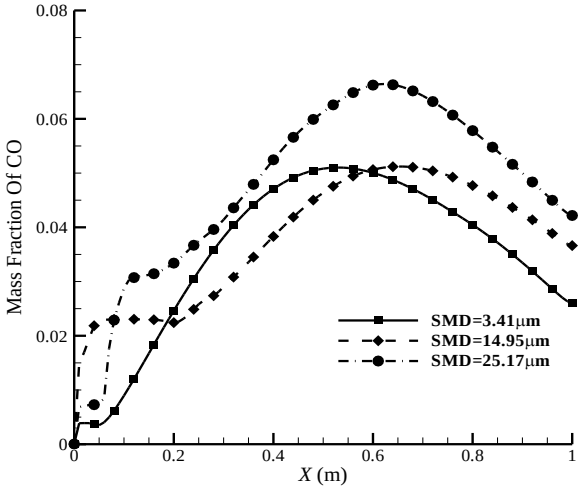


Fig.20 Mass Fraction of CO for 60° injection

شکل 20 نمودار نسبت جرمی مونواکسیدکربن در محفظه احتراق برای زاویه 60درجه

جدول 4 ویژگی‌های توزیع روسین-رملر اندازه قطرات

Table 4 droplet diameter Rosin-Rammler distribution characteristics

خصوصیات	اندازه قطرات	پارامتر توزیع	قطر میانگین	قطر میانگین ساتر (SMD)
دسته 1	از 1μm تا 50μm	3	12.5μm	9.05μm
دسته 2	از 1μm تا 50μm	3	25μm	18.28μm
دسته 3	از 1μm تا 50μm	3	37.5μm	28.87 μm

شکل 21 توزیع فرکانسی عددی سه نوع توزیع در نظر گرفته شده را نمایش می‌دهد.

شکل 23 مقدار ناکس را برای زاویه پاشش 0 درجه نشان می‌دهد. همان‌طور که از نمودار مشخص است برای زاویه پاشش 0 درجه ناکس خروجی از محفظه احتراق دچار تغییرات بسیار اندکی شده است و می‌توان بیان کرد که در زاویه پاشش 0 درجه ناکس تولید شده به نوع توزیع قطرات وابسته نیست. همچنین با مقایسه دو نمودار 23 و 15 مشاهده می‌شود که این دو نوع توزیع خطی و روسین-رملر برای زاویه پاشش 0 درجه دارای نتایج یکسانی هستند.

شکل 22 نیز توزیع تجمعی عددی سه نوع توزیع در نظر گرفته شده را نشان داده است.

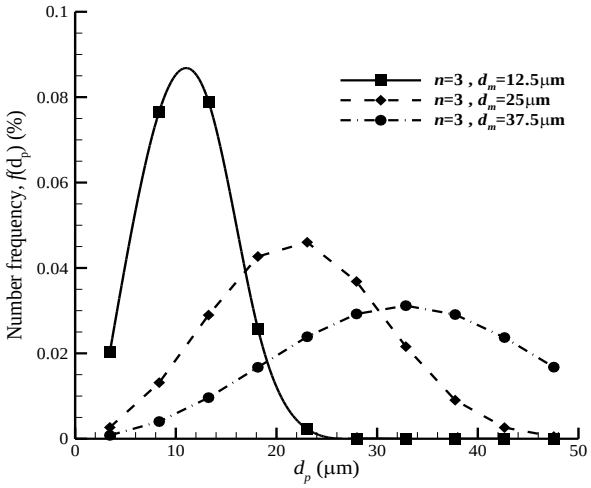


Fig.21 droplet diameter number frequency distribution

شکل 21 توزیع عددی فرکانسی قطر قطرات

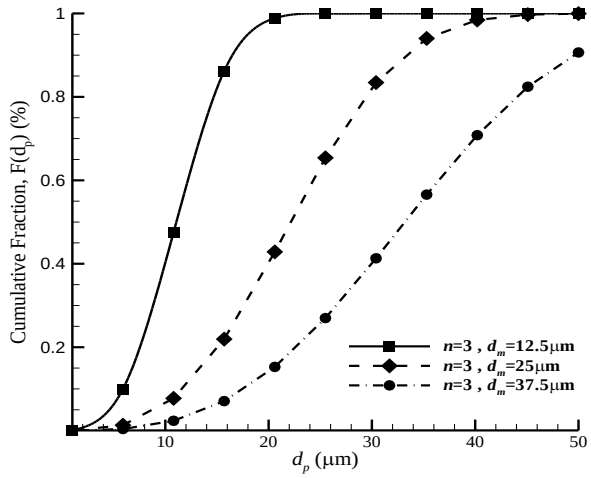


Fig.22 droplet diameter cumulative number distribution

شکل 22 توزیع عددی تجمعی قطر قطرات

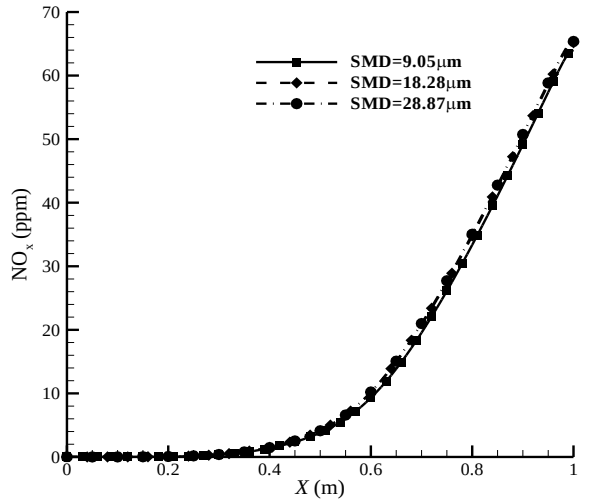


Fig.23 NO_x on combustor for 0° injection

شکل 23 مقدار ناکس در محفظه احتراق برای زاویه پاشش 0 درجه

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.2.39.1]

شکل 24 مقدار ناکس را برای زاویه پاشش 30 درجه نمایش می‌دهد. هرچه قطرات بزرگ‌تر در توزیع بیشتر باشند ناکس خروجی از محفظه احتراق کاهش می‌یابد. به ازای افزایش قطر میانگین ساتر از 9.05μm به 18.28μm ناکس خروجی 26% کاهش یافته است و به ازای افزایش قطر میانگین ساتر از 18.28μm به 28.87μm ناکس خروجی از محفظه احتراق 22% کاهیده شده است.

شکل 25 مقدار ناکس را برای زاویه پاشش60 درجه نمایش می‌دهد. در زاویه پاشش 60 درجه هرچه قطرات با اندازه متوسط‌تر پاشش شده‌اند ناکس خروجی از محفظه احتراق در وضعیت مناسب‌تری قرار گرفته است. در زاویه پاشش 60 درجه همان‌طور که در مباحث قبل‌تر گفته شد به دلیل احتراق و افزایش دما در حجم بیشتری از محفظه ناکس تولیدی فقط وابسته به عامل اندازه قطرات نیست و به عواملی از جمله سرعت، آشفتگی جریان و... نیز وابسته است.

شکل 26 بیان‌کننده‌ی نسبت جرمی مونواکسید کربن در محفظه احتراق برای زاویه پاشش 0 درجه می‌باشد. همان‌طور که در مورد ناکس تولیدی در

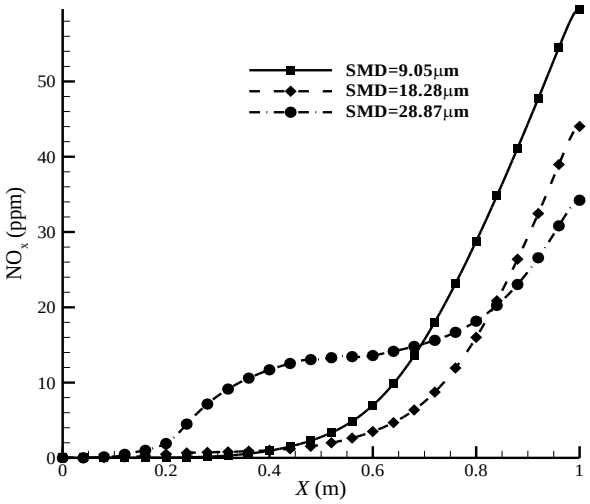


Fig.24 NO_x on combustor for 30° injection

شکل 24 مقدار ناکس در محفظه احتراق برای زاویه پاشش 30 درجه

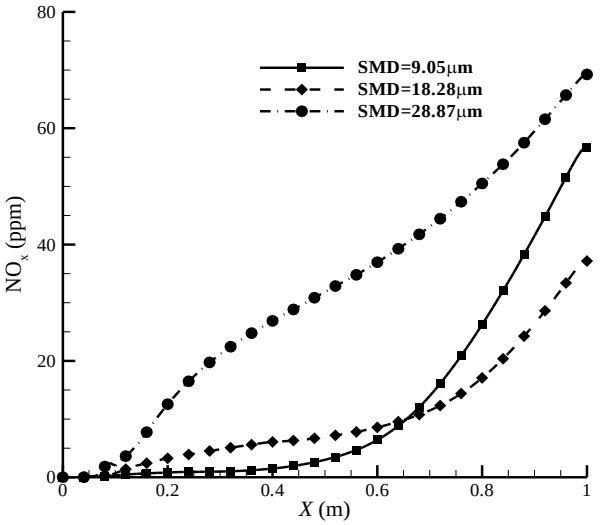


Fig.25 NO_x on combustor for 60° injection

شکل 25 مقدار ناکس در محفظه احتراق برای زاویه پاشش 60 درجه

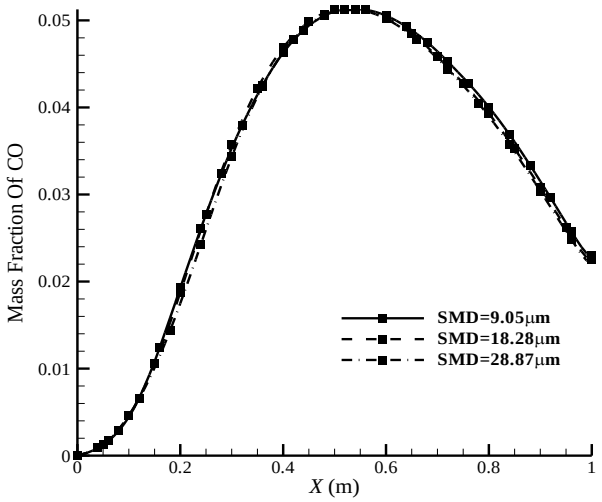


Fig.26 Mass Fraction of CO for 0° injection

شکل 26 نمودار نسبت جرمی مونواکسیدکربن در محفظه احتراق برای زاویه 0 درجه

زاویه پاشش 0 درجه گفته شد با بررسی نمودار این نتیجه گرفته می‌شود که در زاویه پاشش 0 درجه نوع پاشش و تغییر قطر قطرات تغییرات اندکی در مقدار مونواکسید کربن خارج‌شده از محفظه احتراق ایجاد می‌کند.

شکل 27 نشانگر نسبت جرمی مونواکسیدکربن در محفظه احتراق برای زاویه پاشش 30 درجه می‌باشد. به ازای افزایش قطر میانگین ساتر از 9.05μm به 18.28μm مونواکسید کربن خروجی از محفظه احتراق به مقدار 39.5% افزایش یافته است و به ازای افزایش قطر میانگین ساتر از 18.28μm به 28.87μm مونو اکسید خارج‌شده از محفظه احتراق 24.5% افزوده شده است.

شکل 28 نسبت جرمی مونواکسید کربن را برای زاویه پاشش 60 درجه نمایش می‌دهد.

4- نتیجه‌گیری

حل عددی مدل‌سازی احتراق غیر پیش آمیخته سوخت مایع در یک محفظه احتراق دو بعدی متقارن محوری برای بررسی تاثیر اندازه قطر قطرات سوخت در تشکیل آلاینده‌ها مانند ناکس و مونواکسیدکربن و دیگر ویژگی‌های محفظه احتراق انجام شد. این بررسی برای 5 قطر مختلف، 3 نوع توزیع

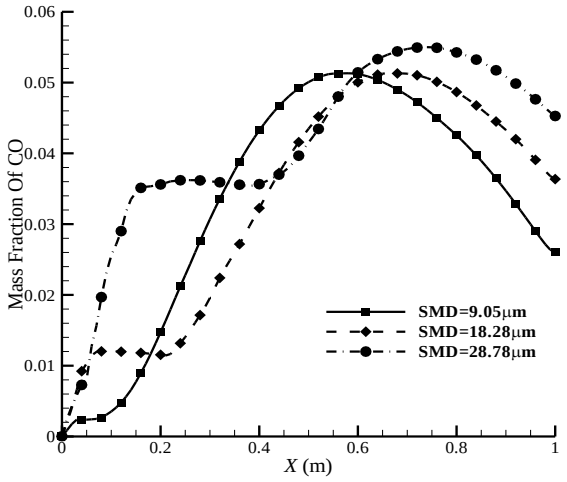


Fig.27 Mass Fraction of CO for 30° injection

شکل 27 نمودار نسبت جرمی مونواکسیدکربن در محفظه احتراق برای زاویه 30 درجه

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-03-29]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.2.39.1]

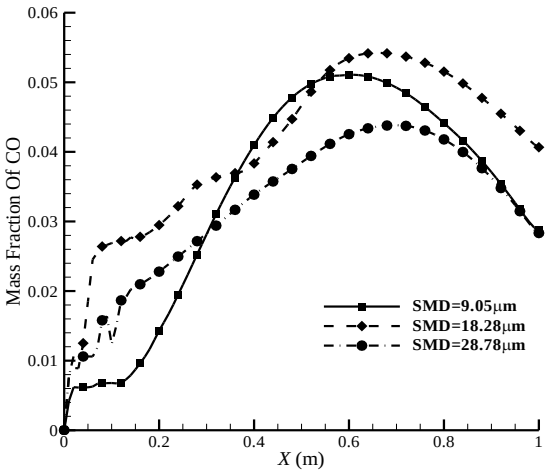


Fig.28 Mass Fraction of CO for 60° injection

شکل 28 نمودار نسبت جرمی مونواکسیدکربن در محفظه احتراق برای زاویه 60 درجه

قطرات و 3 زاویه پاشش مختلف انجام شد و نتایج زیر به دست آمد:

- اندازه قطرات تاثیر مهمی بر تولید ناکس و مونواکسیدکربن در قطرات بزرگ سوخت در شعله‌های آشفته دارد.
- قطرات ریزتر ناکس بیشتری نسبت به قطرات بزرگ‌تر تولید می‌کنند.
- برای قطرات خیلی ریز تولید ناکس و مونواکسیدکربن نزدیک به هم است.
- قطرات بزرگ‌تر مونواکسیدکربن و دی‌اکسیدکربن بزرگ‌تری نسبت به قطرات کوچک‌تر ایجاد می‌کنند.
- شکل شعله تاثیر مستقیمی بر پارامترهای شعله مانند تولید ناکس و مونواکسیدکربن و دمای میانگین وزنی محفظه دارد.
- برخورد قطرات بزرگ‌تر با دیواره محفظه مخصوصاً در زاویه پاشش‌های بالا باعث آشفتگی در نتایج می‌شود.

5- فهرست علائم

a	مرتبه واکنش اکسیژن
A_p	سطح قطره (m^2)
C_D	ضریب پسا
C_p	ظرفیت گرمایی ($Jkg^{-1}K^{-1}$)
C_{p_p}	ظرفیت گرمایی قطره ($Jkg^{-1}K^{-1}$)
d_p	قطر قطره (m)
F	نیرو (N)
F_D	نیروی پسا در واحد جرم ذره (Nkg^{-1})
f	نسبت مخلوط
g	شتاب گرانش (ms^{-2})
G	تابع تشعشع(Wm^{-2})
h	ضریب انتقال حرارت جابجایی ($Wm^{-2}K$)
h_{fg}	گرمای نهان (Jkg^{-1})
$H_{\text{lat}_{\text{ref}}}$	گرمای نهان در شرایط مرجع (Jkg^{-1})
H_{pyrol}	انتقال حرارت ناشی از تجزیه مواد قابل تبخیر (Jkg^{-1})
I	شدت تشعشع
I_b	شدت تشعشع جسم سیاه
$i_{b,\lambda}$	تابع جسم سیاه پلانک
$k_{f,1}$, $k_{f,2}$, $k_{f,3}$	ثوابت سرعت برای واکنش رو به جلو($m^3m^{-1}s^{-1}$)
$k_{r,1}$, $k_{r,2}$	تصحیح‌کننده ثوابت سرعت واکنش معکوس($m^3m^{-1}s^{-1}$)
m_p	جرم ذره (kg)
$m_{p,0}$	جرم اولیه ذره (kg)
$\dot{m}_{p,0}$	دبی جرمی اولیه ذرات فاز گسسته (kgs^{-1})
$\dot{m}_p$	دبی جرمی ذرات فاز گسسته (kgs^{-1})
$m_{p_{\text{in}}}$	جرم ذره در ورود به سلول حل فاز پیوسته (kg)
$m_{p_{\text{out}}}$	جرم ذره در خروج از سلول حل فاز پیوسته (kg)
M	انتقال جرم از فاز گسسته به پیوسته (kgs^{-1})
N_d	تعداد قطرات در واحد حجم
n	تعداد اتم‌های کربن در مولکول برای سوخت‌های هیدروکربنی
P	فشار (pa)
Q	انتقال حرارت (J)
R	ثابت جهانی گازها($J.mol^{-1}K^{-1}$)
Re	عدد رینولدز نسبی
S	چشمه
t	زمان (s)
T_p	دمای ذره (K)
T_{ref}	دمای مرجع برای محاسبات آنتالپی (K)
$T_{p_{\text{in}}}$	دمای ذره در ورود به سلول حل فاز پیوسته (K)
$T_{p_{\text{out}}}$	دمای ذره در خروج از سلول حل فاز پیوسته (K)
T_∞	دمای فاز پیوسته (K)
U	سرعت فاز (ms^{-1})
U_p	سرعت ذره (ms^{-1})

علائم یونانی

α	میانگین ضریب جذب پلانک(m^{-1})
κ	میانگین ضریب پراکندگی(پخش) پلانک
ρ_p	چگالی ذرات فاز گسسته(kgm^{-2})
ρ	چگالی فاز پیوسته (kgm^{-2})
μ	ویسکوزیته مولکولی فاز پیوسته(pas)
η_s	فاکتور بازده پراکندگی(پخش) برای یک ذره
ε_p	قابلیت نشر ذره
σ	ثابت استفان-بولتزمن($Wm^{-2}K^{-4}$)
θ_R	دمای تشعشع (K)
Ω	جهت (rad)
$\emptyset$	نسبت هم ارزی

6- مراجع

[1] H. Wang, K. Luo, J. Fan, Effects of turbulent intensity and droplet diameter on spray combustion using direct numerical simulation, *Fuel*, Vol. 121, No. 1, pp. 311-318, 2014.

[2] I. Awasthi, G. Gogos, T. Sundararajan, Effects of size on combustion of isolated methanol droplets, *Flame And Combustion*, Vol. 160, No. 1, pp. 1789-1802, 2013.

[3] J. Warnatz, U. Mass, R. Dibble, *Combustion: physical and chemical fundamentals modeling and simulation, experiments, pollutant formation*, pp. 259-265, 4th Edition, Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006.

[4] J. Hayashi, J. Fukui, F. Akamatsu, Effects of fuel droplet size distribution on soot formation in spray flames formed in a laminar counterflow, *Proceedings of the Combustion Institute*, Vol. 34, No. 1, pp. 1561-1568, 2013.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-03-29]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.2.39.1]

[5] T. Li, K. Nishida, H. Hiroyasu, Droplet size distribution and evaporation characteristics of fuel spray by a swirl type atomizer, *Fuel*, Vol. 90, No. 7, pp. 2367–2376, 2011.
[6] A. Fujita, H. Watanabe, R. Kurose, S. Komori, Two-dimensional direct numerical simulation of spray flames - Part 1: Effects of equivalence ratio, fuel droplet size and radiation, and validity of flamelet model, *Fuel*, Vol. 104, No. 1, pp. 515–525, 2013.
[7] H. Watanabe, R. Kurose, S. Komori, H. Pitsch, Effects of radiation on spray flame characteristics and soot formation, *Combustion And Flame*, Vol. 152, No. 1-2, pp. 2-13, 2008.
[8] S. Som, N. Sharma, Influence of fuel volatility and spray parameters on combustion characteristics and NOx emission in a gas turbine combustor, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 24, No. 5-6, pp. 885-903, 2002.
[9] F. Filho, N. Fukumasu and G. Krieger, Numerical simulation of an ethanol turbolant spary flame with RANS and diffusion combustion model, *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, vol.35, No. 3, pp. 189-198, 2013
[10] S. Morsi, A. Alexander, An Investigation of Particle Trajectories in Two-Phase Flow Systems, *Fluid Mechanic*, Vol. 55, No. 2, pp. 193-208, 1972.
[11] S. Hashemi, A. Fattahi, G. Sheikhzade, Presumed PDF Modeling of Reactive oxy-fuel flow in a model combustor, *The Journal of Energy: Engineering & Management*, Vol. 2, No. 4, pp. 48-57, 2012.
[12] G. DeSoete, Overall Reaction Rates of NO and Formation from Fuel Nitrogen, *The Combustion Institute*, Vol. 15, No. 1, pp. 1093–1102, 1975.
[13] K. Bashirnezhad, M. Moghiman, I. Zahmatkesh, Studies on soot formation and combustion in turbulent spray flames: Modeling and experimental measurement, *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, Vol. 26, No. 3, pp. 45-54, 2007.
[14] D.P. Schmidt, C.J. Rutland, M.L. Corradini, A fully compressible, two-dimensional model of small, high-speed, cavitating nozzles, *Atomization and Sprays*, Vol. 9, No. 3, pp. 255-276, 1999.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-03-29]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.2.39.1]