

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛ شبکه های توجه گرافی (Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین مقاله نویسی IEEE و ISI ویژه فنی و مهندسی

مطالعه اثر فشار بر احتراق اسپری هیدروژن - اکسیژن

حسین خالقی^۱، صادق تابع جماعت^۲، ابولقاسم مسگرپور طوسی^۳

دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی هوافضا

hossein_khaleghi_1@yahoo.com

چکیده در این مقاله احتراق نفوذی تحت فشار در یک محفظه استوانه‌ای شبیه‌سازی شده است. برای این کار از حل عددی بر پایه حجم محدود استفاده شده است. اجزاء ورودی شامل هیدروژن و اکسیژن می‌باشد و مکانیزم شیمیایی بکار رفته شامل واکنش بین این دو جزء می‌باشد. اثر تغییر فشار محفظه بر مشخصه‌های احتراقی شامل توزیع دما، نرخ انجام واکنش، نسبت جرمی محصولات احتراق و شکل و موقعیت شعله در محفظه احتراق مورد بررسی قرار گرفته است. علاوه بر آن اثر تغییر دمای دیواره بر مشخصات فوق در فشار ثابت نیز مورد مطالعه قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که فشار درجه حرارت شعله را کاهش می‌دهد ولی تاثیر متفاوتی بر شکل و موقعیت شعله دارد که وابسته به پارامترهای جریان و پارامترهای احتراقی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: احتراق اسپری - احتراق تحت فشار - واکنش شیمیایی - مطالعه عددی

۱- مقدمه

مطالعه احتراق اسپری بدلیل اهمیت کاربردی آن مورد توجه محققین بوده است. احتراق اسپری دارای کاربردهای فراوان در موتورهای دیزل، موشکهای سوخت مایع، موتورهای توربین گازی و کوره‌های صنعتی می‌باشد. از طرفی محفظه احتراق بسیاری از موتورها تحت فشار بالا عمل می‌کند. فشار محفظه احتراق با تحت تاثیر قرار دادن پدیده‌هایی از قبیل برخورد قطرات سوخت، شکست و تبخیر آنها، جریان توربولنت دو فازی و واکنشهای شیمیایی، نقش مهمی در شکل و موقعیت شعله، درجه حرارت احتراق و توزیع آن ایفا می‌کند. در میدان گازی یعنی پس از فرآیند تبخیر اثر فشار بر فرآیند احتراق دارای پیچیدگی‌های خاصی می‌باشد. افزایش فشار موجب افزایش توربولانس جریان می‌شود و دانسیته و درجه حرارت را در یک جریان تراکم پذیر تغییر می‌دهد. از طرف دیگر فشار نقش پیچیده‌ای در فرآیند شیمیایی احتراق دارد. این اثر فشار بطور مستقیم به نوع مواد سوخت و اکسید کننده و مکانیزم شیمیایی آنها بستگی دارد. فشار می‌تواند نرخ واکنش شیمیایی را افزایش و یا کاهش دهد. اثر توربولانس بر فرآیند شیمیایی می‌تواند موضوع اثر فشار را پیچیده‌تر نماید.

۱- دانشجوی دکتری

۲- استادیار

۳- استادیار

تحقیقات انجام شده در زمینه سوختن قطره سوخت نشان می‌دهد که ثابت نرخ سوختن با افزایش فشار افزایش می‌یابد ولی در نزدیکی فشار بحرانی یک مقدار ماکزیمم دارد که باعث می‌شود زمان سوختن قطره سوخت در اطراف فشار بحرانی، یک مقدار مینیمم داشته باشد [۳]. شبیه‌سازی عددی احتراق یک قطره سوخت نشان می‌دهد که تغییر پارامترهایی چون هدایت گرمایی، گرمای ویژه و ضریب نفوذ در فشارهای بالا عامل اصلی این پدیده می‌باشد [۴]. Faeth و همکارانش با حل یک مدل عددی به این نتیجه رسیدند که زمان سوختن یک قطره سوخت با افزایش فشار کاهش می‌یابد اما در فشارهای بسیار بالا (فوق بحرانی) به آرامی زیاد می‌شود [۵ و ۶]. Gollahalli و Brzustowski سرعت خاموشی شعله را برای یک قطره سوخت اندازه‌گیری کردند و نشان دادند که سرعت خاموشی شعله با افزایش فشار افزایش می‌یابد [۷]. Kadota و Hiroyasu نیز نشان دادند که زمان سوختن قطره سوخت با افزایش فشار شروع به کاهش می‌کند [۸]. Takahashi و Niioka این واقعیت جالب را گزارش کردند که ثابت نرخ سوختن در نزدیکی فشار بحرانی یک نقطه ماکزیمم دارد [۳ و ۹]. این مساله توسط آزمایشات اندازه‌گیری زمان سوختن قطره سوخت و ثابت نرخ سوختن در یک میدان میکروگراویتی تایید شد [۱۱].

مطالعه اثر فشار بر احتراق اسپری با فرض قطرات بزرگ ($SMD > 45 \mu m$) قبلاً بوسیله این گروه تحقیقاتی انجام شده و نتایج آن در مقاله مرجع [۱۲] آمده است. در مقاله حاضر به ارائه مطالعه گروه در مورد احتراق اسپری با فرض قطرات ریز ($SMD < 45 \mu m$) می‌پردازیم. طبق مطالعات Faeth [۱۳] این نوع اسپری را می‌توان با مدل LHF مورد مطالعه قرار داد. در این مدل بدلیل کوچک بودن اندازه قطرات رفتار اسپری شبیه جریان گازی است. در مقاله حاضر با حل معادلات حاکم بر میدان جریان، حرارت و فرآیند شیمیایی به بررسی اثر فشار بر شکل شعله و توسعه میدان احتراقی می‌پردازیم.

۲- معادلات حاکم

معادلات حاکم بر جریان شامل معادلات پیوستگی، مومنتوم، انرژی و معادله بقا اجزا می‌باشد.

معادله پیوستگی (Continuity Equation):

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = S_m \quad (1)$$

که:

ρ دانسیته، t زمان، u سرعت و S_m جرم اضافه شده به فاز پیوسته از فاز ناپیوسته می‌باشد.

معادله مومنتوم در جهت i (Momentum Equation):

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} \quad (2)$$

که:

$$\tau_{ij} = \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] - \frac{2}{3} \frac{\partial u_l}{\partial x_l} \delta_{ij} \quad (3)$$

که در آن:

p فشار، μ ویسکوزیته، τ تانسور تنش و ترم دوم در سمت راست رابطه تانسور تنش، ناشی از اتساع حجمی می‌باشد.

معادله انرژی (Energy Equation):

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \frac{\partial}{\partial x_i}(u_i(\rho E + p)) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(k_{eff} \frac{\partial T}{\partial x_i} - \sum_{j'} h_{j'} J_{j'} + u_j (\tau_{ij})_{eff} \right) + S_h \quad (4)$$

$$h_{j'} = \int_{T_{ref}}^T c_{p,j'} dT, \quad h = \sum_{j'} m_{j'} h_{j'}, \quad E = h - \frac{p}{\rho} + \frac{u_i^2}{2}$$

که :

T دما، E انرژی کل، h انتالپی، S_h ترم مرجع انرژی، k_{eff} ضریب انتقال حرارت هدایتی موثر، J شار نفوذ جرمی و m کسر جرمی می باشد.

معادله بقای اجزاء (Species Conservation Equation):

$$\frac{\partial p}{\partial t}(\rho m_{i'}) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i m_{i'}) = -\frac{\partial}{\partial x_i} J_{i',i} + R_{i'} + S_{i'} \quad (5)$$

که :

$J_{i',i}$ نفوذ جرمی در جریان مغشوش می باشد و برابر است با:

$$J_{i',i} = -(\rho D_{i',m} + \frac{\mu_t}{Sc_i}) \frac{\partial m_{i'}}{\partial x_i} \quad (6)$$

که Sc_i عدد اشمیت مغشوش بوده و برابر 0.7 در نظر گرفته شده است.

$R_{i'}$ نرخ تولید یا از بین رفتن اجزا توسط واکنش می باشد و برابر است با :

$$R_{i'} = M_{i'} \sum_{k=1}^{N_R} \hat{R}_{i',k} \quad (7)$$

که $M_{i'}$ جرم ملکولی جزء i' ، $\hat{R}_{i',k}$ نرخ مولی تولید یا از بین رفتن جزء i' در واکنش k ام می باشد. S_i ترم مرجع می باشد. آخرین معادله در این سیستم، معادله حالت گاز کامل می باشد.

به منظور بستن معادلات ناویر-استوکس، مدل توربولانس مناسب مورد نیاز می باشد. در این کار تحقیقاتی مدل توربولانس ($K - \epsilon$) استاندارد مورد استفاده قرار گرفته است [۱]. برای منظور کردن توربولانس در میدان حرارت عدد پرانتل توربولانس برابر 0.85 در نظر گرفته شده است. اثر متقابل توربولانس و واکنش شیمیایی با استفاده از روش eddy dissipation مورد توجه قرار گرفته است [۲]. واکنش بکار رفته برای O_2 و H_2 شامل واکنش یک مرحله‌ای می باشد. نرخ انجام واکنش توسط رابطه زیر محاسبه می گردد:

$$R_{i',k} = \nu_{i',k}^{\prime} M_{i'} A B \rho \frac{\epsilon}{k} \frac{\sum_p m_p}{\sum_{j'} \nu_{j',k}^{\prime\prime} M_{j'}} \quad (8)$$

در رابطه (۸) A و B عدد ثابت، ρ دانسیته، m_p نسبت جرمی محصولات احتراق، k انرژی توربولانس و ϵ نرخ اتلاف

توربولانس می باشد.

۳- مدل فیزیکی و شبکه‌بندی

از شبکه سازمان یافته در حل این مساله استفاده شده است که نتیجه خوبی در حل مسأله داشته است. ابعاد شبکه استفاده شده 30×200 می باشد که تعداد ۵۴۰۰ گره را برای حل مسأله ایجاد می کند. ایجاد شبکه درشت جهت تسریع در حل میدان جریان در حالت‌های مختلف بوده است. مساله در برخی حالات با شبکه 60×400 نیز که نسبت به شبکه قبلی ریزتر می باشد حل شد و جوابها نسبت به حالت اول تغییری پیدا نکرد. این موضوع، مستقل بودن جوابها را از تعداد نقاط شبکه نشان می دهد. تجمّع گره ها در نزدیک دیواره ها به علت اهمیت لایه مرزی می باشد. شبکه تولید شده با استفاده از نرم افزار GAMBIT تولید شده است. در حل مسأله از کد فلونت استفاده شده است. روش حل عددی، روش حجم محدود (Finite Volume) می باشد.

هندسده محفظه احتراق به کار رفته به همراه شبکه درشت آن در شکل (۱) آمده است. طول محفظه $0/14$ متر و شعاع آن $0/01$ متر می باشد. شعاع ورودی هیدروژن معادل $0/001$ متر و نسبت شعاع خارجی ورودی هوا به سوخت معادل 10 می باشد. در ورود به محفظه، شرط مرزی دبی جرمی به عنوان ورودی استفاده شده است و در خروج شرط مرزی فشار به کار رفته است. شرایط در مرز ورودی در جدول (۱) آورده شده است. در طی حل مسأله با تغییر شرایط مرزی، اثر تغییر فشار محفظه و تغییر دمای دیواره بر فرایند احتراق بررسی شده است.

جدول ۱- شرایط مرزی ورودی

O ₂		H ₂	
Condition	Value	Condition	Value
Mass fraction	1	Mass fraction	1
Static temperature, k	800	Static temperature, k	300
Mass flux, kg/s	5.6E-05	Mass flux, kg/s	6.4E-07

۴- بحث و بررسی نتایج

جهت بررسی تاثیر فشار بر فرایند احتراق، فشارهای $0/1$ ، $0/5$ ، 1 ، 5 ، 10 و 15 بار در حالیکه سایر شرایط ثابت می باشد، در ورودی اعمال شده است. شکل‌های (۲)، (۳) و (۴) میدان دمای محفظه احتراق را به ترتیب برای فشارهای $0/1$ ، 5 و 15 بار نشان می دهد. شکل (۵) نیز توزیع درجه حرارت روی محور تقارن محفظه را برای فشارهای مختلف نشان می دهد. مشاهده می شود که با افزایش فشار، درجه حرارت احتراق کاهش می یابد ولی گسترش شعله درون محفظه بیشتر می گردد و یکنواختی بیشتری در توزیع درجه حرارت وجود دارد. همچنین بر مبنای شکل (۵) افزایش فشار تا 5 بار باعث افزایش نرخ سوختن و جلو کشیده شدن شعله می گردد اما در فشارهای بالای 5 بار شعله به سمت ورودی کشیده می شود. شکل (۶) توزیع نرخ انجام واکنش روی محور تقارن را نشان می دهد. مشاهده می شود که تغییرات نرخ انجام واکنش نیز رفتار مشابه با درجه حرارت دارد و ماکزیمم نرخ انجام واکنش تا فشار 5 بار به سمت جلو و در فشارهای بالاتر به سمت عقب کشیده می شود. جهت تحلیل این پدیده باید به مدل احتراقی (رابطه ۸) استفاده شده در کار حاضر توجه شود و تغییرات پارامترهای موثر بر آن مورد بررسی قرار گیرد. در رابطه (۸) A و B عدد ثابت، ρ دانسیته، m_p نسبت جرمی محصولات احتراق، k انرژی توربولانس و ϵ نرخ اتلاف توربولانس می باشد. شکل (۷) توزیع دانسیته، شکل (۸) توزیع نسبت جرمی H_2O و شکل

(۹) توزیع انرژی توربولانس و نرخ اتلاف توربولانس را روی محور تقارن نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که تغییرات دانسیته و نسبت جرمی H_2O مطابق با تغییرات درجه حرارت می‌باشند. به این ترتیب که تا فشار ۵ بار بیشترین مقدار دانسیته و نسبت جرمی H_2O به سمت جلو و در فشارهای بالاتر به سمت عقب کشیده می‌شود. در مورد مشخصه‌های توربولانس مشاهده می‌شود که تا فشار ۵ بار تغییرات زیادی ندارند ولی در فشارهای بالاتر مشخصه‌های توربولانس نیز تعیین کننده می‌گردند. به این ترتیب میتوان نحوه تغییرات نرخ انجام واکنش و درجه حرارت با تغییر فشار را ناشی از دو عامل مشخصه‌های جریان شامل دانسیته و توربولانس، و مشخصه‌های احتراقی شامل نسبت جرمی محصولات احتراق دانست.

شکل (۱۰) توزیع درجه حرارت در خروجی را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش فشار درجه حرارت در خروجی کاهش می‌یابد و توزیع آن یکنواخت می‌گردد که این امر بدلیل اثر تلاطم در فشارهای بالا رخ می‌دهد. جهت بررسی اثر درجه حرارت دیواره بر احتراق، حالات دیواره بدون انتقال حرارت و دیواره با درجه حرارت ثابت ۵۰۰ و ۳۰۰ کلوین و در فشار ثابت ۰/۱ بار مورد مطالعه قرار گرفت. شکل (۱۱) توزیع درجه حرارت، شکل (۱۲) توزیع نرخ انجام واکنش و شکل (۱۳) توزیع نسبت جرمی H_2O را روی محور تقارن نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که با کاهش درجه حرارت دیواره، نرخ انجام واکنش و نسبت جرمی H_2O کاهش می‌یابد. علاوه بر آن با کاهش درجه حرارت دیواره، درجه حرارت شعله نیز کاهش می‌یابد. این مساله از یک طرف به دلیل اثر کاهش درجه حرارت دیواره و از طرف دیگر به دلیل کاهش نرخ انجام واکنش روی می‌دهد.

نتیجه گیری کلی

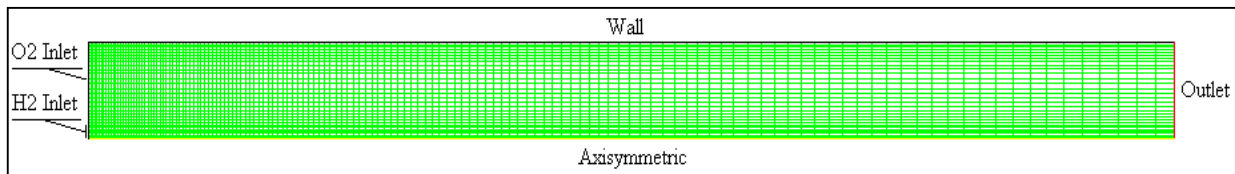
احتراق در یک محفظه استوانه‌ای بصورت شبیه‌سازی شده و اثر تغییر فشار محفظه و تغییر دمای دیواره بر احتراق بررسی شده است. در مطالعه فرآیند احتراق اسپری تحت فشار هیدروژن-اکسیژن در محفظه استوانه‌ای نکات ذیل قابل ذکر است:

- ۱- با افزایش فشار محفظه احتراق درجه حرارت شعله کاهش می‌یابد.
- ۲- در فشارهای ۰/۱ تا ۵ بار، شعله با افزایش فشار کمی به سمت جلو یعنی خروجی کشیده می‌شود ولی در فشارهای بالاتر شعله به سمت عقب کشیده می‌شود.
- ۳- با افزایش فشار محفظه احتراق، به دلیل افزایش تلاطم گسترش شعله زیاد می‌شود و توزیع درجه حرارت یکنواخت‌تر می‌باشد.
- ۴- کاهش درجه حرارت دیواره باعث کاهش نرخ انجام واکنش، نسبت جرمی محصولات و درجه حرارت می‌گردد.

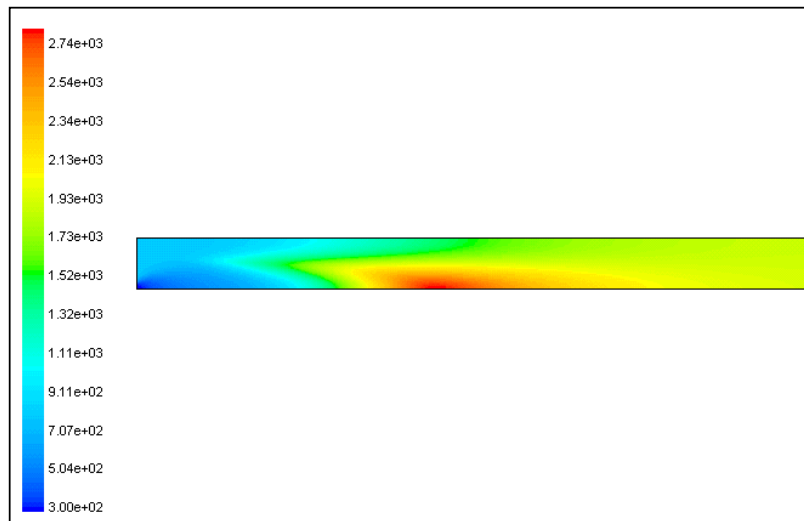
مراجع

- [1] Launder, B.E. and Spalding, D.B., "Lecture in Mathematical Methods of Turbulence," Academic Press, London, England, 1972
- [2] Magnussen, B.F. and Hjertager B.H. "On mathematical models of turbulent combustion with special emphasis on soot formation and combustion". 16th Symp. (Int'l) on combustion. The Combustion Institute, 1976.
- [3] Takahashi, M., Niioka, T., Sato, J., and Yamakava, M., "Burning Rate Constant of Fuel Droplet under High Pressure", Technical Report of National Aerospace Laboratory TR-1001, (in Japanese) 1988.
- [4] Tsukamoto, T. and Niioka, T. Joint International Conference, Australia/New Zealand and Japanese Sections, p.232, The combustion Institute, Pittsburg, 1989.

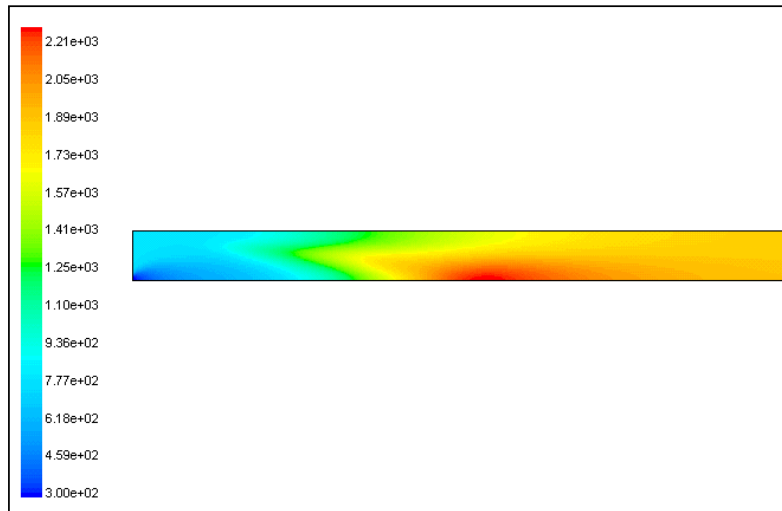
- [5] Faeth, G. M., Dominicus, D. P., Tulpinsky, J. F., and Olson, D. R., Twelfth Symposium (International) on Combustion, The Combustion Institute, Pittsburgh, 1969, pp. 9-18.
- [6] Canada, G. S., and Faeth, G. M., Fourteenth Symposium (International) on Combustion, The Combustion Institute, Pittsburgh, 1973, pp. 1345-1354.
- [7] Gollahalli, S. R., and Brzustowski, T. A., Fifteenth Symposium (International) on Combustion, 1975, pp.409-417.
- [8] Kadota, T., and Hiroyasu, H., Eighteenth Symposium (International) on Combustion, The Combustion Institute, Pittsburgh, 1981, pp.275-282.
- [9] Niioka, T., Hasegawa, S., Tsukamoto, T., and Sato, J., Combust. Flame 86: 171-178, 1991.
- [10] Tsukamoto, T., and Niioka, T., Microgravity Sci. Technol. 4: 219-222, 1993.
- [11] Sato, J., Tsue, M., Niwa, M. and Kono, M., Combust. Flame 82, 142, 1990.
- [12] Tabejamaat, S. and Jangi, M., " Numerical Study on Liquid- Gas Spray", The Fourth Asia-Paciffic Conference on Combustion, Nanjing China , 2003.
- [13] Faeth, G.M., "Evaporation and Combustion of Sprays", Prog. Energy Combust. Sci, Vol 9, pp 1-76, 1983.



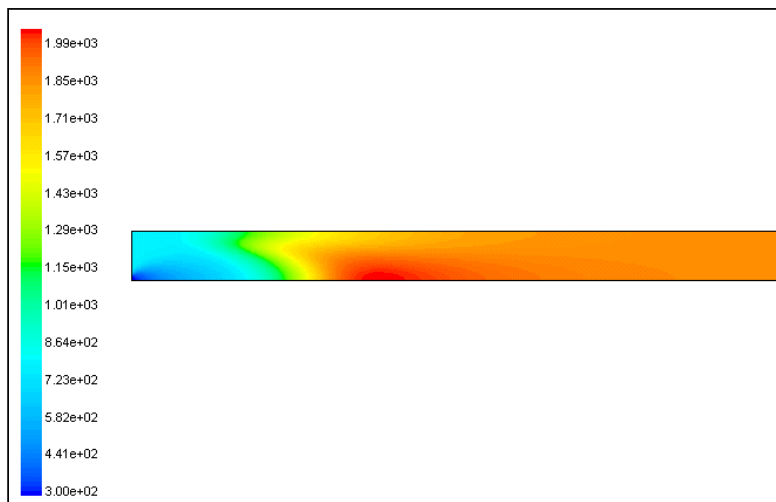
شکل ۱- هندسه محفظه احتراق و شبکه ایجاد شده



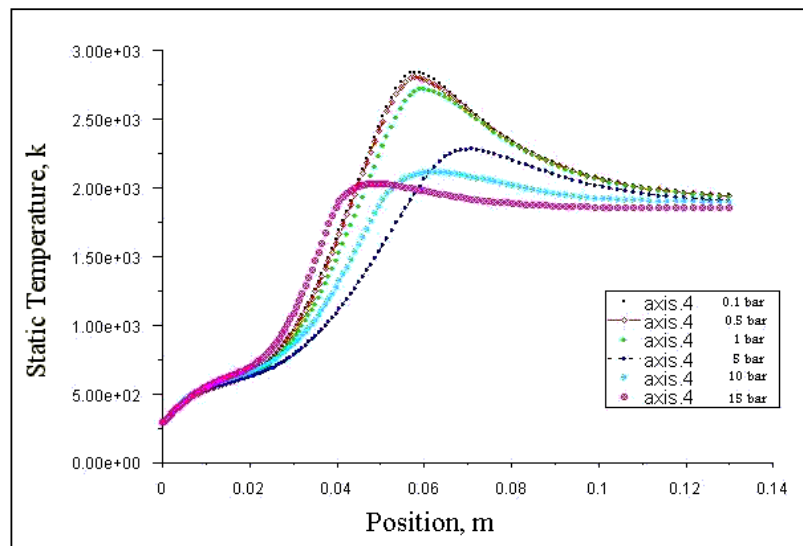
شکل ۲- میدان درجه حرارت در فشار محفظه احتراق ۰/۱ بار



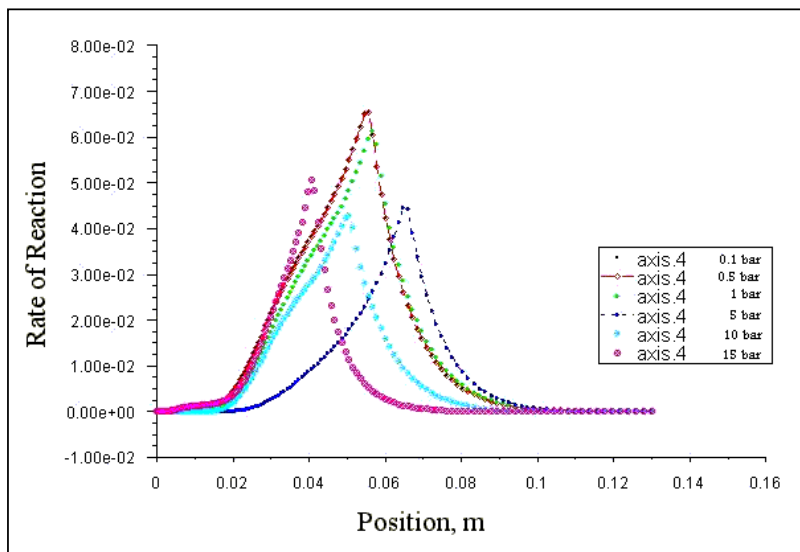
شکل ۳- میدان درجه حرارت در فشار محفظه احتراق ۵ بار



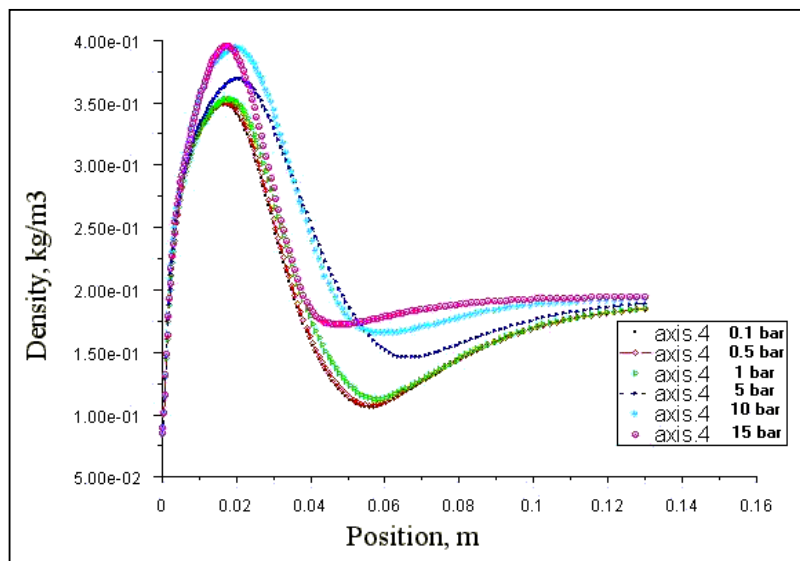
شکل ۴- میدان درجه حرارت در فشار محفظه احتراق ۱۵ بار



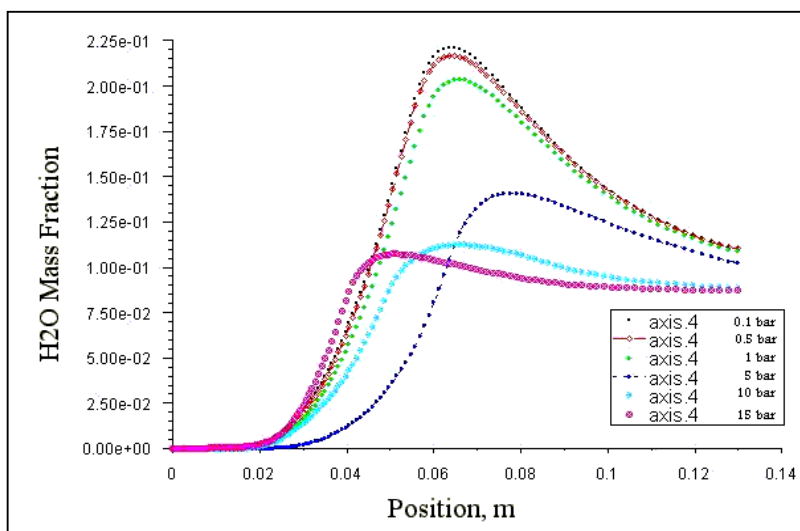
شکل ۵- مقایسه نتایج اثر فشار بر درجه حرارت روی محور تقارن



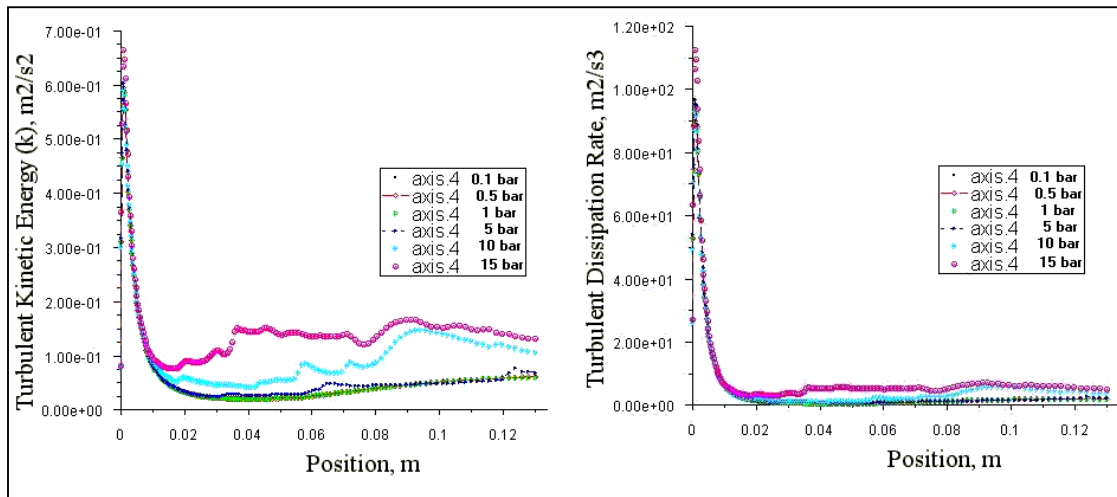
شکل ۶- مقایسه نتایج اثر فشار بر نرخ واکنش روی محور تقارن



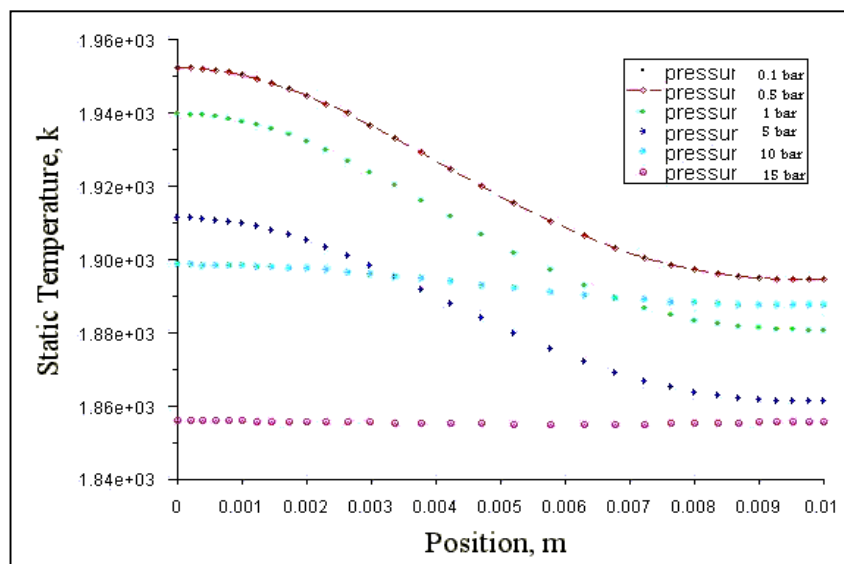
شکل ۷- مقایسه نتایج اثر فشار بر دانسیته روی محور تقارن



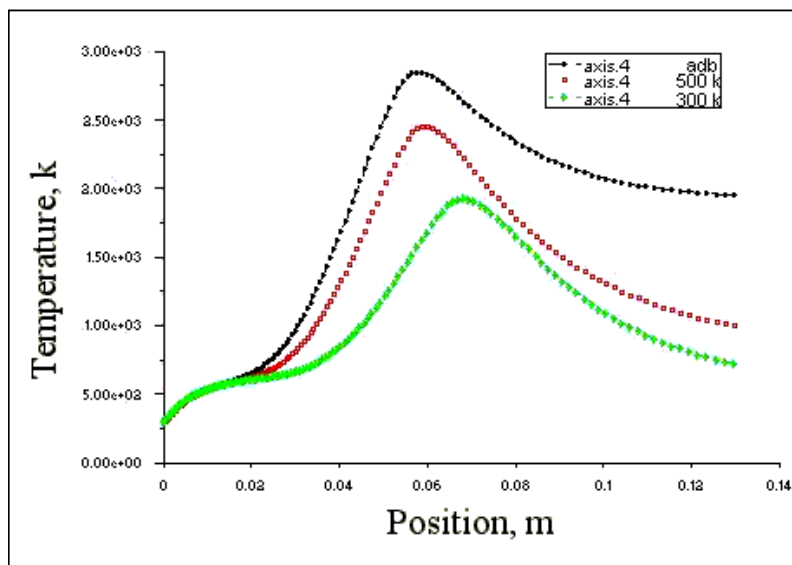
شکل ۸- مقایسه نتایج اثر فشار بر نسبت جرمی محصولات احتراق روی محور تقارن



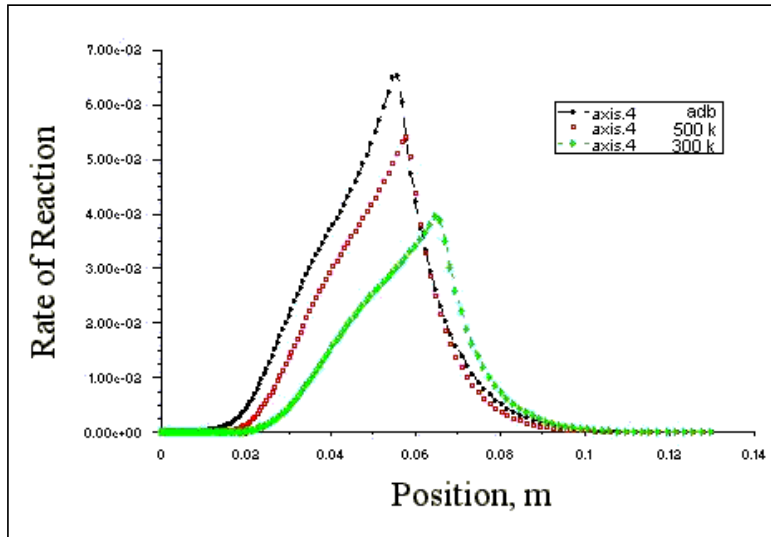
شکل ۹- مقایسه نتایج اثر فشار بر نسبت جرمی محصولات احتراق روی محور تقارن



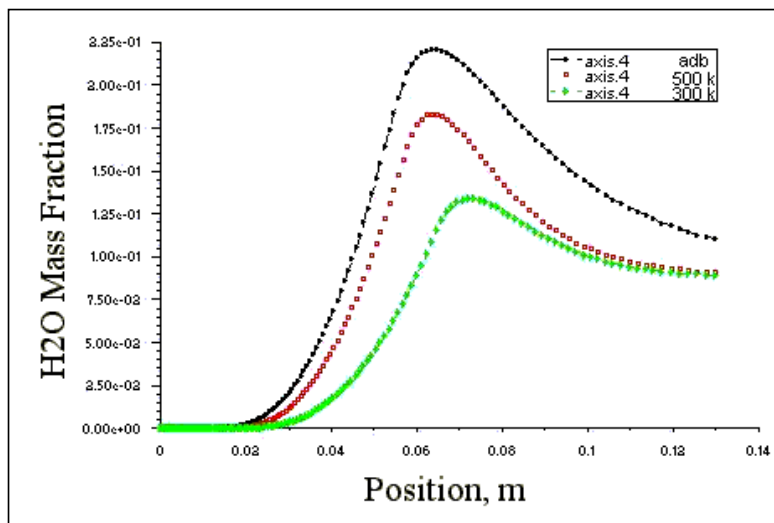
شکل ۱۰- مقایسه نتایج اثر فشار بر درجه حرارت در خروجی



شکل ۱۱- مقایسه نتایج اثر دمای دیواره بر درجه حرارت



شکل ۱۲- مقایسه نتایج اثر دمای دیواره بر نرخ واکنش



شکل ۱۳- مقایسه نتایج اثر دمای دیواره بر نسبت جرمی محصولات احتراق

SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



عضویت در خبرنامه



فیلم های آموزشی

کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی جهاد دانشگاهی



کارگاه آنلاین آشنایی با پایگاه های اطلاعات علمی بین المللی و ترند های جستجو



مباحث پیشرفته یادگیری عمیق؛ شبکه های توجه گرافی (Graph Attention Networks)



کارگاه آنلاین مقاله نویسی IEEE و ISI ویژه فنی و مهندسی