

مطالعه عددی اثر دمای هوای احتراق و تغییر زاویه پاشش سوخت بر فرآیند احتراق

محمد رضا بیگ محمدی^{۱*}، صادق تابع جماعت^۲، امیر مردانی^۳

دانشکده مهندسی هوافضا - دانشگاه صنعتی امیرکبیر
(* baig_mohammadi@yahoo.com)

چکیده

در این تحقیق، احتراق سوخت گازی متان- هوا در داخل یک محفظه احتراق مطالعه شده است. اثر زوایای پاشش انژکتور سوخت و نیز تغییر در درجه حرارت هوای احتراق ورودی به محفظه احتراق بر روی وضعیت توزیع درجه حرارت در داخل محفظه احتراق، برای دماهای مختلف ورودی و زوایای پاشش سوخت مختلف، بصورت مجزا و توأمان، بصورت عددی مورد بررسی قرار گرفته اند. در این مطالعه برای بررسی این پدیده‌ها از یک کد simple، با مدل توربولانس $k-\epsilon$ و مدل احتراق ED استفاده شده است. نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان می‌دهند که سطوح دمایی مختلف پیش گرمایش هوای احتراق و همچنین تغییر زوایای پاشش سوخت در یک سیستم احتراقی مبتنی بر فرآیند احتراق در هوای با درجه حرارت بالا (HTAC) تاثیر عمده‌ای بر نحوه توزیع دما در داخل محفظه احتراق دارد.

واژه‌های کلیدی: محفظه احتراق - هوای با درجه حرارت بالا - پیش گرمایش.

۱- مقدمه

پیش گرم کردن مخلوط قابل احتراق بوسیله بازیابی^۴ حرارت از گازهای خروجی از محفظه احتراق، یک روش موثر برای حفظ و نگهداری از منابع سوختی است که تنها منحصر به احتراق سوختهایی با گرمایی پایین نمی باشد. این سیستم را احتراق با گردش حرارت^۵ نیز می نامند که در آن مواد واکنش دهنده قبل از ورود به ناحیه شعله، پیش گرم می شوند. این کار بوسیله انتقال حرارت از محصولات احتراق به مواد واکنش دهنده، بدون اینکه دو جریان با یکدیگر مخلوط شوند، انجام می گیرد. تغییرات دمایی احتراق پیش اختلاط یک بعدی در یک سیستم آدیا باتیک بطور شماتیک در نمودار ۱ مورد بررسی و مقایسه قرار گرفته است. در این شکل دو حالت، با سیستم گردش حرارت و بدون آن، بررسی شده اند. ماکزیمم درجه حرارت در احتراق با گردش حرارت، بوسیله مقدار حرارت به گردش در آمده تعیین می گردد که مستقل از نسبت اختلاط (تعادل) مخلوط و یا ارزش حرارتی سوخت بکار رفته می باشد. بنابراین، این نکته بدست می آید که احتراق با گردش حرارت موجب افزایش دمای گازهای خروجی حاصل از احتراق به نسبت مقدار حرارت بازیابی شده می گردد. از طرف دیگر افزایش دمای مخلوط، بطور مشخص باعث گسترش محدوده اشتعال پذیری آن می گردد که این مطلب در نمودار ۲ نشان داده شده است. افزایش دما به مقدار زیاد ممکن است منجر به خود اشتعالی گردد. اگر سوختی دارای ارزش حرارتی پائینی باشد، دامنه اشتعال

۱- کارشناس ارشد.

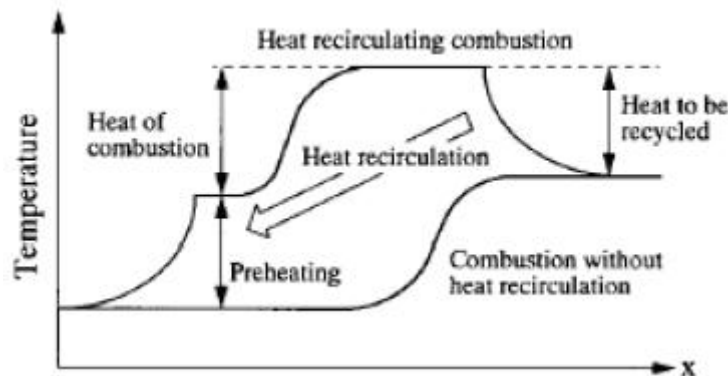
۲- دانشیار، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

۳- دانشجوی دکتری، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

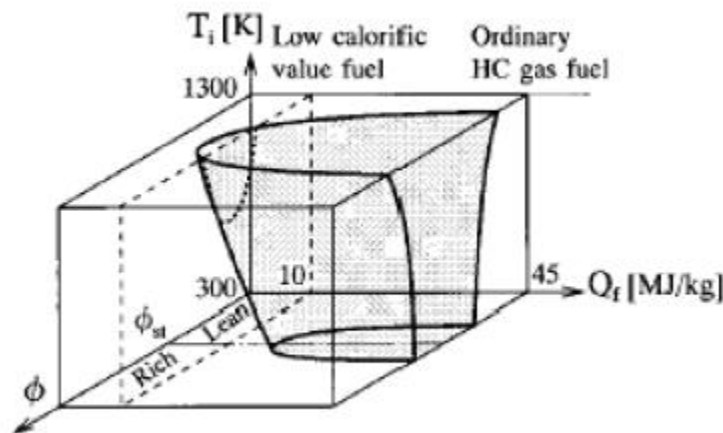
⁴ Regeneration.

⁵ Heat-recirculation.

پذیری آن در دمای محیط ناپدید می شود و هنگامیکه مخلوط پیش گرم شود، دوباره شروع به پدیدار شدن می کند. بنابراین، بعضی از تحقیقات بقصد سوزاندن مخلوط های فوق فقیر یا سوختهایی با ارزش حرارتی پائین، که اغلب در پروسه های شیمیایی تولید یا از دودکش های معادن زغال سنگ خارج می شوند، انجام گرفته است. در این حالتها، لازم است به طریق مناسبی احتراق پایدار ایجاد نمود. انواع مختلف این سیستمها بصورت مفهومی توسط وینبرگ در طی سالهای ۱۹۸۶ و ۱۹۹۶ مورد بازنگری قرار گرفته اند [1].



نمودار ۱- نمایش شماتیک تغییرات دمایی احتراق پیش اختلاط یک بعدی در یک سیستم آدیباتیک [2].

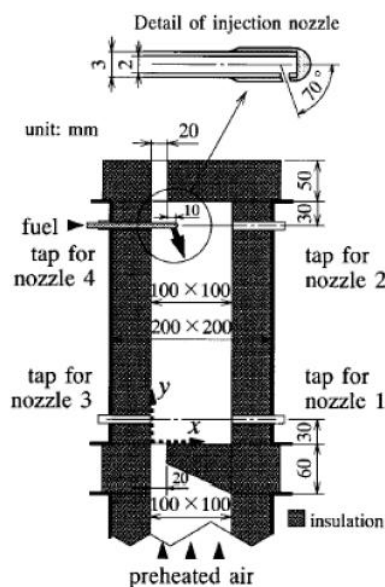


نمودار ۲- محدوده اشتعال پذیری تابعی از ارزش حرارتی سوخت Q_i ، دمای اولیه مخلوط، T_i و نسبت تعادل، Φ می باشد. [2].

مطالعات علمی بر روی احتراق هیت-ریسرکولیشن (Heat-Recirculation) تنها به کارهای انجام شده در زمینه احتراق پیش اختلاط اشاره می کنند. برای کاربرد در مقیاس های بزرگ صنعتی، احتراق نفوذی^۱ بسیار معمول است چون که این نوع احتراق دارای قابلیت کنترل پذیری بیشتری بوده و اطمینان بالاتری را ایجاد می کند. بطور مثال، این تکنولوژی اولین کاربردش جهت استفاده در کوره های ذوب و دوباره گرمکن بوده است، در این نوع سیستم، هوایی که تا دمای ۸۳۷ کلوین پیش گرم شده، بوسیله یک مشعل رکوپریتیو (Recuperative) مورد استفاده قرار گرفته است. با بهبود در کیفیت و نوع مواد بکار برده شده در این

¹ Diffusion.

نوع کوره ها میتواند دمای پیش گرم کردن هوا را به میزان بیشتری افزایش داد. اکنون انواعی از کوره های بازبایی^۱ وجود دارند که از آنها جهت ذوب شیشه با هوای پیش گرم تا بیش از ۱۲۳۷ کلوین استفاده می شود. یکی دیگر از مزایای سیستم احتراقی هیت- رسیرکولیشن صرفه جویی در مصرف سوخت است. مطابق نتایج مسترز و همکاران^۲ [2] اگر هوای ورودی به کوره جهت احتراق تا دمای 873 کلوین پیش گرم شود منجر به کاهش در نرخ سوخت ورودی به مقدار ۳۰٪، در زمانیکه دمای گازهای خروجی از کوره 1437 کلوین می باشد، می گردد. اگر هوای ورودی توسط سیستم مبدل حرارتی بازبایی تا دمای 1273 کلوین پیش گرم شود، در حالیکه دمای گازهای خروجی از کوره ثابت باشد، منجر به کاهش ۵۰٪ در میزان مصرف سوخت می گردد. بنابراین، احتراق هیت- رسیرکولیشن با توجه به طراحی کوره های آینده بر پایه میزان صرفه جویی بالا در مصرف سوخت، یقیناً تکنولوژی بسیار جذاب و مفیدی خواهد بود. در طول یک دهه گذشته تلاشهای بیشماری برای غلبه بر کشمکش میان کاهش مصرف سوخت و میزان انتشار آلاینده های NO_x (اکسید نیتروژن) انجام شده است. بطور مثال، تزریق دوگانه (دومرحله ای) سوخت به داخل کوره و تزریق با ممنتوم بالای هوای ورودی و تغییر زاویه پاشش سوخت ورودی منجر به بهبود و پیشرفت مؤثری در کاهش آلاینده های NO_x در احتراق بازبایی گردیده است. بهر حال، نتایج تحقیقاتی نشان می دهند که انتشار اکسیدهای نیتروژن تنها با تغییر در پروسه اختلاط میان سوخت و هوا به میزان آشکاری تغییر می کند. شکل ۳ محفظه احتراقی را که در یک آزمایش جهت بررسی اثر زاویه پاشش بر روی احتراق بکار برده شده است را نشان می دهد.



شکل ۳- محفظه احتراق بکار برده شده در این آزمایش. [2]

در طی سالهای اخیر افراد مختلف، فعالیتهای زیادی در زمینه شبیه سازی عددی سیستمهای مبتنی بر احتراق در هوای با درجه حرارت بالا^۳ صورت داده اند که میتوان بصورت اختصار به مواردی که در ادامه آمده است اشاره کرد. ایشی^۴ و همکاران

¹ Regenerative.

² Masters et al.

³ High Temperature Air Combustion.

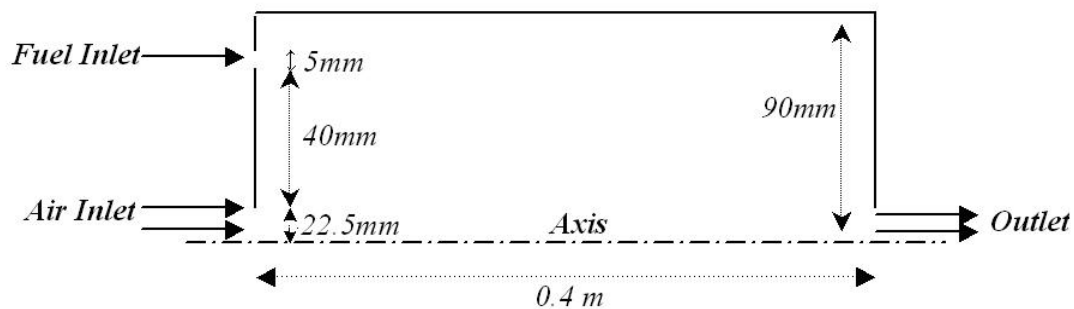
⁴ Ishii et al.

(۱۹۹۷)، یوانگ و ناریزو^۱ (۱۹۹۸)، دونگ و بلاژیاک^۲ (۲۰۰۰)، پاسنتی و همکاران^۳ (۲۰۰۱)، اورسینو و همکاران^۴ (۲۰۰۱)، کوئیلو و پیترز^۵ (۲۰۰۱)، توباگو و همکاران^۶ (۲۰۰۲). [3]

در این مقاله فرآیند توزیع دما در داخل یک محفظه احتراق با تغییر در درجه حرارت هوای ورودی به محفظه و نیز اثر زاویه پاشش سوخت گازی بر روی این توزیع، با مدل سازی مناسب آن مورد مطالعه قرار گرفته است. معادلات حاکم بر فرآیندهای انتقال سیال و حرارت به همراه مدل مناسب برای جریان آشفته مورد استفاده قرار گرفته است. معادلات حاکم بر کل فرآیند بصورت عددی حل شده و نتایج برای شرایط مختلف بدست آمده است. جت سوخت متان گازی بداخل هوای با درجه حرارت بالا پاشیده می شود. ساختار توزیع درجه حرارت در داخل محفظه احتراق و تغییرات آن نسبت به تغییر درجه حرارت هوای ورودی و تغییر زاویه پاشش سوخت مورد مطالعه قرار گرفته است.

۲- مدل فیزیکی و معادلات حاکم

مدل فیزیکی محفظه احتراق در شکل ۴ نشان داده شده است. جریان سوخت متان از داخل یک نازل به داخل کانال دوبعدی تزریق می شود. سوخت با دمای ۳۰۰ کلوین بصورت کاملاً توسعه یافته و با سرعت متوسط ۲۱ متر بر ثانیه با زوایای مختلف بداخل کانال تزریق شده و همچنین هوا با نسبت اکسیژن ۲۱٪ و نیتروژن ۷۹٪ و با سرعت ۲۵ متر بر ثانیه و در دماهای مختلف در داخل کانال جریان می یابد. معادلات حاکم بر مدل فیزیکی فوق شامل معادلات دو بعدی جریان سیال، انتقال جرم و انرژی می باشد. برای بستن معادلات ممنوم مدل جریان آشفته $k-\epsilon$ بکاررفته و فرآیند اکسیداسیون متان در هوا با استفاده از مکانیزم ED^۷ حل شده است. برای حل معادلات حاکم کد کامپیوتری simple توسعه داده شده و همچنین خواص ترمودینامیکی مواد بر مبنای داده های جداول [4] و خواص انتقالی مواد از مرجع [5] استخراج گردیده است. مدل فیزیکی شکل ۴ با استفاده از شبکه دو بعدی با ۲۵۲۶۳ گره و ۲۴۸۰۰ سلول محاسباتی حل شده است. [۶-۷]

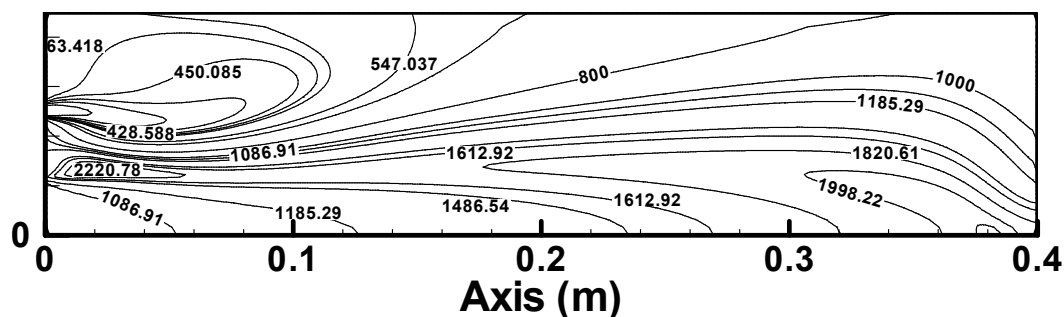


شکل ۴- مدل فیزیکی محفظه احتراق .

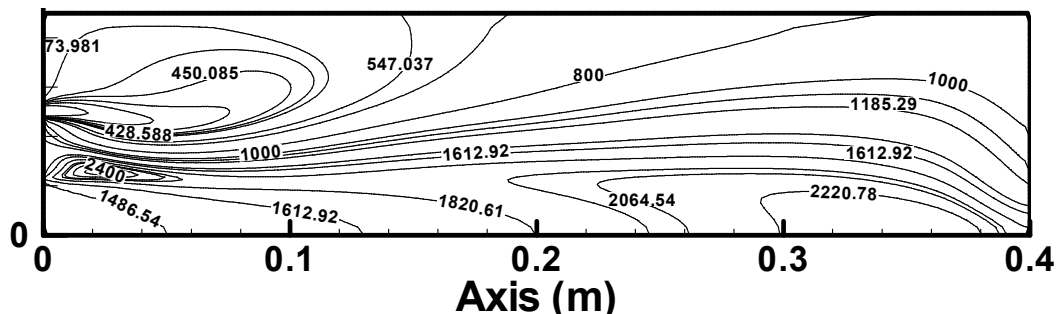
۳- بحث و بررسی نتایج

¹ Yuang and Naruse.
² Dong and Blasiak.
³ Pasenti et al.
⁴ Orsino et al.
⁵ Coelho and peters.
⁶ Tobacco et al.
⁷ Eddy-Dissipation.

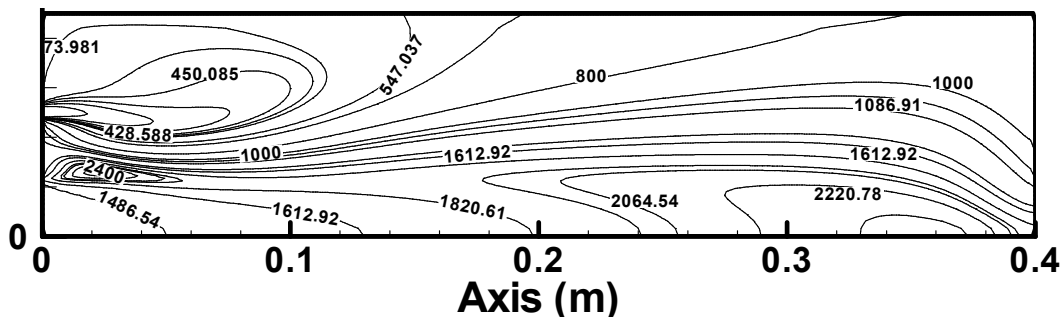
در ادامه در دو بخش به ارائه نتایج حاصله از تغییرات زاویه پاشش سوخت و دمای هوای ورودی و اثر همزمان این دو پدیده در محفظه احتراق پرداخته شده است. بمنظور مشاهده و بررسی اثر پیشگرم کردن در محفظه احتراق در سه دمای پیشگرم مختلف و با زاویای پاشش سوخت یکسان، محفظه احتراق مدل سازی شده و کانتورهای توزیع دما در داخل محفظه در شکل ۵ ارائه شده است. بمنظور بررسی دقیق تر اثر پیشگرم، دمای متوسط وزنی در مقاطع عرضی مختلف و در طول محفظه احتراق محاسبه شده و توزیع آن در شکل ۶ مشاهده می شود. افزایش دمای هوای احتراق، موجب افزایش سطح دما و نیز بهبود راندمان احتراق در محفظه شده است. نکته قابل توجه دیگر اینکه دمای متوسط در طول محفظه بصورت خطی افزایش می یابد.



(الف)



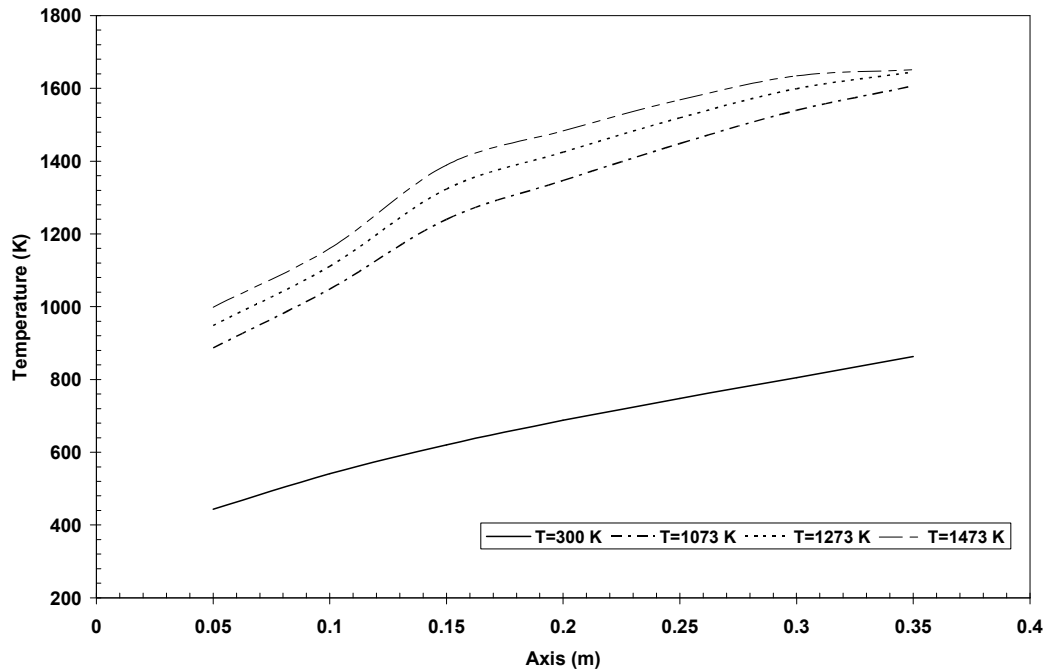
(ب)



(ج)

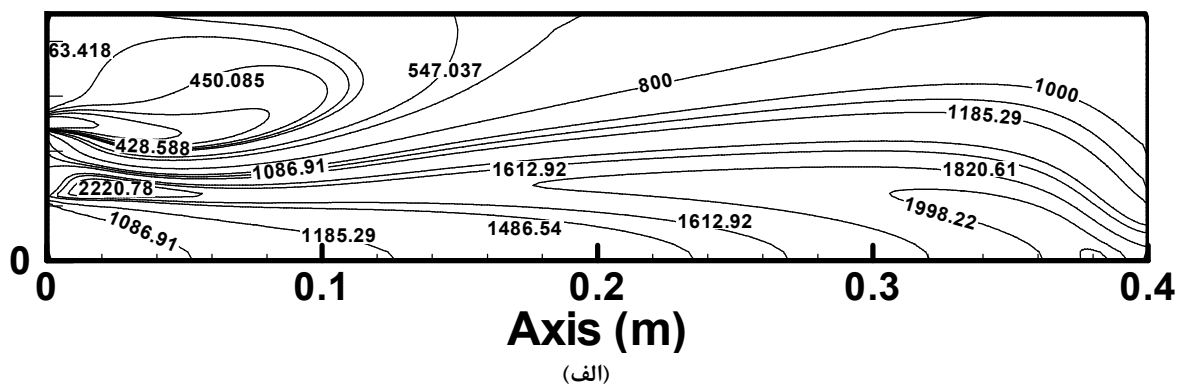
شکل ۵- توزیع درجه حرارت در داخل محفظه احتراق برای زاویه پاشش صفر درجه و دماهای هوای احتراق:

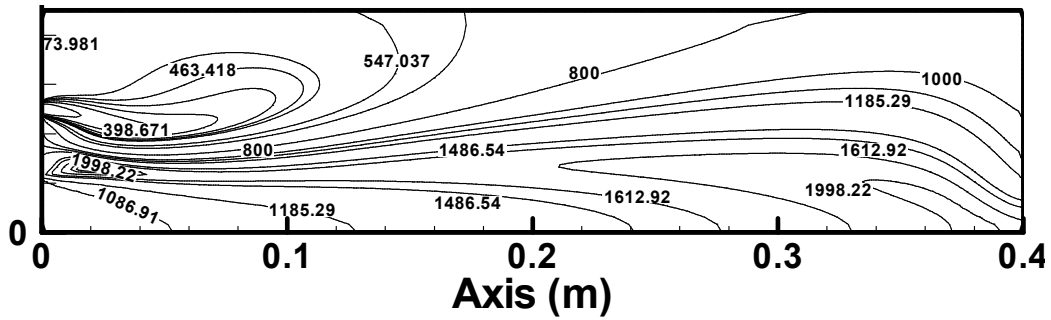
(الف) - ۱۰۷۳ کلوین، (ب) - ۱۲۷۳ کلوین، (ج) - ۱۴۷۳ کلوین.



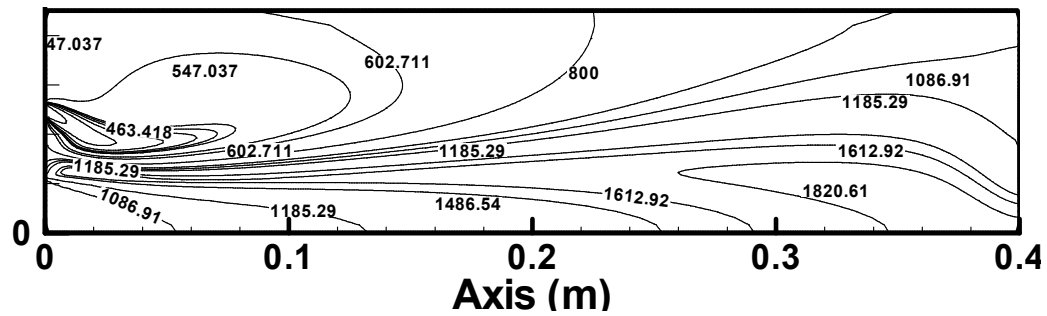
شکل ۶- تغییر دمای متوسط وزنی در مقاطع مختلف در طول محفظه احتراق با تغییر در دمای هوای احتراق در زاویه پاشش صفر درجه.

همچنین جهت بررسی اثر زاویه پاشش سوخت مدلسازی محفظه در زوایای مختلف پاشش صورت گرفته که نتایج آن در سه زاویه پاشش مختلف در دمای ثابت بررسی و ارائه گردیده است. در شکل ۷ کانتورهای توزیع دما برای زوایای مختلف در داخل محفظه احتراق قابل مشاهده می باشد. همانطور که در اشکال ۸ و ۹ و ۱۰ مشاهده می شود، افزایش زاویه پاشش سوخت در دماهای مختلف منجر به افزایش شیب منحنی توزیع دمای متوسط در طول محفظه می گردد و این در حالیست که این افزایش منجر به توزیع خطی تر دمای متوسط در داخل محفظه شده است. بنظر می رسد علت این پدیده اختلاط مناسب تر سوخت و اکسیدکننده و افزایش آن در طول محفظه که منجر به افزایش راندمان احتراق خواهد شد، می باشد.



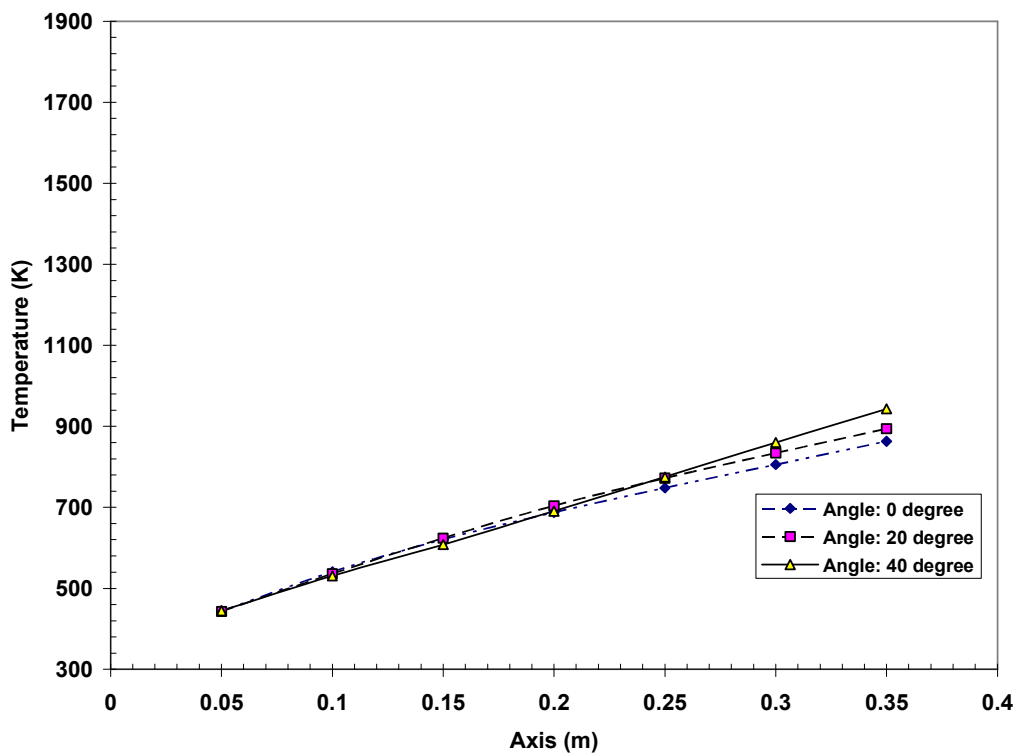


(ب)

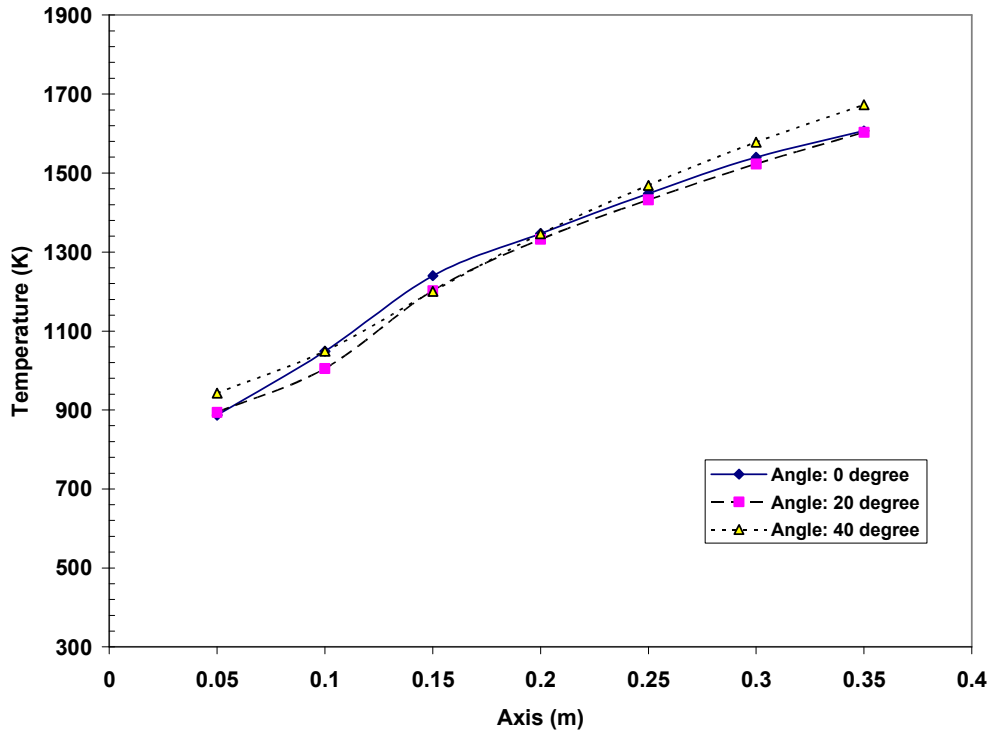


(ج)

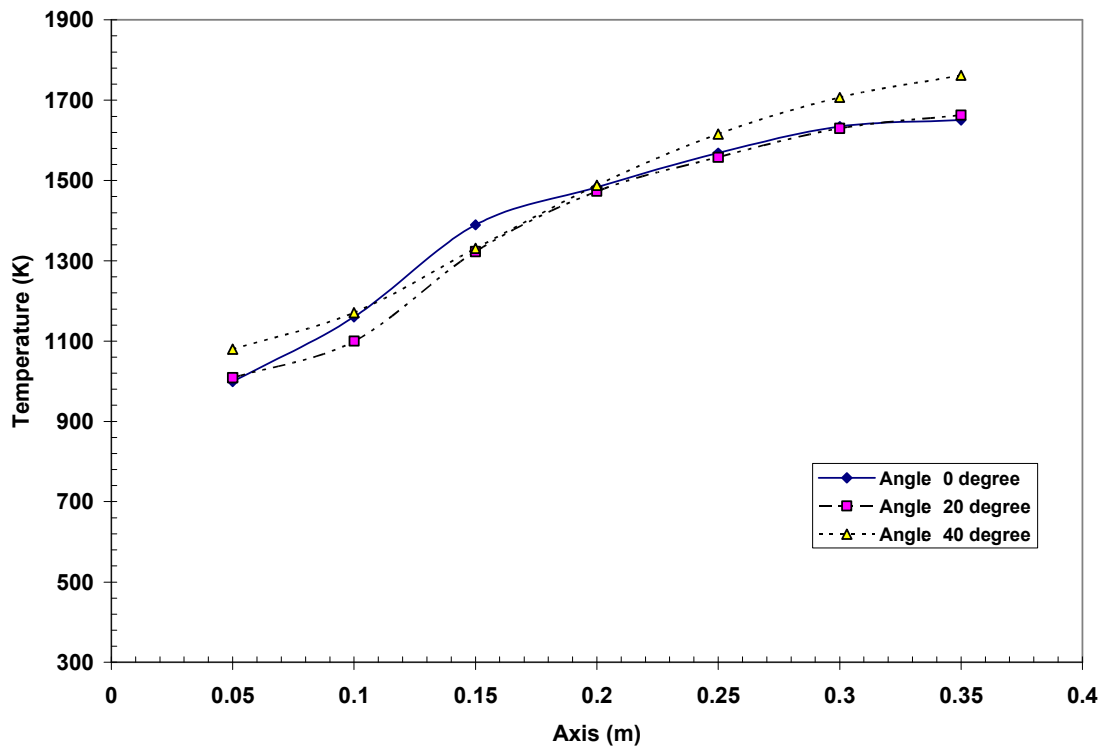
شکل ۷- توزیع درجه حرارت در داخل محفظه احتراق برای زوایای مختلف در دمای هوای احتراق ۱۰۷۳ کلوین:
(الف) - 0° , (ب) - 10° , (ج) - 30° .



شکل ۵- تغییر دما در طول محفظه احتراق با تغییر زاویه در دمای هوای ورودی ۳۰۰ کلوین.

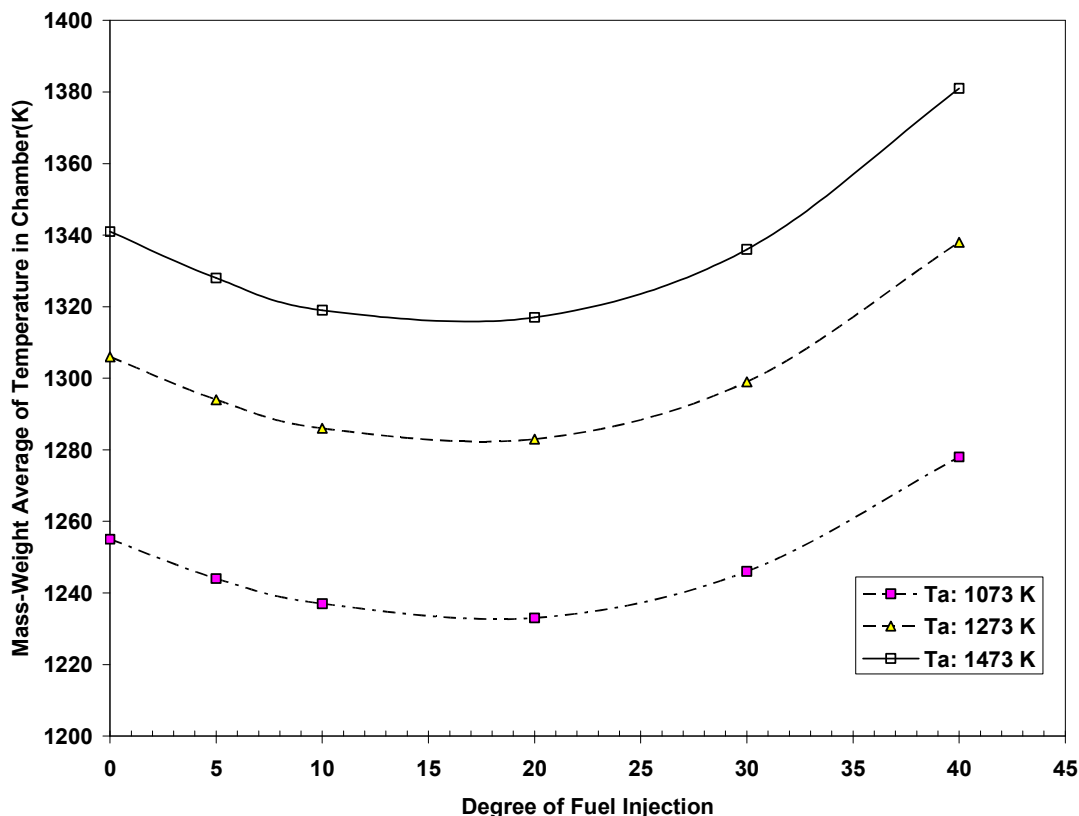


شکل ۹- تغییر دما در طول محفظه احتراق با تغییر زاویه در دمای هوای ورودی ۱۰۷۳ کلوین.



شکل ۱۰- تغییر دما در طول محفظه احتراق با تغییر زاویه در دمای هوای ورودی ۱۴۷۳ کلوین.

جهت مطالعه همزمان این دو پدیده در شکل ۱۱، تغییرات دمای متوسط کل محفظه برحسب تغییرات زاویه پاشش و دمای پیشگرم کردن هوای احتراق ارائه گردیده است. مشاهده می‌گردد که، اولاً پیشگرم کردن در تمامی زوایا منجر به افزایش تقریباً یکسان دما می‌گردد، بعبارت دیگر در زوایای مختلف پاشش، پیشگرم کردن اثر تقریباً یکسانی بر افزایش دمای متوسط محفظه داشته است. از طرفی در دماهای پیشگرم مختلف نیز مشاهده می‌شود که با افزایش زاویه پاشش سوخت تغییرات دمای متوسط کل محفظه، در ابتدا روندی نزولی داشته تا اینکه در زوایای بزرگتر از ۲۰ درجه، روند تغییرات صعودی می‌گردد. نکته قابل توجه اینکه نقطه کمینه تمامی نمودارها در زاویه تقریبی ۲۰ درجه و مستقل از درجه حرارت پیشگرم می‌باشد. بنظر می‌رسد این پدیده ناشی از تعامل میان ممنوم جریان سوخت در جهت (x) و در جهت (y) می‌باشد. و در منطقه دمای کمینه شعله که در حدود زوایای ۱۵ تا ۲۰ درجه می‌باشد، با توجه به زاویه برخورد جریانات سوخت و اکسیدکننده و طول محفظه موجود احتمالاً مدت زمان کافی برای اختلاط مناسب سوخت و اکسیدکننده وجود نداشته و در نتیجه دمای متوسط کل محفظه کاهش می‌یابد.



شکل ۱۱- تغییر دمای میانگین محفظه احتراق با تغییر در دمای هوای ورودی و نیز زاویه پاشش سوخت.

۹- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، احتراق سوخت گازی متان- هوا در داخل یک محفظه احتراق مورد مطالعه قرار گرفته است. اثر زوایای پاشش انژکتور سوخت و نیز تغییر در درجه حرارت هوای احتراق ورودی به محفظه احتراق بر روی وضعیت توزیع درجه حرارت در داخل محفظه احتراق، برای دماهای مختلف ورودی و زوایای پاشش سوخت مختلف، بصورت مجزا و توأمان، بصورت عددی



FCCI2010-1108

سومین کنفرانس سوخت و احتراق ایران

تهران - دانشگاه صنعتی امیرکبیر - اسفند ماه ۱۳۸۸



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
دانشکده مهندسی هوافضا

مورد بررسی قرار گرفته اند. نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان می‌دهند که سطوح دمایی مختلف پیش گرمایش هوای احتراق و همچنین تغییر زوایای پاشش سوخت در یک سیستم احتراقی مبتنی بر فرآیند احتراق در هوای با درجه حرارت بالا (HTAC) تاثیر عمده‌ای بر نحوه توزیع دما در داخل محفظه احتراق دارد. بطوریکه افزایش دمای هوای احتراق موجب افزایش سطح دمای متوسط و راندمان محفظه احتراق می‌شود. همچنین، تغییر زاویه پاشش سوخت پارامتر تعیین کننده‌ای بر روی نحوه توزیع دمای متوسط در داخل محفظه احتراق می‌باشد. افزایش زاویه پاشش سوخت در دماهای مختلف منجر به افزایش شیب منحنی توزیع دمای متوسط در طول محفظه احتراق و همچنین خطی تر شدن توزیع آن در طول محفظه می‌شود. لازم بذکر است که اثر تغییر زاویه بر روی توزیع دمای متوسط کل محفظه احتراق بصورت ثابت نمی‌باشد، بلکه افزایش زاویه پاشش، تا زاویه‌ای خاص دارای اثر کاهشی و پس از آن افزایش زاویه پاشش دارای اثر افزایشی بر روی دمای متوسط محفظه احتراق می‌باشد.

مراجع

- 1- Weinberg, F.J., "Advanced Combustion Methods", Academic press, New Yourk, 1986.
- 2- Katsuki, Masashi, Hasegawa, Toshiaki, "THE SCIENCE AND TECHNOLOGY OF COMBUSTION IN HIGHLY PREHEATED AIR", Twenty-Seventh symposium on combustion, pp.3135-3146, 1998.
- 3- Mancini, M., Schwoppe, P., Weber, R., "Examining NOx Chemistry in High Temperature Air Combustion Processes", XVIII International Symposium on Combustion process, Ustron, Poland, 2-5 September, 2003.
- 4- Chase, M.W., Davies, C.A., Downey, J.R., rurip, D.J F, McDonald, R.A. and Syverud, A.N., "JANAF Thermochemical Tables", 3rd edition, Vol. 14, American Ins. Physics, New York, 1985.
- 5- Tabejamaat, S., " Ph.D. Dissertation", Tohoko University, 1998.
- ۶- تابع جماعت، ص.، مطالعه شعله دیفیوژن در هوای با درجه حرارت بالا، طرح مستقل پژوهشی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، ۱۳۷۹.
- ۷- تابع جماعت، ص.، شبیه‌سازی شعله دیفیوژن در جریان هوا با درجه حرارت بالا، مجموعه مقالات نهمین کنفرانس بین المللی مهندسی مکانیک، دانشگاه گیلان، رشت، ۶-۸ خرداد، ۱۳۸۰.