



گواهی ارائه مقاله

بدین وسیله گواهی می‌شود مقاله با عنوان:

بررسی عددی پارامترهای احتراق سوخت گاز و مایع در کوره شبیه سازی شده

توسط نویسنده/ نویسندگان:

بنت الهدی اصلانی، محمد میمان

در چهارمین کنفرانس سوخت و احتراق ایران ارائه شده است. ضمن تشکر از مشارکت در این همایش، توفیق روز افزون ایشان را در عرصه‌های علمی از خداوند منان خواستاریم.

دکتر مجیه سبزویشانی
دبیر کنفرانس



دکتر سید عبدالمهدی هاشمی
دبیر علمی کنفرانس

دبیرخانه: کاشان - بلوار قطب راوندی - دانشگاه کاشان - دانشکده مهندسی و پژوهشکده انرژی - تلفن و فاکس: ۰۳۶۱-۵۹۱۲۸۹۳

بررسی عددی پارامترهای احتراق سوخت گاز و مایع در کوره شبیه سازی شده

بنت الهدی اصلانی^{۱*}، محمد مقیمان^۲
گروه مکانیک دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد
(* Aslani_Hoda@yahoo.co.in)

چکیده

در تحقیق حاضر شبیه سازی عددی احتراق با استفاده از نرم افزار فلوئنت و به کمک مدل های تابش DO, DTRM, P1 و مدل توربولنسی RNG انجام گرفته است. مدل سازی با هدف مقایسه و بررسی سوخت گاز و مایع، اثر تابش در احتراق و دمای ماکزیمم شعله و اثر نسبت های منطری متفاوت در ورودی های اکسیژن صورت گرفته است. مقایسه اسپری سوخت مایع با جت گاز طبیعی حاکی از عملکرد بهتر سوخت گاز از لحاظ آلاینده‌گی و سوخت مایع از لحاظ ماکزیمم دما بوده است. نتایج نشان می دهند حضور گازهای اختلاطی حاوی درصد هایی از متان، منو اکسید کربن و دی اکسید کربن در مقایسه با گاز متان خالص باعث افزایش دمای کوره گشته، همچنین در نظر گرفتن تابش دمای کوره را افزایش داده است. همچنین نتایج نشان می دهند درمیان نسبت های منطری 1، 1/5 و 4 در ورودی اکسیژن، نسبت منطری 1/5 مقداری بهینه است که منجر به کمترین جریان برگشتی و کمترین سرعت منفی محوری در کوره می‌شود.

واژه های کلیدی: احتراق - تابش - سوخت - توربولنسی - نسبت منطری

1- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک، دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

2- استاد مکانیک، دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

بررسی عددی پارامترهای احتراق سوخت گاز و مایع در کوره شبیه سازی شده

بنت الهدی اصلانی^{3*}، محمد مقیمان⁴

گروه مکانیک دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

(*) Aslani_Hoda@yahoo.co.in

چکیده

در تحقیق حاضر شبیه سازی عددی احتراق با استفاده از نرم افزار فلوئنت و به کمک مدل های تابش DO, DTRM, P1 و مدل توربولنسی RNG انجام گرفته است. مدل سازی با هدف مقایسه و بررسی سوخت گاز و مایع، اثر تابش در احتراق و دمای ماکزیمم شعله و اثر نسبت های منظری متفاوت در ورودی های اکسیژن صورت گرفته است. مقایسه اسپری سوخت مایع با جت گاز طبیعی حاکی از عملکرد بهتر سوخت گاز از لحاظ آلاینده و سوخت مایع از لحاظ ماکزیمم دما بوده است. نتایج نشان می دهند حضور گازهای اختلاطی حاوی درصد هایی از متان، منو اکسید کربن و دی اکسید کربن در مقایسه با گاز متان خالص باعث افزایش دمای کوره گشته، همچنین در نظر گرفتن تابش دمای کوره را افزایش داده است. همچنین نتایج نشان می دهند درمیان نسبت های منظری 1، 1/5 و 4 در ورودی اکسیژن، نسبت منظری 1/5 مقداری بهینه است که منجر به کمترین جریان برگشتی و کمترین سرعت منفی محوری در کوره می شود.

واژه های کلیدی: احتراق - تابش - سوخت - توربولنسی - نسبت منظری

1- مقدمه

مدل سازی عددی ابزاری مهم در طراحی و بهینه سازی احتراق صنعتی و تجهیزات آن است. برخی از کاربرد های آن عبارتند از بهینه سازی فرآیند احتراق، افزایش بازده انرژی و کاهش صدور گازهای گلخانه ای. به علت افزایش جهانی استفاده از سوخت های فسیلی، کنترل صدور آلاینده ها به هدفی کلی و مهم تبدیل شده است. در ده سال اخیر، شاهد توسعه تحقیقات عددی به منظور بررسی فرآیندهای احتراق با استفاده از سوخت های متفاوت، هوا و یا اکسیژن خالص و یا ترکیبی از هردو به عنوان اکسیدکننده بوده ایم. مطالعات مذکور در هندسه های گوناگون با توجه به تجهیزات صنعتی احتراق، اطلاعاتی را شامل دما، سرعت و غلظت گونه ها فراهم نموده اند [1]. علی رغم تحقیقات وسیع در زمینه منابع انرژی های نو، احتراق به عنوان راه متداول تولید انرژی در بسیاری صنایع اعم از تولید فلزات، همچنان کاربرد دارد [2].

تقاضای خاص تکنولوژی، محدودیت قانونی و اقتصادی مشخص کننده نوع سوخت انتخابی است. بنابراین اگر محدودیتی در تکنولوژی وجود نداشته باشد استفاده از سوخت گاز یا مایع ارجحیت دارد و تنها عوامل جغرافیایی و تکنولوژی می باشد که استفاده از سوخت جامد را موجه می سازد [3و4]. انتخاب سوخت مایع یا گاز در کوره صنعتی، اهمیت های فوق

1- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک، دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

2- استاد مکانیک، دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد

العاده ای از جمله اثر مستقیم بر عملکرد، میزان نشر آلاینده‌گی و عمر تجهیزات دارد. این فاکتور ها شدیداً به فرآیند احتراق و شکل شعله همچنین توزیع دما و فلاکس حرارتی داخل کوره وابسته هستند [1].

احتراق در سوخت مختلط با گستره خواص شیمیایی و فیزیکی، منجر به تغییر در زمان شروع احتراق، محدوده خاموشی شعله، سرعت مشخصه سوختن و پدیده ریز انفجار می شود. بررسی های قبلی نشان داده اند که سرعت شعله در احتراق مخلوط گاز - مایع، رابطه خطی با نسبت سوخت به هوا و رابطه عکس با اندازه متوسط قطره سوخت دارد.

علائم

μ_{eff}	ویسکوزیته مغشوش	pr_t	عدد پرانتل توربولنسی
α	عدد پرانتل موثر معکوس	β	ضریب انبساط حرارتی
u	سرعت	ρ	دانسیته
u'	سرعت نوسانی	k	انرژی سینیتیک توربولنس
R	ثابت گازها	ε	نرخ اتلاف انرژی توربولنسی
T	دما	γ	ثابت سایکرومتریک
σ	ثابت استفان - بولتزمن	a	ضریب جذب گاز
σ_s	ضریب پخش	I	شدت تشعشع در موقعیت r و امتداد s
Φ	تابع فاز	I_0	شدت تشعشع در شروع مسیر
Ω	زاویه سه بعدی	s	طول مسیر

تزریق سوخت مایع به گاز باعث افزایش سرعت مطلق مثبت محوری و کاهش سرعت مطلق منفی محوری می شود [5]. سوخت های گازی به دلیل نشر کمتر، سرمایه گذاری و قیمت نگهداری کمتر در مقایسه با سوخت های مایع و جامد مطلوبترند.

دسته بندی سوخت های مایع به سوخت های فوق سبک، سبک و سنگین، طراحی فرآیند احتراق را به نحوی که آلاینده - ها به حداقل برسند ممکن می سازد. احتراق کامل هر نوع سوخت مایع مستلزم اتمیزه نمودن سوخت و متعاقباً تبخیر بهتر آن، ظرف مدت زمان ماند در شعله می باشد. در پی تدابیر اعمال شده در زمینه کاهش گازهای گلخانه ای، علاقه به احتراق سوخت های زیستی مایع افزایش یافته است. با این وجود استفاده از آن ها، محدود به کاربرد های جزئی و منطقه ای می باشد [6].

در بسیاری از پژوهش های انجام شده در زمینه مدل سازی احتراق، اثر تابش ناچیز فرض گردیده و لذا نیاز به مطالعات در این زمینه احساس می شود. از جمله تحقیقات در این حوزه می توان به اندازه گیری آزمایشگاهی احتراق نفت سنگین سوختی [7] و همچنین بررسی اثر تابش در احتراق هیدروژن - هیدروکربن [8] اشاره نمود.

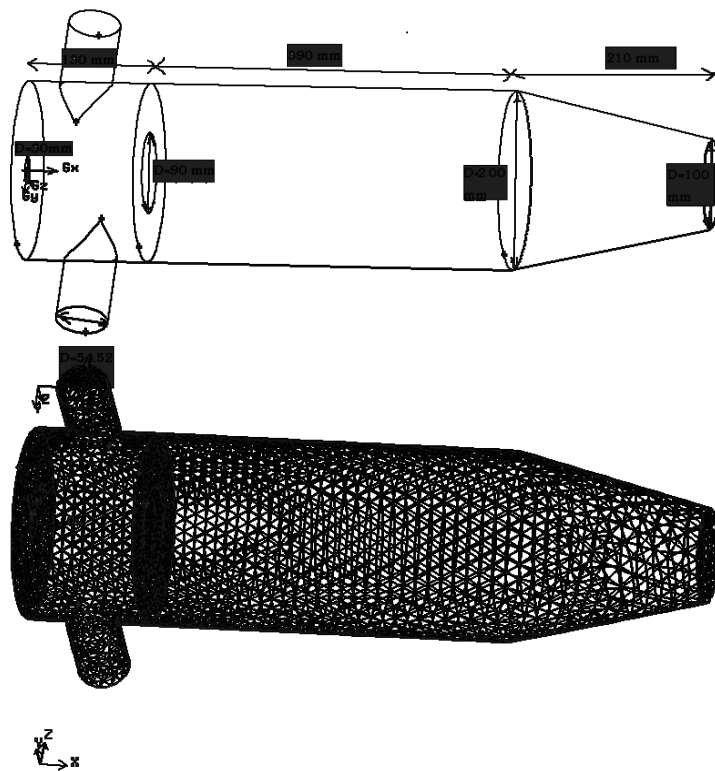
اثر نسبت منطری⁵ (نسبت طول به عرض) در ورودی ها بر احتراق از مواردی است که تاکنون مورد توجه واقع نشده است، در این مقاله ضمن بررسی اثر تابش و مقایسه پارامتر های احتراق در سوخت مایع و گاز و بررسی دمای شعله در مخلوط سوخت ها در مقایسه با سوخت خالص و اثر نسبت منطری را در ورودی مماسی اکسیژن در جریان متلاطم تحلیل می نمایم.

⁵ Aspect ratio

2- مدلسازی

کوره شبیه سازی شده، کوره ای استوانه ای شکل است با طول 730 میلی متر و قطر 200 میلی متر که در آن سوخت از ابتدای کوره و به صورت محوری و از ورودی به قطر 30 میلی متر وارد می شود. انتهای کوره به صورت همگرا بوده و دو ورودی هوا در ابتدای کوره و به صورت مماسی با قطر حدود 54 میلی متر هوا را به منظور اختلاط بهتر با سوخت، به داخل کوره هدایت می کند. تیغه میانی کوره نیز به منظور اختلاط بهتر هوا و سوخت، در کوره تعبیه شده است. مدل ابتدا رسم شده و شبکه بندی مناسب هندسه، انتخاب گردیده و برای تحلیل به کمک نرم افزار فلوئنت آماده گردید. شکل 1، هندسه و شبکه بندی کوره را نشان می دهد.

با توجه به زمان اجرا، هزینه های محاسباتی و پراکندگی عددی از شبکه تتراهدراال در نرم افزار گمبیت استفاده شده است. شبکه تتراهدراال در اکثر مسائل کاربردی از جمله شبیه سازی جریان های داخلی و خارجی در صنعت به کار می رود [9]. این نوع شبکه بندی به سلولهای شبکه اجازه می دهد که در نواحی منتخب از دامنه سیال به صورت خوشه ای درآمده و در نتیجه سبب بالا رفتن سرعت محاسبات و کاهش پراکندگی عددی گردد [10]. شرایط مرزی در ورودی هوا و سوخت، از نوع ورودی سرعتی⁶ با سرعت هوا مساوی 15 متر بر ثانیه و خروجی کوره از نوع خروجی فشاری⁷ و همچنین دیواره ها عایق فرض گردیده اند. شرایط اولیه در نرم افزار بدون تغییر و به صورت پیش فرض نرم افزار تنظیم شد. اعتبار سنجی اندازه شبکه بندی هندسه طوری صورت گرفته است که به ازای کوچک تر نمودن شبکه تغییری در نتایج حاصل نگردد و نتایج مستقل از شبکه ارائه شود.



شکل 1- هندسه و شبکه بندی کوره

⁶. velocity inlet

⁷. Pressure outlet

سرانجام هندسه، توسط مدل های تابش $p1, DO, DTRM$ به منظور بررسی و مقایسه سه مدل و نیز مقایسه اثر حضور تابش و عدم آن تحلیل گردید. جهت بررسی اثر هندسه ورودی هوا در جریان برگشتی و میزان آن، قسمت همگرای انتهای کوره را که تا حدی از برگشت جریان جلوگیری می کند حذف نموده و در سطح ورودی و سرعت هوای یکسان، با تغییر نسبت منظری در هندسه و بررسی سرعت منفی محوری در کوره اثر آن بر جریان برگشتی به کمک مدل RNG بررسی گردید. همانطور که اشاره شد یکی از مدل های مورد استفاده در این تحقیق، مدل RNG است که در آن دو معادله انتقال k و ε حل می شود. در ادامه به این دو معادله پرداخته می شود:

$$\rho \frac{Dk}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M \quad (1)$$

$$\rho \frac{D\varepsilon}{Dt} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\alpha_\varepsilon \mu_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} G_b - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} - R \quad (2)$$

که در آن کمیات α_k و α_ε برابر $1/393$ می باشد. ترم G_k نشان دهنده انرژی جنبشی متلاطم و G_b ترم اصلاح کننده G_k بوده و از معادله زیر بدست می آید.

$$G_k = -\rho u'_i \rho u'_j \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \quad (3)$$

$$G_b = -\beta g_i \frac{\mu_t}{\rho r_t} \frac{\partial T}{\partial x_i} \quad (4)$$

Y_M و R نیز طبق روابط زیر محاسبه می شوند:

$$Y_M = \rho \varepsilon^2 \frac{k}{\gamma RT} \quad (5)$$

$$R = \frac{C_\mu \rho \eta^3 (1 - \frac{\eta}{\eta_0})}{1 + \beta \eta^3} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (6)$$

که در آن η بر پایه ورتیسسته تعریف می شود و $\eta_0, C_\mu, C_{1\varepsilon}, C_{2\varepsilon}, C_{3\varepsilon}$

ثوابت معادلات مذکور می باشند [11].

مدل DTRM یکی از مدل های تابش بوده که در آن معادله تابش به صورت زیر بیان می شود:

$$\frac{dI}{ds} + aI = a \frac{\sigma T^4}{\pi} \quad (7)$$

با انتگرال گیری از معادله 7 خواهیم داشت [12]:

$$I(s) = \frac{\sigma T^4}{\pi} (1 - \exp(-as)) + I_0 \exp(as) \quad (8)$$

مدل تابش DO، معادله انتقال تابشی را برای تعداد محدودی از زوایای سه بعدی گسسته که با بردار جهت دار S در سیستم کارتزین، نمایش داده می شوند، حل می کند. فرمول این مدل به شرح زیر بوده و در آن r بردار موقعیت و s' بردار جهت پخش می باشند [13]:

$$\nabla \cdot (I(\vec{r}, \vec{s}) \vec{s}) + (a + \sigma_s) I(\vec{r}, \vec{s}) = an^2 \frac{\sigma T^4}{\pi} + \frac{\sigma_s}{4\pi} \int_0^{4\pi} I(\vec{r}, \vec{s}') \cdot \Phi(\vec{s}, \vec{s}') d\Omega' \quad (9)$$

، توسط معادلات شامل ترم های نفوذ و چشمه G ، تغییر تابش فرودی P_1 در مدل شرح داده می شود. معادله این روش به صورت زیر می باشد [14]:

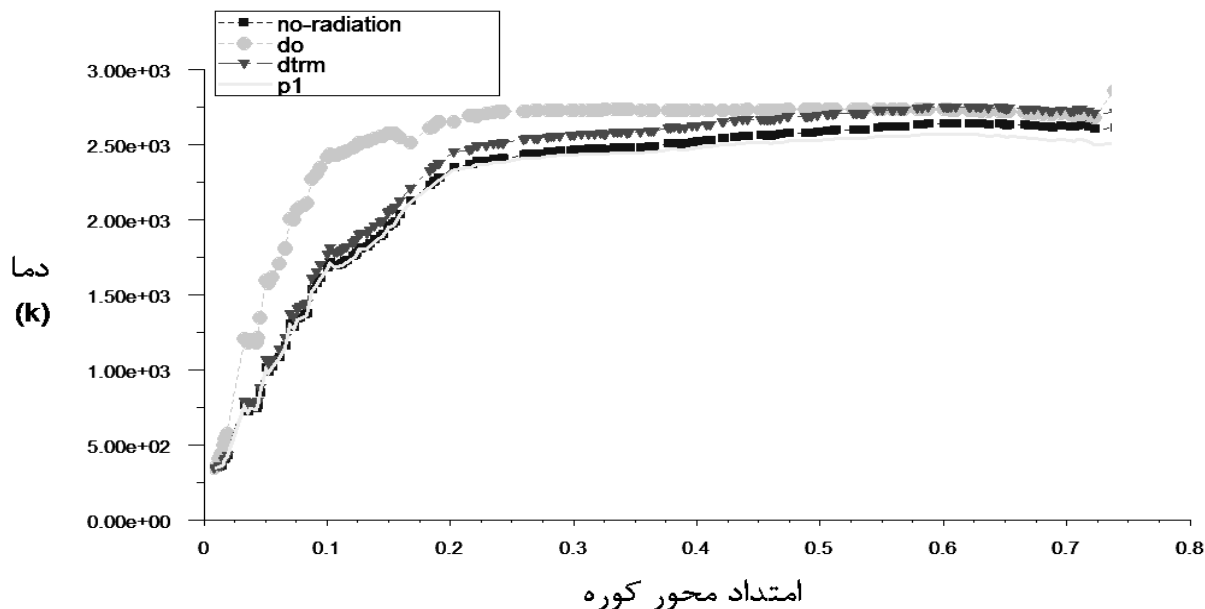
$$\nabla \cdot \left(\frac{1}{3a + (3-C)\sigma_s} \nabla G \right) + a(4\sigma T^4 - G) = 0 \quad (10)$$

3- نتایج و نمودار ها

3-1- اثر تابش

مدلسازی احتراق به کمک سه مدل تابش p_1 , DO, DTRM و همچنین بدون در نظر گرفتن تشعشع، انجام شده است. از آنجا که موارد حائز اهمیت در نتیجه ی احتراق، دما، میزان اکسیژن و دی اکسید کربن می باشد؛ لذا مقایسه ها در این زمینه صورت گرفته است. از آنجا که ترتیب و ساختار کانتورهای اکسیژن و دی اکسیدکربن نیز کاملاً مشابه دما است به نتایج مربوط به دما در شکل 2 و 3 اکتفا شده است. با توجه به دمای اولیه 300 کلوین در سوخت و هوا، مقادیر دما در ابتدای کوره از 300 شروع شده و با توجه به عایق بودن دیواره ی کوره و وقوع احتراق، تا پایان واکنش حدوداً در طول 0/5 متری از ابتدای کوره، مرتباً زیاد می شود. در میان مدل های بررسی شده به ترتیب روش P_1 , DTRM, DO بیشترین میزان دما، اکسیژن و دی اکسیدکربن را در میان مدل های تابشی گزارش می کند و همانطور که انتظار می رفت بدون در نظرگیری تابش، کمترین میزان مقادیر مذکور نتیجه می شود. این نتایج در مورد سرعت و فشار نیز به همین ترتیب می باشد که به لحاظ تشابه و پرهیز از تکرار، از آوردن کانتورهای مربوطه اجتناب گردیده است.

بدیهی است که مدل p_1 نتوانسته نتیجه ی قابل قبولی گزارش کند زیرا این مدل در مواردی که حاصل ضرب قطر محفظه در ضریب جذب بیشتر از یک باشد کاربرد دارد در حالیکه این حاصل ضرب با توجه به ابعاد کوره کمتر از یک بوده و لذا نتایج و مقادیر دمای ارائه شده در این روش نتیجه مناسبی را در نمودار های شکل 2 و 3 ارائه نداده و حتی دمای کمتری را نسبت به حالت بدون تشعشع گزارش کرده که صحیح نمی باشد. مدل DO، با لحاظ نمودن اثر پراکندگی و پخش تشعشع و نیز اثر تبادل تشعشع بین گاز و ذرات میزان دمای ماکزیمم بیشتری را نشان می دهد. در شکل 3 نیز کانتور توزیع دمای سه مدل تابشی و مدل بدون تشعشع در صفحه شعاعی کوره نشان داده شده است. همچنین در شکل 3 مشاهده می

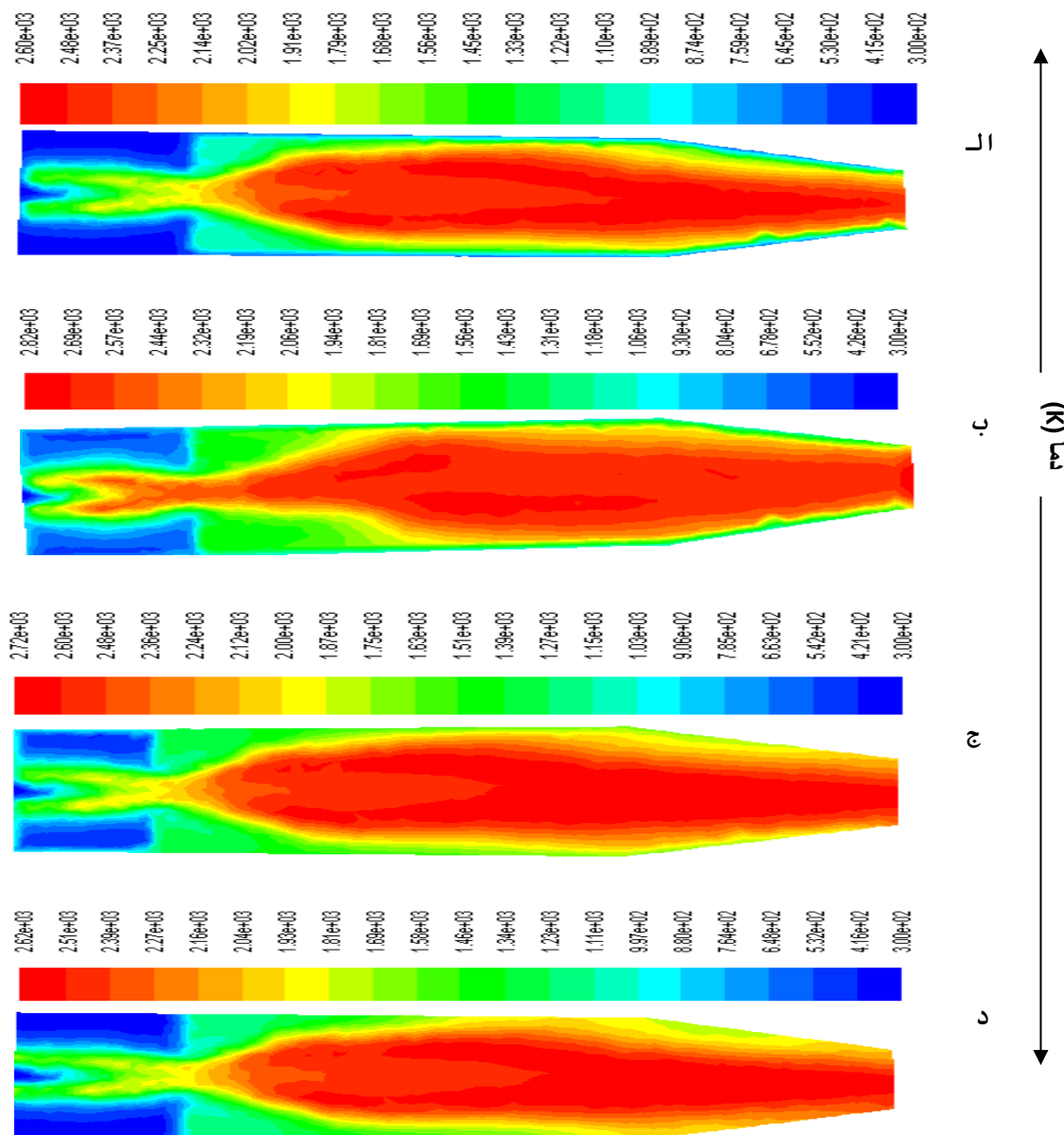


(m)

شود،

شکل 2- مقایسه توزیع دمای داخل کوره در سه مدل تابش و بدون تابش در امتداد محور مرکزی کوره

در صورت فعال بودن و اعمال تابش، سطوحی که در معرض ماکزیمم دما در کوره می- باشند کاهش می یابند به نحوی که در مدل DO که بیشترین دما را گزارش می کند، با کمترین سطح ماکزیمم دما مواجه هستیم.

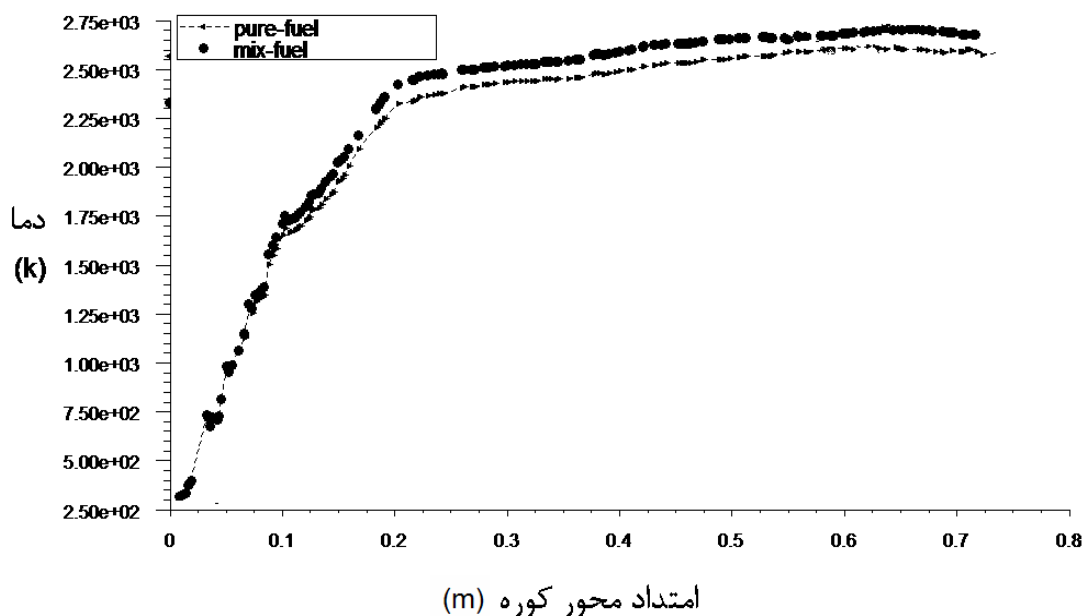


شکل 3- مقایسه توزیع دمای داخل کوره در سه مدل تابش الف (P1، ب (DO، ج) DTRM و د) بدون تابش

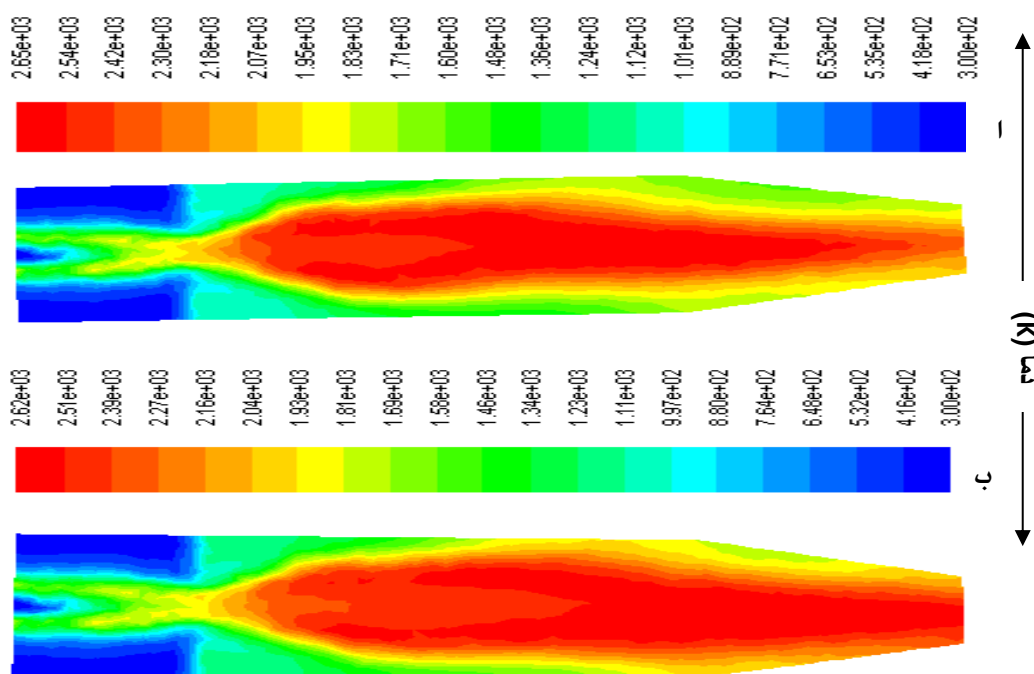
3-2- اثر اختلاط در سوخت

به منظور بررسی اثر ترکیب و اختلاط، احتراق نمونه ای حاوی 60 درصد متان، 30 درصد منوکسیدکربن و 10 درصد دی اکسیدکربن و نمونه ای حاوی متان خالص مقایسه گردید. شکل 4 مقایسه دمای احتراق را در مخلوط گاز ها و متان خاص در امتداد محور مرکزی کوره نشان می دهد. کانتور شکل

5 نیز افزایش دمای سوخت اختلاطی را در سطح تحت پوشش کمتری از ماکزیمم دما در کوره نشان می دهد.



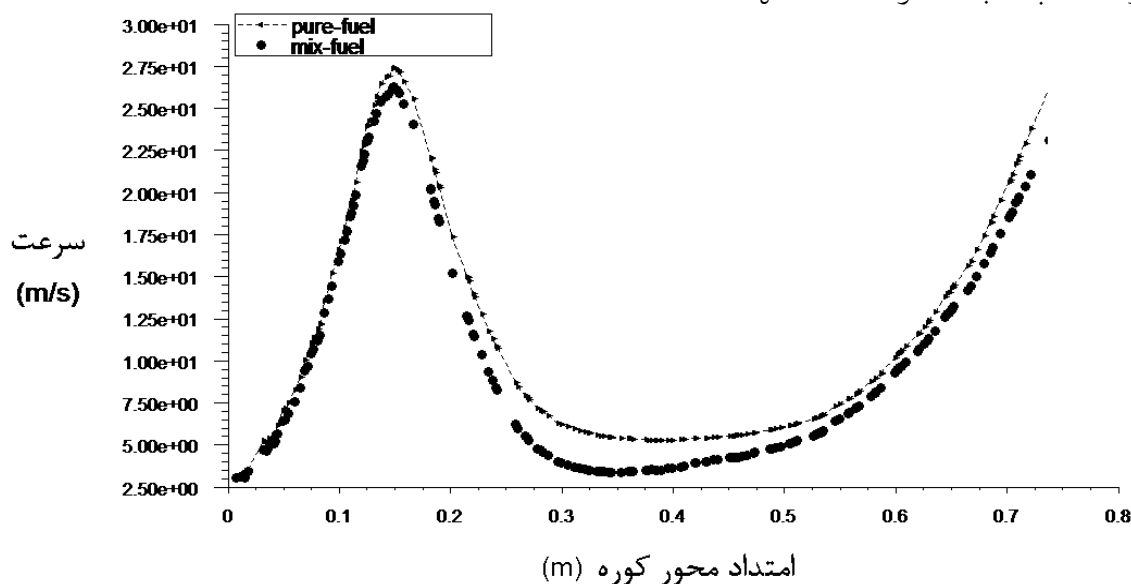
شکل 4 مقایسه توزیع دمای داخل کوره در متان خالص و مخلوط سوخت های متان، منو کسید کربن و دی اکسید کربن



شکل 5- کانتور های دما در (الف) مخلوط سوخت ها و (ب) متان خالص

شکل 6 نمودار سرعت را در سوخت مخلوط و خالص نشان می دهد. در طول 0/13 متری از ابتدای کوره به علت عبور از تیغه میانی و کوچک شدن سطح مقطع، سرعت افزایش یافته و پس از آن مجدداً کاهش می یابد. در انتهای کوره نیز با کاهش سطح مقطع در خروجی همگرا در کوره، سرعت

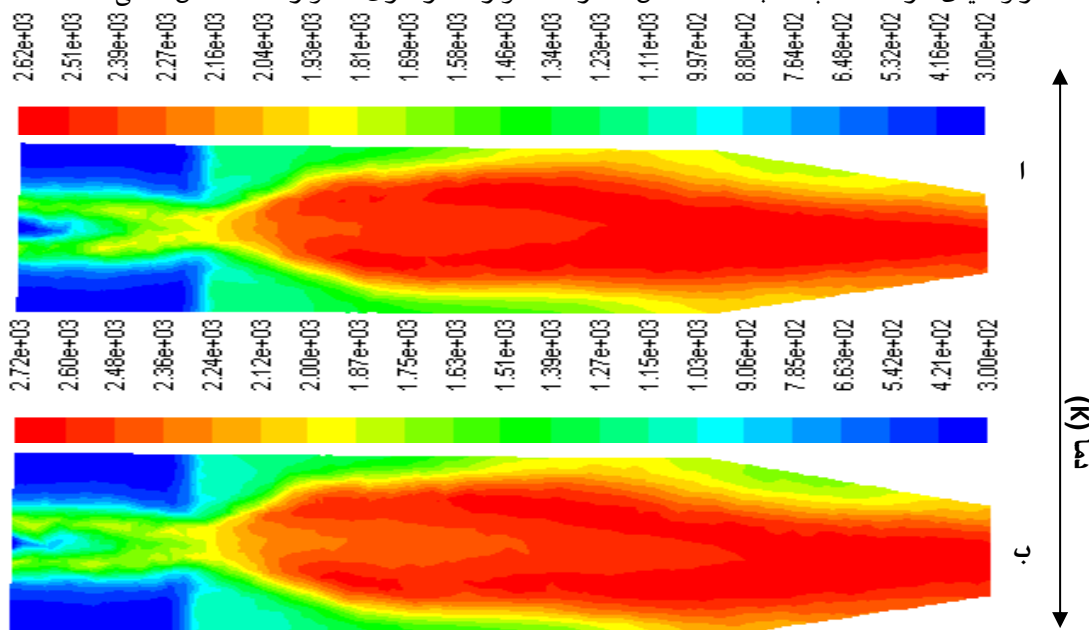
افزایش می یابد. نکته حائز اهمیت در این نمودار، کاهش سرعت در سوخت مخلوط نسبت به سوخت خالص است.



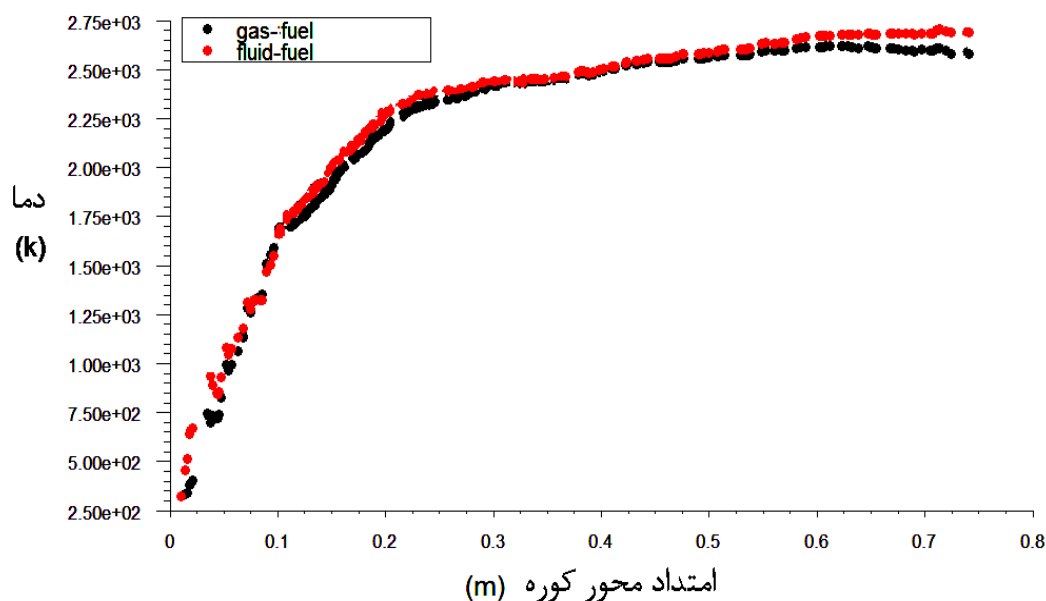
شکل 6- نمودار سرعت در متان خالص و مخلوط سوخت ها در طول محور مرکزی کوره

3-3- مقایسه احتراق سوخت گاز و مایع

شکل 7 بررسی احتراق گاز متان در مقایسه با گازوئیل را به کمک مدل DTRM، نشان می دهد. به علت پایین بودن دمای شعله آدیاباتیک در متان، گازوئیل دمای احتراق بالاتری دارد. شکل شعله و محدوده ماکزیمم دما در دو نوع سوخت تقریباً یکسان می باشد. شکل 8 نیز بالا بودن دمای احتراق در سوخت گازوئیل را نسبت به متان در محور مرکزی کوره نشان می دهد.

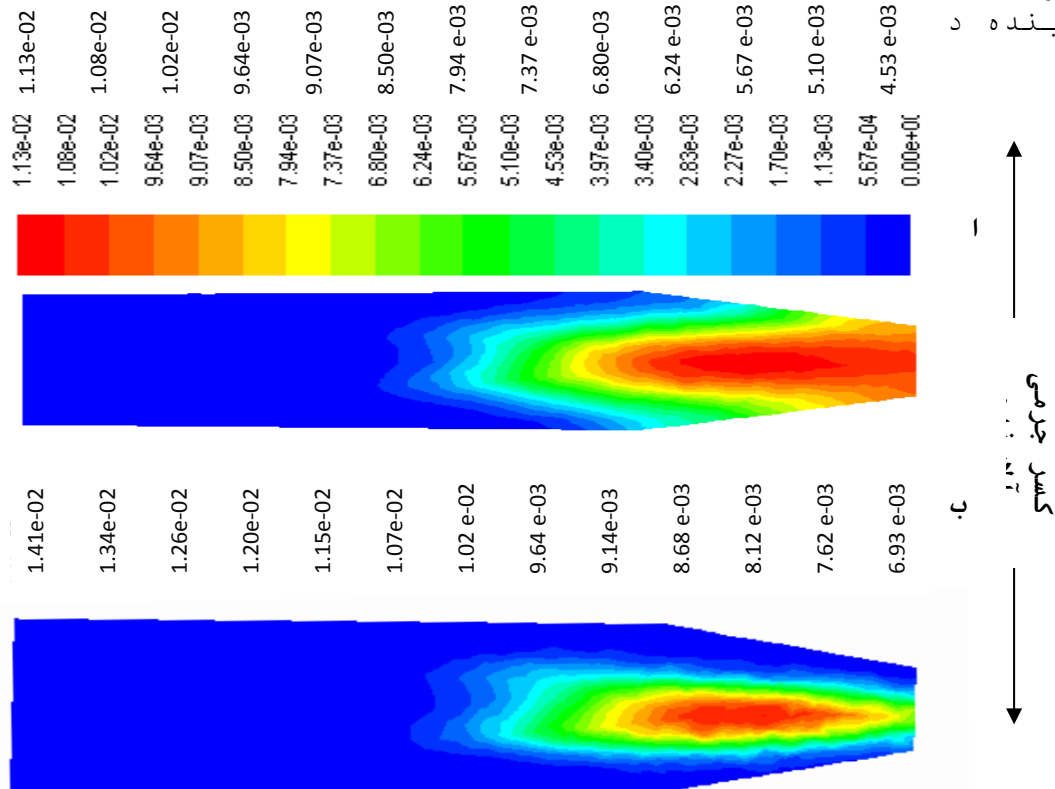


شکل 7- کانتور های دما در الف) سوخت گازی متان و ب) گازوئیل مایع

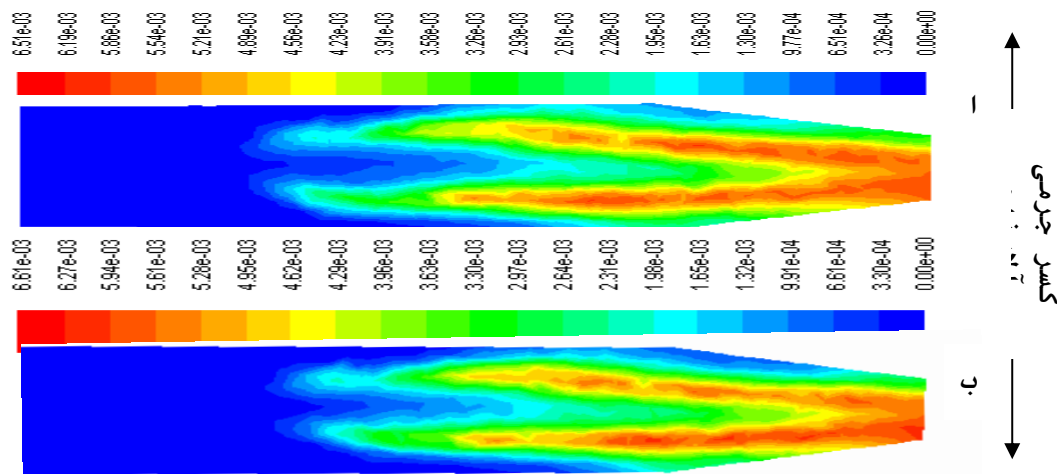


شکل 8- نمودار دما در امتداد محور مرکزی کوره در سوخت گاز و مایع

همچنین میزان آلاینده های NOx و soot در دو نوع سوخت گازوئیل مایع و متان گازی مقایسه گردید. همانطور که در کانتور های شکل 9 دیده می شود میزان آلاینده ی دوده در سوخت گازوئیل مایع بیشتر از متان گازی است. ساختار و گستره این آلاینده در دو نوع سوخت متفاوت بوده و دوده ناشی از گازوئیل در محدوده و سطح کوچکتری نسبت به متان تولید می- شود. کانتور شکل 10، میزان آلاینده ی NOx در دو نوع سوخت گازی و مایع را نشان می دهد. سوخت گازی آلاینده د



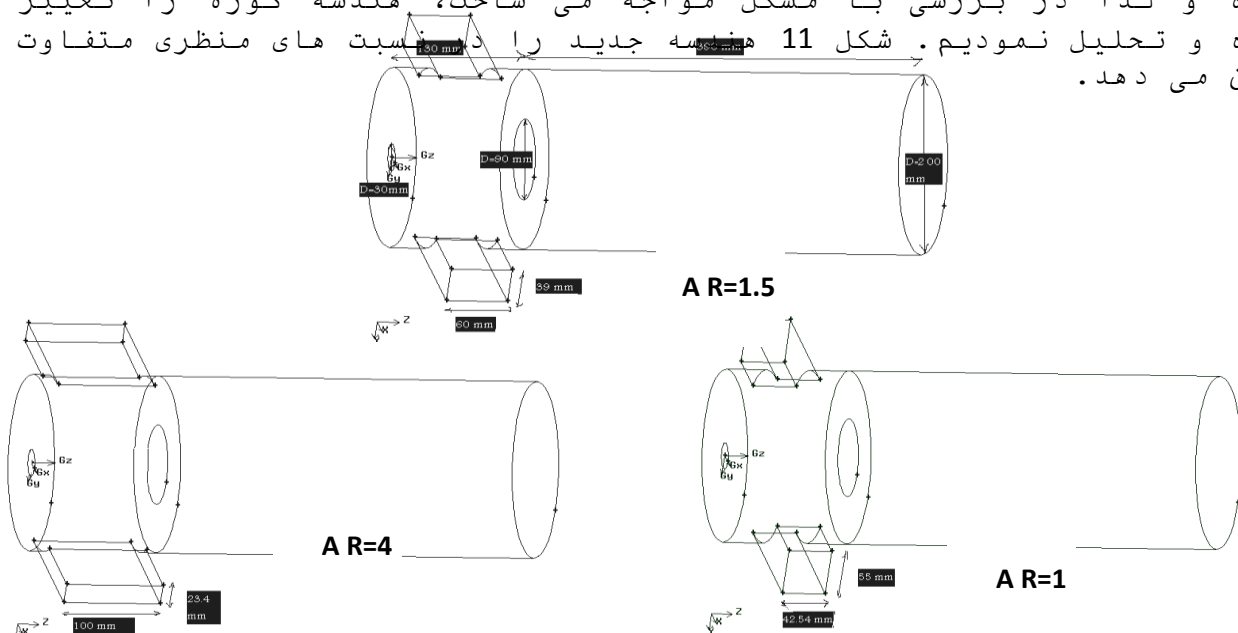
شکل 9- کانتور های آلاینده ی دوده در الف) سوخت گاز و ب) گازوئیل مایع



شکل 10-کانتور های آلاینده ی NOx در (الف) سوخت گاز و (ب) مایع

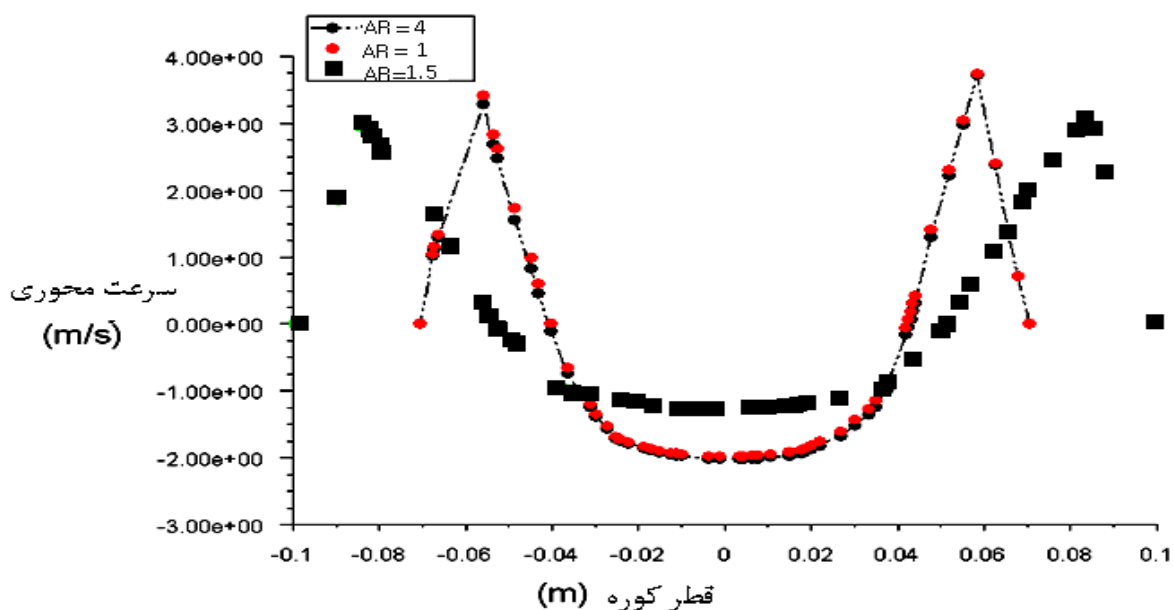
3-4- اثرنسبت منظری در ورودی هوا

به منظور بررسی اثر نسبت منظری (نسبت طول به عرض در مقطع) در ورودی هوای کوره، سه نسبت منظری 1، 1/5 و 4 با مساحت سطح ورودی یکسان را تحلیل نمودیم. این بررسی، اثرنسبت های منظری متفاوت را بر جریان برگشتی داخل کوره و اثر مخرب آن را به کمک مدل RNG تحقیق نموده است. از آنجا که انتهای همگرای هندسه قبلی کوره اثر جریان برگشتی را کاهش داده و لذا در بررسی با مشکل مواجه می ساخت، هندسه کوره را تغییر داده و تحلیل نمودیم. شکل 11 هندسه جدید را در نسبت های منظری متفاوت نشان می دهد.



شکل 11-نسبت های منظری متفاوت در ورودی هوا

با در نظر گرفتن قطر کوره در انتهای ترین نقطه آن و رسم سرعت های محوری در آن محدوده، مقایسه سرعت محوری در خروجی کوره، انجام گرفت. در شکل 12 نسبت منظری $1/5$ که مقدار متوسطی است مقدار سرعت منفی کمتری را در محدوده بیشتری گزارش می کند. با مقایسه مساحت ناحیه سرعت منفی در سه نسبت منظری، مشخص می گردد این مساحت در نسبت منظری $1/5$ کمترین مقدار را داشته و در نتیجه جریان برگشتی کمتر و مطلوب تر در این هندسه ورودی رخ می- دهد.



شکل 12- سرعت محوری در مقطع انتهای کوره

4- نتیجه گیری

اثر عوامل مختلف بر احتراق بررسی گردید؛ نتایج این تحقیق، به شرح زیر می باشد:

- فعال بودن تابش در احتراق، دمای شعله را افزایش می دهد.
- در میان مدل های تابش روش DO با لحاظ نمودن اثر پارامترهای بیشتر، دمای بیشتری را ارائه می دهد.
- در هندسه های کوچک مدل تابش $p1$ مفید نبوده و نتایج آن تفاوت بارزی با حالت بدون اعمال تابش ندارد.
- سوخت مایع در مقایسه با سوخت گاز، دما و آلاینده های بیشتری دارد.
- در بررسی مخلوط گاز ها و متان خالص، مخلوط گاز های متان، منوکسید کربن و دی اکسید کربن، دمای بیشتری دارد.
- در میان نسبت های منظری ورودی اکسیژن، نسبت $1/5$ جریانی مطلوب تر با کمترین جریان برگشتی و کمترین سرعت منفی محوری ارائه می دهد.

مراجع

- 1- Nieckele, A., Naccache, M.F., Gomes, and Mantel, S.J., "Combustion performance of an aluminium melting furnace operating with natural gas and liquid fuel", Applied Thermal Engineering, pp. 841-851, 2011.
- 2- England, G.C., McGrath, T.P., Gilmer, L., Seebold, J.G., Lev-On, M., and Hunt, T., "Hazardous air pollutant emissions from gas-fired combustion sources emissions and the effects of design and fuel type", Chemosphere, Vol. 42, pp. 745-764, 2001.
- 3- Klemes, J., Bulatov, I., Cockeril, T., "Techno-economic modelling and cost functions of CO₂ capture processes", Comput Chem Eng, Vol. 31, pp. 445-455, 2007.
- 4- Baukal, C.E., *Industrial burners handbook*, USA: CRC Press LLC, 2004.
- 5- Abdel-Latif, A. M. E. "An experimental investigation of fluid flow and combustion characteristics of dual-fuel in a cylindrical combustion chamber", Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 13, pp. 477- 490, 2000.
- 6- Kermes, V., Belohradsky, P., Oral, J., Stehlik, P., "Testing of gas and liquid fuel burners for power and process industries", Energy, Vol. 33, pp. 1551-1561, 2008.
- 7- Saario, A., Rebola, A., Coelho, P.J., Costa, M., and Oksanen, A., "Heavy fuel oil combustion in a cylindrical laboratory furnace: measurements and modeling". Fuel, 84(4), March, pp. 359-369, 2005.
- 8- Ibas, M., "The effect of thermal radiation and radiation models on hydrogen-hydrocarbon combustion modelling". international Journal of Hydrogen Energy, 30(10), August, pp. 1113-1126, 2005.
- 9- Misc, Fluent Preprocessing. [2006]. Miscellaneous Title. URL www.fluent.com/software/gambit.
- 10- Booklet, Choosing the Appropriate Grid Type. [2006]. *Fluent 6.3 User's Guide*. Available from: WWW, at <http://my.fit.edu/September>. HTML file.
- 11- Varol, Y., Oztop, H.F., Firat, F., and Koca, F. "CFD modeling of heat transfer and fluid flow inside a pent-roof type combustion chamber using dynamic model". International communications in Heat and Mass Transfer, 37(9), November, pp.1366-1375, 2010.
- 12- Booklet, Discrete Transfer Radiation Model (DTRM) Theory. [2006]. *Fluent 6.3 User's Guide*. Available from: WWW, at <http://my.fit.edu/September>. HTML file.
- 13- Booklet, Discrete Ordinates (DO) Radiation Model Theory. [2006]. *Fluent 6.3 User's Guide*. Available from: WWW, at <http://my.fit.edu/September>. HTML file.
- 14- Booklet, P-1 Radiation Model Theory. [2006], *Fluent 6.3 User's Guide*. Available from: WWW, at http://10.5.2implementing_FLUENT's_P-1_radiation_model. HTML file.