

## کاهش بهینه آلودگی NO<sub>x</sub> حاصل از احتراق گاز با افزودن کاتالیزور

حمید رضا کاویانی<sup>۱</sup>، ابوالقاسم مسگرپور طوسی<sup>۲</sup>

دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
Hamid\_kaviani@aut.ac.ir

### چکیده

امروزه تلاشهای زیادی در جهت کاهش نشر NO<sub>x</sub> در توربینهای گازی صورت میگیرد. احتراق با کاتالیزور، یک تکنولوژی نوین که بانضمام لولههای خروجی تصفیه کننده انتشار آلودگی را بسیار پایین میآورد، از این جمله می باشد. SO<sub>x</sub> یک کاتالیزور است که علیرغم مطرح بودن به عنوان یک ماده آلاینده، در کاهش NO<sub>x</sub> می تواند موثر باشد و در این مقاله به آن پرداخته می شود. از مدل آشفنگی  $K - \epsilon$  الگوریتم RNG و الگوریتم سیمپل بترتیب برای مدل سازی آشفنگی جریان و حل جریان استفاده شده است. برای مدل سازی احتراق از مکانیزم توسعه یافته زدویج برای NO<sub>x</sub> و مکانیزم شانزده واکنشی برای SO<sub>x</sub> استفاده می شود. ابتدا مدل برای یک کار آزمایشگاهی اجرا شده و نتایج بدست آمده با یکدیگر مقایسه شده است. پس از آن در مدل سازی محفظه احتراق مورد نظر، دو درصد جرمی سوخت، SO<sub>2</sub> به محفظه تزریق شده است. با مقایسه نتایج بدست آمده برای NO<sub>x</sub> کاهش بهینه آلودگی بدست آمده است.

واژه های کلیدی: محفظه احتراق - NO<sub>x</sub> - SO<sub>x</sub>

### ۱- مقدمه

از زمان شروع به کار اولین توربین گاز، تلاش در جهت کاهش نشر آلاینده آن آغاز و روشهای زیادی هم در این مورد ابداع شده است. هم راستا با این فعالیتها به مرور زمان سختگیری سازمانهای استاندارد جهانی در باره معیارهای آلودگی محیط زیست افزایش یافته است و امروزه در جهت کاهش نشر آلاینده توربینهای گازی (تقریباً در حد صفر) تلاشهای زیادی توسط محققین صورت میگیرد [۱].

یکی از پرمصرفترین سوخته های مورد استفاده برای نیروگاههای تولید نیرو در کشورمان گاز طبیعی می باشد. آلاینده های ناشی از مشعلهای با سوخت گاز طبیعی شامل CO, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, VOCs (Volatit organic componde) و PM (particulate matter) می باشند.

NO<sub>x</sub> با سه مکانیزم اساساً تشکیل می شود. اصلی ترین مکانیزم تولید NO<sub>x</sub> در گاز طبیعی thermal NO<sub>x</sub> یا NO<sub>x</sub> حرارتی است. NO<sub>x</sub> حرارتی هنگامی ایجاد می شود که جدایش مولکولی N<sub>2</sub> و O<sub>2</sub> در اثر حرارت و الحاق آنها با یکدیگر رخ می دهد بیشتر NO<sub>x</sub> حرارتی تولید شده در ناحیه ای که بالاترین حرارت وجود دارد نزدیک شعله بوجود می آید. هنگامی که NO<sub>x</sub> حرارتی باشد مشخصات تأثیر گذار عبارتند از ۱- مقدار اکسیژن ۲- دمای بالا ۳- زمان ماندگاری در دمای بالا. هنگامی که این سه مشخصه رشد کند NO<sub>x</sub> زیاد خواهد شد. آلاینده ها تمایل دارند تا این سه مشخصه را ثابت نگه دارند.

۱- کارشناس ارشد، طراح

۲- دانشیار، دانشگاه امیرکبیر



میزان آلاینده‌ها بطور قابل ملاحظه‌ای با اندازه و نوع محفظه احتراق و شرایط عملکرد رابطه دارند (مانند دمای محفظه احتراق، نرخ گرمای آزاد شده و سطح اکسیژن موجود).

دومین مکانیسم تولید  $\text{NO}_x$ ،  $\text{Prompt NO}_x$  نامیده می‌شود که از واکنش مولکولهای نیتروژن در هوا با رادیکالهای آزاد هیدروکربن موجود در سوخت ایجاد می‌شوند. میزان  $\text{NO}_x$  تولید شده از این روش در مسیر شعله نسبت به  $\text{NO}_x$  حرارتی ناچیز می‌باشد. اگر چه در مشعلهای  $\text{ultra-low-NO}_x$  میزان اهمیت  $\text{Prompt NO}_x$  ممکن است زیاد باشد. سومین مکانیسم تولید  $\text{NO}_x$ ،  $\text{NO}_x$  سوخت یا  $\text{Fuel NO}_x$  نام دارد، که حکایت از ترکیب نیتروژن موجود در سوخت با اکسیژن دارد. اگر با سوختهایی سروکار داشته باشیم که میزان نیتروژن موجود در آنها پایین باشد اساساً میزان اینگونه  $\text{NO}_x$  پایین خواهد بود.

عبارت  $\text{NO}_x$  به ترکیب موتوکسید نیتروژن و دی اکسید نیتروژن اطلاق می‌شود. اطلاعات بدست آمده از آزمایشات تجربی نشان می‌دهد که در اغلب سوخته فسیلی پس از احتراق حدود 45 درصد  $\text{NO}_x$  تولیدی از مونوکسید نیتروژن تشکیل شده است. میزان  $\text{NO}_x$  چندان زیاد نیست ولی بخاطر تأثیر آن بر اتمسفر خیلی مورد توجه قرار گرفته است. تکنولوژیهای موجود برای کنترل میزان انتشار آلودگی بطور عمده عبارتند از: (۱) تزریق آب یا بخار به داخل محفظه احتراق که باعث کاهش دمای شعله می‌شود (۲) احتراق  $\text{NO}_x$  کم و خشک (DLN)، در این روش از احتراق چند مرحله‌ای و ترکیب رقیق پیش آمیخته سوخت-هوا استفاده می‌گردد (۳) احتراق با کاتالیزور، یک تکنولوژی نوین که بانضمام لوله‌های خروجی تصفیه کننده انتشار آلودگی را بسیار پایین می‌آورد. (۴) کاهش کاتالیزوری انتخاب شده (SCR) و (۵)  $\text{SCONOXTM}$ ، یک تکنولوژی دیگر و جدید بر پایه کاتالیزور [۲].

روش دیگر مورد استفاده در این راستا کاهش دمای محفظه احتراق از طریق خنک کاری است که در سیکل ترکیبی نیروگاهها استفاده می‌شود، استفاده از مخلوط رقیق سوخت با هوا [۳] سوخته‌های ترکیبی، افزودن مواد دارای سرعت واکنشی بالاتر از سوخت معمولی به محفظه در برخی از توربوماشینهای تولیدی شرکتهای تولید نیرو مورد استفاده قرار گرفته که نتایج خوبی در کاهش آلودگی هوای محیط داشته است. تحقیقات زیادی صورت گرفته است و روشهای زیادی ابداع شده است. طراحان موتورهای درونسوز علاقه‌مند به افزایش دمای محفظه بخاطر افزایش راندمان ترمودینامیکی هستند. این به معنای افزایش تولید  $\text{NO}_x$  حرارتی بوده و برای جلوگیری از بروز این مساله از تزریق آب یا بخار در موتور استفاده می‌شود. با کاهش دمای محفظه تولید  $\text{NO}_x$  بصورت نمایی کاهش می‌یابد. این روش اولین بار توسط رید-مک گیل [۴] در سال ۱۹۷۴ پیشنهاد شد و سالهاست مورد استفاده قرار می‌گیرد و بطور قابل ملاحظه‌ای میزان نشر  $\text{NO}_x$  را کاهش می‌دهد. این بخاطر وابستگی شکست مولکولی نیتروژن به دمای بالا و سپس ترکیب N با O و ایجاد  $\text{NO}_x$  می‌باشد. تزریق آب یا بخار دمای حداکثری محفظه را کاهش می‌دهد. بدنبال آن شکست مولکولی نیتروژن هم کم می‌شود. از طرف دیگر کاهش دمای شعله می‌تواند به افزایش آلودگی CO بیانجامد. پایین‌ترین میزان انتشار بصورت تجربی برای گاز طبیعی ۲۵ ppm و برای نفت ۴۲ ppm بوده است [۵]. در تحقیقات نشان داده شده است که مقدار کاهش  $\text{NO}_x$  به نسبت آب یا بخار تزریق شده به سوخت بستگی زیادی دارد. با افزایش پاشش آب یا بخار،  $\text{NO}_x$  را تا ۹۴٪ هم می‌توان کاهش داد [۶].

انتشار دی اکسید گوگرد از مشعلهای با سوخت گاز طبیعی با سوخت گاز طبیعی پایین است چون گاز طبیعی معمولاً سطح گوگرد آن  $2000 \frac{\text{grains}}{\text{Million c.f.}}$  می‌باشد. اگر چه گوگرد اضافه نشده به گازهای طبیعی باعث انتشار میزان کمی  $\text{SO}_x$  می‌شود. اگر از گاز طبیعی تصفیه نشده استفاده شود میزان انتشار  $\text{SO}_x$  ممکن است بالا رود و این بخاطر افزایش گوگرد موجود در گاز تصفیه نشده است. معمولاً تا ۹۶ درصد گوگرد موجود در سوخت به دی اکسید گوگرد؛ ۱-۵ درصد آن به تری اکسید گوگرد و ۱-۳ درصد آن بصورت ذرات گوگرد تبدیل می‌شوند. این مساله و محدودیت انتشار  $\text{SO}_x$  ربطی به اندازه مشعلها، نحوه طراحی آنها و میزان سوخت سوزانده شده ندارد و فقط به گوگرد موجود در سوخت بستگی دارد.

## ۲- روابط مورد استفاده

به منظور تحلیل عددی مدل مورد نظر، نیاز به حل معادلات متوسط زمانی ممتهم، پیوستگی، انرژی و حالت است. معادلات مورد استفاده برای این منظور عبارتند از؛

پیوستگی:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

ممتهم:

$$\rho \frac{Du_i}{Dt} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \mu \left( \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_l}{\partial x_l} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} \left( -\rho \overline{u_i' u_j'} \right) \quad (2)$$

وجود ترم های آشفتگی در معادلات نیاز به مدلسازی آشفتگی جریان را آشکار می سازد. این تنش ها توسط مدل های مختلف آشفتگی مدل می شوند.

انرژی:

$$u_i \frac{\partial T}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left( \alpha \frac{\partial T}{\partial x_i} - \overline{u_i' T'} \right) \quad (3)$$

معادله حالت گاز کامل هم جزء معادلات موثر در تحلیل عددی است که ارتباط بین چگالی و دمای گاز را می دهد:

$$P = \rho RT \quad (4)$$

به منظور بستن دستگاه معادلات ناویر-استوکس، مدل توربولانس مناسب نیاز است که در این تحقیق از مدل  $\kappa - \varepsilon$  استاندارد با تابع دیواره (برای بهبود مدلسازی رفتار سیال در دیواره) استفاده شده است که به شکل زیر ارائه می شود [۶]:

انرژی جنبشی آشفتگی:

$$\rho u_i \frac{\partial \kappa}{\partial x_i} = T_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \rho \varepsilon + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[ \alpha_\kappa \mu_{eff} \frac{\partial \kappa}{\partial x_j} \right] \quad (5)$$

نرخ استهلاك:

$$\rho u_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = C_{\varepsilon 1}^* \frac{\varepsilon}{\kappa} \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - C_{\varepsilon 2} \rho \frac{\varepsilon^2}{\kappa} + \frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \alpha_\varepsilon \mu_{eff} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] \quad (6)$$

$$\mu_{eff} = \mu + \mu_T$$

$$\mu_T = \rho c_\mu \frac{\kappa^2}{\varepsilon} \quad (7)$$

ضرائب مدل:

$$c_{\varepsilon 1} = 1.42 \quad c_{\varepsilon 2} = 1.68 \quad c_\mu = .0845 \quad \alpha_\kappa = \alpha_\varepsilon = 1.39 \quad (8)$$

FCCI2010- 6197

$$c_{\varepsilon 1}^* = c_{\varepsilon 1} - \frac{\eta(1 - \frac{\eta}{\eta_0})}{1 + \beta\eta^3}$$

$$\eta = (2E_{ij} \cdot E_{ij})^{.5} \frac{K}{\varepsilon}$$

$$\eta_0 = 4.377$$

$$\beta = 0.012$$

(۹)

واکنشهای بکار رفته برای سوخت متان به صورت دو مرحله ای است:



برای محاسبه میزان نشر  $NO_x$ ، یک معادله انتقال برای غلظت  $NO$  هم حل می‌شود. معادلات انتقال  $NO_x$  بر پایه های داده های جریان حل شده، حل می‌شود. به عبارت دیگر  $NO_x$  یک پس پردازنده از جریان شبیه سازی شده است. حل دقیق و درست جریان احتراقی برای محاسبه مقدار  $NO_x$  بسیار اهمیت دارد. معادله انتقال جرم برای  $NO$  بصورت زیر نوشته می‌شود که شامل عبارتهای جابجائی نفوذی، تولید و مصرف  $NO$  و اجزاء مربوطه است [۸]:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho y_{NO}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} y_{NO}) = \nabla \cdot (\rho D \nabla y_{NO}) + S_{NO}$$

(۱۱)

$y_{NO}$  نسبت جرمی در فاز گازی است.  $S_{NO}$  هم ترم چشمه است که برای مکانیزم های مختلف تشکیل  $NO_x$  با استفاده از متد PaSR محاسبه می‌شود. از این مدل برای تخمین متغیرهایی از قبیل: محدوده های پایداری سوزش<sup>۱</sup>، راندمان احتراق، شدت احتراق، افت کل، شرایط ایجاد جرقه و نرخ انتقال حرارت در جریانهای مغشوش استفاده می‌شود. در مدل PaSR سلول محاسباتی به دو بخش مجزا تقسیم می‌شود: [۳]

۱- ناحیه واکنشی

۲- ناحیه غیر واکنشی

ناحیه واکنشی مانند یک راکتور اختلاط کامل<sup>۲</sup> (PaSR) عمل می‌کند و همه اجزاء کاملا با هم ترکیب می‌شوند. وبه همین دلیل می‌توان از وجود نوسانات در محاسبات جملات منبع شیمیایی صرف نظر کرد.

$$\sum_{i=1}^N \alpha_{ij}^+ Y_i \xrightleftharpoons[k_j^-]{k_j^+} \sum_{i=1}^N \alpha_{ij}^- Y_i$$

(۱۲)

$iY$  درصد جرمی اجزا است. هر جزء واکنش،  $j$  نشاندهنده هر واکنش،  $\alpha_{ij}$  ضریب استوکیومتریکی واکنش،  $N$  تعداد اجزاء،  $k$  ثابت واکنش، + برای واکنش رفت و- برای واکنش برگشت استفاده شده است. به این ترتیب برای نرخ واکنش خواهیم داشت:

$$RR_j^\pm = k_j^\pm \prod_{i=1}^N [Y_i]^{\alpha_{ij}^\pm}$$

(۱۳)

<sup>1</sup> Blow off stability limits

<sup>2</sup> Perfectly Stirred Reactor

FCCI2010- 6197

$$\dot{\omega}_i = \sum_{j=1}^R (\alpha_{ij}^- - \alpha_{ij}^+) (RR_j^+ - RR_j^-) \quad (14)$$

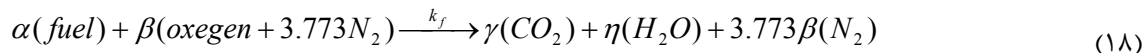
$$\dot{\omega}_h = \sum_{j=1}^R (-\Delta H_j) (RR_j^+ - RR_j^-) \quad (15)$$

$$\Delta H_j = \sum_{i=1}^N (\alpha_{ij}^+ - \alpha_{ij}^-) (h_i)_f^{ref} \quad (16)$$

گرمای تشکیل جزء  $i$  در دمای مرجع می باشد.  $(h_i)_f^{ref}$

$$\Delta H_{combustion} = \sum_{j=1}^R \Delta H_j \quad (17)$$

$R$  تعداد واکنشها است. برای یک واکنش احتراق یک مرحله ای این روابط به صورت زیر می باشد:



نرخ واکنش برای معادله فوق اینگونه نوشته می شود:

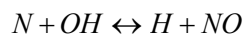
$$RR = k_f C_{fuel}^\alpha C_{o_2}^\beta \quad (19)$$

$k_f$  از معادله آرينيوس به دست می آید:

$$RR = AT^b \exp\left(\frac{-E}{RT}\right) C_{fuel}^\alpha C_{o_2}^\beta \quad (20)$$

$R$  ثابت جهانی گازها است و مقادیر  $A, b, E$  از مکانیزمهای احتراق بدست می آید.  $NO_x$  با واکنشهای

زدویچ (Zeldovich) بدست می آید. واکنشهای اساسی حاکم بر تولید  $NO_x$  حرارتی بدین صورت است:



مقادیر  $A, b, E$  از مطالعات بسیاری که در زمینه مکانیزمهای احتراق صورت گرفته بدست می آید. این مطالعات با آزمایشات

بلوچ و هانسون و سالیمان معتبر می شود. بر این اساس ضرایب ثابت عبارتند از:

$$\begin{aligned} k_{f,1} &= 1.8 \times 10^8 \exp\left(\frac{-38370}{T}\right) \\ k_{f,2} &= 1.8 \times 10^4 \exp\left(\frac{-4680}{T}\right) \\ k_{f,3} &= 7.1 \times 10^7 \exp\left(\frac{-450}{T}\right) \\ k_{r,1} &= 3.8 \times 10^7 \exp\left(\frac{-425}{T}\right) \\ k_{r,2} &= 3.8 \times 10^3 \exp\left(\frac{-20820}{T}\right) \\ k_{r,3} &= 1.7 \times 10^8 \exp\left(\frac{-24560}{T}\right) \end{aligned} \quad (22)$$

زیر نویس  $f$  برای واکنشهای رفت و  $r$  برای واکنشهای برگشتی است. زیر نویس بعدی بیانگر شماره واکنش به ترتیب ارائه در

فوق می باشد. تمامی ثابتهای واکنش دارای واحد  $m^3 / gmol \cdot s$  است.

مقادیر  $A, b, E$  برای احتراق گوگرد با مکانیزمهای احتراق از جدول (۱) قابل استخراج است. واکنش مورد استفاده در این کد احتراق هشت مرحله‌ای است.

جدول ۱- مکانیسم هشت مرحله‌ای سولفور [۹]

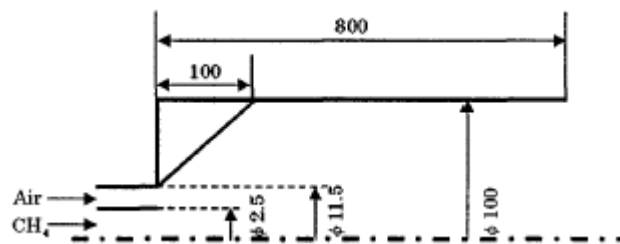
$$k = AT^b \exp(-E/RT)$$

Reaction	A	b	E
$H_2S + H \rightarrow SH + H_2$	1.819702E+07	0.0E+00	7.484300E+03
$SH + H_2 \rightarrow H_2S + H$	9.375623E+06	0.0E+00	6.253660E+04
$OH + H_2S \rightarrow H_2O + SH$	1.380385E+02	0.0E+00	3.742150E+03
$H_2O + SH \rightarrow OH + H_2S$	3.104557E+07	0.0E+00	1.218543E+05
$SO + OH \rightarrow H + SO_2$	1.621810E+08	0.0E+00	2.565926E+03
$H + SO_2 \rightarrow SO + OH$	7.691299E+09	0.0E+00	1.187023E+05
$SH + O \rightarrow SO + H$	3.548135E+08	0.0E+00	2.687316E+03
$SO + H \rightarrow SH + O$	2.985385E+09	0.0E+00	1.694600E+05
$O + H_2S \rightarrow SH + OH$	4.365162E+03	0.0E+00	1.380493E+04
$SH + OH \rightarrow O + H_2S$	9.885528E+08	0.0E+00	6.035996E+04
$SO + O_2 \rightarrow SO_2 + O$	4.466832E+05	0.0E+00	2.703222E+04
$SO_2 + O \rightarrow SO + O_2$	1.663412E+06	0.0E+00	7.613643E+04
$H + SH + M \rightarrow H_2S + M$	1.096478E+03	0.0E+00	0.000000E+00
$H_2S + M \rightarrow H + SH + M$	8.669613E+14	0.0E+00	3.819463E+05
$SO + O + M \rightarrow SO_2 + M$	8.709647E+09	-1.8E+00	0.000000E+00
$SO_2 + M \rightarrow SO + O + M$	1.905464E+14	0.0E+00	5.207365E+05

(A is in  $m^3/gmol-s$ , E is J/gmol)

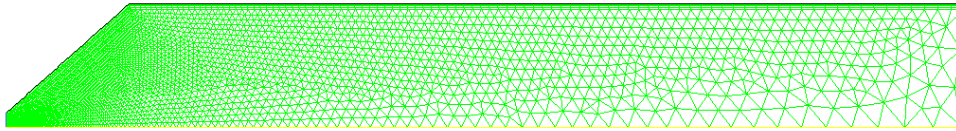
### ۳- هندسه و شرایط مسئله

شکل هندسی محفظه احتراق مورد نظر در شکل ۱ نشان داده شده است. طول محفظه ۰/۸ متر و قطر آن ۰/۲ متر است. قطر مجرای ورودی سوخت ۰/۰۵ متر است. هوا هم از مجرای با قطر خارجی ۰/۰۲۳ متر و قطر داخلی ۰/۰۰۵ وارد محفظه می‌شود.



شکل ۱- شکل هندسی محفظه احتراق

شکل ۲ شبکه بندی محفظه را نشان می دهد. شبکه استفاده شده دارای ۳۵۰۰ گره می باشد. مسئله با تعداد گره های بیشتر هم حل شده است، ولی تغییر چندانی در حل دیده نشده است که این موضوع مستقل بودن حل از شبکه را نشان می دهد.



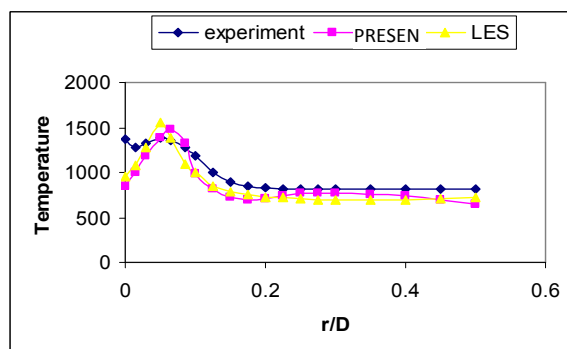
شکل ۲- شبکه محاسباتی مورد نظر

برای گسسته سازی عبارت های جابجائی معادلات حاکم از طرح بالادستی مرتبه اول و برای تصحیح میدان فشار از الگوریتم سیمپل استفاده شده است.

در ورودی سوخت و هوا و بخار، شرط مرزی سرعت ورودی و در خروجی از محفظه هم، شرط مرزی فشار ثابت استفاده شده است. سرعت سوخت در ورود به محفظه ۵۴ متر بر ثانیه و سرعت هوا ۲۱ متر بر ثانیه است. دمای سوخت و هوا در ورود ۳۰۰ کلوین است. فشار اتمسفریک است. دیواره بالا از شرط انتقال حرارت تابشی و جابجایی استفاده شده است. خط مرکزی هم محور تقارن در نظر گرفته شده است. برای شروع واکنشهای شیمیایی دمای اولیه را ۲۰۰۰ کلوین در نظر می گیریم که به این ترتیب جرقه مدل می شود [۸].

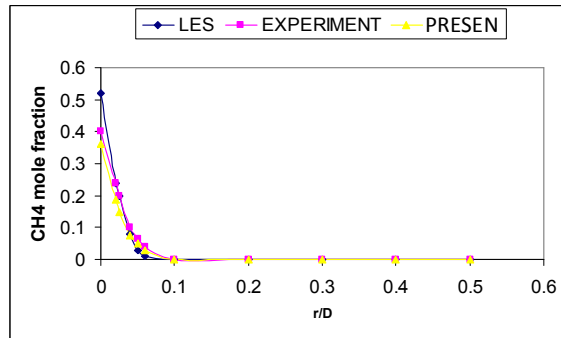
#### ۴- نتایج

ابتدا صحت محفظه احتراق مدل شده با مقایسه نتایج آن با مرجع [۷] تایید شده است. توزیع شعاعی دما در  $X = 0/1$  در شکل ۲ نشان داده شده است. نتایج کار عددی انجام شده در مرجع (LES) و کار عددی انجام شده در این تحقیق (PRESENT) و کار تجربی (EXPERIMENT) تطبیق خوبی دارد. بجز در مرکز که مطابق با مرجع می تواند بدلیل خطای پروپ اندازه گیری دما در اثر تابش باشد.



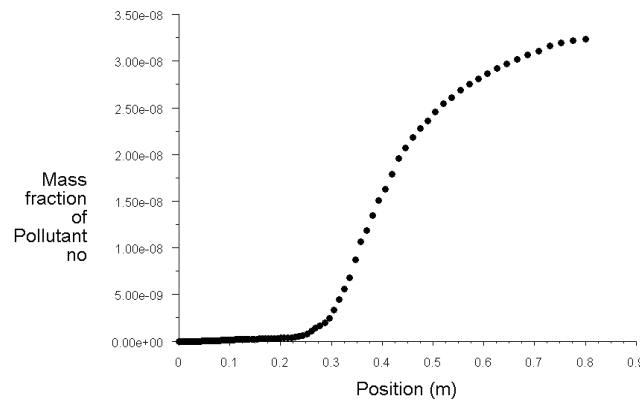
شکل ۲- توزیع شعاعی دما در  $X=0/1$

شکل ۳ توزیع شعاعی نسبت مولی متان را در  $X = 0/1$  نشان می دهد که تطبیق قابل قبولی با نتایج عددی دارد.

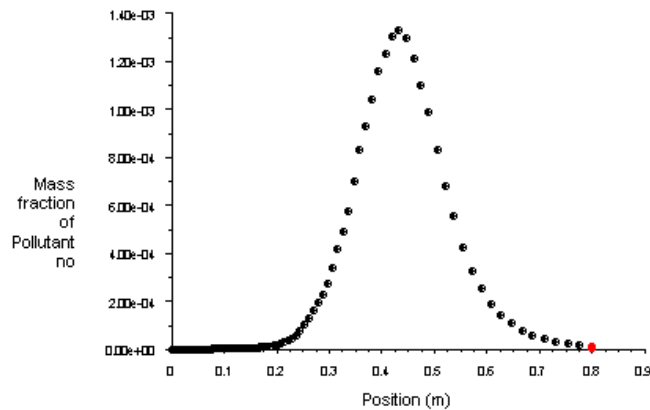


شکل ۳- توزیع شعاعی نسبت مولی متان

در این بررسی از تزریق دو درصد جرمی دی اکسید گوگرد و مابقی یعنی نود و هشت درصد جرمی متان در ورودی سوخت استفاده شده است. این مساله باعث ایجاد و رشد مونوکسید نیتروژن تا مقدار  $3.22 \times 10^{-8}$  شده است که در مقایسه با احتراق بدون کاتالیزور  $6 \times 10^{-6}$  مقدار کمتری را دارا می‌باشد. الگوی حاکم بر این دو نمودار نیز کاملاً با یکدیگر متفاوت می‌باشد.



شکل ۵- توزیع مونوکسید نیتروژن در راستای محور محفظه احتراق همراه با کاتالیزور



شکل ۶- توزیع مونوکسید نیتروژن در راستای محور محفظه احتراق

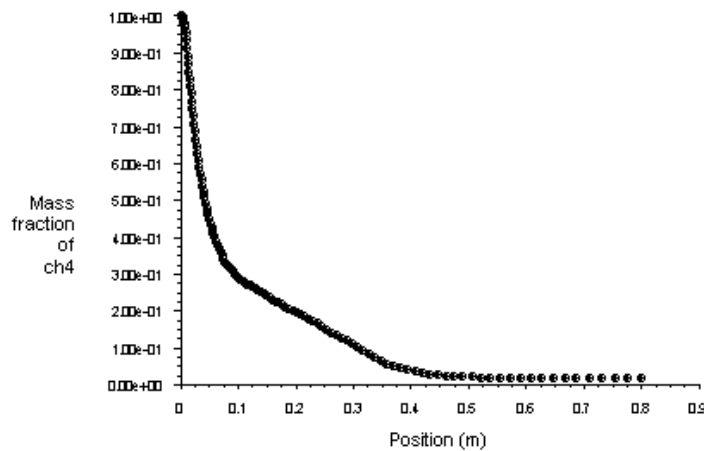


FCCI2010-6197

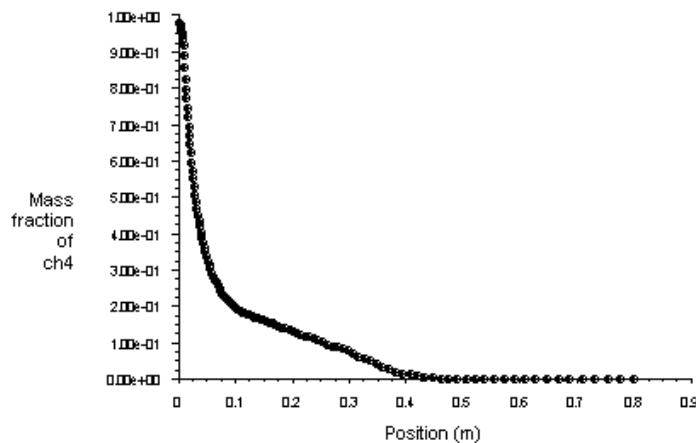
پیک موجود در وسط برخی نمودارها بیانگر توزیع دمایی محفظه است که در وسط محفظه مقدار حداکثر خود را دارا می‌باشد.

بخاطر نگرانی از خوردگی ترکیبات گوگردی، که قابلیت تشکیل اسیدهای مضر برای طبیعت را دارند در احتراق با کاتالیزور از لوله‌های خروجی تصفیه کننده استفاده می‌شود که انتشار آلودگی را بسیار پایین می‌آورد و در گاز خروجی اثری از آنها نیست.

نسبت جرمی متان یکی دیگر از مشخصات مورد بررسی می‌باشد. در شکل بعد آورده شده است. همانطور که قابل مشاهده است، در ابتدا احتراق آن رشد سریعی داشته که در نیم متری طول محور محفظه تقریباً به مقدار ثابتی می‌رسد. اما در شکل بعد که متناظر این تصویر در احتراق همراه با کاتالیزور می‌باشد، متان در حدود چهل سانتیمتری محور مقدار تقریبی صفر را پیدا می‌کند و این باعث کاهش آلودگی از طریق عدم انتشار گازهای حاصل از احتراق ناقص می‌باشد.



شکل ۹- توزیع  $CH_4$  در راستای محور محفظه احتراق بدون کاتالیزور



شکل ۱۰- توزیع  $CH_4$  در راستای محور محفظه احتراق با کاتالیزور

## ۵- نتیجه گیری

در این تحقیق افزودن کاتالیست به محفظه احتراق با دبی های مختلف مورد بررسی قرار گرفت که برای تایید صحت نتایج ، محفظه مدل شده با محفظه موجود در مرجع مقایسه شده است. تطبیق خوبی هم بین نتایج وجود دارد. نتایج مهم عبارت است از:

۱. استفاده از این کاتالیست باعث کاهش انتشار  $NO_x$  می شود.
۲. این کاتالیست با تکمیل احتراق انتشار مواد حاصل از احتراق ناقص را کاهش می دهد. این مساله راندمان ترمودینامیکی را نیز افزایش می دهد.

## مراجع

- 1- Marvin M. Schorr, Joel Chalfin, Manager, "Gas Turbine NOx Emissions Approaching Zero", General Electric Power Systems, Schenectady, New York, 1999.
- 2- Ueli Honegger, "Gas Turbine Combustion Modeling for a Parametric Emission Monitoring System", MS Thesis, Kansas State University, 2007
- 3- Kurz, R., Ohanian, S, "Modeling Turbomachinery in Pipeline Simulations" PSIG 35th Annual Meeting., 2003.
- 4- Reed, Robert D. McGill, Eugene C. , " Fuel-water vapor premix for low NOx burning", United States Patent 4089639
- 5- Schetter B., 1993, "Gas Turbine Combustion and Emission control," combined cycle for power plant, Von Karman Institute, Lecture Series 1993-08.
- 6- Liever, P.A. ; Myers, G.D. ; Griffith, Tim ; " CFD Assessment of a Wet, Low-Nox Combustion System For a 3MW -Class Industrial Gas Turbine" ASME 98-GT-292, 1998
- 7- Yaga, Mitsura et al, " An Eddy Characteristic Time Modeling In LES for Gas Turbine Combustor", proceeding of 2000 international joint power Generation conference Miami Beach, Florida, July 23-26, 2000.
- 8- Versteeg and w. Malasekera " An Introduction to Computational Fluid Dynamics, The Finite Volume Method" Longman, 1995.
- 9- J. C. Kramlich. The Fate and Behavior of Fuel-Sulfur in Combustion Systems. PhD thesis, Washington State University, Washington, USA, 1980.