



## بررسی تجربی تغییرات پارامترهای احتراقی مشعل گازوییل سوز در فواصل مختلف شعاعی محفظه احتراق

سید مهدی حسینی بغدادآبادی - فارغ التحصیل کارشناسی ارشد مهندسی هوافضا، دانشگاه علم و صنعت ایران

عباسعلی فرداد - استادیار مهندسی مکانیک

محمد مجیدی بغدادآبادی - دانشجوی کارشناسی مهندسی مکانیک، دانشگاه یزد

E-mail: Mehdi\_hosseini@mecheng.iust.ac.ir

چکیده: در این مقاله عملکرد یک مشعل گازوییل سوز خانگی به صورت تجربی مورد بررسی قرار گرفته است. از گازوییل سبک به عنوان سوخت و از هوا به عنوان اکسیدکننده استفاده شده است. برای این منظور در فواصل شعاعی مختلف محفظه احتراق، آلاینده‌های  $CO$ ،  $NO_x$ ،  $CO_2$  و  $SO_2$ ، دما و بازده احتراقی اندازه‌گیری شده است. بررسی و مقایسه گرادیان دمایی مشعل می‌تواند برای عملکرد بهینه بویلر مورد استفاده قرار گیرد. بررسی اثر این گرادیان دمایی بر نحوه تولید آلاینده‌ها می‌تواند به یافتن راه‌های مناسب برای کاهش آلایندگی مشعل منجر شود. برای این منظور در شرایط آزمایشگاهی عملکرد مشعل گازوییل سوز بررسی شده است.

واژه‌های کلیدی: تست تجربی، مشعل گازوییل سوز، پارامترهای احتراقی، فواصل شعاعی

## Experimental Analysis of Oil burner's Combustion Parameters in Different Radial Distances of Combustion Chamber

S. M. Hosseini Baghdad Abadi, Mech. Eng. Department, Iran University of Science & Technology

A. A. Fardad, Mech. Eng. Department, Iran University of Science & Technology

M. M. Baghdad Abadi, Mech. Eng. Department, Yazd

**Abstract:** In this paper we studied the performance of a domestic oil burner. We have used gasoil for fuel and air for oxidizer. Therefore, we have measured the emissions of  $CO$ ،  $NO_x$ ،  $CO_2$  and  $SO_2$  temperature and combustion efficiency in different radial distances from combustion chamber. Surveying and comparison of temperature gradient of burner can use for optimal performance of boiler. studying this effect, can redound to find suitable methods for decrease the emissions of combustion. Therefore, we have surveyed the performance of oil burner in experimental conditions.

**Keywords:** Experimental Test, Oil burner, Combustion Parameters, radial distances

## ۱- مقدمه

یکی از فاکتورهای مهم موثر بر طراحی مشعل خصوصیات سوخت است. انتخاب سوخت به مطالبه خاص فناوری و همچنین دسترسی آن، محدودیت‌های قانونی و ارزیابی اقتصادی وابسته است. به علت وجود محدودیت‌های قانونی اخطار دهنده، لازم است تا اثرات گازهای گلخانه‌ای، از قبیل دی‌اکسیدکربن، در محاسبات اقتصادی محاسبه شود. بنابراین وقتی فناوری اجازه می‌دهد، استفاده از سوخت مایع و گاز ارجح است. سوخت جامد فقط در بعضی شاخه‌های صنعت برای تولید توان کاربرد پیدا می‌کند [۱]. به‌طور عمومی سوخت مایع (گازوییل) شعله‌های خیلی درخشانی را تولید می‌کند زیرا شامل ذرات دودی است که مانند اجسام سیاه به بارحرارتی می‌تابد [۲].

عامل‌های نشر به عنوان ابزار اساسی جهت مدیریت کیفیت هوا استفاده می‌شود. یک فاکتور نشر مقداری معرف است که کمیت آلودگی آزاد شده در جو را شرح می‌دهد و بنابراین وسیله‌ای برای تخمین انتشارات آلودگی هوا به اتمسفر می‌باشد. فاکتورهای نشر با وجود محدودیت‌هایی که دارد، بهترین روش در دسترس برای تخمین انتشارات است. فاکتورهای نشر مورد مطالعه برای آلودگی‌های محیطی مونوکسیدکربن (CO)، دی-اکسیدکربن (CO<sub>2</sub>)، NO<sub>x</sub> و SO<sub>2</sub> هستند [۳].

افزایش میزان انتشارات گازهای گلخانه‌ای جو، که به طور وسیعی به تغییر شرایط آب و هوایی منجر می‌شود، بحث درباره احتراق سوخت‌ها را تشدید کرده است. کاهش انتشارات CO<sub>2</sub> تولید شده توسط احتراق، که چیزی حدود ۸۰٪ گازهای گلخانه‌ای را دربر می‌گیرد، امری حیاتی است [۴]. محصولات کمتر آشکار احتراق، اکسیدهای ازت می‌باشند. در نیمه آخر قرن بیستم، آشکار شده است که NO<sub>x</sub>، یک کمک‌کننده مهم مه دود فتوشیمیایی و ازن در هوای شهری است. به علاوه NO<sub>x</sub>، در واکنش زنجیره‌ای حذف ازن از استراتوسفر، که منجر به افزایش

تابش اشعه فرا بنفش رسیده به سطح زمین می‌شود، شرکت می‌کند [۵].

## ۲- تجهیزات و انجام تست تجربی

تست‌های مورد نظر بر روی کوره‌ای که قابلیت اندازه‌گیری پارامترها در داخل محفظه احتراق را به ما می‌دهد، انجام شده است. ابتدا تجهیزات مربوط به تست مشعل را بیان می‌کنیم. شکل (۱) طرحواره‌ای از مشعل مورد تست را نشان می‌دهد.

طول کوره ۳ متر و قطر داخلی آن ۱۱۸ سانتیمتر است. به صورت انعطاف پذیر و سه تکه در نظر گرفته شده است بگونه‌ای که بتوان در صورت نیاز طول آن را افزایش داد. جنس بدنه کوره از ورق فولاد نسوز انتخاب گردید. برای تست و بررسی بهتر باید شعله حاصل از احتراق را مشاهده نمود. لذا در انتهای کوره یک دریچه یا پنجره به ابعاد ۱۵ cm × ۲۰ cm تعبیه گردیده که این دریچه با شیشه نسوز سرامیکی پوشانیده شده است. نتایج حاصل از احتراق بوسیله دودکشی که در انتهای کوره نصب شده به بیرون رانده می‌شود. روی دودکش سوراخی تعبیه شده که می‌توان درجه حرارت خروجی و میزان گازهای آلاینده را از طریق آن اندازه گرفت. بالای دودکش یک هود قرار دارد که یک فن با ظرفیت ۱۰۰۰ cfm متصل است. این فن حالت مکش اجباری را برای کوره ایجاد می‌کند. ساختار قسمت درونی کوره از دو لایه ۴ سانتیمتری تشکیل شده است که یک لایه آن از عایق نسوز و لایه دیگر آن از مصالح نسوز تشکیل شده است. این مصالح و عایق نسوز تا درجه حرارت ۱۶۵۰ درجه سانتیگراد را تحمل می‌کند. ضخامت ورق استیل نسوز که قسمت خارجی کوره را پوشانیده است ۲ میلی‌متر است. ضریب هدایت حرارتی سیمان و مصالح نسوز  $k_A=0.72 \text{ W/m.K}$ ، برای عایق  $k_B=0.70 \text{ W/m.K}$  و برای استیل نسوز  $k_C=148 \text{ W/m.K}$  است. لازم به ذکر است که میله اندازه‌گیری

در نقطه ۱۴ قرار گرفته و پارامترهای مختلف احتراقی در جهت شعاعی اندازه گیری شده اند.

پس از بستن مشعل بر روی کوره و روشن کردن آن دبی سوخت بر روی مقدار  $150 \text{ ml/min}$  تنظیم شد و مدت ۴۵ دقیقه فرصت داده شد تا کوره به حالت نزدیک به پایا برسد. سپس با تنظیم زاویه هوای ورودی بر روی زاویه ۳۰ درجه، توسط دستگاه آنالیزکننده گاز، پارامترهای احتراقی در ۵ نقطه در جهت شعاعی محافظه احتراق اندازه گیری شدند.

دستگاه اندازه گیری پارامترهای آزمایش ها دستگاه Testo 350XL می باشد. میله سنجش دستگاه در نقاط مختلف محافظه و همچنین دودکش قرار می گیرد. نمونه گیری میل سنجش های درون رو بدین صورت است که یک لوله مکش به داخل سیستم وارد می شود و نمونه به دست آمده توسط آن برای تعیین مقدار اجزای آن تجزیه می شود. در آزمایش های ما این دستگاه موارد زیر رادر گازهای خروجی اندازه گیری می کند:

اکسیژن به درصد (%)، دمای دودکش به درجه سانتیگراد ( $C^0$ )، مقدار CO به ppm، مقدار  $CO_2$  به ppm، هوای اضافه به درصد (%)، هیدروژن به ppm، بازده کلی به درصد (% EffG)،  $NO_x$  به ppm،  $SO_2$  به ppm، مقدار دی اکسید کربن در هر لحظه با رابطه زیر به دست می -

آید:

مقدار  $CO_2$ :

$$= \frac{CO_{2max} \times (21\% - O_2)}{21\%} \quad (1)$$

افت گازهای دودکش بوسیله رابطه زیر محاسبه می شود:

$$qA = \left[ (FT - AT) \left[ \frac{A_2}{(21 - O_2)} + B \right] \right] - KK \quad (2)$$

۲۱: مقدار اکسیژن هوا

$O_2$ : مقدار اکسیژن اندازه گیری شده

فاکتوری است که مقدار فرمول را در کسرهای دمایی KK:

به مقدار منفی تبدیل می کند

اگر فاکتورهای مخصوص سوخت صفر باشند، معادله چنین می شود:

$$qA = f \times \frac{(FT - AT)}{CO_2} \quad (3)$$

$CO_2$ : مقدار دی اکسید کربن اندازه گیری شده

فاکتور هوای اضافه نیز از فرمول زیر محاسبه می شود:

$$\lambda = \frac{CO_{2max}}{CO_2} \quad (4)$$

فاکتور اضافی دی اکسید نیتروژن:  $NO_{surp}$

$$CO_{undiluted} : CO_{undiluted} = CO \times \lambda$$

CO: خوانده می شود

سرعت جریان به دمای دودکش و اختلاف فشار

وابسته است:

$$V(m/s) = \frac{575 \times \Delta P \times (FT + 273.15)}{PAbs} \times \alpha \quad (5)$$

محاسبه دمای نقطه شبنم دود:

$$DpFG = - \frac{\ln \left[ \frac{F_{H20} \times PAbs}{610.78} \right] \times 234.175}{\ln \left[ \frac{F_{H20} \times PAbs}{610.78} \right] - 17.08085} \quad (6)$$

$F_{H20}$ : فاکتور بخار وابسته به سوخت

به دلیل اینکه در آزمایشات زاویه هوای ورودی را به عنوان

شاخص دبی هوا در نظر گرفته ایم، در این قسمت میزان دبی

هوای تقریبی ورودی به مشعل را برای زاویه ۳۰ درجه مشخص

کرده ایم (شکل ۲-ب). محاسبه دبی با ضرب سرعت میانگین

هوای ورودی به مشعل در سطح مقطع ورودی هوا به دست

آمده است. سرعت هوا در این زاویه در چند نقطه قسمت

ورودی به وسیله انیمومتر اندازه گیری و متوسط آن به عنوان

سرعت هوای ورودی در نظر گرفته شده است. برای مشعل

گازیولی در ظرفیت  $150 \text{ ml/min}$  و در نقطه ۱۴ پارامترهای

احتراقی در چند نقطه شعاعی داخل محافظه احتراق اندازه گیری

شدند تا تغییرات در جهت شعاعی مورد بررسی قرار گیرد.

## ۳- نتایج و توضیح

دانستن ترکیبات موازنه شیمیایی سیستم شیمیایی اجازه می دهد تا خواص ترمودینامیکی تئوری را برای سیستم محاسبه کنیم. این اهداف می تواند در دامنه وسیعی برای مسائل شیمی به کار رود. بعضی کاربردها شامل طراحی و تحلیل تجهیزاتی نظیر مشعل ها، کمپرسورها، مبدل های حرارتی و ... می باشد. بدین منظور از برنامه (CEA (Chemical Equilibrium and Application) برای این هدف استفاده کرده ایم. بیشتر از ۴۰ سال مرکز تحقیقاتی لوییز ناسا به دنبال روش های بهبود و برنامه های کامپیوتری برای محاسبه ترکیبات تعادل شیمیایی و خواص ترمودینامیکی مخلوط های تعادلی و کاربرد آنها در مسائل بوده است که نرم افزار نامبرده برای چنین منظوری تدوین شده است. ما از این برنامه برای بررسی تئوری سوخت گازوییل استفاده کرده ایم [۷].

تغییرات دما در فواصل شعاعی مختلف با افزایش و کاهش همراه است و در فاصله ۰/۴۵ مقداری ماکزیمم دارد. در کل دما در فواصل مختلف شعاعی تغییر زیادی ندارد.

پایین تر بودن دماهای اندازه گیری شده با دمای تئوری به این دلیل است که در حالت تئوری احتراق کامل

صورت می گیرد و نمودار رسم شده دمای آدیاباتیک شعله را نشان می دهد، در حالی که دمای اندازه گیری

شده در ناحیه ای خارج از شعله و در شرایط تست آزمایشگاهی اندازه گیری شده است.

همانطور که از نمودارها مشاهده می شود، تغییرات فاصله شعاعی روی درصد اجزای  $CO_2$  و  $O_2$  تقریباً بی تاثیر است. مقدار  $CO_2$  حول وحوش ۱۰/۵٪ و اکسیژن نیز حدود ۷٪ است.

مقدار  $CO$  نیز با فاصله گرفتن از مرکز کوره مرتباً کاهش یافت به طوری که از  $103 \text{ ppm}$  به  $24 \text{ ppm}$  رسید.

مقدار  $NO_x$  با فاصله گرفتن از مرکز کوره کاهش چشمگیری دارد و از  $75 \text{ ppm}$  به  $55 \text{ ppm}$  رسید. در بیان دلایل چگونگی تغییرات  $NO_x$  به چند نکته دقت شود. ۱- در نقاط داغ (Hot spot) مولکول نیتروژن به اتم نیتروژن تجزیه می شود. ۲- در صورت وجود رادیکال  $N$  و  $O$  و زمان کافی،  $NO$  و بعد از آن  $NO_2$  بوجود می آید که جمع آنها را  $NO_x$  می گوئیم. ۳- افزایش هوای اضافی اگر به معنای اضافه آمدن هوا در واکنش باشد باعث کاهش  $NO_x$  می شود چون باعث کاهش میزان نقاط داغ می شود.

هوای اضافه با افزایش فاصله شعاعی زیاد می شود و این افزایش در میزان هوای اضافه کاملاً محسوس است.

باید گفته شود که هرچند به لحاظ تئوری در حالت هوای اضافه صفر و نسبت اکی والانس ۱ شرایط ایده آل اتفاق می افتد اما در واقعیت چنین نیست. در حالت واقعی معمولاً شرایط ایده آل با ۱۰ الی ۲۰٪ هوای اضافه همراه است. در مراکز پیشرفته صنعتی نیز وجود مقدار قابل توجهی هوای اضافه همواره در نظر گرفته می شود. در ایران این درصد هوای اضافه ایده آل به خاطر مواردی چون اتمام عمر مفید و قدیمی شدن قطعات، تنظیم نبودن سیستم و خرابی و عیب منجر به از دست رفتن هوا باز بالاتر از این مقادیر می تواند باشد.

مقدار  $SO_2$  به طور کلی روندی نزولی داشت ولی در نقطه ۰/۴ متر افزایش ناگهانی دارد. تغییرات  $H_2$  نیز همان روند  $SO_2$  را دارد.

دی اکسید سولفور گاز بی رنگ و سمی با بویی تند و زننده است و از طریق سولفور موجود در سوخت به وجود می آید. اسید سولفوروز نیز در واکنش این محصول با آب بوجود می آید.  $SO_2$  برای مشعل های گازی بسیار پایین و اثرات آن در نظر گرفته نمی شود ولی در مشعل های گازوییلی به دلیل وجود عنصر گوگرد در گازوییل، مقدار آن قابل ملاحظه است.

بازده های خالص و ناخالص با افزایش فاصله شعاعی اندکی

Engineering, Brno University of Technology (UPEI VUT), Technická 2, 616 69 Brno, Czech Republic, 2008.

[2] Charles E. Baukal, Jr., Ph.D., P.E., "Industrial Burners Handbook", chapter 1, 2003.

[3] Aykan Karademir, "Evaluation of the potential air pollution from fuel combustion in industrial boilers in Kocaeli", Turkey, 2006.

[4] G.G. Szegő, B.B. Dally, G.J. Nathan, "Scaling of NOx emissions from a laboratory-scale mild combustion furnace", 2008.

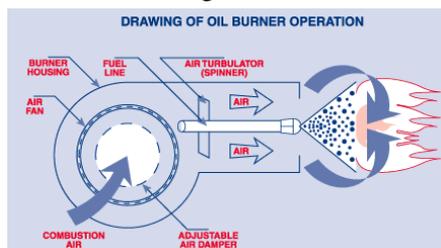
[۵] ج. وارناتز، یو. ماس، ر. دبلیو دیبل، "سوخت و احتراق"، مترجم محمد مقیمان، دانشگاه فردوسی مشهد.

[6] G.G. Szegő, B.B. Dally, G.J. Nathan, "Scaling of NOx emissions from a laboratory-scale mild combustion furnace", 2008.

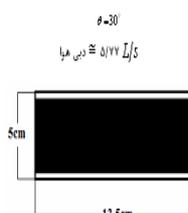
[7] <http://burner.blogfa.com/8705.aspx.8700-8710>

[8] Sanford Gordon, Bonnie J. McBride, Lewis Research Center, "Computer program for calculation of complex chemical equilibrium compositions and applications", 1994.

[9] testo 350XL catalog



شکل (۱): طرحواره یک مشعل گازوییل سوز [۶]



شکل (۲): کوره و مشعل نصب شده روی آن ب: طرحواره سطح مقطع ورودی هوا به مشعل



کاهش می‌یابد ولی زیاد محسوس نیست. همانطور که از رابطه مربوط به بازده خالص بر می‌آید، بازده خالص به دما و اجزای حاصل از احتراق وابسته است و تغییرات آن به تغییر دمای دودکش، مقدار  $CO$  و  $CO_2$  وابسته است. بازده خالص افت-های آب سوخت را در نظر نمی‌گیرد و بنابراین مقادیر آن همواره بزرگتر از بازده ناخالص است [۸].

Eff.net.:

$$Eff_{net} = 100 - \left[ \frac{K_{net} \times (FT - AT)}{CO_2} \right] + \left[ \frac{X \times (210 + 2.1 \times FT - 4.2 \times AT)}{Q_{gr} \times 1000} \right] \quad (۷)$$

$$+ \left[ \frac{K_1 \times Q_{gr} \times CO}{Q_{net} \times CO_2 + CO} \right]$$

$$X = MH_2O + 9 \times H$$

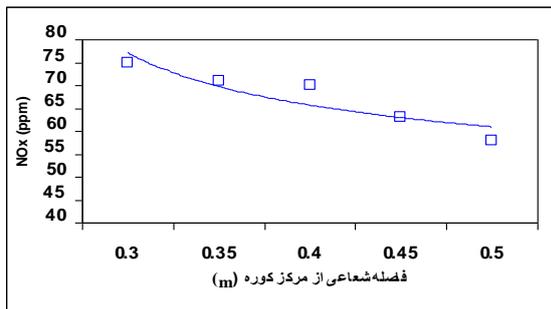
فاکتورهای مخصوص سوخت  $K_{gr}$ ,  $K_{net}$ ,  $K_1$ ,  $Q_{net}$ ,  $Q_{gr}$

#### ۴- نتیجه‌گیری

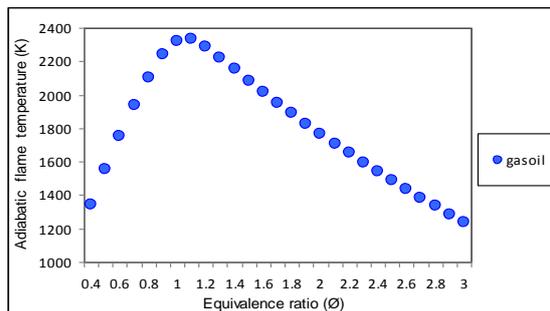
عملکرد مشعل گازوییل سوز با اندازه‌گیری پارامترهای احتراقی در فواصل شعاعی مختلف محفوظه احتراق مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد دما در جهت شعاعی دارای نوسان است و با فاصله گرفتن از مرکز کوره ابتدا زیاد و سپس کم می‌شود.  $CO_2$  و  $O_2$  در جهت شعاعی تغییرات زیادی ندارند و می‌توان گفت تغییرات فاصله شعاعی روی این دو پارامتر احتراقی تقریباً بی‌تاثیر است. مقادیر  $CO$  و  $SO_2$  و  $NO_x$  با فاصله گرفتن از مرکز کوره کاهش و هوای اضافه در جهت شعاعی و با دور شدن از مرکز کوره افزایش می‌یابد. در نتیجه تغییر فاصله در جهت شعاعی بر روی این پارامترها موثر است. بازده ناخالص و خالص با فاصله گرفتن از مرکز کوره اندکی کاهش می‌یابد به طوری که می‌توان گفت تغییر فاصله شعاعی بر روی این دو بازده تقریباً بی‌تاثیر است.

#### ۵- مراجع

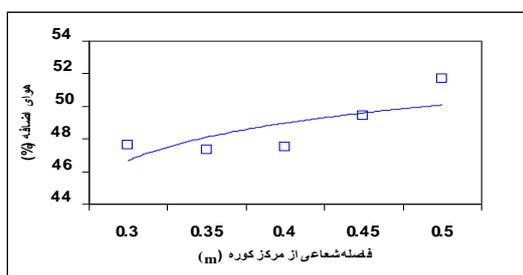
[1] Vi't Kermes, Petr Be'lohradsky', Jaroslav Oral, Petr Steh'lik, "Testing of gas and liquid fuel burners for power and process industries, Institute of Process and Environmental Engineering", Faculty of Mechanical



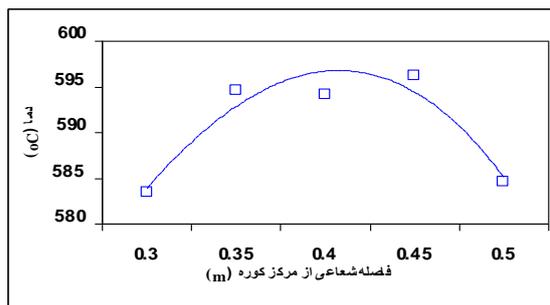
شکل (۶): تغییرات NO<sub>x</sub> در فواصل شعاعی مختلف محفظه احتراق



(الف)

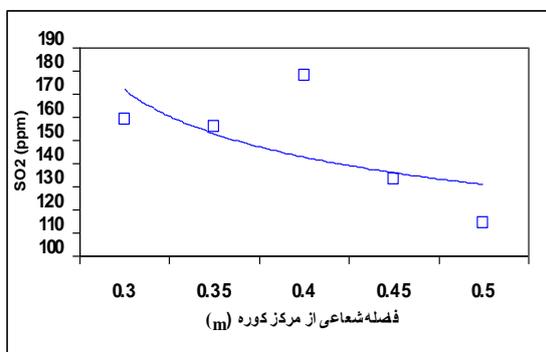


شکل (۷): تغییرات هوای اضافه در فواصل شعاعی مختلف محفظه احتراق

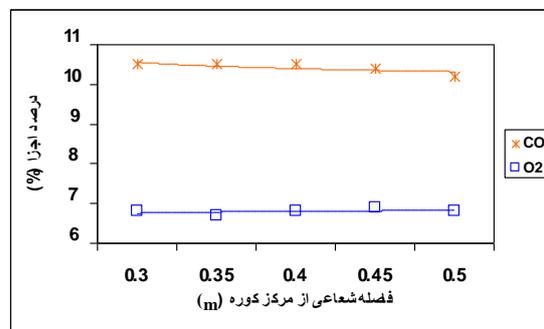


(ب)

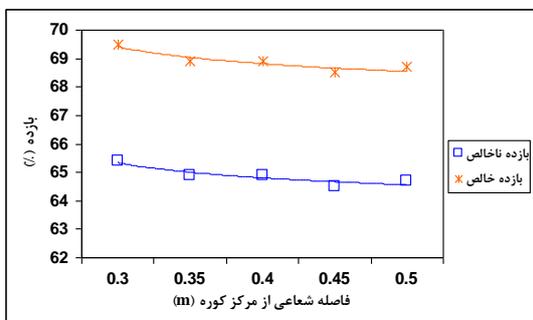
شکل (۳): نتایج تئوری احتراق گازوییل در نسبت‌های اکی والانس مختلف ب: تغییرات دما در فواصل شعاعی مختلف محفظه احتراق



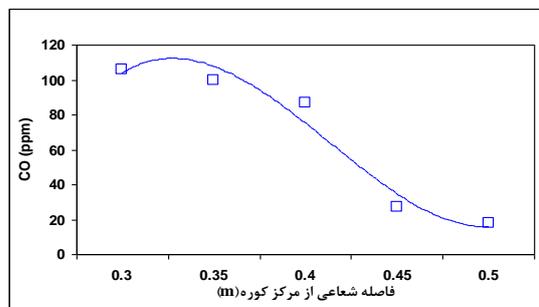
شکل (۸): تغییرات SO<sub>2</sub> در فواصل شعاعی مختلف محفظه احتراق



شکل (۴): تغییرات CO<sub>2</sub> و O<sub>2</sub> در فواصل شعاعی مختلف محفظه احتراق



شکل (۹): تغییرات بازده خالص و ناخالص در فواصل شعاعی مختلف محفظه احتراق



شکل (۵): تغییرات CO در فواصل شعاعی مختلف محفظه احتراق