

بررسی تجربی عملکرد مشعل گازوییل سوز به وسیله تحلیل پارامترهای احتراقی در دودکش و نقاط مختلف محفظه احتراق

عباسعلی فرداد^۱، محمد صدیقی^۲، سید مهدی حسینی بغدادآبادی^{۳*}، سهیلا خوشنویسان^۴
سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران، آزمایشگاه سوخت و احتراق
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 اکسید کننده استفاده شده است. برای این منظور در طول محفظه احتراق و در دودکش، آلایندگی‌های 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 آلایندگی‌ها 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 - گازهای دودکش

۱- مقدمه

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

فاکتورهای 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)، دی‌اکسیدکربن (CO_2)، NO_x و SO_2 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_2 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

۱- استادیار، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مکانیک

۲- استادیار، دانشگاه هوایی شهید ستاری

۳- کارشناسی ارشد هوافضا، دانشگاه علم و صنعت ایران

۴- کارشناسی ارشد مکانیک، مدیر آزمایشگاه سوخت و احتراق سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران

بیستم، آشکار شده است که NO_x ، یک کمک‌کننده مهم مه دود فتوشیمیایی و ازن در هوای شهری است. به علاوه NO_x ، در واکنش زنجیره‌ای حذف ازن از استراتوسفر، که منجر به افزایش تابش اشعه فرا بنفش رسیده به سطح زمین می‌شود، شرکت می‌کند [۵].

در این مقاله به بررسی تجربی اثر تغییر دبی سوخت و هوای مشعل گازی‌پیل‌سوز روی پارامترهای احتراقی در نقاط مختلف محفظه احتراق می‌پردازیم.

۲- تجهیزات و انجام تست تجربی

تست‌های مورد نظر بر روی کوره ای که قابلیت اندازه‌گیری پارامترها در طول محفظه احتراق را به ما می‌دهد، انجام شده است. ابتدا تجهیزات مربوط به تست مشعل را بیان می‌کنیم. شکل ۱ کوره مورد تست و مشعل گازی‌پیلی نصب شده روی آن و همچنین نقاط مختلف در طول محفظه احتراق 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 $15\text{ cm} \times 20\text{ cm}$ 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 1000 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 1650 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 $k_A = 0.72\text{ W/m}^\circ\text{K}$ ، برای عایق $k_B = 0.70\text{ W/m}^\circ\text{K}$ و برای استیل نسوز $k_C = 14.8\text{ W/m}^\circ\text{K}$ است. لازم به ذکر است که میله اندازه‌گیری در نقاط ۱، ۳، ۵، ۷، ۹، ۱۰، ۱۲، ۱۴ و دودکش قرار گرفته و پارامترهای مختلف احتراقی اندازه‌گیری شده اند.

پس از بستن مشعل بر روی کوره و روشن کردن آن دبی سوخت بر روی مقدار 111 ml/min تنظیم شد و مدت ۳۰ دقیقه فرصت داده شد تا کوره به حالت نزدیک به پایا برسد. سپس با تنظیم زاویه هوای ورودی بر روی زاویای ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه، توسط دستگاه آنالیزکننده گاز، پارامترهای احتراقی در ۸ نقطه در طول محفظه احتراق و یک نقطه در دودکش اندازه‌گیری شدند. فاصله نوک میله نمونه‌گیری از مرکز کوره ۴۰ سانتیمتر بود.

همین کار برای حالتی که مشعل بر روی دبی سوخت 150 ml/min تنظیم شده بود در زاویه‌های هوای ورودی ذکر شده صورت گرفت. در زاویه‌های بالاتر به دلیل ایجاد دود فراوان امکان انجام آزمایش وجود نداشت. در هر مرحله دمای نقاط مختلف در طول محفظه احتراق و در امتداد خط مرکزی کوره توسط ترموکوپل صنعتی اندازه‌گیری شد.

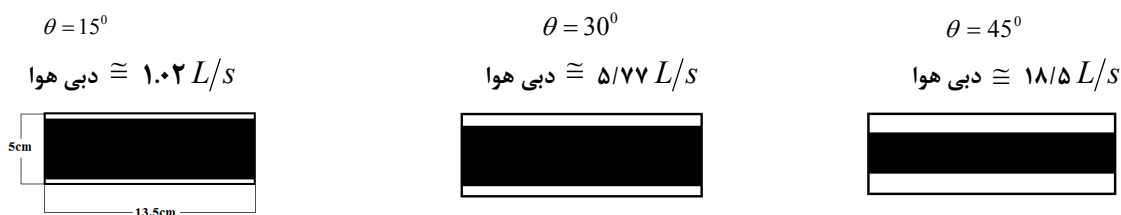
دستگاه اندازه‌گیری پارامترهای آزمایش‌ها دستگاه $Testo350XL$ می‌باشد. میله سنجش دستگاه در نقاط مختلف محفظه و همچنین دودکش قرار می‌گیرد. نمونه‌گیری میل سنجش‌های درون رو بدین صورت است که یک لوله مکش به داخل سیستم وارد می‌شود و نمونه به دست آمده توسط آن برای تعیین مقدار اجزای آن تجزیه می‌شود.



شکل ۱- کوره و مشعل نصب شده روی آن

به دلیل اینکه در آزمایشات زاویه هوای ورودی را به عنوان شاخص دبی هوا در نظر گرفته‌ایم، در این قسمت میزان دبی هوای تقریبی ورودی به مشعل را برای هر زاویه مشخص کرده‌ایم. محاسبه دبی با ضرب سرعت میانگین هوای ورودی به مشعل در سطح مقطع ورودی هوا به دست آمده است. سرعت هوا در هر زاویه در چند نقطه قسمت ورودی به وسیله انیمومتر اندازه گیری و متوسط آن به عنوان سرعت هوای ورودی در نظر گرفته شده است.

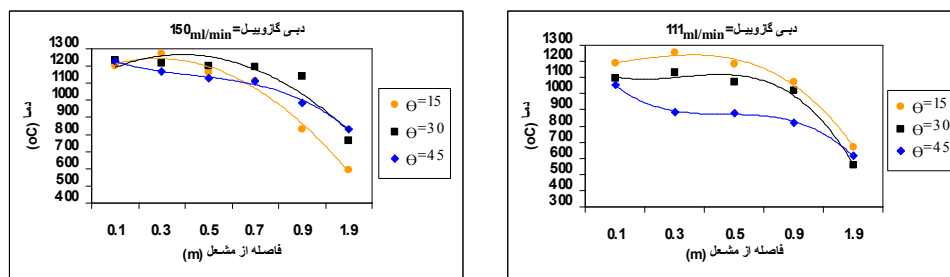
مقطع ورودی هوا مستطیلی است. در شکل‌های شماتیک ۲ بخش‌های سفید قسمت باز برای ورود هوا و قسمت‌های سیاه سطح صفحه انسداد در هر زاویه را نشان می‌دهد.



شکل ۲- شماتیک سطح مقطع ورودی هوا به مشعل در زاویه های مختلف

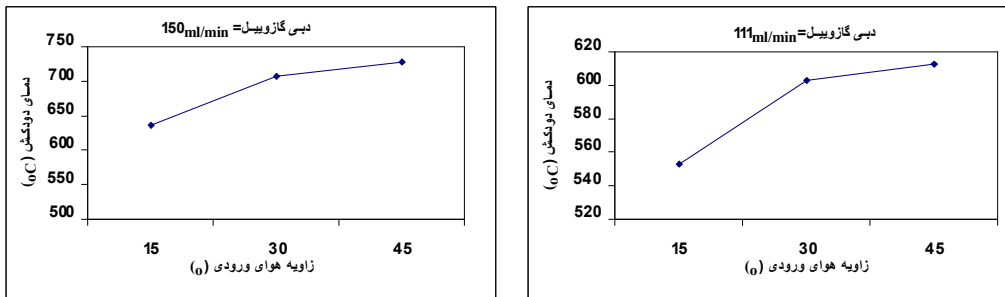
۳- نتایج و توضیح

۳-۱- توزیع دما



شکل ۳- توزیع دما در طول محفظه احتراق در دبی‌های گازوییل ۱۱۱ و ۱۵۰ میلی لیتر بر دقیقه

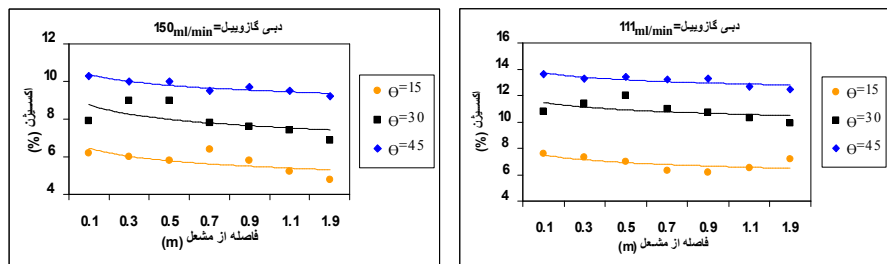
نمودار تغییرات دما در دودکش در دبی‌های مختلف سوخت با تغییر زاویه هوای ورودی در ادامه آمده است. مشعل در دبی‌های مختلف سوخت یک افزایش در فواصل نزدیک به دهانه مشعل و سپس کاهش دما را نشان می‌دهد.



شکل ۴- تغییرات دما در دودکش در دبی‌های گازوییل ۱۱۱ و ۱۵۰ میلی لیتر بر دقیقه

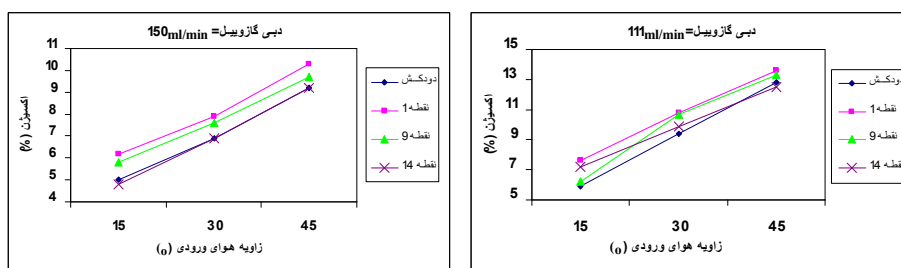
از آنجا که شعله از چند ناحیه تشکیل شده و ماکزیمم دمای شعله در قسمت‌های میانی شعله مشاهده می‌شود لذا ابتدا این افزایش دیده می‌شود. البته باید گفته شود برای یک دبی خاص سوخت با افزایش میزان دبی هوا (در اینجا زاویه ورودی هوا)، طول شعله کوتاه‌تر می‌شود و دمای ماکزیمم به سر مشعل نزدیک‌تر می‌شود و به همین دلیل برای زاویه‌های ورودی هوای بزرگ‌تر مثل ۷۵ درجه، این نقطه ماکزیمم قبل از اولین نقطه اندازه‌گیری ما قرار دارد و لذا برای این دبی بالای هوا نمودار کاملاً روند نزولی دارد. ماکزیمم درجه حرارت در دبی ۱۵۰ ml/min گازوییل، ۱۳۰۰ درجه سانتیگراد و در دبی ۱۱۱ ml/min ، ۱۲۰۰ درجه سانتیگراد اندازه‌گیری شد. با افزایش زاویه ورودی هوا در یک دبی معین گازوییل ، دما نیز در دودکش افزایش یافت.

۲-۳- توزیع اکسیژن



شکل ۵- توزیع اکسیژن در طول محفظه احتراق در دبی‌های گازوییل ۱۱۱ و ۱۵۰ میلی لیتر بر دقیقه

نتایج برای دودکش در مقایسه با چند نقطه درون محفظه احتراق در زیر آمده است.



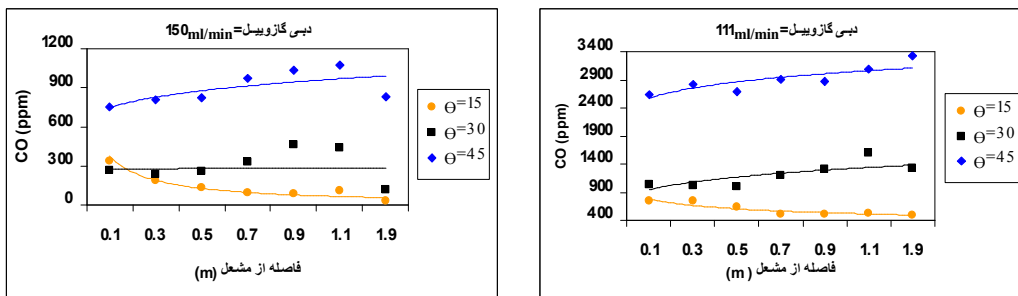
شکل ۶- تغییرات اکسیژن در دودکش با هوای ورودی در دبی‌های گازوییل ۱۱۱ و ۱۵۰ میلی لیتر بر دقیقه

برای دبی ۱۱۱ ml/min ، در زاویه ۱۵ درجه ورودی هوا اکسیژن از ۶/۲ تا ۷/۶٪، زاویه ۳۰ درجه از ۹/۹ تا ۱۱/۴٪ و در زاویه ۴۵ درجه از ۱۲/۵ تا ۱۳/۶٪ تغییر کرده است. روند کاهش اکسیژن در طول محفظه احتراق برای مشعل گازوییلی کم‌تر از

FCCI2010-7128

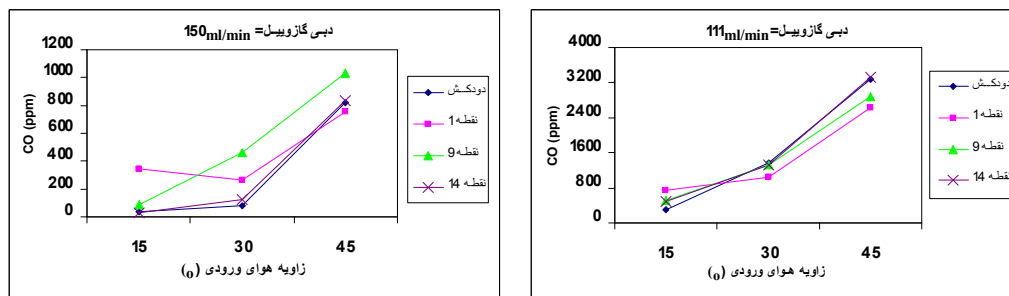
مشعل گازی است. در دبی 150 ml/min نیز در زاویه هوای 15° درجه مقدار اکسیژن از $4/8$ تا $6/2$ ، زاویه 30° درجه از $6/9$ تا $9/1$ و زاویه 45° درجه از $9/2$ تا $10/3$ تغییر کرد. در دودکش نیز در یک دبی خاص با افزایش زاویه هوای ورودی میزان اکسیژن نیز افزایش می‌یابد. یکی از روش‌های اندازه‌گیری میزان هوای اضافی، اندازه‌گیری میزان اکسیژن موجود در محصول می‌باشد که نمودارهای حاصله به خوبی مبین این قضیه می‌باشد. همانطور که ملاحظه می‌گردد در کلیه نمودارهای مربوط به اکسیژن تطابق مناسب میزان اکسیژن اندازه‌گیری شده در محصولات با هوای اضافی به کار رفته وجود دارد.

۳-۳- انتشار CO



شکل ۷- توزیع مونوکسیدکربن در طول محفظه احتراق در دبی‌های گازوییل ۱۱۱ و ۱۵۰ میلی لیتر بر دقیقه

نتایج دودکش چنین هستند.

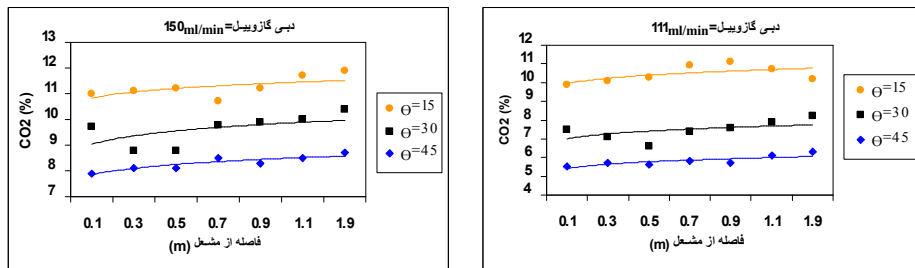


شکل ۸- تغییرات مونوکسیدکربن در دودکش با هوای ورودی در دبی‌های گازوییل ۱۱۱ و ۱۵۰ میلی لیتر بر دقیقه

در دبی 111 ml/min بالاترین میزان CO یعنی 3334 ppm را در زاویه هوای 45° درجه تولید کرد. در مشعل گازوییلی در هر دو دبی کمترین مقادیر مربوط به زاویه هوای 15° درجه و بیشترین مقادیر CO مربوط به زاویه 45° درجه بود. در دبی 150 ml/min ، روند تغییرات مانند دبی 111 ml/min بود با این تفاوت که به طور کلی مقدار CO در این دبی کمتر بود. برای هر دو دبی در زاویه هوای 15° درجه مقدار CO در طول محفظه کاهش یافت ولی با افزایش زاویه به 30° و 45° درجه مقدار CO نیز با فاصله گرفتن از ابتدای کوره، افزایش یافت.

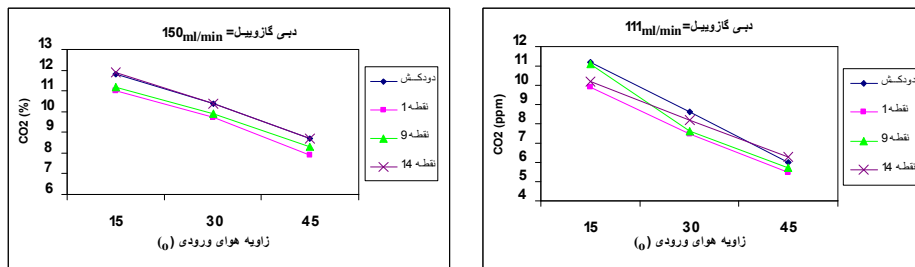
در دودکش مشعل گازوییلی نیز مقدار CO روند افزایشی را با زیاد شدن زاویه ورودی هوا دارد. بیشترین مقدار CO در دبی 111 ml/min ، 3280 ppm و کمترین مقدار برابر 306 ppm بود. در دبی 150 ml/min ، بیشترین میزان نشر برابر 822 ppm و کمترین مقدار برابر 38 ppm بود.

۳-۴- نشر CO_2



شکل ۹- توزیع دی اکسیدکربن در طول محفظه احتراق در دبی‌های گازوییل ۱۱۱ و ۱۵۰ میلی لیتر بر دقیقه

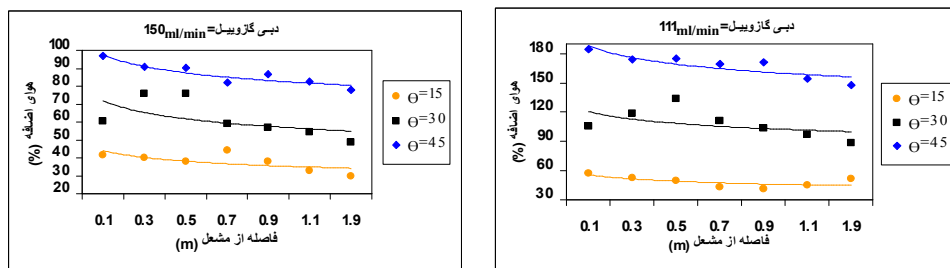
انتشارات CO_2 در دودکش در دبی‌های مختلف هوا در نمودارهای زیر آمده است.



شکل ۱۰- تغییرات دی اکسیدکربن در دودکش با هوای ورودی در دبی‌های گازوییل ۱۱۱ و ۱۵۰ میلی لیتر بر دقیقه

در دبی 111 ml/min ، در زاویه 15° درجه بیشترین نسر CO_2 مشاهده شد و ماکزیمم مقدار آن $1.11/1\%$ و کمترین مقدار هم در زاویه هوای 45° درجه و برابر $0.5/5\%$ بود. در اینجا هم با دور شدن از ابتدای کوره میزان نسر CO_2 افزایش یافت. با افزایش دبی به 150 ml/min ، نسر CO_2 اندکی زیاد شد. بیشترین مقدار در زاویه هوای ورودی 15° درجه و برابر $1.11/9\%$ و کمترین میزان نسر در زاویه هوای ورودی 45° درجه و برابر $0.7/9\%$ مشاهده شد. در دودکش نیز مانند مشعل گازی با افزایش زاویه ورودی هوا در یک دبی مورد نظر میزان نسر CO_2 کاهش می‌یابد. مقدار CO_2 در دودکش در حالت کلی در دبی سوخت 150 ml/min کمی بیشتر است.

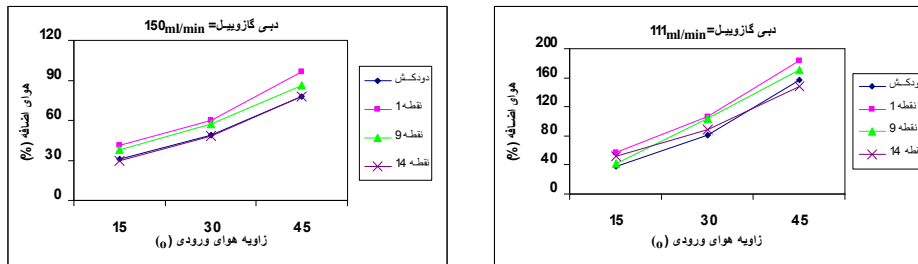
۳-۵- هوای اضافه



شکل ۱۱- توزیع هوای اضافه در طول محفظه احتراق در دبی‌های گازوییل ۱۱۱ و ۱۵۰ میلی لیتر بر دقیقه

FCCI2010-7128

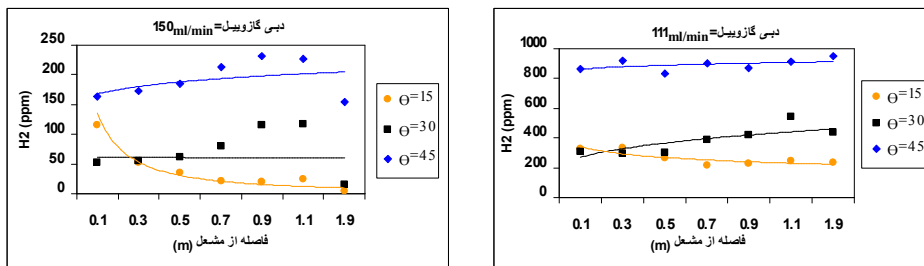
در دبی 111 ml/min در زاویه هوای ورودی 15° درجه کمترین مقدار هوای اضافه یعنی $41/7\%$ و در زاویه 45° درجه بیشترین مقدار آن یعنی $183/9\%$ را داشت. با افزایش دبی سوخت به 150 ml/min ، مقدار هوای اضافه کاهش یافت. در زاویه 15° درجه کمترین مقدار هوای اضافه برابر $29/8\%$ و در زاویه 45° درجه بیشترین میزان هوای اضافه برابر $96/7\%$ اندازه‌گیری شد. نتایج مربوط به گازهای دودکش چنین هستند.



شکل ۱۲- تغییرات هوای اضافه در دودکش با هوای ورودی در دبی‌های گازوییل ۱۱۱ و ۱۵۰ میلی لیتر بر دقیقه

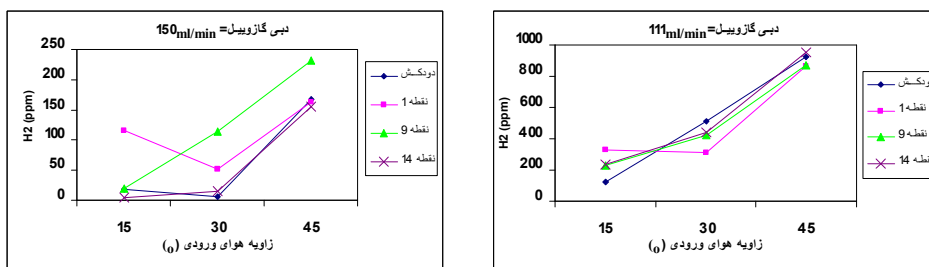
افزایش زاویه هوا امکان ورود هوای بیشتری را جهت احتراق فراهم می‌سازد و به همان نسبت باعث افزایش حضور مولکول اکسیژن در محصولات می‌گردد. باید گفته شود که هرچند به لحاظ تئوری در حالت هوای اضافه صفر و نسبت اکی والانس ۱ شرایط ایده آل اتفاق می‌افتد اما در واقعیت چنین نیست. در حالت واقعی معمولاً شرایط ایده آل با 10% الی 20% هوای اضافه همراه است. در مراکز پیشرفته صنعتی نیز وجود مقدار قابل توجهی هوای اضافه همواره در نظر گرفته می‌شود. در ایران این درصد هوای اضافه ایده‌آل 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 می‌تواند باشد.

۳-۶- تغییرات H_2



شکل ۱۳- توزیع هیدروژن در طول محفظه احتراق در دبی‌های گازوییل ۱۱۱ و ۱۵۰ میلی لیتر بر دقیقه

نمودار تغییرات دودکش و چند نقطه محفظه بدین صورت می‌باشند.



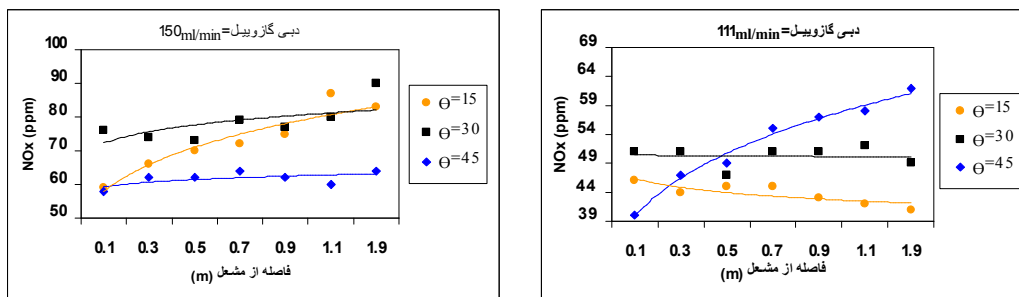
شکل ۱۴- تغییرات هیدروژن در دودکش با هوای ورودی در دبی‌های گازوییل ۱۱۱ و ۱۵۰ میلی لیتر بر دقیقه

FCCI2010-7128

در دبی 111 ml/min بالاترین میزان H_2 یعنی 952 ppm را در زاویه هوای 45° درجه تولید کرد. در مشعل گازوییلی در هر دو دبی کمترین مقادیر مربوط به زاویه هوای 15° درجه و بیشترین مقادیر H_2 مربوط به زاویه 45° درجه بود. در دبی 150 ml/min ، روند تغییرات مانند دبی 111 ml/min بود با این تفاوت که به طور کلی مقدار H_2 در این دبی کمتر بود. برای هر دو دبی در زاویه هوای 15° درجه مقدار H_2 در طول محفظه کاهش یافت ولی با افزایش زاویه به 30° و 45° درجه مقدار H_2 نیز با فاصله گرفتن از ابتدای کوره، افزایش یافت. در دوکش مشعل گازوییلی نیز مقدار H_2 روند افزایشی را با زیاد شدن زاویه ورودی هوا دارد. بیشترین مقدار H_2 در دبی 111 ml/min ، 924 ppm و کمترین مقدار آن برابر 123 ppm بود. در دبی 150 ml/min ، بیشترین میزان H_2 برابر 167 ppm و کمترین مقدار آن برابر 6 ppm بود.

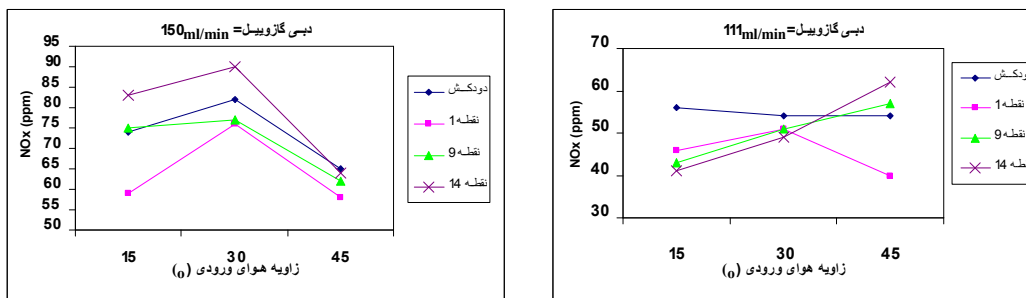
۳-۷- انتشار NO_x

نمودار تغییرات NO_x در دبی‌های مختلف سوخت و هوا در طول محفظه احتراق در شکل ۱۵ ارائه شده است.



شکل ۱۵- توزیع NO_x در طول محفظه احتراق در دبی‌های گازوییل ۱۱۱ و 150 میلی لیتر بر دقیقه

برای دودکش نمودار تغییرات به صورت زیر است.



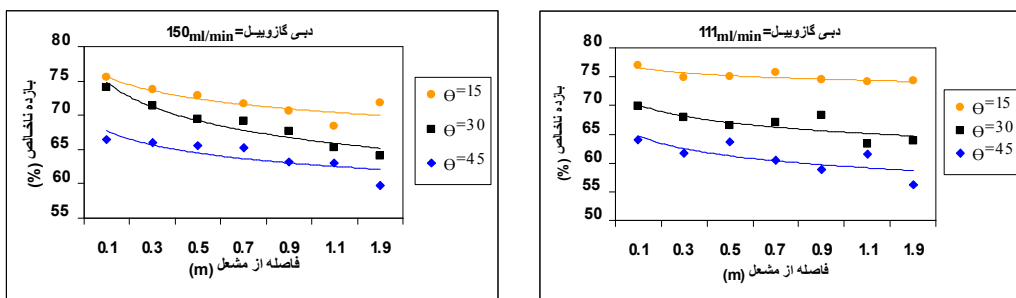
شکل ۱۶- تغییرات NO_x در دودکش با هوای ورودی در دبی‌های گازوییل ۱۱۱ و 150 میلی لیتر بر دقیقه

در دبی 111 ml/min ، کمترین میزان NO_x در زاویه هوای ورودی 45° درجه و برابر 40 ppm و بیشترین مقدار آن در همین زاویه هوای ورودی و برابر 62 ppm اندازه‌گیری شد. اما با مشاهده نمودارها می‌بینیم که به طور کلی در طول محفظه احتراق کمترین میزان NO_x مربوط به زاویه 15° درجه و بیشترین آن مربوط به زاویه هوای 45° درجه است. در دبی 150 ml/min ، کمترین میزان NO_x در زاویه هوای 45° درجه برابر 58 ppm و بیشترین مقدار آن در زاویه 30° درجه و برابر 90 ppm مشاهده شد. با افزایش دبی گازوییل میزان NO_x نیز افزایش یافت. با مقایسه مشعل گازی و گازوییلی در

FCCI2010-7128

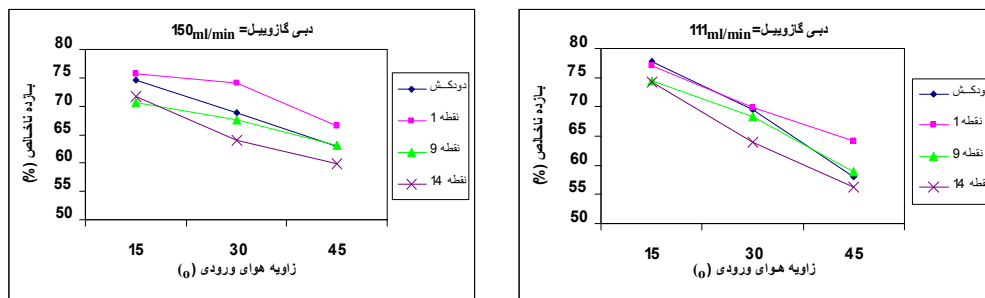
ظرفیت‌های یکسان می‌بینیم میزان NO_x به طور کلی در مشعل گازوییلی کمی بیشتر است. میزان NO_x در دودکش برای ظرفیت 150 ml/min بیشتر بود. در بیان دلایل چگونگی تغییرات NO_x به چند نکته دقت شود. ۱- در نقاط داغ (Hot spot) مولکول نیتروژن به اتم نیتروژن تجزیه می‌شود. ۲- امکان تشکیل نقاط داغ در سوخت‌های مایع بیشتر از گاز است. ۳- در صورت وجود رادیکال N و O و زمان کافی، NO و بعد از آن NO_2 بوجود می‌آید که جمع آنها را NO_x می‌گوییم. ۴- افزایش هوای اضافی اگر به معنای اضافه آمدن هوا در واکنش باشد باعث کاهش NO_x می‌شود چون باعث کاهش میزان نقاط داغ می‌شود.

۳-۸- بازده ناخالص



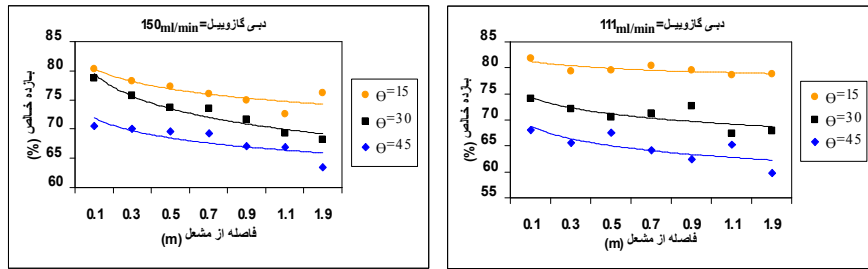
شکل ۱۷- تغییرات بازده ناخالص در طول محفظه احتراق در دبی‌های گازوییل ۱۱۱ و ۱۵۰ میلی لیتر بر دقیقه

نتایج دودکش چنین هستند.



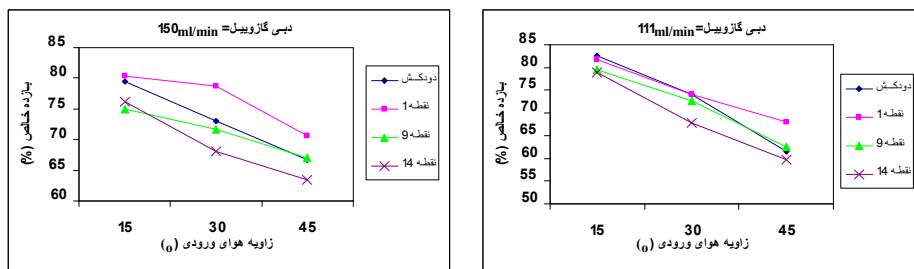
شکل ۱۸- تغییرات بازده ناخالص دودکش با هوای ورودی در دبی‌های گازوییل ۱۱۱ و ۱۵۰ میلی لیتر بر دقیقه

در دبی 111 ml/min ، بیشترین بازده مربوط به زاویه ورودی هوای 15° درجه و برابر 77% و کمترین مقدار آن مربوط به زاویه ورودی هوای 45° درجه و برابر $56/3\%$ بود. با افزایش دبی به 150 ml/min ، بیشترین بازده باز در زاویه ورودی هوای 15° درجه و برابر $75/6\%$ و کمترین مقدار آن نیز مربوط به زاویه ورودی هوای 45° درجه و برابر $59/8\%$ بود. در دودکش نیز کاهش بازده ناخالص با افزایش زاویه ورودی هوا در یک دبی خاص مشاهده می‌شود. بیشترین مقدار بازده در دودکش در دبی گاز پروپان 111 ml/min ، در زاویه هوای ورودی 15° درجه و برابر $77/7\%$ و کمترین مقدار آن در زاویه 45° درجه و برابر 58% اندازه‌گیری شد. با افزایش دبی به 150 ml/min ، بیشترین بازده ناخالص در زاویه هوای ورودی 15° درجه اتفاق افتاد که مقدار آن برابر $74/7\%$ بود. کمترین میزان بازده نیز در زاویه هوای ورودی 45° درجه و برابر 63% بود.



شکل ۱۹- تغییرات بازده خالص در طول محفظه احتراق در دبی‌های گازوییل ۱۱۱ و ۱۵۰ میلی لیتر بر دقیقه

برای دودکش نمودارها به صورت زیر می‌باشند.

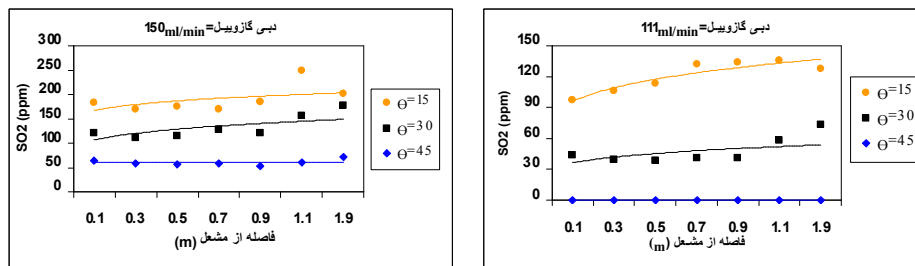


شکل ۲۰- تغییرات بازده خالص دودکش با هوای ورودی در دبی‌های گازوییل ۱۱۱ و ۱۵۰ میلی لیتر بر دقیقه

در دبی 111 ml/min ، بیشترین بازده مربوط به زاویه ورودی هوای 15° درجه و برابر $81.1/8$ و کمترین مقدار آن مربوط به زاویه ورودی هوای 45° درجه و برابر $59.7/7$ بود. با افزایش دبی به 150 ml/min ، بیشترین بازده باز در زاویه ورودی هوای 15° درجه و برابر $80.3/3$ و کمترین مقدار آن نیز مربوط به زاویه ورودی هوای 45° درجه و برابر $63.9/9$ بود. در دودکش نیز کاهش بازده ناخالص با افزایش زاویه ورودی هوا در یک دبی خاص مشاهده می‌شود. بیشترین مقدار بازده در دودکش در دبی گاز پروپان 111 ml/min ، در زاویه هوای ورودی 15° درجه و $82.5/5$ و کمترین مقدار آن در زاویه 45° درجه و برابر $61.6/6$ اندازه‌گیری شد. با افزایش دبی به 150 ml/min ، بیشترین بازده ناخالص در زاویه هوای ورودی 15° درجه اتفاق افتاد که مقدار آن برابر $79.4/4$ بود. کمترین میزان بازده نیز در زاویه هوای ورودی 45° درجه و برابر $66.8/8$ بود.

۳-۱۰- نشر SO_2

از آنجا که مشعل‌های گازوییلی آلاینده SO_2 نیز تولید می‌کنند، تغییرات آن در نمودارهای زیر آمده است.



شکل ۲۱- تغییرات دی‌اکسید گوگرد در طول محفظه احتراق در دبی‌های گازوییل ۱۱۱ و ۱۵۰ میلی لیتر بر دقیقه



FCCI2010-7128

در دبی 111 ml/min ، با افزایش زاویه ورودی هوا میزان نثر SO_2 کاهش یافت به طوری که در زاویه هوای ورودی 45° درجه نثر SO_2 تقریباً در همه جای محفظه صفر بود. بیشترین میزان SO_2 در زاویه 15° درجه هوای ورودی و برابر 136 ppm بود. با افزایش دبی گازوییل به 150 ml/min ، میزان SO_2 نیز افزایش یافت. در زاویه هوای ورودی 45° درجه کمترین مقدار SO_2 برابر 52 ppm و بیشترین مقدار آن در زاویه 15° درجه هوای ورودی و برابر 249 ppm اندازه گیری شد. مقدار SO_2 در طول محفظه نیز در یک دبی هوا و سوخت خاص روالی افزایشی دارد و با فاصله گرفتن از ابتدای کوره، افزایش می‌یابد.

دی اکسید سولفور گاز بی رنگ و سمی با بویی تند و زننده است و از طریق سولفور موجود در سوخت به وجود می‌آید. اسید سولفوروز نیز در واکنش این محصول با آب بوجود می‌آید. SO_2 برای مشعل‌های گازی بسیار پایین و اثرات آن در نظر گرفته نمی‌شود ولی در مشعل‌های گازوییلی مقدار آن قابل ملاحظه است.

۹- نتیجه‌گیری

عملکرد مشعل گازوییل‌سوز با تغییر دبی سوخت و هوای ورودی به مشعل مورد بررسی قرار گرفت. دما در طول محفظه احتراق کاهش می‌یابد. با افزایش دبی سوخت، دما افزایش می‌یابد. با افزایش زاویه هوای ورودی در دبی سوخت معین، دمای دودکش نیز افزایش می‌یابد. در دبی سوخت معین، با افزایش میزان هوای ورودی، میزان نثر CO افزایش و با افزایش دبی سوخت مقدار آن کاهش می‌یابد (باید توجه داشت همان‌طور که کمبود هوا باعث احتراق ناقص می‌شود، افزایش بیش از حد هوا نیز عامل احتراق ناقص است). مقدار هوای اضافه در طول محفظه احتراق کاهش می‌یابد و با افزایش دبی سوخت مقدار آن کاهش می‌یابد. در دودکش نیز با افزایش زاویه ورودی هوا در دبی سوخت معین، مقدار هوای اضافه افزایش می‌یابد. مقدار NO_x در طول محفظه افزایش می‌یابد و شدت افزایش آن در نواحی نزدیک به مشعل بیشتر است. میزان CO_2 تولید شده در طول محفظه احتراق افزایش می‌یابد. با افزایش دبی ورودی هوا در دبی سوخت معین، مقدار CO_2 کاهش می‌یابد. SO_2 تولیدی در طول محفظه احتراق افزایش می‌یابد. در یک دبی سوخت معین، با افزایش میزان هوا مقدار SO_2 کاهش می‌یابد. بازده احتراقی در طول محفظه احتراق کاهش می‌یابد.

مراجع

- 1- Vi't Kermes, Petr Be'lohradsky', Jaroslav Oral, Petr Stehl'k , "Testing of gas and liquid fuel burners for power and process industries, Institute of Process and Environmental Engineerin" g, Faculty of Mechanical Engineering, Brno University of Technology (UPEI VUT), Technicka' 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. Szegö , B.B. Dally, G.J. Nathan, "Scaling of NO_x emissions from a laboratory-scale mild combustion furnace", 2008.

۵- ج. وارناتز، یو. ماس، ر. دبلیو دبیل، "سوخت و احتراق"، مترجم محمد مقیمان، دانشگاه فردوسی مشهد.