



مطالعه آزمایشگاهی اثر رقیق سازی سوخت با استفاده از گاز نیتروژن بر میزان آلاینده NO_x در شعله غیر پیش آمیخته پروپان-هوا

عبدالرسول رنک رزی^۱، حمید نیازمند^۲، حمید ممهدی هروی^۳

دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه مکانیک

rasoul_rangrazi@yahoo.com

چکیده

امروزه راهکارهای کاهش آلاینده NO_x به عنوان یکی از مهمترین آلاینده های ناشی از احتراق سوخت های فسیلی مورد توجه محققین قرار گرفته است. در این راستا یکی از روش هایی که با توجه به ترمودینامیک احتراق و درک مکانیزم تشکیل NO_x می تواند مفید واقع شود رقیق سازی سوخت می باشد. در این روش بوسیله رقیق کردن سوخت با ماده ای دیگر ظرفیت گرمایی مخلوط را افزایش داده و در نتیجه دمای محفظه احتراق کاهش یافته و به دنبال آن میزان NO_x که وابسته به دما می باشد کاهش می یابد. هدف از این مقاله، مطالعه آزمایشگاهی اثر رقیق سازی سوخت با استفاده از گاز نیتروژن در کاهش میزان آلاینده NO_x در شعله غیر پیش آمیخته پروپان-هوا در یک محفظه احتراق می باشد. رقیق سازی در نسبت های مختلف هم ارزی انجام شده و میزان آلاینده NO_x و حدود خاموشی شعله اندازه گیری شده است. نتایج بدست آمده نشان می دهد که رقیق سازی سوخت با نیتروژن بسیار موثر بوده و میزان آلاینده NO_x را تا حدود ۶۴٪ کاهش می دهد.

واژه های کلیدی: NO_x ، نیتروژن، پروپان، رقیق سازی، غیر پیش آمیخته، آزمایشگاهی

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه مکانیک

۲- دانشیار، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی، گروه مکانیک

۳- استادیار، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد مشهد، گروه مکانیک، مشهد، ایران



۱- مقدمه

امروزه به دلیل گسترده‌گی استفاده از سوخت های گازی، بررسی روش های کاهش آلاینده های ناشی از احتراق این نوع سوخت ها مورد توجه محققین قرار گرفته است. NO_x به عنوان یکی از مهمترین آلاینده ای ناشی از احتراق سوخت های گازی محسوب می شود. این آلاینده اثرات مضر بر سیستم تنفسی انسان و محیط زیست داشته و باعث ایجاد باران های اسیدی و مه دود فتوشیمیایی می شود. دو راهکار کلی برای کاهش NO_x وجود دارد. اولین راهکار بهسازی احتراق به منظور محدود کردن تشکیل NO_x در طی فرآیند احتراق می باشد و دومین راهکار تصفیه گازهای خروجی به منظور بازیافت NO_x از گازهای خروجی می باشد [۱]. بسیاری از محققین معتقدند که بهسازی احتراق برای کاهش NO_x کفایت می کند. یکی از روش هایی که به منظور بهسازی احتراق و کاهش NO_x می توان استفاده نمود، رقیق سازی سوخت می باشد. در این روش به دلیل وابستگی زیاد NO_x به دما، سوخت را با یک رقیق کننده که دارای ظرفیت گرمایی بالایی است مخلوط میکنند تا از این طریق ظرفیت گرمایی مخلوط افزایش یافته و دمای محفظه احتراق کاهش یابد تا در نهایت منجر به کاهش میزان NO_x شود [۲]. تا کنون مطالعات متعددی بر روی رقیق سازی انجام گرفته و تاثیر رقیق کننده های مختلفی نظیر CO_2 ، N_2 و H_2O مورد بررسی قرار گرفته است و در این میان، رقیق ساز نیتروژن به دلیل ارزان و ظرفیت گرمایی بالایی که دارد بیشتر مورد توجه و بررسی قرار گرفته است. در سال ۲۰۰۴ سالوادور و همکاران [۳] در تحقیقی به بررسی اثر رقیق سازی با استفاده از نیتروژن بر احتراق متان پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که رقیق سازی با نیتروژن باعث کاهش دمای آدیاباتیک شعله و کسر جرمی موضعی متان شده و میزان آلاینده NO_x را ۶۰٪ کاهش می دهد. در سال ۲۰۰۵ چو و همکارانش [۴] به مطالعه عددی اثر رقیق سازی سوخت در شعله غیر پیش آمیخته پروپان-هوا پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که رقیق ساز CO_2 به دلیل داشتن ظرفیت گرمایی بیشتر، موثرتر از نیتروژن در کاهش آلاینده NO_x است. در سال ۲۰۰۶ کومار و همکارانش [۵] به بررسی اثر رقیق سازی شعله پخشی LPG با استفاده از گاز نیتروژن پرداختند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که رقیق سازی با نیتروژن باعث کاهش چشمگیر آلاینده NO_x و دما شده و طول شعله را افزایش می دهد. آنها همچنین مشاهده کردند که رقیق سازی منجر به کاهش میزان دوده نیز می شود. در سال ۲۰۰۸ پراتاپ و همکارانش [۶] به بررسی اثر رقیق سازی با استفاده از گاز نیتروژن بر سرعت سوخت آرام شعله و پایداری شعله پرداختند. نتایج تحقیق آنها نشان داد که رقیق سازی با نیتروژن منجر به کاهش سرعت سوختن آرام و دمای شعله می شود و پایداری شعله را کاهش می دهد.

در این تحقیق به بررسی آزمایشگاهی اثر رقیق سازی سوخت با استفاده از گاز نیتروژن بر میزان آلاینده NO_x در شعله غیر پیش آمیخته پروپان-هوا پرداخته شده است. نیتروژن گازی ارزان بوده که بیشتر در دسترس می باشد و از این رو در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفته است. از طرفی سوخت پروپان دارای کاربردهای



فراوانی است. این گاز تحت فشار به صورت مایع در آمده و از این لحاظ حمل و نقل آن آسان می باشد. علاوه بر این همانطور که گفته شد شعله بکار رفته در این آزمایش از نوع غیر پیش آمیخته می باشد. در احتراق غیر پیش آمیخته سوخت و هوا پس از ورود به محفظه احتراق با یکدیگر مخلوط می شوند و از این رو به دلیل کنترل بهتر احتراق در آن دارای کاربردهای وسیعی نظیر موتورهای جت، موتورهای دیزل، دیگ های بخار و مشعل ها می باشد [۷]. گسترده گی استفاده از سوخت پروپان و شعله غیر پیش آمیخته باعث گردیده که روش های کنترل آلاینده های حاصل از این نوع شعله ها مورد توجه محققین قرار گیرد [۸].

۲- دستگاه آزمایشگاهی

مطابق شکل (۱) کوره مورد استفاده در این آزمایش از یک محفظه احتراق استوانه ای شکل بطول ۱ متر و قطر داخلی ۰/۱۰۵ متر تشکیل گردیده که از جنس فولاد AISI316 بوده و بدنه آن کاملاً عایق بندی شده است.

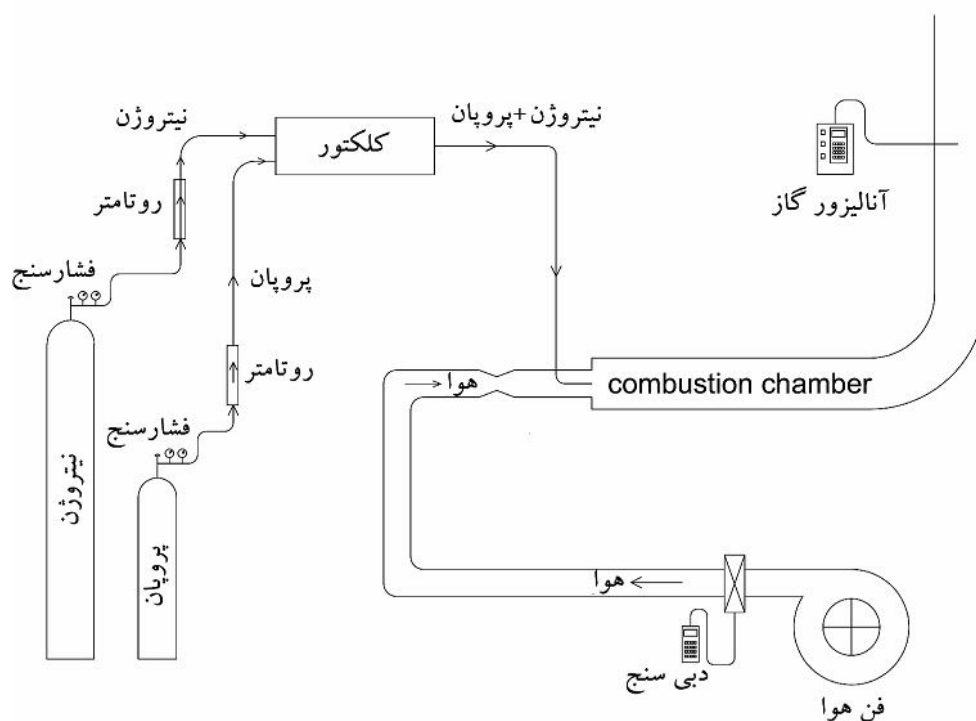


شکل ۱-نمایی از محفظه احتراق

بر روی بدنه کوره، ۱۵ سوراخ به قطر ۰/۰۲ متر و به فاصله ۰/۰۷ متر از یکدیگر تعبیه شده است تا از این طریق بتوان شعله را مشاهده نمود. به منظور ایجاد شعله غیر پیش آمیخته پروپان- هوا، سوخت پروپان از سوراخی به قطر ۰/۰۴ متر و هوا از اطراف آن از طریق لوله ای به قطر ۰/۰۳۵ متر بصورت غیر پیش آمیخته وارد محفظه احتراق می شود. جهت اختلاط پروپان و نیتروژن نیز از یک کلکتور استفاده شده تا در آن نیتروژن و پروپان مخلوط گردیده و عمل رقیق سازی سوخت انجام شود. دو روتامتر با دقت ۰/۰۲lit/min به منظور اندازه گیری دبی پروپان و نیتروژن استفاده شده است تا از این طریق بتوان نسبت رقیق سازی را محاسبه نمود. همچنین برای اندازه گیری دبی هوا یک دبی سنج با دقت ۰/۰۵m/s تا ۰/۱m/s بکار گرفته شده است. جهت اندازه گیری



NO_x در گازهای خروجی نیز دستگاه آنالیزور گاز مدل TESTO350 XL با دقت ppm ۰/۰۵ بکار رفته است. در شکل (۲) قسمت‌های مختلف دستگاه آزمایشگاهی نشان داده شده است.



شکل ۲- قسمت‌های مختلف دستگاه آزمایشگاهی

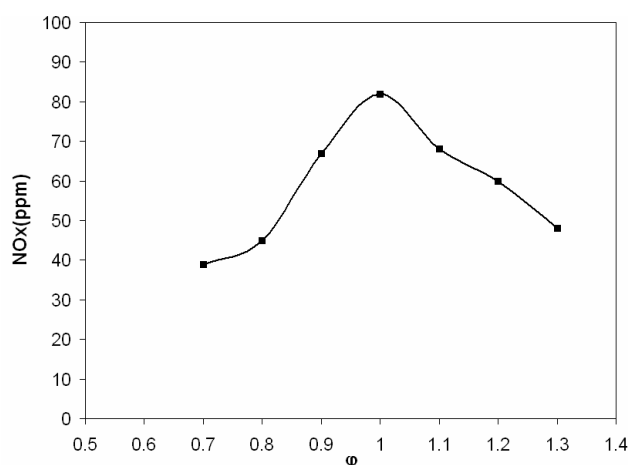
۳- نتایج

مطالعه آزمایشگاهی بدین صورت انجام پذیرفته که در هر یک از نسبت های هم ارزی، رقیق سازی سوخت انجام گرفته و میزان NO_x در گازهای خروجی و حدود خاموشی شعله اندازه گیری شده است. نسبت رقیق سازی (β) در این آزمایش بصورت نسبت تعداد مول های رقیق کننده (نیتروژن) به تعداد مول های سوخت (پروپان) تعریف شده است:

$$\beta = \frac{n_{\text{Diluent}}}{n_{\text{Fuel}}} \quad (۱)$$

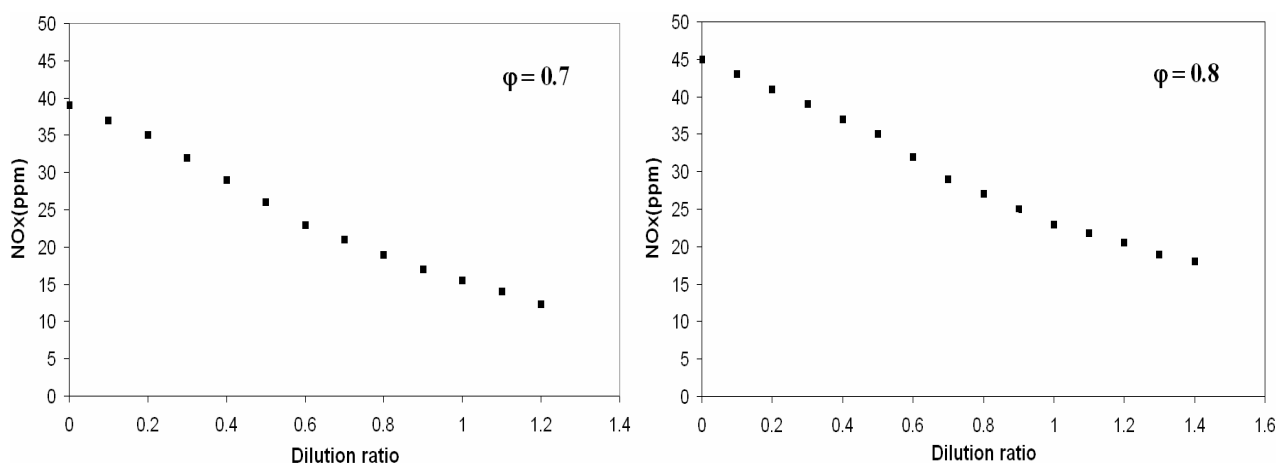


به منظور درک بهتر ارتباط بین نسبت هم ارزی و میزان آلاینده NO_x ، شکل (۳) میزان تغییرات آلاینده NO_x را به ازای نسبت های مختلف هم ارزی در حالت بدون رقیق سازی نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود با افزایش نسبت هم ارزی از ۰/۷ تا ۱ به علت نزدیک شدن به حالت استوکیومتری و افزایش میزان دما، میزان آلاینده NO_x افزایش یافته و پس از آن در نسبت های هم ارزی بزرگتر از ۱ بدلیل افزایش نسبت سوخت به هوا و دور شدن از حالت استوکیومتری دما و NO_x کاهش یافته است.

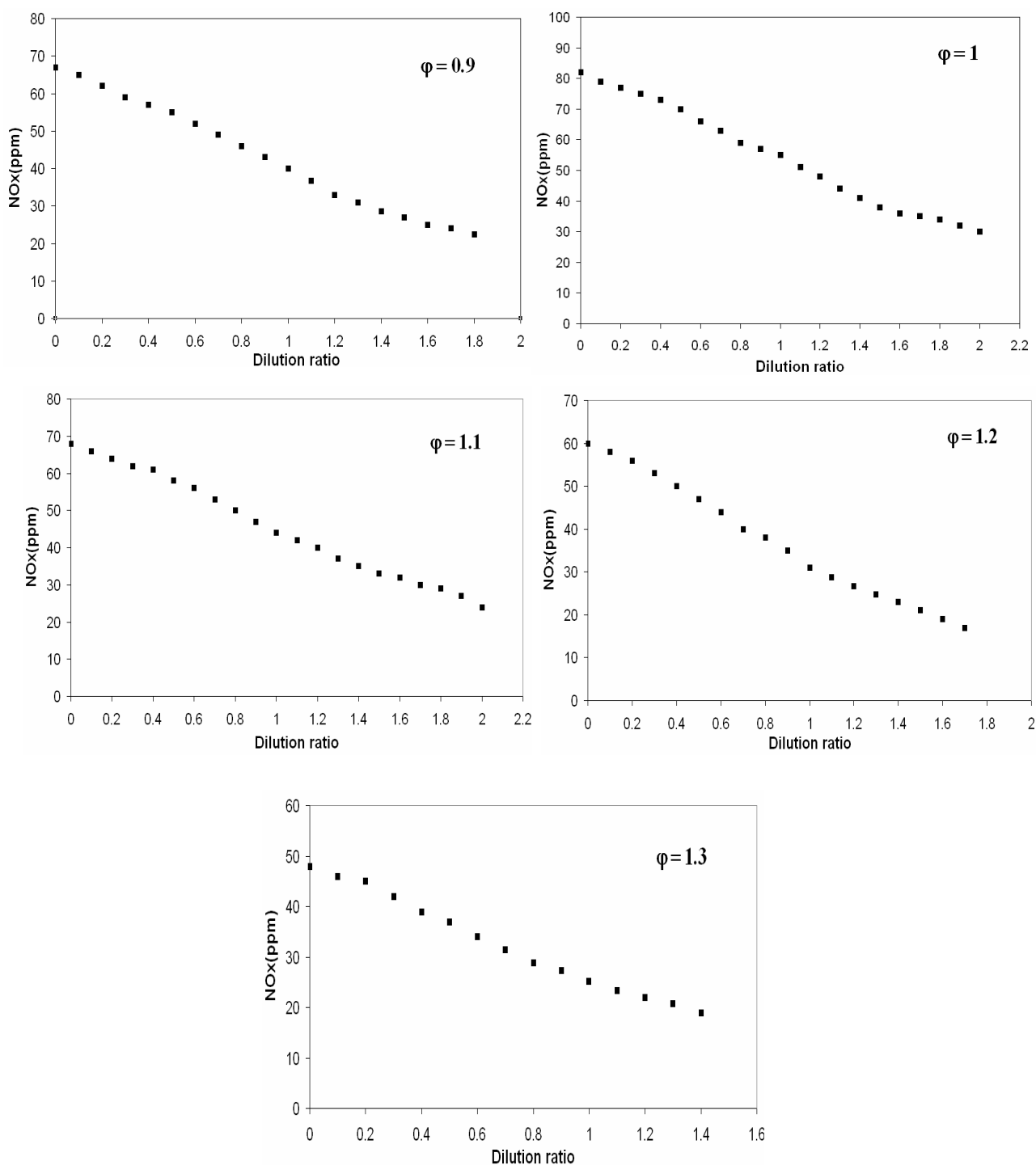


شکل ۳- تغییرات میزان آلاینده NO_x به ازای نسبت های مختلف هم ارزی ϕ در حالت بدون رقیق سازی

شکل (۴) تغییرات میزان آلاینده NO_x را به ازای نسبت های مختلف هم ارزی و رقیق سازی نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود در هر یک از نسبت های هم ارزی با افزایش نسبت رقیق سازی میزان آلاینده NO_x کاهش چشمگیری داشته و به مقدار ۶۴٪ کاهش یافته است که دلیل آن افزایش ظرفیت گرمایی مخلوط و کاهش دمای محفظه احتراق می باشد که کاهش آلاینده NO_x را که وابسته به دما می باشد به دنبال دارد.



شکل ۴- اثر رقیق سازی با نیتروژن بر میزان آلاینده NO_x در نسبت های هم ارزی و رقیق سازی مختلف



شکل ۴- اثر رقیق سازی با نیتروژن بر میزان آلاینده NO_x در نسبت‌های هم ارزی و رقیق سازی مختلف

جدول (۱) حدود خاموشی شعله را در نسبت های هم ارزی مختلف نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود نسبت هم ارزی بر حدود خاموشی شعله تاثیر گذاشته است بدین صورت که رقیق سازی در $\phi < 1$ باعث



کاهش کسر جرمی سوخت و کاهش دما شده که خاموشی شعله را به همراه داشته ضمن اینکه در $\phi > 1$ نیز بدلیل کاهش هوای مورد نیاز و کاهش دما، خاموشی شعله رخ داده است.

جدول ۱: حدود خاموشی شعله به ازای نسبت های هم ارزی و رقیق سازی مختلف

ϕ	β
۰/۷	۱/۲
۰/۸	۱/۴
۰/۹	۱/۸
۱	۲
۱/۱	۲
۱/۲	۱/۷
۱/۳	۱/۴

۴- نتیجه گیری:

در این تحقیق اثر رقیق سازی سوخت با استفاده از گاز نیتروژن بر میزان آلاینده NO_x در شعله غیر پیش آمیخته پروپان-هوا بصورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده نشان داد: رقیق سازی با نیتروژن اثر چشمگیری در کاهش NO_x داشته و میزان آن را در حدود ۶۴٪ کاهش داده است که دلیل آن افزایش ظرفیت گرمایی مخلوط و کاهش دمای محفظه احتراق می باشد که کاهش آلاینده NO_x را که وابسته به دما می باشد به دنبال داشته است. در هر یک از نسبت های هم ارزی، در نسبت مشخصی از رقیق سازی، خاموشی شعله رخ داده است که دلیل آن کاهش دما و کسر جرمی سوخت در $\phi < 1$ و کاهش دما و میزان هوا در $\phi > 1$ می باشد.

مراجع

- [1] G. Parkinson, NO_x Control: Many new systems undergo trials, J.Chemical Engineering. 5 (1981) 39-43.
- [2] G. Liuzzo, N. Verdone, M. Bravi, The Benefits of Flue Gas Recirculation in Waste Incineration, J.waste management. 27 (2007) 106-116.
- [3] S. Salvador, Y. Kara, J. M. Commandre, Reduction of NO Emissions from a VOC Recuperative Incinerator by Dilution of the Fuel Supply, J. Applied Thermal Engineering. 24 (2004) 245-254.
- [4] E. S. Cho, S. H. Chung, E. Seong, Numerical Study on NO_x Emission with Flue Gas Dilution in Air and Fuel Sides, J. Mechanical Science and Technology. 19 (2005) 1358-1365.
- [5] P. Kumar, D. P. Mishra,, Characterization of bluff-body stabilized LPG jet diffusion flame with N_2 dilution, J. Energy Conversion and Management. 49 (2008) 2698-2703.



- [6] C. Prathap, A. Ray, M. R. Ravi, Investigation of Nitrogen Dilution Effects on the Laminar Burning Velocity and Flame Stability of Syngas Fuel at Atmospheric Condition, Combustion and Flame. 155 (2008) 145-160.
- [7] J. Warnatz, U. Mass, R. W. Dibble, Combustion, third ed., Springer-Verlag, Berlin, 2001.
- [8] C. Tang, G. Zheng, Z. Huang, J. Wang, Study on Nitrogen Diluted Propane-air Premixed Flames at Elevated Pressures and Temperatures , Energy Conversion and Management. 51 (2010) 288-295.



Experimental study of the effect of nitrogen dilution on NO_x emission in propane-air non-premixed flame

Abdolrasoul Rangrazi¹, Hamid Niazmand¹, Hamid Momahedi Heravi²

¹Department of Mechanical Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

²Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University, Mashhad Branch, Iran

rasoul_rangrazi@yahoo.com

Abstract

NO_x emission, as one the main pollutants resulting from fossil fuel combustion, have been always studied by researchers in the field of combustion. One of the methods to reduce the NO_x emission is dilution. Dilution increases the heat capacity of the mixture in the combustion chamber, which in turn, decreases the temperature of the combustion chamber and consequently, the NO_x emission decreases. In this paper experimental investigation of nitrogen dilution effects on NO_x emission production in propane-air non-premixed flame in a cylindrical combustion chamber is conducted. Dilution is performed over a wide range of dilution and equivalence ratios. Results show nitrogen dilution decreases NO_x emission with an average of 64%.

Keywords: NO_x, nitrogen dilution, propane, non-premixed, experimental