

بررسی آزمایشگاهی اثر تزریق هوای تازه به گازهای خروجی بر میزان کاهش آلاینده ها

کاظم بشیرنژاد^{۱*}، علیرضا میرصدرائی^۲

دانشگاه آزاد اسلامی - واحد مشهد، گروه مکانیک

(* نویسنده مخاطب: bashirnezhad@yahoo.com)

چکیده

در این مقاله اندازه گیری آزمایشگاهی اثر تزریق هوای تازه به گازهای خروجی یک موتور احتراق داخلی بر روی میزان کاهش آلاینده ها شامل منوکسید کربن، هیدروکربن های نسوخته و اکسیدهای ازت ارائه شده است. نتایج آزمایشگاهی در یک مبدل شیمیایی که به همین منظور طراحی و ساخته شده و در خروجی یک موتور اشتعال جرقه ای نصب شده است، انجام گرفته است. در این مبدل شیمیایی گازهای خروجی موتور از یک طرف و هوای تازه گرم شده از طرف دیگر وارد شده و باعث کاهش آلاینده های موتور می شود. کلیه نتایج آزمایشگاهی در شرایط پایدار انجام شده است. جهت اطمینان از صحت نتایج، کلیه اندازه گیریها به دفعات تکرار شده تا احتمال وجود خطا در نتایج کاهش یابد. نتایج نشان می دهند عملکرد مبدل شیمیایی علاوه بر عوامل مختلف فیزیکی و هندسی به نسبت هم ارزی در گازهای ورودی به دمای هوای ورودی و همچنین زاویه ورود هوای تازه به مبدل بستگی دارد. نتایج نشان می دهند با افزایش دمای هوای تازه ورودی به مبدل عملکرد مبدل افزایش یافته و میزان آلاینده های خروجی از مبدل کاهش می یابد. همچنین نتایج نشان می دهند که بیشترین اثر مبدل شیمیایی قرار گرفته در آگروز بر روی منوکسیدکربن و هیدروکربن های نسوخته می باشد و اکسیدهای ازت تغییرات ناچیزی داشته است. زاویه ورود هوا به مبدل بر روی عملکرد مبدل موثر بوده و ابتدا با افزایش زاویه ورودی عملکرد مبدل افزایش و سپس کاهش می یابد بطوریکه بهترین زاویه ورود هوا به مبدل ۶۰ درجه می باشد. با تزریق هوای تازه به میزان ۸۰٪ هوای احتراق کاهش منوکسید کربن و هیدروکربن های نسوخته به حداکثر رسیده و هوای تازه بیشتر تاثیری بر روی کاهش آلاینده ها ندارد.

واژه های کلیدی: تزریق هوای ثانویه، نسبت هم ارزی، مبدل شیمیایی، منوکسیدکربن

۱- مقدمه

آلودگی هوا یکی از معضلات و تهدیدهای اصلی دنیای صنعتی امروز است. طراحی سیستم های پس تصفیه در خودروها به منظور دستیابی به محدوده قوانین کنترل آلاینده ها موضوعی است که در چند دهه اخیر مورد تحقیق، بررسی و توجه قرار گرفته است که از آن جمله می توان به قرار دادن کاتالیست در خروجی موتور اشاره کرد. با توجه به مشکلات مربوط به مبدل های کاتالیستی از جمله قیمت و هزینه بالای سرویس و نگهداری، سیستم تزریق هوای ثانویه بجای مبدل کاتالیستی و یا در کنار آن، راهی جدید و قابل بحث و بررسی است. این روش برای انواع موتورهای از جمله موتورهای اشتعال جرقه ای، اشتعال تراکمی و همچنین موتورهای چهارزمانه و دو زمانه کارایی دارد [۱].

^۱ - استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد

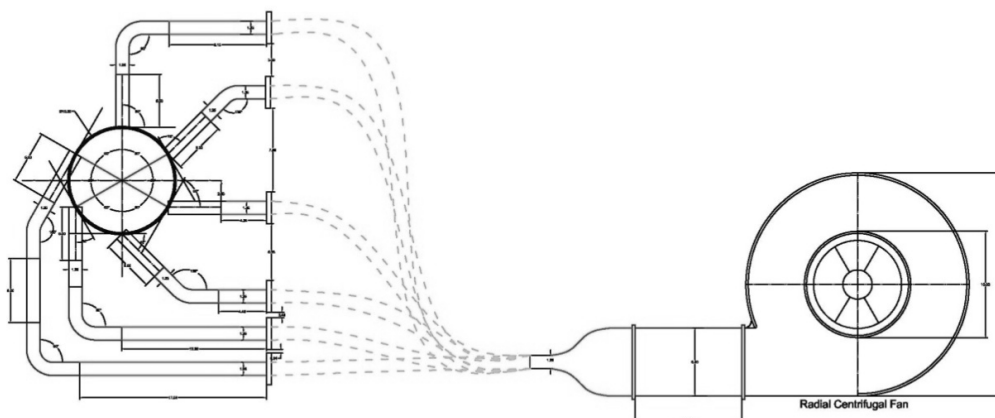
^۲ - کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد مشهد

اخیراً استفاده از سیستم تزریق هوای ثانویه جهت کاهش منوکسیدکربن و هیدروکربن‌های نسوخته خروجی از موتور توسعه یافته است و توسط محققین مختلف از جمله مارتیر و همکارانش مورد بررسی قرار گرفته است [۲]. مبدل‌های شیمیایی از یک محفظه جهت تزریق هوای ثانویه به گازهای حاصل از احتراق موتور تشکیل شده‌اند. این مبدل‌ها هم به تنهایی و هم همراه با کاتالیست استفاده می‌شوند. استفاده از آنها قبل از ورود گازهای احتراق به کاتالیست موجب افزایش بازدهی و کاهش بیشتر آلاینده‌ها به علت گرم کردن صفحات مبدل کاتالیستی می‌شود. در شروع کار موتور تولید و انتشار گازهای آلاینده بسیار شدید بوده و متأسفانه کاتالیست هم به دلیل سرد بودن به خوبی عمل نکرده و گازهای آلاینده به محیط منتشر می‌شوند. تزریق هوای ثانویه باعث افزایش دمای دود و گرم شدن صفحات کاتالیست شده و در نتیجه مبدل کاتالیستی را سریعتر به دمای کارکرد نزدیک می‌کند. زمانیکه موتور گرم شد، هوای پیش گرم شده به پائین دست جریان دود خروجی تزریق می‌شود تا اکسیداسیون هیدروکربن‌های نسوخته و منواکسید کربن انجام پذیرد [۳-۶].

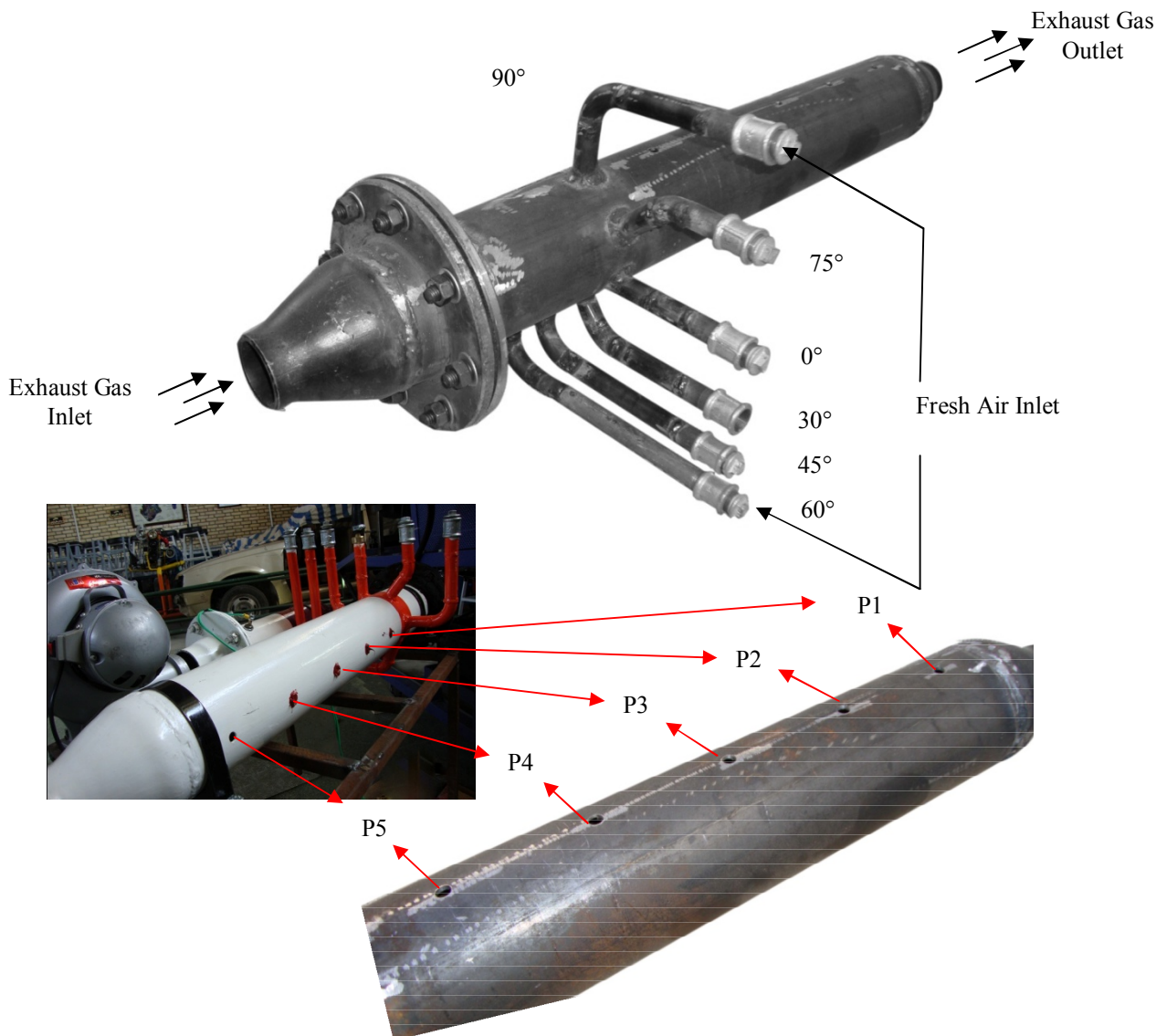
با وجودیکه تحقیقات مختلفی بر روی مبدل شیمیایی و سیستم تزریق هوای تازه به آن صورت پذیرفته است ولی به دلیل پیچیده بودن واکنش‌های شیمیایی و همچنین وجود پارامترهای مختلف موثر در سیستم تزریق هوای تازه به مبدل شیمیایی هنوز به داده‌های آزمایشگاهی برای هر موتور خاص نیاز می‌باشد. لذا در این پژوهش یک مبدل شیمیایی جدید با الهام از طرح‌های مشابه طراحی و ساخته شده که قابلیت اندازه‌گیری عوامل موثر بر واکنش‌های شیمیایی را دارد [۵-۱]. و پارامترهای مختلف موثر بر کاهش آلاینده‌ها و عملکرد مبدل شیمیایی مورد مطالعه قرار گرفته است.

۲- دستگاه آزمایشگاهی

مبدل شیمیایی از یک محفظه اختلاط، محفظه پیش گرم کننده هوای تازه، فن سانتریفوژ، نازل ورودی هوای تازه با زوایای مختلف، هیتر گرم کننده هوای تازه، ترمومتر و دبی سنج تشکیل شده است. فن دمنده مورد استفاده در آزمایشات، فن سانتریفوژ شعاعی بوده که دارای خروجی به قطر ۲.۵ اینچ است و این فن با استفاده از یک شیر کنترل جریان میزان هوای تازه ورودی را تنظیم می‌نماید. یک هیتر الکتریکی که قابلیت گرم کردن هوای تازه تا ۷۰۰ درجه سانتیگراد را دارد در مسیر ورود هوای تازه و در داخل محفظه پیش گرم قرار گرفته است. بدنه مبدل شیمیایی از یک لوله فولادی به قطر ۴ اینچ و طول ۷۵ سانتیمتر می‌باشد. بر روی محیط لوله به فاصله ۱۵ سانتیمتری از ابتدای آن، ورودی هوا قرار گرفته تا بتوان هوای تازه را در زوایای مختلف به مبدل شیمیایی وارد کرد و اثرات آن را بررسی نمود. لوله‌های ارتباطی کاملاً درزبندی شده تا از وجود منافذ و ایجاد خطا در اندازه‌گیری‌ها جلوگیری گردد، در شکل ۱ شماتیک دستگاه آزمایشگاهی و در شکل ۲ تصویر دستگاه آزمایشگاهی را با نازل‌های لازم جهت ورود هوای ثانویه در زوایای مختلف صفر، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵ و ۹۰ درجه نشان می‌دهد. این مبدل شامل نقاطی جهت نصب پروب گاز آنالایزر می‌باشد که با نقاط P1 الی P5 در شکل ۲ مشخص شده است.



شکل ۱: شماتیک دستگاه آزمایشگاهی مبدل شیمیایی با سیستم تزریق هوای تازه



شکل ۲: تصویر و جزئیات دستگاه آزمایشگاهی مبدل شیمیایی با سیستم تزریق هوای تازه

در جدول ۱ مشخصات موتور استفاده شده در اندازه گیری های آزمایشگاهی ارائه شده است.

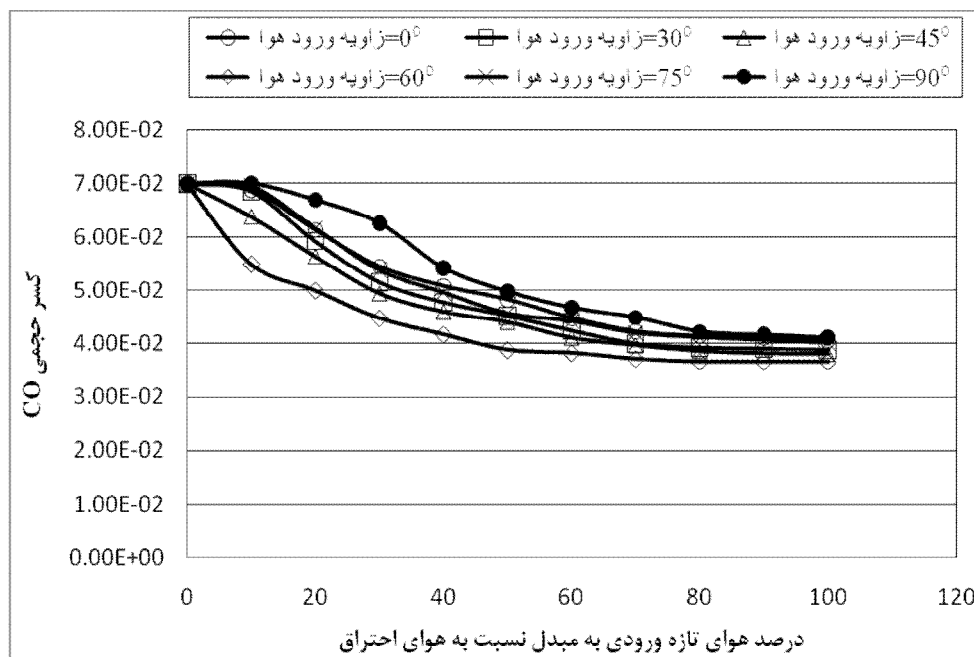
جدول ۱: مشخصات فنی موتور مورد آزمایش

حداکثر توان	۵۲ اسب بخار در دور ۵۵۰۰
قطر و کورس سیلندر	۶/۸۳ × ۷۱ میلیمتر
نوع سیلندر	۴ سیلندر خطی
نسبت تراکم	۹.۷ : ۱
تعداد سیلندر	۴ سیلندر
حجم موتور	۱۳۲۳ سی سی

دبی و دمای هوای تازه و گاز های احتراق قبل از ورود به مبدل شیمیایی و بعد از آن اندازه گیری می شود. ترکیبات گاز های احتراق موتور و مخلوط بعد از مبدل توسط دستگاه آنالیز کننده گاز اندازه گیری می شود. گونه های شیمیایی اندازه گیری شده شامل دی اکسید کربن، منوکسید کربن، اکسید های ازت، هیدروکربن های نسوخته و اکسیژن می باشد. کلیه وسایل اندازه گیری قبل از استفاده کالیبره شده و صحت عملکرد آنها بررسی شده است. جهت اطمینان از نتایج اندازه گیری ها کلیه آزمایشات سه بار تکرار شده و در حین آزمایش اگر داده ای از سایر داده های اندازه گیری شده در همان شرایط تفاوت زیادی داشته است اندازه گیری های بیشتری انجام پذیرفته است. میزان خطای اندازه گیری ها محاسبه شده و حداکثر خطا در داده های اندازه گیری ۸٪ بوده است.

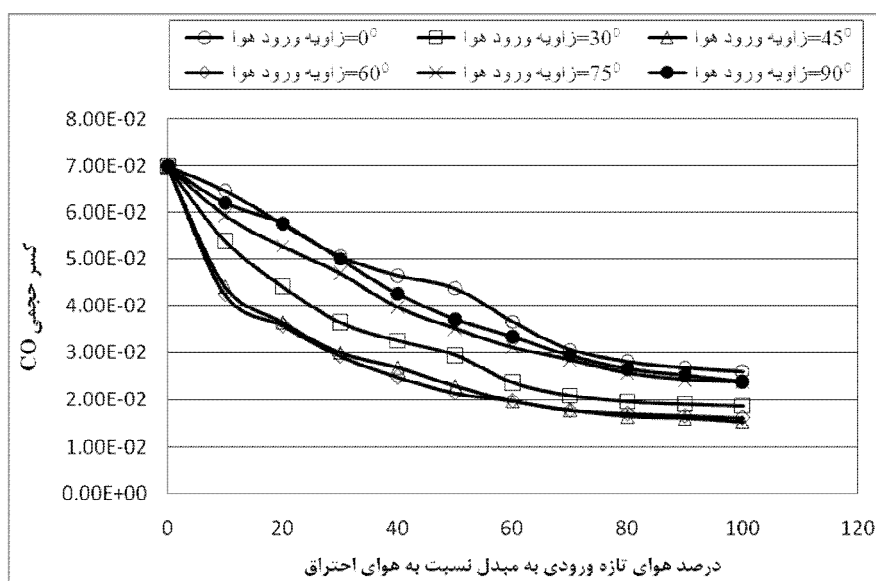
۳- نتایج

نتایج اندازه گیری اثر زاویه هوای ورودی صفر، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵ و ۹۰ درجه و در سه دمای ۳۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ درجه سانتیگراد بر روی میزان کاهش آلاینده ها ارائه شده است. با توجه به اینکه میزان اکسیدهای ازت تغییرات محسوسی نداشته است بنابراین فقط تغییرات منوکسید کربن و هیدروکربن های نسوخته ارائه شده است. اثر زاویه ورود هوای تازه به مبدل بر روی میزان کاهش CO در دمای ۳۰ درجه سانتیگراد در شکل ۳ نشان داده شده است. هوای تازه ورودی از صفر درصد تا صد درصد هوای احتراق تغییر نموده و در محور افقی نمودار قرار گرفته است و محور عمودی کسر حجمی CO را نشان می دهد. نتایج نشان می دهد که با افزایش میزان هوای تازه ورودی مقدار منوکسید کربن کاهش یافته است. بطوریکه با افزایش هوای تازه ابتدا کاهش شدیدی در میزان منوکسید کربن اتفاق افتاده و سپس از شدت آن کاهش یافته است. نتایج همچنین نشان می دهند که برای کلیه زوایای ورودی هوا، میزان منوکسید کربن کاهش یافته است و در زاویه ورودی ۴۵ درجه بیشترین میزان کاهش اتفاق افتاده است.

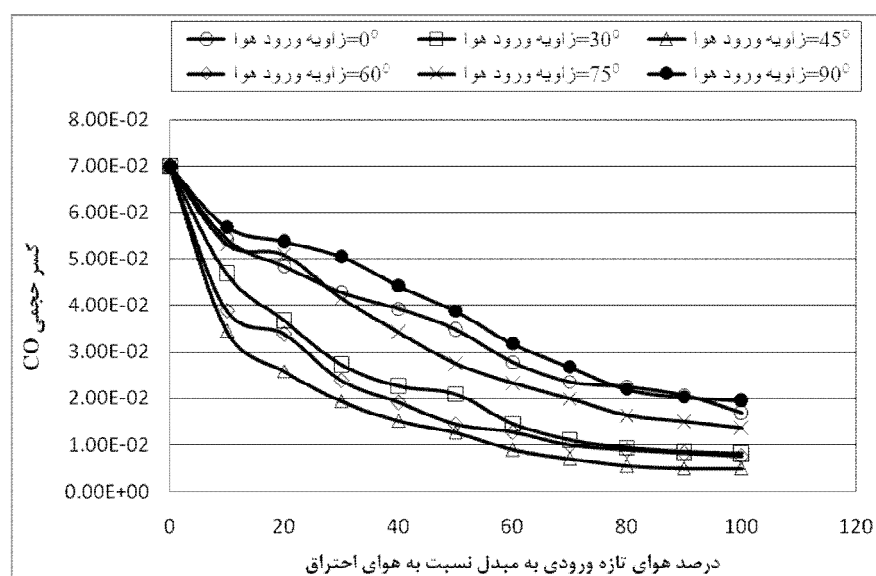


شکل ۳: نتایج اندازه گیری اثر زاویه ورود هوا به مبدل در دمای ورودی ۳۰ درجه

اثر زاویه ورود هوای تازه به مبدل بر روی میزان کاهش CO در دمای ۱۵۰ و ۳۰۰ درجه سانتیگراد در شکل ۴ و ۵ نشان داده شده است. نتایج مشابه دمای هوای ورودی ۳۰ درجه نشان می دهند که برای کلیه زوایای ورودی هوا، میزان منوکسید کربن کاهش یافته است اما در زاویه ورودی ۶۰ درجه بیشترین میزان کاهش منوکسید کربن برای هر دو دمای هوای ورودی ۱۵۰ و ۳۰۰ درجه سانتیگراد اتفاق افتاده است. مقایسه سه نمودار ۳، ۴ و ۵ نشان می دهد که هر چه دمای هوای تازه ورودی افزایش یابد اختلاف بین مقادیر کاهش منوکسید کربن در زوایای مختلف افزایش یافته است. این بدان علت است با افزایش دمای هوای تازه ورودی واکنش های تکمیلی تبدیل CO به CO₂ افزایش یافته است و اختلاط بین هوای تازه و گازهای خروجی نقش مهمتری را ایفا می کنند. بطوریکه اختلاف بین مقادیر CO خروجی از مبدل در زوایای مختلف برای دمای هوای ورودی ۳۰، ۱۵۰ و ۳۰۰ درجه سانتیگراد به ترتیب ۰.۱۰٪، ۰.۱۷٪ و ۰.۳۵٪ می باشد.

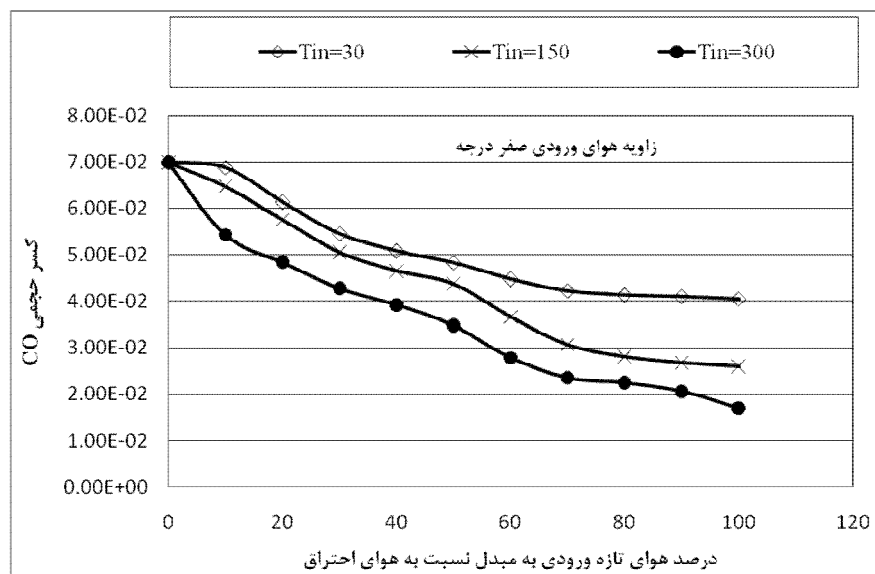


شکل ۴: نتایج اندازه گیری اثر زاویه ورود هوا به مبدل در دمای ورودی ۱۵۰ درجه

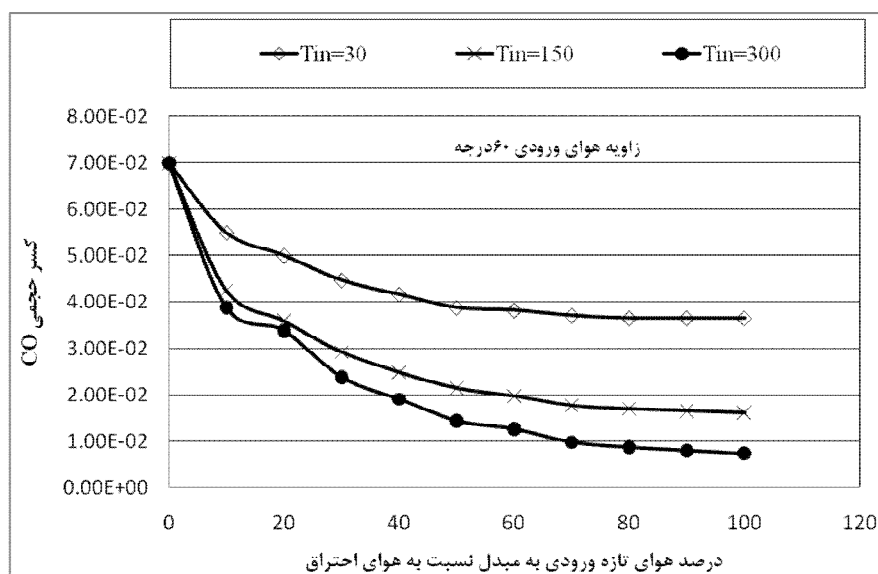


شکل ۵: نتایج اندازه گیری اثر زاویه ورود هوا به مبدل در دمای ورودی ۳۰۰ درجه

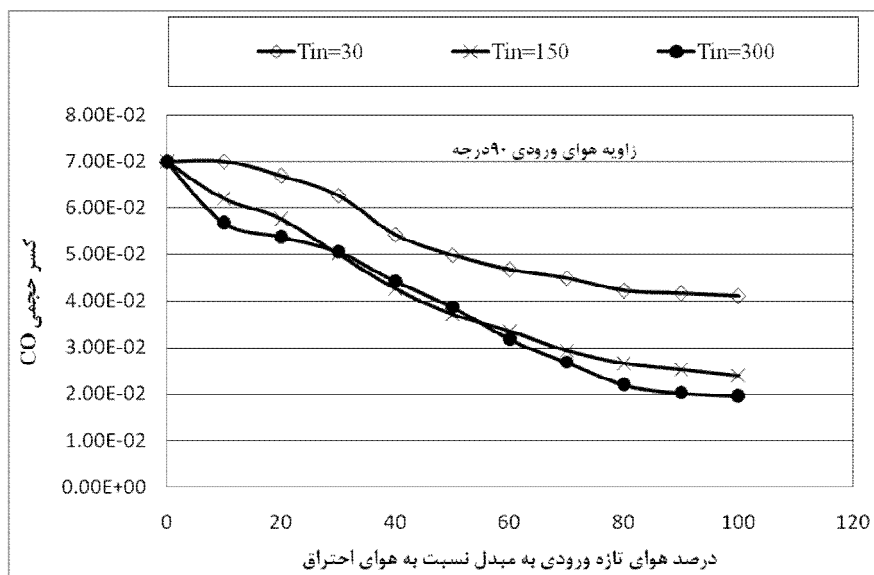
در شکل ۶، ۷ و ۸ اثر دمای هوای ورودی بر روی کاهش منوکسید کربن برای زاویه صفر، ۶۰ و ۹۰ درجه به ترتیب نشان داده شده است. همانطور که در هر سه شکل مشخص است بیشترین مقدار کاهش منوکسید کربن در دمای ۳۰۰ درجه و کمترین تغییرات در دمای ۳۰ درجه اتفاق افتاده است. نتایج نشان می دهند که با تزریق هوای تازه به میزان ۸۰٪ هوای احتراق بیشترین مقدار کاهش منوکسید کربن در کلیه دما ها و زاویه ورودی ۶۰ و ۹۰ درجه اتفاق افتاده است و با افزایش بیشتر هوا تاثیر چندانی در کاهش منوکسید کربن دیده نمی شود در صورتیکه در زاویه هوای ورودی صفر درجه این موضوع وجود ندارد.



شکل ۶: نتایج اندازه گیری اثر زاویه ورود هوا به مبدل در زاویه ورودی صفر درجه

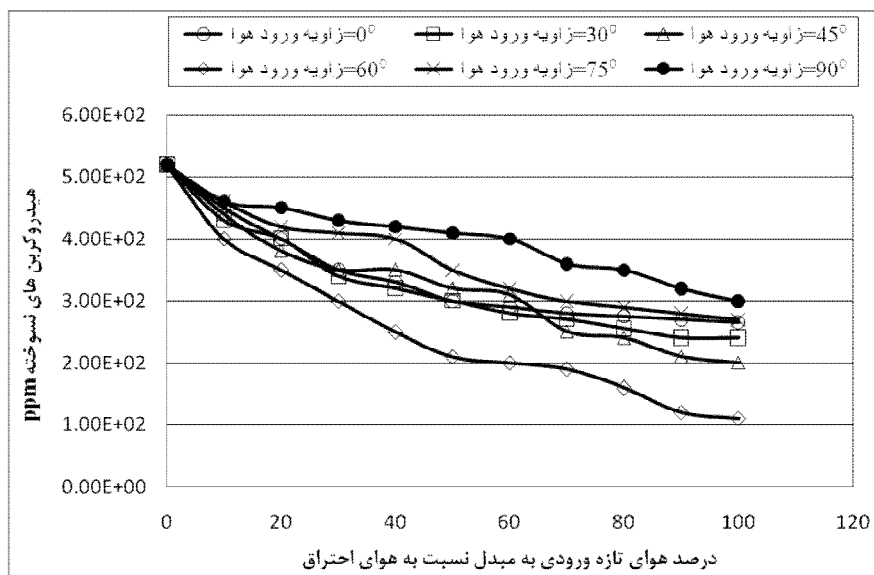


شکل ۷: نتایج اندازه گیری اثر زاویه ورود هوا به مبدل در زاویه ورودی ۶۰ درجه



شکل ۸: نتایج اندازه گیری اثر زاویه ورود هوا به مبدل در زاویه ورودی ۹۰ درجه

در شکل ۹ اثر تزریق هوا بر میزان کاهش هیدروکربن های نسوخته را در دمای هوای ورودی ۳۰۰ درجه سانتیگراد نشان می دهد. نتایج نشان می دهند میزان کاهش هیدروکربن های نسوخته در زاویه ۶۰ درجه سانتیگراد بیشینه بوده است. همچنین با افزایش هوای تازه ورودی برای کلیه زوایا مقادیر هیدروکربن های نسوخته کاهش یافته است.



شکل ۹: اثر تزریق هوا بر ppm هیدروکربن های نسوخته

۴- نتیجه گیری

اثر زاویه ورود هوا، مقدار هوا و دمای هوای تازه به مبدل شیمیایی بر روی میزان کاهش آلاینده ها مورد بررسی آزمایشگاهی قرار گرفته است. نتایج نشان می دهند زاویه ورود، مقدار و دمای هوای تازه ورودی به مبدل بر روی میزان آلاینده ها موثر می باشد.

نتایج نشان می دهند زاویه ورود هوا به مبدل بر روی کاهش آلاینده ها نقش مهمی ایفا می کند بطوریکه در دمای هوای ۳۰ درجه سانتیگراد زاویه ۴۵ درجه و در دمای ۱۵۰ و ۳۰۰ درجه سانتیگراد زاویه ۶۰ درجه بهترین نتایج کاهش منوکسید کربن و هیدروکربن های نسوخته را دارد. همچنین نتایج نشان می دهند دمای هوای ورودی نیز بر روی کاهش آلاینده ها مهم می باشد و با افزایش دما عملکرد مبدل شیمیایی نیز افزایش می یابد.

نتایج نشان می دهند که با تزریق هوای ثانویه به مقدار ۸۰٪ هوای احتراق واکنش های اکسیداسیون مربوط به منوکسیدکربن و هیدروکربن های نسوخته بیشینه می شود و افزایش بیشتر هوای ورودی تاثیر چندانی بر میزان کاهش آلاینده ها ندارد.

آزمایشات انجام شده نشان می دهند که با تزریق هوای تازه به مبدل به میزان ۸۰٪ هوای احتراق و زاویه ۶۰ درجه و دمای ۳۰۰ درجه سانتیگراد مقدار کاهش منوکسید کربن ۹۵٪ و هیدروکربن های نسوخته ۹۰٪ کاهش یافته است که بهترین عملکرد مبدل را نشان می دهد.

با توجه به کاهش چشمگیر آلاینده ها در این مبدل می توان از آن در خودرو های موجود که مجهز به سیستم کاتالیست نیستند استفاده نمود و همچنین با استفاده از آن قبل از مبدل کاتالیستی، میزان آلاینده ها کاهش و طول عمر مبدل کاتالیستی افزایش خواهد یافت.

مراجع

- 1- Ferrari, G., Onorati, A., Piscaglia, F., *Fluid Dynamics Simulation of a Six Cylinder SI Engine with Secondary Air Injection in Exhaust After Treatment System*, 2006.
- 2- Martyr A. J., Plint, M. A., *Engine Testing*, Third Edition, Oxford, Butterworth-Heinetmann, Jordan Hill, 2007.
- 3- Son, G. S., and Kim A., "*A Study on the Practability of a Secondary Air Injection for Emission Reduction*", the International Spring Fuels and Lubricants Meeting, Dearborn, Michigan, 1999.
- 4- Pekrul et al, "*Engine Exhaust System with Secondary Air Injection System*", Patent US 2007/02404044 A1, 2007.
- 5- Turns, S. R., *An Introduction to Combustion: Concepts and Applications*. McGraw Hill Book Co., 2000.
- 6- Gupta H. N., *Fundamentals of Internal Combustion Engines*, New Delhi, Prentice, Hall of India, 2006.