

بررسی اثر بازگشت گازهای خروجی به محفظه احتراق بر تشکیل آلاینده ها

افشین فهیمی راد^۱، حمید ممهدی هروی^۲، کاظم بشیر نژاد^۳

دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه آزاد اسلامی مشهد
Afshin_fahimi_rad@yahoo.com

چکیده

بازگشت گازهای خروجی (FGR) به محفظه احتراق دمای شعله را کاهش داده و بدین وسیله نرخ واکنش را نیز کم می کند که نتیجه آن کاهش در تولید NO_x حرارتی و CO است. با بازگشت گازهای خروجی به محفظه احتراق، به علت گرم بودن گازهای بازگشتی، موجب پیش گرمایش هوای ورودی شده و احتراق را به سمت احتراق کامل هدایت می کند. ضمناً هیدروکربن های نسوخته (UHC) موجود در گازهای بازگشتی مجدداً وارد واکنش شده و کاهش چشمگیری در انتشار هیدروکربن های نسوخته مشاهده می شود. در تحقیق حاضر، هدف بررسی تشکیل آلاینده ها در احتراق متان - هوا با استفاده از کد Premix نرم افزار CHEMKIN است. درصد گازهای بازگشتی از ۰ تا ۲۰ درصد و نسبت هم ارزی از ۰.۸ تا ۱.۳ متغیر است. نتایج نشان می دهد که با افزایش درصد حضور گازهای بازگردانده شده به محفظه احتراق، دما و آلاینده ها کاهش می یابند. جهت صحت گذاری بر درستی این شبیه سازی ها، نتایج حاصله با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده است که توافق مناسبی را نشان می دهد.

واژه های کلیدی: گازهای بازگشتی - محفظه احتراق - آلاینده ها - شبیه سازی

۱- مقدمه

در انواع اکسیدهای نیتروژن، NO_2 و N_2O تاثیر مخرب بیشتری روی اتمسفر دارند. در کوره ها عموماً NO تولید می شود، که خود NO در هوا واکنش داده و به تدریج به NO_2 تبدیل می شود [1]. کوره ها چون تحت شرایط پر اکسیژن کار می کنند، شرایط برای تولید NO_x فوری فراهم نبوده و به این دلیل که سوخت های گازی حاوی نیتروژن نیستند NO_x سوخت تشکیل نمی شود و اغلب NO_x حرارتی تولید می شود [2]. به دلیل اینکه دمای بالای شعله سبب تفکیک نیتروژن موجود در هوا و ترکیب آن با اکسیژن موجود می شود، تولید NO حرارتی به شدت به دما حساس است و در معادله تشکیل NO دما به صورت تابعی نمایی نقش دارد و در دماهای بالای ۱۷۰۰ درجه کلوین به ازای هر ۴۰ درجه افزایش دما تولید NO دو برابر خواهد شد و نیز به علت انرژی اکتیواسیون بالای مکانیزم تشکیل NO اگر تکنیکی موجب کاهش دمای شعله شود، عاملی موثر جهت کاهش تشکیل NO_x است [3,4]. بازگشت گازهای خروجی تکنیکی موثر در صنایع است، که بخشی از گازهای خروجی به وسیله فن دما بالا مجدداً به درون محفظه احتراق یا هوای احتراق تزریق می شود. با تزریق گازهای خروجی، سنگینی گازهایی که در احتراق شرکت ندارند افزایش یافته که همین امر سبب کاهش حداکثر دمای شعله

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک تبدیل انرژی دانشکده مهندسی دانشگاه آزاد مشهد

۲- استادیار بخش مکانیک دانشکده مهندسی دانشگاه آزاد مشهد

۳- استادیار بخش مکانیک دانشکده مهندسی دانشگاه آزاد مشهد

می شود [5]. از جمله گازهای مهم موجود در گازهای برگشتی که سبب رقیق سازی مخلوط سوخت و هوا و کاهش غلظت اکسیژن می شوند، گونه های CO_2 و H_2O هستند که ظرفیت حرارتی بالای این گونه ها سبب افزایش ظرفیت حرارتی مخلوط، جذب حرارت ناشی از احتراق و در نتیجه کاهش دمای شعله و NO_x تولیدی می شود. احتراق ناقص عامل اصلی تولید CO و UHC می باشد و هر روشی که بر کاهش تولید CO موثر باشد، بر کاهش UHC نیز موثر است. ورود هیدروکربن های نسوخته به بدن سبب جایگزینی مواد شیمیایی با اکسیژن در بدن می شود، که این مسئله خود به خود باعث بروز و تشدید انواع بیماریها از جمله سرطان می شود. در احتراق متان، ورود متان و سایر هیدروکربن های نسوخته ی ناشی از احتراق از طریق دودکش به محیط زیست، علاوه بر تاثیرات سوء یاد شده، سبب اکسید شدن متان در جو به CO_2 می شود که گازی گلخانه ای است. در این فرآیند رادیکال OH دخالت دارد که می توان نتیجه گرفت متان در فرآیند نور شیمی و تولید ازن ترپوسفری موثر است. اگر این اکسیداسیون در حضور NO_x با غلظت زیاد اتفاق بیافتد ازن تولید می شود و اگر غلظت NO_x کم باشد ازن مصرف می شود. همچنین به دلیل میل ترکیبی بالای منوکسیدکربن با هموگلوبین خون که حدود ۲۲۰ برابر اکسیژن است، وجود منوکسید کربن در محیط موجب مسمومیت شده، که منجر به اختلال در شبکه عصبی و در نسبت های بالا مرگ می شود [6]. به همین دلیل کنترل و کاهش CO و UHC شکل گرفته بسیار مهم است. بازگشت گازهای خروجی با کم کردن دمای محفظه احتراق موجب کاهش واکنش تفکیک CO_2 شده و همچنین CO موجود در گونه های برگشتی با مولکول اکسیژن و رادیکالهایی نظیر O و OH واکنش داده و تولید CO_2 می کند. بازگشت گازهای خروجی به محفظه احتراق به سبب وجود رادیکال های آزاد موجود در گازهای بازگشتی و دمای بالای گازهای بازگشتی در مقیاس با هوای ورودی، که نوعی پیش گرم هوا به حساب می آید، احتراق را به سمت احتراق کامل هدایت می کند که همین امر موجب کاهش در هیدروکربن های نسوخته و منوکسید کربن می شود. اگرچه از روش بازگشت گازهای خروجی به محفظه احتراق به عنوان نوعی رقیق سازی نام می برند، اما مزیت هایی نسبت به روش رقیق سازی دارد که از جمله می توان به صرفه جویی در هزینه به علت استفاده از گازهای احتراق به عنوان رقیق ساز، صرفه جویی در مصرف سوخت و نیز به علت گرم بودن گازهای بازگشتی و پیش گرمایش هوای ورودی سبب افزایش راندمان احتراق می شود.

۲- شبیه سازی عددی

در مطالعه حاضر، به منظور بررسی تاثیر گازهای بازگشتی بر آلاینده های تولیدی شعله متان-هوا از کد آماده Premix در نرم افزار CHEMKIN II استفاده شده است. در شبیه سازی ها از مکانیزم تفصیلی GRI-MECH3.0 [7] بهره گرفته شده است. GRI-MECH3.0 شامل ۵۳ گونه و ۳۲۵ واکنش است. مشخصات شبکه مش بندی در این شبیه سازی، $\text{GRAD}=0.9$ و $\text{CURV}=0.9$ است و معیارهای خطای نسبی و مطلق به ترتیب، $\text{RTOL}=1\text{E}-4$ و $\text{ATOL}=1\text{E}-9$ می باشد. با توجه به خروجی برنامه از حالت بدون بازگشت گازهای خروجی، کسر مولی گازهای خروجی بدست آمده را با توجه به درصد های مختلف گازهای بازگشتی که از ۰ تا ۲۰ درصد متغیر است، در ورودی کد Premix اعمال شده اند و تاثیر آن بر حداکثر دمای شعله و تشکیل آلاینده ها بررسی شده است. نسبت های هم ارزی در این شبیه سازی از ۰.۸ تا ۱.۳ متغیر است. گونه هایی که در جدول ۱ آمده اند، بیشترین کسر مولی را نسبت به سایر گونه های موجود در گازهای خروجی دارند که در حدود ۹۹.۹۹٪ محصولات احتراق را شامل می شوند و با تقریب خوبی می توان از سایر گونه صرفنظر نمود. همچنین به دلیل بررسی اثر بازگشت گازهای خروجی بر هیدروکربن های نسوخته گونه هایی نظیر CH_4 ، C_3H_8 و C_2H_6 نیز با توجه به درصد گازهای بازگشتی در ورودی اعمال شده اند. همانطور که از جدول ۱ مشاهده می شود گازهای H_2O ، CO_2 و N_2 بیشترین درصد گازهای خروجی را تشکیل می دهند، که با توجه به ظرفیت حرارتی بالای گونه های H_2O و CO_2 و پیوند قوی سه گانه N_2 ،

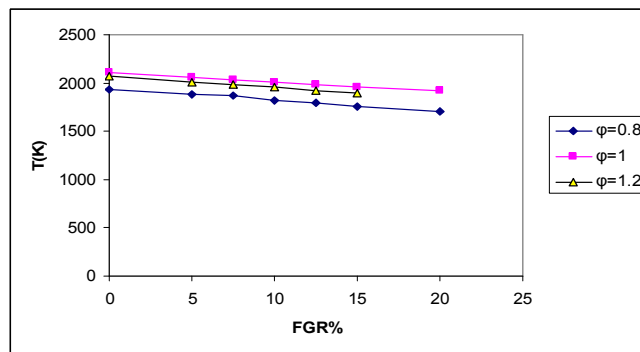
این گونه ها بیشترین تاثیر را در افزایش ظرفیت حرارتی مخلوط آماده احتراق و جذب حرارت ناشی از احتراق را دارند. در مرحله دوم شبیه سازی، تاثیر گازهای بازگشتی تنها با اثر گونه های H_2O ، CO_2 و N_2 انجام شده است.

جدول ۱- کسر مولی گونه های موجود در گازهای خروجی برای نسبت هم ارزی ۰.۸ تا ۱.۳

ϕ	H ₂ O	O ₂	N ₂	CO ₂	CO	H	O	OH	H ₂	NO
0.8	0.1504	0.04036	0.7278	0.07267	0.002895	0.0003233	0.0007248	0.003584	0.001209	0.00001235
0.9	0.1649	0.02355	0.7170	0.07644	0.007703	0.0009474	0.001072	0.005123	0.003304	0.00002499
1	0.1762	0.01129	0.7034	0.07543	0.01685	0.002110	0.001134	0.005794	0.007728	0.00003979
1.1	0.1836	0.003661	0.6872	0.06917	0.03089	0.003541	0.0007438	0.004806	0.01635	0.00004984
1.2	0.1857	0.0007971	0.6702	0.06015	0.04630	0.004060	0.0002862	0.002893	0.02953	0.00006353
1.3	0.1815	0.00009532	0.6547	0.05096	0.06103	0.003044	0.00005537	0.001178	0.04727	0.00008167

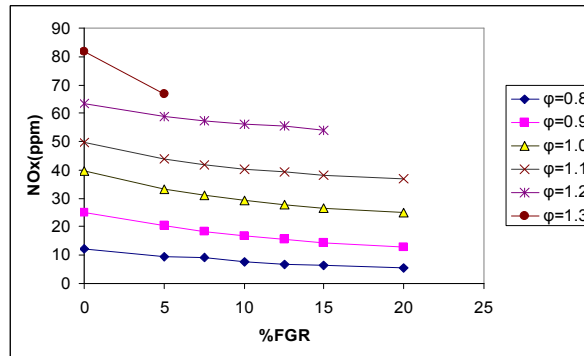
۳- نتایج و بحث

با بازگرداندن بخشی از گازهای خروجی به محفظه احتراق در نسبت های مختلف هم ارزی، به مقایسه و بررسی آنها با حالات بدون بازگشت گازهای خروجی پرداخته شده است. نمودار شکل ۱ نشان دهنده تاثیر بازگشت گازهای خروجی به محفظه احتراق بر حداکثر دمای شعله در محدوده ای از نسبت هم ارزی است.



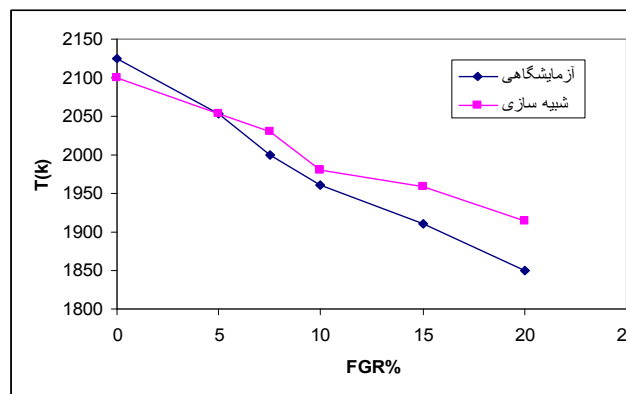
شکل ۱- تاثیر FGR بر حداکثر دمای شعله در نسبت های مختلف هم ارزی

با افزایش درصد گازهای بازگشتی از ۰ تا ۲۰ درصد، کسر مولی گونه های موجود در لوله برگشتی به محفظه احتراق افزایش یافته که بیشترین کسر مولی در بین گونه ها از آن H_2O ، CO_2 و N_2 می باشد که هر ۳ گونه ی نام برده نوعی رقیق ساز می باشند که در این میان، ظرفیت حرارتی بالای CO_2 و H_2O و گرماگیر بودن واکنش تجزیه مولکول N_2 به دو اتم N به سبب پیوند سه گانه قوی مولکولی، نقش بسزایی در افزایش ظرفیت حرارتی مخلوط پیش آمیخته متان-هوا و جذب حرارت ناشی از احتراق دارند. با جذب حرارت ناشی از احتراق، حداکثر دمای شعله کاهش می یابد. نمودار شکل ۲، تاثیر افزایش بازگشت گازهای خروجی به محفظه احتراق بر تشکیل آلاینده NO_x را نشان می دهد.



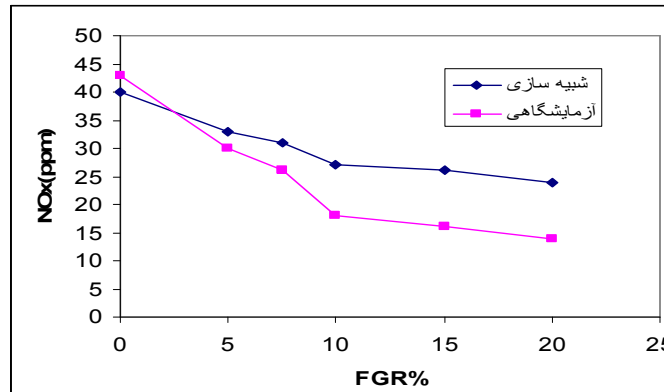
شکل ۲- تاثیر FGR بر تشکیل آلاینده NOx در نسبت های مختلف هم ارزی

از آنجا که تشکیل و تولید NOx به شدت وابسته به دما است و دما در معادله تشکیل NOx به صورت تابعی نمایی ظاهر می شود، بازگشت گازهای خروجی، سبب کاهش دمای محفظه احتراق و در نتیجه کاهش تشکیل و انتشار آلاینده NOx خواهد شد. در بازه نسبت هم ارزی 0.8 تا 1.3 با افزایش درصد گازهای برگشتی، انتشار NOx روندی کاهشی را طی می کند. در نسبت هم ارزی 1 با تزریق 20٪ از گازهای خروجی، انتشار NOx در حدود 50٪ کاهش می یابد. با برگرداندن بیش از 15 درصد گازهای خروجی برای نسبت هم ارزی 1.2 و بیش از 5 درصد برای نسبت هم ارزی 1.3 شعله دچار خاموشی می شود. چرا که احتراق در حالت پرسوخت و با هوای احتراق کم صورت می گیرد و از آنجا که گازهای بازگشتی نوعی سوخت کمکی به حساب می آیند، مخلوط به حالت پرسوخت تر هدایت می شود و نیز حضور گونه هایی سنگین و با ظرفیت حرارتی بالا سبب خاموشی شعله خواهند شد. جهت صحت گذاری بر شبیه سازی ها، نتایج شبیه سازی با نتایج آزمایشگاهی لازم است و همکارانش [8] در دانشگاه زاگرب مورد مقایسه قرار گرفته است. نمودار شکل 3، تاثیر بازگشت گازهای خروجی بر حداکثر دمای شعله و مقایسه نتایج شبیه سازی با آزمایشگاهی را نشان می دهد.



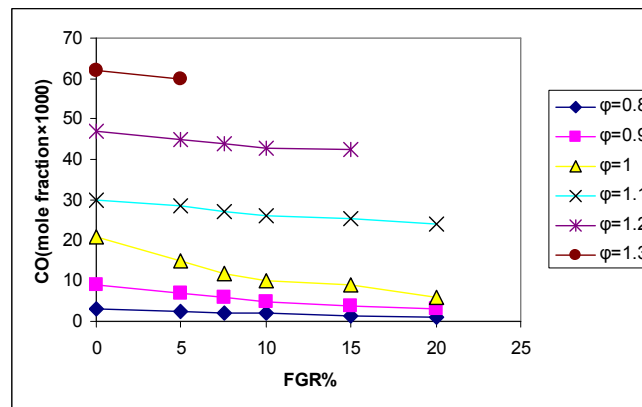
شکل ۳- تاثیر FGR بر حداکثر دمای شعله و مقایسه نتایج شبیه سازی و آزمایشگاهی [8]

با افزایش درصد گازهای بازگشتی به محفظه احتراق، ظرفیت حرارتی مخلوط، افزایش یافته و جذب حرارت ناشی از احتراق سبب کاهش حداکثر دمای شعله می شود. مقایسه حداکثر دمای شعله در نسبت هم ارزی 1 انجام شده است، که توافق خوبی را نشان می دهد. همچنین در نمودار شکل 4 به بررسی اثر بازگشت گازهای خروجی بر انتشار NOx و مقایسه با نتایج آزمایشگاهی لازم است [8] در نسبت هم ارزی 1 پرداخته شده است.



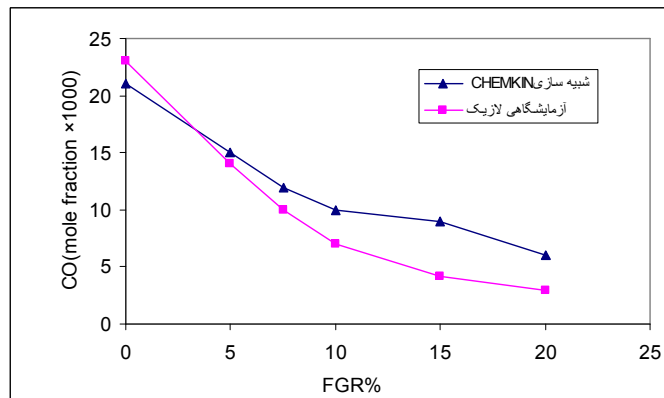
شکل ۴- تاثیر FGR بر NO_x انتشار یافته و مقایسه نتایج شبیه سازی و آزمایشگاهی [8]

در مقاله پیش رو علاوه بر آلاینده NO_x ، آلاینده CO و UHC نیز مورد مطالعه عددی قرار گرفته است. در نمودار شکل ۵، تاثیر بازگشت گازهای خروجی بر آلاینده CO در نسبت های هم ارزی ۰.۸ تا ۱.۳ مشاهده می شود.



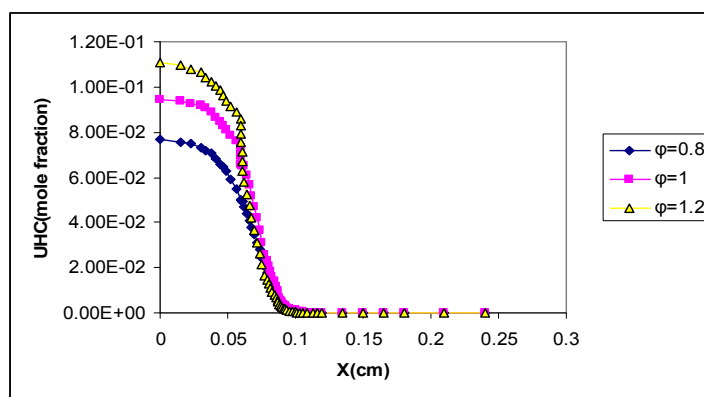
شکل ۵- تاثیر FGR بر انتشار آلاینده CO در نسبت های مختلف هم ارزی

با افزایش نسبت هم ارزی و ورود به ناحیه پرسوخت، به علت عدم حضور اکسیژن لازم برای احتراق کامل و ایجاد گونه CO_2 ، زمینه برای احتراق ناقص و تولید CO فراهم می شود. با افزایش درصد گازهای بازگشتی دمای شعله دچار افت محسوسی شده و نرخ واکنش ها از جمله واکنش تفکیک CO_2 کاهش می یابد و همچنین CO موجود در گونه های برگشتی با مولکول اکسیژن و رادیکالهایی نظیر O و OH واکنش داده و تولید CO_2 می کند. ضمناً، به دلیل دمای بالای گازهای بازگشتی در مقیاس با هوای ورودی، که نوعی پیش گرم هوا به حساب می آید، احتراق به سمت احتراق کامل هدایت شده، که زمینه را برای تولید CO_2 و کاهش تولید CO فراهم می کند. همانطور که از نمودار شکل ۵ مشاهده می شود، تشکیل آلاینده CO نیز روند کاهشی طی خواهد کرد، اما شیب نمودار کاهش CO کمتر از نمودار کاهش NO است که به علت تاثیر پذیری بالای معادله تشکیل NO به دما در مقایسه با CO است. در نمودار شکل ۶، به بررسی اثر گازهای بازگشتی بر آلاینده CO در حالت شبیه سازی در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی لازیک و همکارانش در دانشگاه زاگرب [8] پرداخته شده است.



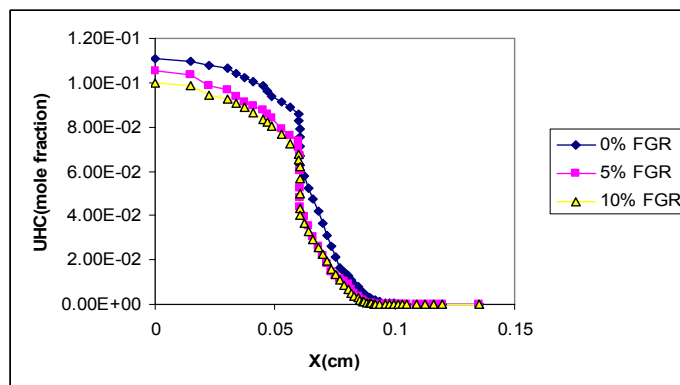
شکل ۶- تاثیر FGR بر انتشار CO و مقایسه نتایج شبیه سازی و آزمایشگاهی [8]

نتایج شبیه سازی و آزمایشگاهی در نسبت هم ارزی ۱ مورد مقایسه قرار گرفته اند، که توافق نسبتاً خوبی را نشان می دهند. همانطور که از شکل ۶ ملاحظه می شود، با افزایش درصد گازهای برگشتی CO سراسر روند کاهش طی می کند. هیدروکربن های نسوخته نیز همانند CO در شرایط پر سوخت که زمینه برای احتراق ناقص فراهم است تشکیل می شوند زیرا هوای لازم جهت سوختن کامل سوخت هیدروکربنی مهیا نبوده و کسر مولی هیدروکربن در طول شعله بالاتر بوده و در نتیجه در خروجی هیدروکربن نسوخته بیشتری منتشر خواهد شد. در نمودار شکل ۷، به بررسی و مقایسه هیدروکربن نسوخته در طول شعله در ۳ نسبت هم ارزی که نشان دهنده حالات کم سوخت، استوکیومتری و پر سوخت می باشد، پرداخته شده است.



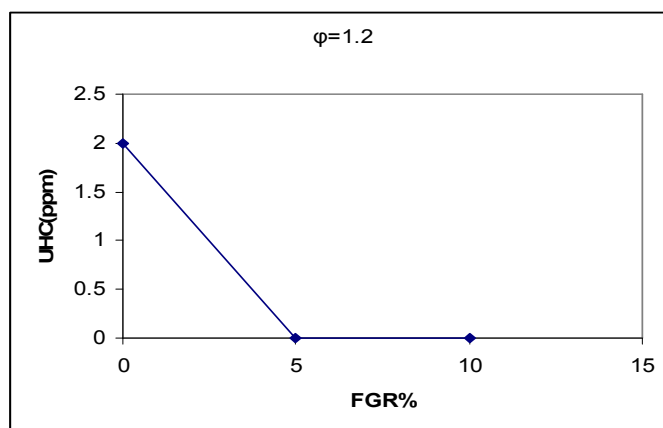
شکل ۷- تاثیر نسبت هم ارزی بر هیدروکربن های نسوخته

همانطور که از شکل ملاحظه می شود، با حرکت از ناحیه کم سوخت به پرسوخت، میزان تشکیل هیدروکربن نسوخته افزایش می یابد که ناشی از افزایش کسر مولی سوخت و کاهش در نسبت کسر مولی هوا در واکنش دهنده ها و محیا شدن زمینه برای احتراق ناقص است. در نمودار شکل ۸، به بررسی اثر گازهای بازگشتی بر تشکیل هیدروکربن های نسوخته در طول شعله برای نسبت هم ارزی ۱.۲ پرداخته شده است.



شکل ۸ - تاثیر FGR بر تشکیل هیدروکربن های نسوخته در نسبت هم ارزی ۱/۲

با افزایش درصد گازهای بازگشتی میزان هیدروکربن های نسوخته کاهش می یابد، که به علت واکنش مجدد هیدروکربن های نسوخته موجود در گازهای بازگشتی با هوای احتراق و رادیکال های فعال موجود و همچنین، میل کردن احتراق به سمت احتراق کامل، به دلیل پیش گرمایش هوای ورودی است. در نمودار شکل ۹، به بررسی تاثیر گازهای بازگشتی بر انتشار هیدروکربن های نسوخته از خروجی محفظه احتراق پرداخته شده است.



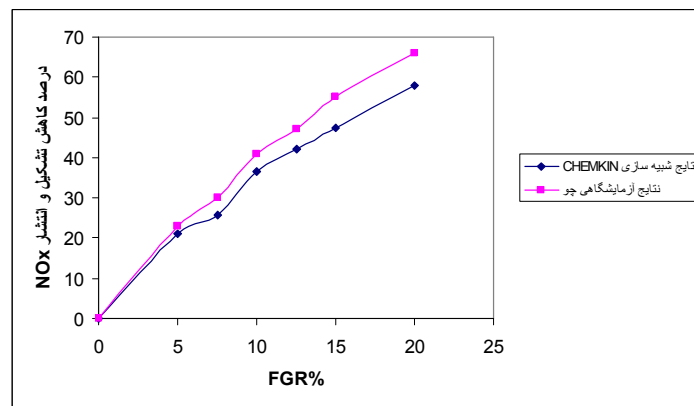
شکل ۹ - تاثیر FGR بر انتشار UHC

با برگرداندن ۵٪ از گازهای خروجی به محفظه احتراق، کاهش چشمگیری در انتشار هیدروکربن های نسوخته مشاهده می شود. با بازگشت بیش از ۵٪ گازهای خروجی به محفظه احتراق، میزان انتشار هیدروکربن های نسوخته تقریباً به صفر می رسد که ناشی از تاثیر گازهای خروجی بر سیکل جدید است، که سبب واکنش مجدد هیدروکربن های نسوخته موجود در مدار برگشتی با هوای احتراق و رادیکالهای فعال موجود در گازهای برگشتی و محفظه احتراق و میل احتراق به سمت احتراق کامل است. در مرحله دوم شبیه سازی، به بررسی اثر گازهای بازگشتی تنها با اثر گونه های H_2O ، CO_2 و N_2 پرداخته شده است، که توافق خوبی با نتایج شبیه سازی در حالت اول دارد. در این مرحله از شبیه سازی، تنها به اثر بازگشت گازهای خروجی به محفظه احتراق بر آلاینده NO_x ، که مهمترین آلاینده احتراق می باشد پرداخته شده است. در جدول شماره ۲، به بررسی آلاینده NO_x در حالت اول و دوم شبیه سازی پرداخته شده است.

جدول ۲- مقایسه انتشار NO_x یافته در دو حالت مختلف FGR بر حسب ppm

ϕ	FGR 5%		FGR 7.5%		FGR 10%		FGR 12.5%		FGR 15%		FGR 20%	
	حالت اول	حالت دوم	حالت اول	حالت دوم	حالت اول	حالت دوم	حالت اول	حالت دوم	حالت اول	حالت دوم	حالت اول	حالت دوم
0.8	9.478	8.898	9.029	8.195	7.475	6.399	6.835	5.435	6.296	4.651	5.578	3.353
0.9	20.34	19.2	18.41	16.60	16.91	14.50	15.69	12.71	14.32	10.87	12.94	8.451
1	33.26	31.36	31.15	29.50	29.21	25.26	27.68	22.91	26.53	20.87	24.93	17.17
1.1	43.94	41.85	41.80	38.75	40.37	35.88	39.37	33.42	38.22	31.36	36.82	27.61
1.2	58.88	56.32	57.48	53.32	56.09	50.28	55.48	47.69	53.21	45.17	-----	-----
1.3	66.74	66.74	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

در این حالت کاهش اندکی در مقدار NO_x بدست آمده، که علت آن غیبت رادیکالهای H ، OH و O است، حضور رادیکالهای آزاد موجود در مدار گازهای بازگشتی می تواند از نظر حرارتی و شیمیایی روی سیکل جدید اثر گذار باشد و با انجام واکنش های گرماده دمای شعله را افزایش دهد اما چون کسر مولی رادیکالهای آزاد بسیار کم است، تاثیر زیادی بر دمای شعله و طبیعتاً بر آلاینده NO_x نخواهد داشت. همچنین عدم حضور گونه O_2 در گازهای برگشتی نیز، یکی از دلایل این تفاوت است زیرا غلظت گونه O_2 یکی از پارامترهای مهم در تشکیل NO_x حرارتی است. به هر حال در بسیاری از تحقیقات آزمایشگاهی، به منظور بررسی اثر گازهای بازگشتی بر آلاینده ها، مقادیر گونه های H_2O ، CO_2 و N_2 موجود در گازهای خروجی را با دستگاه آنالیز گاز بدست آورده و با تزریق آنها به سوخت ورودی به عنوان رقیق ساز در نسبت های گوناگون، تکنیک گازهای بازگشتی به محفظه احتراق را شبیه سازی می کنند. چرا که کسر مولی سایر گونه ها کمتر از ۴٪ است و خطای قابل توجهی در اندازه گیری ها و شبیه سازی وارد نخواهد کرد. انتشار NO_x در درصد های پایین گازهای بازگشتی برای دو حالت مختلف شبیه سازی، توافق بسیار خوبی باهم داشته و حتی منطبق بر هم می باشند اما با افزایش درصد بازگشت گازهای خروجی اختلاف جزئی در نتایج دو حالت مشاهده می شود، که علت آن افزایش نسبی کسر مولی گونه هایی است که در حالت اول حضور داشته و در حالت دوم از آنها صرف نظر شده است. جهت صحت گذاری بر نتایج شبیه سازی، نتایج حاصله با نتایج آزمایشگاهی انجام شده در این زمینه مقایسه شده است. در نمودار شکل ۱۰ نتایج شبیه سازی انجام شده در مرحله دوم با نتایج آزمایشگاهی سنونگ چو و همکارانش [9] در دانشگاه سنول به منظور بررسی تاثیر گازهای بازگشتی با در نظر گرفتن تنها ۳ گونه H_2O ، CO_2 ، N_2 بر انتشار NO_x در هم ارزی ۱ پرداخته شده است.



شکل ۱۰- تاثیر FGR با گونه های H_2O ، CO_2 و N_2 بر کاهش انتشار NO_x و مقایسه نتایج شبیه سازی و آزمایشگاهی [9]

در آزمایش صورت گرفته در دانشگاه سئول، به منظور تحقیق آزمایشگاهی اثر گازهای بازگشتی بر تشکیل آلاینده NO_x ، با اندازه گیری گونه های CO_2 ، H_2O ، N_2 در گازهای خروجی، با توجه به درصد های گازهای بازگشتی، این گونه ها را به عنوان رقیق ساز به همراه سوخت ورودی تزریق کردند. با افزایش درصد گازهای بازگشتی انتشار NO_x روندی کاهشی طی می کند که ناشی از کاهش حداکثر دمای شعله و طبیعتاً کاهش دمای محفظه احتراق می باشد. اختلاف جزئی حاصله نشان دهنده توافق خوب میان نتایج شبیه سازی و آزمایشگاهی می باشد. چون در این حالت از گونه های موجود در گازهای خروجی تنها H_2O ، CO_2 و N_2 به محفظه احتراق برگردانده شده اند با نتایج شبیه سازی حالت دوم مقایسه شده اند.

۴- نتیجه گیری کلی و جمع بندی

نتایج شبیه سازی نشان می دهد، در بازه ای از نسبت هم ارزی با افزایش درصد گازهای بازگشتی، دمای شعله و در نتیجه انتشار NO_x و CO سراسر روند کاهشی را طی می کند و در نسبت هم ارزی ۱ با بازگرداندن ۲۰ درصد گازهای خروجی به محفظه احتراق انتشار NO_x در حدود ۵۰ درصد برای حالت اول که تمامی گونه ها بازگردانده می شوند و حدود ۵۷ درصد برای حالت دوم که تنها گونه های H_2O ، CO_2 و N_2 بازگردانده می شوند کاهش می یابد. با بازگشت گازهای خروجی به محفظه احتراق، به دلیل اختلاط گازهای بازگشتی با هوای ورودی، هوای احتراق مقداری پیش گرم می شود که احتراق را به سمت احتراق کامل هدایت می کند. همچنین هیدروکربن های نسوخته موجود در گازهای بازگشتی مجدداً وارد واکنش شده و کاهش چشمگیری در انتشار هیدروکربن های نسوخته ایجاد می کند. نتایج شبیه سازی و داده های آزمایشگاهی نشان می دهند گونه های موثر در کاهش حداکثر دمای شعله و تشکیل و انتشار NO_x ، سه گونه ی H_2O ، CO_2 و N_2 هستند که به سبب ظرفیت حرارتی بالا، پیوند قوی مولکولی و کسر مولی بیشتر نسبت به سایر گونه ها تاثیر بسزایی در کاهش آلاینده ها دارند. ضمناً نتایج حاکی از آن است که در ناحیه پر سوخت با افزایش درصد گازهای برگشتی به دلیل نقصان هوای لازم جهت احتراق و پر سوخت تر شدن مخلوط، شاهد خاموشی شعله خواهیم بود.

مراجع

1. G.Liuzzo, N.Verdone, M.Bravi., "The Benefits of flue gas recirculation in waste incineration" waste management 27, pp.106-116, 2007.
2. J.Warnats, U.Mass, R.W.Dibble., "COMBUSTION", springer, 2000.
3. David Littlejohn, Adrian J.Majeski, Shaheen Tonse, Carlo Castaldini., "Laboratory investigation of an ultralow NO_x premixed combustion concept for industrial boilers" proceedings of the combustion institute, volume 29, pp.1115-1121, 2002.
4. Ho keun kim, Yongomo kim., "NO reduction in 0.03-0.2 MW oxy-fuel combustor using flue gas recirculation technology" proceedings of the combustion institute 31, pp.3377-3387, 2007.
5. Eun seong cho, suk ho chung., "Numerical study on NO_x Emission with flue gas Dilution in air and fuel sides" mechanical science and technology, vol.19, pp.1358-1365, 2005.
6. Karl b. Schnelle, Jr., Ph., D., P., P.E., Charles A. Brown, P. E., Air Pollution Control Technology Handbook, CRC Press, 2002.
7. <http://www.me.berkeley.edu/gri-mech>.
8. L.lazic, A.Varga, J.Kizek., "An experimental study of the influence of FGR on NO_x formation" ISSN1580-2949, material in technology 38, 2004.
9. Eun seong cho, suk ho chung., "characteristics of NO_x Emission with flue gas Dilution in air and fuel sides" KSME International journal, vol.12, pp.2303-2309, 2004.



انجمن احتراق ایران

FCCI2010-1158

سومین کنفرانس سوخت و احتراق ایران

تهران - دانشگاه صنعتی امیرکبیر - اسفند ماه ۱۳۸۸



دانشگاه صنعتی امیرکبیر
دانشکده مهندسی هوافضا