تاثیر رطوبت نسبی هوا بر پروسه احتراق گاز متان با تاکید بر روش تعادلی

فواد نصوری[۱]، عبدلحمید انصاری نسب[۲]، احسان اسمعیلی[۱]، رضا بری شهواری[۳]

۱شرکت مدیریت تولید برق هرمزگان

۲دانشگاه هرمزگان

۳ دانشگاه علمی کاربردی بندرعباس

چکیده

در این مطالعه تاثیر تغییرات رطوبت بر دمای آدیاباتیک شعله و آلاینده های زیست محیطی همچون دی اکسید کربن، مونواکسید کربن، مونو اکسید نیتروژن و دی اکسید نیتروژن بررسی شده است. فرایند احتراق بر اساس روش احتراق تعادلی محاسبه شده و جهت صحت سنجی از داده های تجربی استفاده گردیده است. با توجه به نتایج بدست آمده افزایش رطوبت نسبی هوا سبب کاهش درجه حرارت آدیاباتیک شعله و متعاقبا کاهش الاینده های ذکر شده می شود.

واژه‌های کلیدی: احتراق، رطوبت نسبی، آلایندگی، دمای آدیاباتیک

۱- مقدمه

اولین پدیده‌ای که بشر توانست از آن به عنوان منبع انرژی استفاده نماید، پدیدهٔ احتراق بوده که همچنان به عنوان اولین و مهم‌ترین فرآیند تبدیل انرژی به شمار می‌آید .فرآیندی بسیار پیچیده و دقیق که انرژی درونی را با تغییر به انرژی حرارتی دربسیاری از موارد از جمله گرمایش، تولید بخارِ محرک و نیروی مکانیکی به کار می‌گیرد [۱].می‌توان از شناخت، حفظ و بهینه سازی فرآیندهای تبدیل انرژی به عنوان الفبای ذخیره انرژی نام برد که یکی از مهمترین این فرآیندها،همان پدیده‌ی احتراق است.در واقع تنهاترین تبدیل انرژی فسیلی به انرژی حرارتی بوده و مدیریت آن به معنای عام «مدیریت انرژی» و به صورت خاص «مدیریت احتراق» است. مدیریت احتراق " فرآیندیست جامع و پویا در راستای بهینه‌سازی و بهبود احتراق که مفهوم" بهینه‌سازی "در آن، حصول حداکثر انرژی با صرف حداقل مواد اولیه می‌باشد."[۱]در این مقاله به صورت خاص‌تر تاثیر رطوبت را بر فرایند احتراق و محصولات آن با دیدگاه مدیریتی مواد اولیه و آلایندگی بررسی می‌کنیم.در بسیاری از پژوهش‌های صورت گرفته در زمینه‌ی احتراق، وجود رطوبت و نقش آن در این پدیده نادیده گرفته شده است. آب می‌تواند از طریق بخار آب موجود در اتمسفر در عمل احتراق ایفای نقش نماید.به علت تنوع مواد سوختی در این مقاله بر مدلسازی احتراق متان و تاثیر رطوبت با بر روش تعادلی تلاش شده است تا بتوان با تاکید براین مدلسازی به تاثیر رطوبت هوای ورودی به بویلر بر فرایند سوختن متان و میزان هوای ورودی به محفظه احتراق جهت افزایش بازده احتراق و کاهش آلایندگی کنترل نمود. از مهمترین آلایندگی‌های موجود یکی از این

Archive of SID

www.SID.ir

آلاینده ها اکسید های نیتروژن می باشد. آلاینده اکسید نیتروژن NOX که تشکیل شده از NO,NO2,N2O است

۲- روش تحقیق

تاکنون پژوهش‌های متعددی در زمینه‌ی احتراق صورت پذیرفته که این مهم را از زوایای گوناگون مورد تحلیل و بررسی قرار داده است. از جمله پژوهش‌ها می توان به تحقیق در زمینه "بررسی عددی تاثیرات اضافه نمودن هیدروژن و بخار آب بر انتشار آلاینده‌ها در احتراق پیش آمیخته متان-هوا" اشاره کرد که از مکانیزم GRI MECH 3 به تاثیر نزولی رطوبت و هیدروژن محفظه احتراق بر NO , CO , CO_2 , NO_2 در دمای ۳۰۰ و ۳۳۰درجه کلوین پرداخته است یا در مقاله دیگری تحت عنوان "بررسی تاثیر رطوبت نسبی موجود در هوا در ورودی به محفظه احتراق در احتراق غیر پیش آمیخته متان-هوا بر میزان ماکزیمم دما و انتشار آلودگی NO_X "، با استفاده از مدل آشفتگی $k-\varepsilon$ و با توجه به افزایش رطوبت نسبی شاهد کاهش دمای ماکزیمم و مقدار NO_X تولیدی خواهیم بود. در این مقاله، روش تحقیق براساس روش مدلسازی عددی در بستر برنامه EES استوار است و با استفاده از روش احتراق تعادلی در جهت پیش‌بینی اثرات رطوبت مطلق و نسبی هوای ورودی به محفظه احتراق انجام می‌گیرد و در نتیجه با گردآوری، تحلیل و تفسیر داده‌ها از روش مدل-سازی عددی استفاده کرده و پدیده‌ی احتراق را مورد مطالعه قرار می‌دهد و به منظور اعتبار بخشیدن به صحت مدل‌سازی بدلیل عدم دسترسی شرایط ازمایشگاهی موجود، داده‌های خروجی را با تقریبی مناسب بر اساس گزارش آزمایشگاهی ناسا در سال ۱۹۷۳ تطبیق داده و به تفسیر باقیمانده‌ی خروجی‌ها پرداخته شده است.

۳- فرایند احتراق

فرآیند احتراق به فرایندی گفته می‌شود که در ان هر ماده سوختنی با اکسیژن اکسید شده و انرژی زیادی آزاد می-کند.[۱] احتراق فرآیندیست پویا، قابل برنامه ریزی، نظارت و کنترل پذیر[۲].

۳-۱- احتراق کامل

احتراق کامل احتراقی است که در آن همه‌ی کربن و هیدروژن موجود در سوخت به Co_2 و H_2o تبدیل شده و در نتیجه حداکثر حرارت ممکن تولید می‌شود. احتراق کامل صرفاً یک حالت ایده‌آل بوده و در عمل احتراق به طور ناقص رخ می-دهد[۳].

۳-۲- احتراق ناقص

در احتراق ناقص معمولاً تمام سوخت موجود نمی‌سوزد و اگر هم تمام آن بسوزد، به محصولات نهایی مثل H_2o و Co_2 به طور کامل تبدیل نمی‌شود، بلکه تعداد زیادی ترکیبات واسطه مانند CO و OH و ... در محصولات احتراق ایجاد می‌شود. برخی از علل مهم ناقص بودن احتراق عبارتند از:

- کافی نبودن مقدار اکسیژن

- مخلوط نشدن کامل سوخت و اکسیژن و تجزیه محصولات احتراق در دماهای بالا

لذا با افزایش مقدار اکسیژن و بهبود اختلاط سوخت و هوا می-توان در جهت کامل‌تر شدن احتراق گام برداشت.

در طی یک فرآیند احتراق، اجزایی که قبل از واکنش وجود دارند واکنشگرها و اجزایی به بعد از واکنش بوجود می آیند محصولات نامیده می شوند[۳].

۳-۳- احتراق متان

یک واکنش شیمیایی که طی آن سوخت اکسید می شود و مقادیر زیادی انرژی آزاد می شود، احتراق نام دارد[۱]. احتراق متان متفاوت از احتراق هیدروکربن مایع است، چرا که فقط پیوند کربن هیدروژن داشته و پیوند کربن کربن ندارد، بنابراین فرایند احتراق کامل تر از سایر سوخت ها انجام می شود و هیدروکربن‌های غیر متانی کمتری تولید می شوند. احتراق متان مولکول‌های پیچیده تری از جمله فرمالدهید که مولکولی بسیار آلاینده است را تولید می‌کند.

متان یکی از سوخت‌های معمول و پرکاربرد در صنعت برق جهت تولید انرژی الکتریسیته می‌باشد که این مهم سبب انتخاب جهت مدل‌سازی می باشد. در جدول ۱ و ۲ مشخصات عمومی و خصوصیات ترموشیمی آن نشان داده شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱:خصوصیات گاز متان [۴]

خصوصیات	
فرمول مولکولی	CH_4
جرم مولی	g mol^{-1}۱۶،۰۴
Exact mass	16.031300128 g mol^{-1}
شکل ظاهری	Colorless gas
بوی	Odorless
چگالی	655.6 µg mL^{-1}
دمای ذوب	-182 °C, 90.7 K, 296 °F
دمای جوش	-164 - -160 °C, 109 - 256 °F 113 K, -263-
محلول در آب	22.7 mg L^{-1}
log P	1.09

جدول ۲: خصوصیات ترمودینامیکی گاز متان[۴]

ترموشیمی	
آنتالپی استاندارد تشکیل ΔfHo298	−74.87 kJ mol^{-1}
Std enthalpy of combustion ΔcHo298	−891.1–−890.3 kJ mol^{-1}
آنتروپی مولار استاندارد So298	186.25 J K^{-1} mol^{-1}
ظرفیت گرمایی، C	35.69 J K^{-1} mol^{-1}

۳-۴- الگوی تعادل شیمیایی

تعادل شیمیایی به حالتی گفته می‌شود که در آن فعالیت شیمیایی واکنشگرها و محصولات در واکنش شیمیایی با گذشت زمان تغییر نکند. معمولاً این تعادل در شرایطی حاصل می‌شود که سرعت واکنش رفت با برگشت برابر باشد[۴]. نکته‌ای که در جریان احتراق حائز اهمیت است وجود گونه‌های مختلف شرکت کننده در احتراق است که هر یک رفتار ویژه به خود را در برابر واکنش، آزادسازی یا جذب انرژی و افزایش دما نشان می‌دهند .

در این پژوهش به منظور پیشگویی محصولات احتراق، از الگوی تعادل شیمیایی بر اساس ثابت تعادل که توانایی تخمین تعداد ۱۰ گونه از محصولات احتراق H، OH، NO، CO، H2، H2O، O2، CO2 را دارد، استفاده گردید. اولیکارا و بورمان از این روش برای گونه‌های فاز گازی احتراق سوخت هیدروکربنی در سال ۱۹۷۵ میلادی ارائه کردند. اساس این روش استفاده از ثابت‌های تعادل بر اساس به حداقل رساندن انرژی رها گیبس پایدار است. با در نظر گرفتن ۱۰ گونه برای محصولات احتراق متان (ch4) واکنش شیمیایی احتراق به صورت زیر است[۶]:

(۱)

$$n_1CH_4 + n_2N_2 + n_3O_2 + n_4H_2O \rightleftharpoons n_5N_2 + n_6O_2 + n_7H_2O + n_8CO_2\, n_9NO + n_{10}NO_2$$

۳-۵- هوای احتراق

مهمترین و تاثیرگزارترین عامل در پدیده‌ی احتراق هوای ورودی به محفظه احتراق می‌باشد که به طور معمول در معادلات تعادلی از هوای خشک جهت مدل‌سازی احتراق استفاده می‌گردد اما در این پژوهش تلاش بر مدل‌سازی هوای ورودی با وجود رطوبت و نقش ان در پدیده‌ی احتراق شده است که پارامترهای مختلف بر اساس تغییرات رطوبت نسبی مدل گردیده است.

۳-۵-۱- مفهوم رطوبت نسبی

"رطوبت نسبی، نسبت رطوبت مطلق در دمای t به رطوبت اشباع در همان دما می‌نامند. به عبارت دیگر نسبت بخار آب موجود در حجم معینی از هوا در دمای t به وزن ماکزیمم بخار آبی که می‌تواند در همین حجم در دمای t داشته باشد را رطوبت نسبی می‌گویند"[۸].معادله رطوبت نسبی از رابطه زیر حاصل می‌شود[۱].

(۲)

$$\varphi = \frac{\omega P}{(0.622 + \omega)P_g}$$

P فشار کل هوا

Pg فشار اشباع آب در ان دما

ω : نسبت رطوبت که از فرمول زیر محاسبه می‌گردد.

(۳)

$$\omega = \frac{m_v}{m_a}$$

Mv : جرم بخار

Ma: جرم هوای خشک

Archive of SID

www.SID.ir

۳-۶- دمای شعله **آدیاباتیک** (دما پس از احتراق)

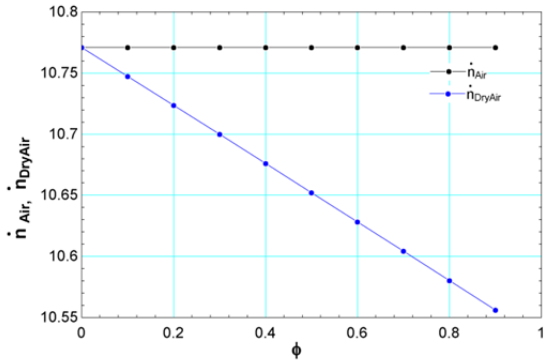
در غیاب بر هم‌کنش‌های کار و تغییرات انرژی‌های جنبشی و پتانسیل، انرژی شیمیایی آزاد شده در فرایند احتراق به صورت گرما به اطراف دفع می شود یا به طور داخلی مصرف می‌شود و دمای گازهای احتراق را بالا می‌برد. هر چه دفع گرما کمتر باشد، افزایش دما بیشتر است. در حالت حدی نبود دفع گرما به اطراف، دمای گازهای احتراق به ماکزیمم می‌رسد و آن را دمای احتراق آدیاباتیک یا دمای شعله آدیاباتیک واکنش می-گویند[۱]. لذا با توجه به این تعریف ، حرارت آزاد شده احتراق ، از مجموع حرارت های تشکیل محصولات احتراق منهای حرارتی تشکیل مواد اولیه (متان ، اکسیژن ، نیتروژن و بخارآب) بدست می آید.

۴- نتایج مدل سازی احتراق متان

جهت پیاده سازی مدل تعادلی احتراق گاز متان فرضیات مدل مذکور در بویلر نیروگاه بندرعباس مورد بررسی قرار گرفته است.

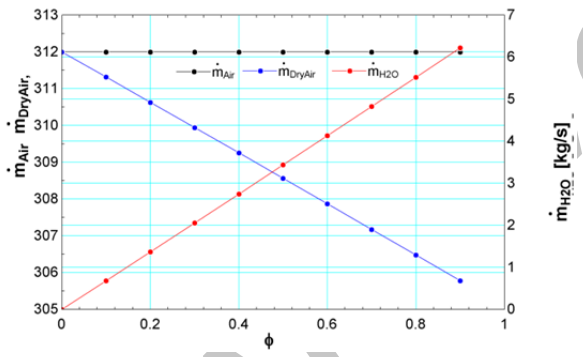
دمای ورودی هوای اطراف که با سرعت ۳۱۲ کیلوگرم بر ثانیه توسط FD-FAN-ها جهت احتراق، مکش می‌شود حدود ۲۷ درجه در نظر گرفته شده است و از طرف دیگر هوای ورودی به کوره ۳۲۰ درجه سانتی گراد، دمای متان ورودی به کوره ۳۰ درجه و متان با دمای ۳۰ درجه، فشار ۱۵psi و دبی حجمی ۷۸۸۰۰ مترمکعب بر ساعت وارد کوره می‌شود که پس از فرایند احتراق نتایج حاصله ایجاد شده است.

در قسمت اول شاهد تغییرات دبی موی هوای خشک در اثر تغییرات رطوبت نسبی با توجه به ثابت بودن مول هوای ورودی به بویلر می‌باشد. همانطور که در شکل ۱ نشان داده شده است شاهد کاهش دبی مولی هوای خشک در اثر افزایش رطوبت نسبی می‌باشیم.



شکل ۱: نمودار دبی مولی هوای خشک و هوای کل ورودی

در نمودار بعدی شاهد تغییرات دبی جرمی بخار آب و هوای خشک نسبت به تغییرات رطوبت نسبی میباشد که در شکل زیر مشاهده می‌شود، دبی جرمی بخار اب بر خلاف دبی جرمی هوای خشک با افزایش رطوبت نسبی روند صعودی را طی می-نماید.

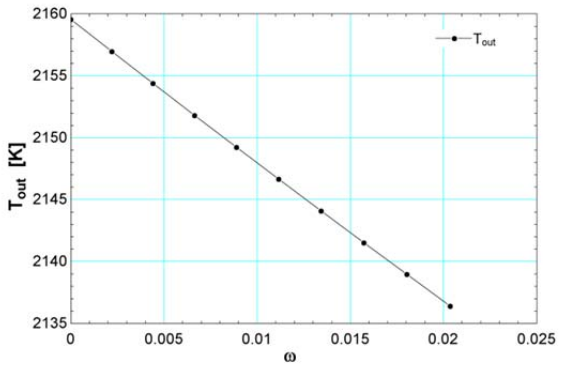


شکل ۲ نمودار تغییرات دبی جرمی بخار آب و هوای خشک

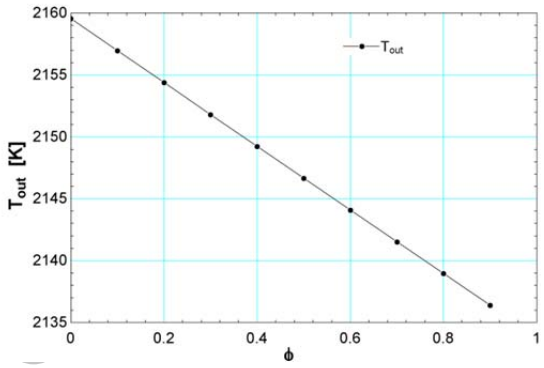
یکی از مهمترین تاثیراتی که رطوبت هوای ورودی در پدیده احتراق دارد در زمینه‌ی دمای ادیاباتیک شعله است.

A. e of SID

www.SID.ir

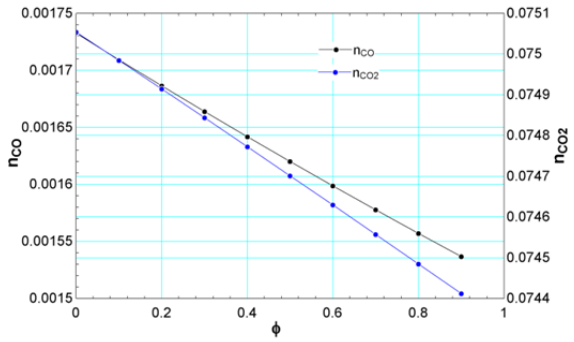


شکل ۳: نمودار تغییرات آدیاباتیک شعله با توجه به تغییرات نسبت رطوبت مطلق

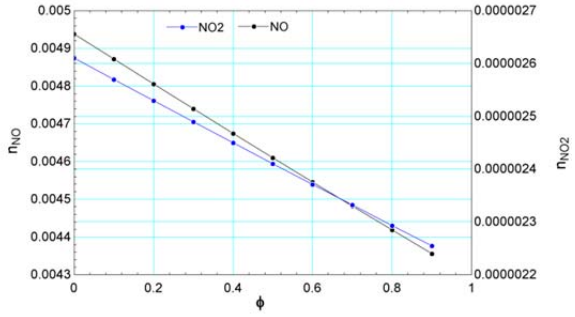


شکل ۴: نمودار تغییرات آدیاباتیک شعله با توجه به تغییرات نسبت رطوبت نسبی

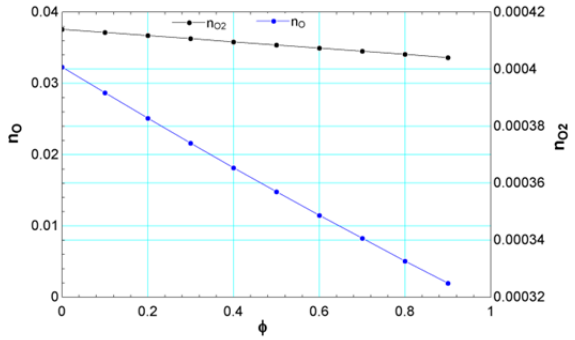
که تغییرات دمای ادیاباتیک را بر حسب تغییرات رطوبت نسبی و رطوبت مطلق بررسی و نتایج، در نمودار شکل ۳و۴ قابل مشاهده می‌باشد.همانگونه که مشاهده می شود با افزایش نسبت رطوبت و رطوبت نسبی شاهد کاهش دمای آدیاباتیک شعله می باشیم که این کاهش به صورت خطی مشاهده می گردد.



شکل ۵:تغییرات مول تولیدی دی اکسید و مونو اکسید کربن بر اساس تغییرات رطوبت نسبی



شکل ۶: تغییرات مول مونو اکسید و دی اکسید نیتروژن بر اساس تغییرات رطوبت نسبی



۵-

شکل ۷: تغییرات مول تولیدی اکسیژن آزاد و مولکول اکسیژن بر اساس تغییرات رطوبت نسبی

در شکل های ۵ و ۶ شاهد کاهش آلاینده های محیط زیستی بر اساس افزایش رطوبت نسبی هستیم که می توان دلیل آنرا کاهش اکسیژن های موجو در محصولات در نمودار شکل ۷ نشان داده شده است دانست.

۶- نتیجه گیری

نتایج حاصل از مطالعه نشان می دهد که رطوبت پارامتری بسیار مهم درکنترل دمای احتراق و تولید گازهای آلاینده گلخانه ای می باشد.تغییرات دمای احتراق آدیاباتیک نشان می دهد که افزایش رطوبت نسبی به شکل خطی دمای احتراق را کاهش میدهد. برای مثال با افزایش نسبت رطوبت از صفر به ۰/۰۲ شاهد کاهش ۵ درصدی در دمای احتراق ادیاباتیک می باشیم. از طرفی افزایش رطوبت نسبی در هوای ورودی به محفظه احتراق تاثیر شایانی درآلایندگی های ذکر شده دارد. به عنوان نمونه با افزایش رطوبت نسبی از صفر به ۰/۹ شاهد کاهش ۱۰ درصدی در تولید مونواکسید نیتروژن و کاهش ۱۸ در صدی در تولید دی اکسید نیتروژن در نیروگاه هستیم. این

Archive

www.SID.ir

می تواند به دلیل کاهش اکسیژن آزاد تولیدی در محصولات احتراق باشد(شکل ۷).

۷- منابع

[۱] سنجل، "ترمودینامیک" ،انتشارات متفکران،۱۳۸۷

[۲] مدیریت احتراق در نیروگاه حرارتی شازند اراک ،سعید شاهمنصوری، دومین کنفرانس احتراق ایران، ۱۳۸۶

[۳] ساخت مشعل چرخشی و بررسی تجربی شعله چرخشی ، اسماعیل ابراهیمی فردویی، ۱۳۹۰

[۴] ویکی پدیا دانش نامه آزاد

[۵] مطالعه عددی احتراق متان در جریان چرخشی ، سید بشیر اجلّه و همکاران، پنجمین کنفرانس سوخت واحتراق ایران، ۱۳۹۲

[۶] شبیه سازی عددی فرآیند احتراق مخلو طهای بیودیزل و گازوئیل در موتور احتراق تراکمی

[7] Nicholus R. Murchionnd, Larry A. Diebl, und Arthur M.,EFFECT OF INLET-AIR HUMIDITY, TEMPERATURE, PRESSURX, AND REFERENCE MACH NUMBER ON THE FORMATION OF OXIDES OF NITROGEN IN A GAS TURBINE COMBUSTOR, Trout Lewis Research Center Cleveland, Ohio 44135, NASA technical note,1973

[8] Measurement and estimation of evaporation and transpiration, 1968

Archive of SID

www.SID.ir