بسم الله الرحمن الرحيم

بسمه تعالی

دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی

مدیریت تحصیلات تکمیلی

تعهد نامه اصالت اثر

اینجانب **مهدی مزارع** متعهد می‌شوم که مطالب مندرج در این پایان‌نامه حاصل کار پژوهشی اینجانب است و دستاوردهای پژوهشی دیگران که در این پژوهش از آن استفاده شده است، مطابق مقررات ارجاع و در فهرست منابع و مأخذ ذکرگردیده است. این پایان نامه قبلاً برای احراز هیچ مدرک هم سطح یا بالاتر ارائه نشده است. در صورت اثبات تخلف(در هر زمان) مدرک تحصیلی صادر شده توسط دانشگاه از اعتبار ساقط خواهد شد.

کلیه حقوق مادی و معنوی اثر متعلق به دانشگاه شهید رجایی می‌باشد.

امضاء

مهدی مزارع

تهران – لویزان – کدپستی ۱۶۷۸۸- صندوق پستی ۱۶۳-۱۶۷۸۵ تلفن ۹-۲۲۹۷۰۰۶۰ (داخلی ۲۳۴۷)نمابر ۲۲۹۷۰۰۱۱ پست الکترونیک sru@sru.ac.ir

دانشکده مهندسی مکانیک

توسعه یک کد یک بعدی به منظور پیش بینی عملکرد محفظه احتراق توربین گاز

نگارش

مهدی مزارع

اساتید راهنما: دکترمحمدرضا علیگودرز

دکترکامران مبینی

پایان نامه برای دریافت درجه کارشناسی ارشد

دررشته مهندسی مکانیک(تبدیل انرژی)

اسفند ۱۳۹۱

تأییدیه‌ی هیأت داوران جلسه‌ی دفاع از پایان‌نامه/رساله

نام دانشکده: مکانیک

نام دانشجو: مهدی مزارع

عنوان پایان‌نامه: توسعه یک کد یک بعدی به منظور پیش بینی عملکرد محفظه احتراق توربین گاز

رشته: مکانیک

گرایش: تبدیل انرژی

ردیف	سمت	نام و نام خانوادگی	مرتبه دانشگاهی	دانشگاه یا مؤسسه	امضا
۱	استاد راهنما	محمدرضا علیگودرز	استادیار	تربیت دبیر شهید رجایی تهران	
۲	استاد راهنما	کامران مینی	استادیار	تربیت دبیر شهید رجایی تهران	
۳	استاد داور داخلی	کریم مقصودی مهربان	استادیار	تربیت دبیر شهید رجایی تهران	
۴	استاد داور خارجی	حجت قاسمی	استاد یار	علم وصنعت ایران	

تقدیم به:

آستان رفیع دوست، که هرچه داریم از اوست؛

مهربان مادرم که دعایش همیشه راه گشای زندگیم بوده؛

دستان زحمتکش پدرم که یاریگرم بوده ؛

و

استادانی که برایم زندگی؛ بودن و انسان بودن را معنا کردند.

حال این برگ سبزی است تحفه درویش، تقدیم آنان ...

تشکروقدردانی:

این مجموعه مدیون تلاش ها وراهنمایی های دلسوزانه اساتید بزرگواری است که بنده افتخار شاگردی آنها را داشته ام بویژه استاد ارجمند جناب آقای **دکتر محمد رضا علیگودرز** که حق راهنمایی را تمام کردند، همچنین از استاد محترم آقای **دکتر کامران مبینی** به خاطر حمایت های بی دریغشان کمال تشکر و امتنان رادارم.

ودر نهایت از تمام دوستانی که به هر نحو در انجام این پژوهش مرا یاری رسانده اند ودر این کوتاه سخن مجال آوردن نام تک تک آنها نیست،کمال تشکر و قدردانی را دارم.

چکیده:

اکسید های نیتروژن و منو اکسید کربن و دیگر محصولات جانبی احتراق توربین گاز مدت طولانی است که به عنوان آلاینده های جوی مضر محیط زیست و انسان شناخته شده است . پیش بینی مقدار انتشار این آلاینده های مضر با استفاده از پارامتر های موثر بر شکل گیری آنها که روش (PEMS) نامیده می شود مزایای اقتصادی بسیار خوبی نسبت به روش (CEMS) دارد. در این پژوهش ، محفظه توربین گاز بر اساس اصول اولیه مهندسی برای پیش بینی پارمترهای عملکردی محفظه احتراق و آلودگی های منواکسید کربن و اکسیدهای نیتروژن مدل شده است . این مدل براساس محفظه احتراق پرمیکس رقیق و متکی بر شرایط محیط و مقدار بار توربین طراحی شده است.میزان بار توربین بر اساس قدرت خروجی آن بیان می شود . جریان سوخت و هوای اصلی و کمکی بر اساس داده های ورودی توربین محاسبه شده اند . برای بدست آوردن دمای احتراق، محفظه احتراق به چند ناحیه تقسیم شده است و دمای هر ناحیه به کمک معادلات انرژی بدست می آید .برای پیش بینی مقادیر اکسید نیتروژن و منواکسید کربن از روابط تجربی چندین محقق که بر مبنای استفاده از دما ، فشار و نسبت تعادل می باشند استفاده و با همدیگر مقایسه کرده ایم .مقایسه بین میزان آلودگی پیش بینی شده توسط این مدل با اطلاعات بدست آمده از یک نمونه توربین واقعی میزان دقت این مدل را نشان می دهد .

کلمات کلیدی: کد یک بعدی ، محفظه احتراق ، توربین گاز ، روش ناحیه ای

فهرست مطالب

فصل اول : مقدمه ۱

۱-۱- مقدمه ۲

۱-۲- اهداف کلی..... ۴

۱-۳- رئوس مطالب ۴

فصل دوم : پیشینه تحقیق..... ۵

۲-۱-مقدمه ۶

۲-۲- فرآیند احتراق:..... ۷

۲-۲-۱- فرآیند احتراق کامل :..... ۸

۲-۲-۲- فرآیند احتراق ناقص : ۹

۲-۳- انواع محفظه احتراق توربین گاز :..... ۱۰

۲-۳-۱- محفظه احتراق توربین گاز v94-2..... ۱۲

۲-۳-۲- محفظه احتراق (DLN) ۱۸

۲-۴- انتشار آلودگی ۲۰

۲-۴-۱- منو اکسید کربن ۲۰

۲-۴-۱-۱-عوامل موثر بر تولید منو اکسید کربن : ۲۱

۲-۴-۲-اکسید نیتروژن: ۲۲

۲-۴-۲-۱- فرآیند تشکیل اکسید نیتروژن: ۲۲

۲-۴-۲-۲-Thermal Nitric Oxide mechanism..... ۲۳

۲-۴-۲-۳-Nitrous Oxide Mechanism ۲۴

۲-۴-۲-۴-Prompt Nitric Oxide mechanism ۲۵

۲-۵- پیشینه تحقیق ۲۶

فصل سوم: مدلسازی..... ۳۰

۳-۱- مقدمه ۳۱

۳-۲- تشریح روش مدل کردن محفظه احتراق ۳۲

۳-۳- شرایط ورودی محفظه احتراق ۳۲

۳-۴- آنالیز منطقه ای احتراق ۳۴
۳-۵- واکنش شیمیایی ۳۵
۳-۶- روش محاسبه $C_{p,ex}$ ۳۶
۳-۷- انتقال حرارت ۳۷
۳-۸- تشریح الگوریتم مدل ۴۰
فصل چهارم : بحث و بررسی نتایج ۴۲
۴-۱- مقدمه ۴۳
فصل پنجم نتیجه گیری و پیشنهادات ۵۳
۵-۱- نتیجه گیری ۵۴
۵-۲- پیشنهادات ۵۵
۶ مراجع ۵۶

فهرست اشکال

شکل ۱-۱ شماتیک توربین گاز v94-2 ..... ۳
شکل ۲-۱ طر حواره ساده چرخه مکانیکی و ترمودینامیکی توربین گاز ۷
شکل ۲-۲ نمودار T-S سکل واقعی توربین گاز ۷
شکل ۲-۳ محفظه احتراق Tuboannular ۱۱
شکل ۲-۴ محفظه احتراق annular ۱۱
شکل ۲-۵ جزئیات محفظه احتراق توربین گاز v94-2 ..... ۱۳
شکل ۲-۶ :محفظه احتراق توربین گاز v94-2 ..... ۱۴
شکل ۲-۷ : دیواره لاینر توربین گاز v94-2 ..... ۱۵
شکل ۲-۸ : دیواره میانی لاینر توربین گاز v94-2 ..... ۱۵
شکل ۲-۹ نمای کلی محفظه های احتراق توربین v94-2 ..... ۱۶
شکل ۲-۱۰ جزئیات برنر هیبریدی محفظه احتراق ۱۷
شکل ۲-۱۱ناحیه های اصلی محفظه احتراق معمولی ۱۸
شکل ۲-۱۲ شماتیک محفظه احتراق های معمولی و پرمیکس ۱۹
شکل ۲-۱۳ تاثیر دمای منطقه اولیه محفظه احتراق بر تولید CO و NOx ۲۱
شکل ۲-۱۴ تاثیر دمای شعله برتولید NOx ۲۳
شکل ۲-۱۵ تاثیر دمای ورودی بر تولید NOx ۲۴
شکل ۳-۱ شماتیک توربین گاز V94-2 ..... ۳۱
شکل ۳-۲ مدل با مجموعه ای از PFR ها ۳۲
شکل ۳-۳ ناحیه احتراق ۳۴
شکل ۳-۴ شماتیک انتقال حرارت از لاینر ۳۷
شکل ۳-۵ مدل مقاومتی انتقال حرارت از گازهای احتراق به هوای خنک کننده ۳۸
شکل ۴-۱ : نمودار توزیع دمای گاز داخل محفظه احتراق ۴۵
شکل ۴-۲ : نمودار توزیع دمای دیواره داخلی لاینر در طول محفظه ۴۶
شکل ۴-۳ نمودار توزیع دمای دیوار خارجی لاینر در طول محفظه ۴۷
شکل ۴-۴ نمودارنرخ انتقال حرارت ناحیه های محفظه احتراق ۴۸
شکل ۴-۵ تاثیر نسبت سوخت به هوا بر دمای احتراق ۴۹
شکل ۴-۶ تاثیر دمای هوای ورودی بر میزان انتشار اکسید نیتروژن ۵۱

فهرست جداول

جدول ۴-۱ مشخصات توربین گاز V94-2 ..... ۴۳
جدول ۴-۲ مقادیر اکسید نیتروژن ۵۰
جدول ۴-۳ تاثیر دمای محیط برمقدار منواکسید کربن ۵۰
جدول ۴-۴ مقادیر منواکسید کربن ۵۲
جدول ۴-۵ تاثیر دمای محیط بر انتشار منواکسید کربن ۵۲

فهرست علائم اختصاری

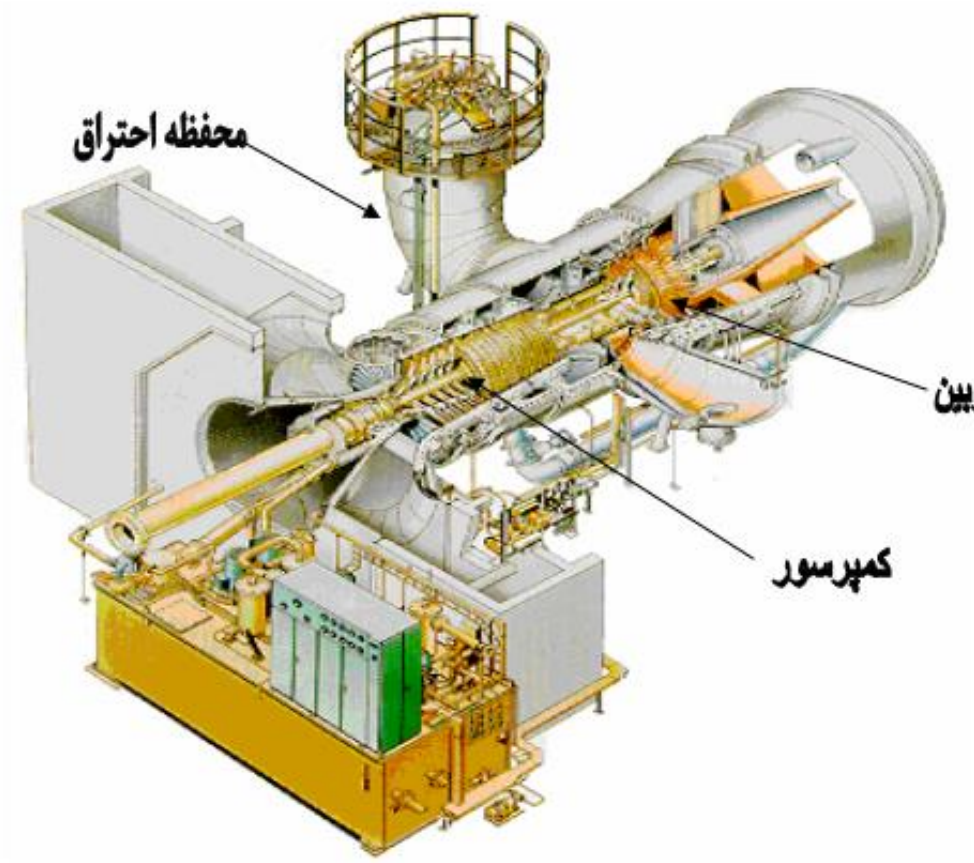
نسبت هوا با سوخت	AF
گرمای ویژه	C_P
انرژی	E
نسبت سوخت به هوا	FA
ضریب انتقال حرارت جابجایی	h
بالاترین ارزش حرارتی	HHV
پایین ترین ارزش حرارتی	LHV
ضریب انتقال حرارت رسانش	K
جرم ملکولی	M
جرم	m
نرخ جریان جرمی	$\dot{m}$
فشار	P
نسبت فشار	PR
نرخ انتقال حرارت	$\dot{q}$
ثابت گاز	R
دما	T
زمان	t
سرعت	v
نرخ جریان حجمی	$\dot{V}$

فصل اول

مقدمه

۱-۱- مقدمه

توربین گازی یک ماشین دوار است که بر اساس انرژی گازهای ناشی از احتراق کار می‌کند. هر توربین گاز شامل یک کمپرسور برای فشرده کردن ملکولهای هوا به کمک تعدای پره های ثابت و متحرک، یک محفظه احتراق برای مخلوط کردن سوخت با هوای فشرده و محترق‌کردن آن و یک توربین برای تبدیل کردن انرژی گازهای داغ و فشرده خروجی محفظه احتراق به انرژی مکانیکی(چرخشی) است. بخشی از انرژی مکانیکی تولیدشده در توربین، صرف چرخاندن کمپرسور خود توربین شده و باقی انرژی، بسته به کاربرد توربین گاز، ممکن است ژنراتور برق را بچرخاند (توربوژنراتور)، به هوا سرعت دهد (توربوجت و توربوفن) و یا مستقیماً (یا بعد از تغییر سرعت چرخش توسط جعبه دنده) به همان صورت مصرف شود (توربوشفت، توربوپراپ و توربوفن).در شکل زیر قسمتی از یک توربین گاز v94-2 را نشان دادیم که در این تحقیق مورد بررسی قرار داده‌ایم .



شکل ۱-۱ شماتیک توربین گاز v94-2[۱]

سوخت مصرفی توربین های گازی که در صنعت انتقال گاز مورد استفاده قرار گرفته اند گاز طبیعی می باشد.گاز طبیعی نسبت به دیگر سوخت های فسیلی تمیزتر می سوزد و نسبت به انرژی که آزاد می کند گازهای گلخانه ای کمتری تولید می کند[۱] . قسمت اصلی گاز طبیعی را کوچکترین و سبکترین ملکول هیدرو کربنی یعنی متان (CH_4) تشکیل می دهد .همچنین شامل مقدار کمی از هیدرو کربن های سنگین تر مثل اتان (C_2H_6) ،پروپان (C_3H_8) و بوتان (C_4H_{10}) می باشد .انتشار آلودگی های ناشی از فرآیند احتراق مثل اکسیدهای نیتروژن و منو اکسید کربن با توجه به تاثیر آن ها بر سلامت و محیط زیست به یک نگرانی بزرگ تبدیل شده است . اندازه گیری آلودگی ها به طور معمول با سیستم اندازه گیری آلودگی پیوسته (CEMS[۱]) انجام می گیرد . این سیستم به صورت مستقیم از گازهای خروجی نمونه برداری می کند . هزینه بالایی که راه اندازی ، نگهداری و کالیبراسیون این سیستم برای توربین گازهای صنعتی به همراه دارد استفاده از این روش را کمتر کرده است . در روشی دیگر با کمک سیستم اندازه گیری آلودگی پارامتری (PEMS[۲]) و مرتبط کردن این پارامترها با آلودگی خروجی اگزوز میزان آلودگی ها را اندازه گیری می کنند[۲].

[1] Continuous emissions monitoring system
[2] Parametric emissions monitoring system

۱-۲- اهداف کلی

برای توربین های گاز یک سیستم پارامتری کلی جهت پیش بینی میزان آلودگی وجود ندارد برای هر توربین دلخواه باید از یک سیستم پارامتری متناظر با آن استفاده نمود.

اهداف کلی پژوهش به شرح زیر می باشند:

- توسعه یک مدل احتراق با استفاده از اصول اولیه مهندسی برای مشخص کردن پارامترهای عملکردی محفظه احتراق ومحاسبه میزان آلودگی های احتراق (CO وNOx) بر اساس اندازه گیری پارامترهایی که قابل محاسبه باشند.
- مقایسه نتایج پیش بینی شده توسط مدل با داده های اندازه گیری شده از یک نمونه توربین نشان می دهد که روابط حاکم بر مدل درست می باشند.

منابع مختلف به این موضوع اشاره دارند که احتراق پرمیکس بامخلوط رقیق به طور گسترده ای به عنوان استراتژی کاهش اکسید نیتروژن مورد استفاده قرار می گیرد . این مدل هم با توجه به شرایط و نوع برنر استفاده شده درتوربین بر اساس احتراق پرمیکس توسعه داده شده است .

۱-۳- رئوس مطالب

اصول اولیه فرآیند احتراق و چگونگی تشکیل منواکسید کربن و اکسید نیتروژن در فصل دوم بررسی می شود .در فصل سوم روابط فیزیکی و ترمودینامیکی لازم برای توسعه مدل توضیح داده شده است .چگونگی ساخت مدل و روش حل معادلات آن در فصل چهارم بررسی می شود .در فصل پنجم داده های بدست آمده از مدل را به کمک داده های تجربی صحه گذاری میکنیم ونتایج را مورد بررسی قرار می دهیم.در فصل ششم نتایج بدست آمده از از این پژوهش بیان شده اند.

فصل دوم

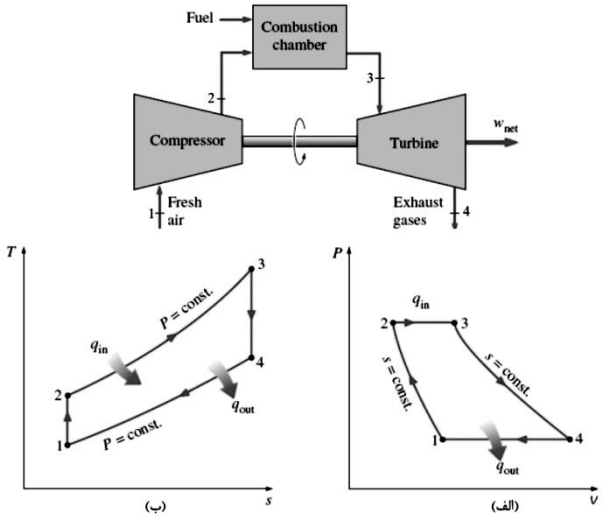
پیشینه تحقیق

۲-۱- مقدمه

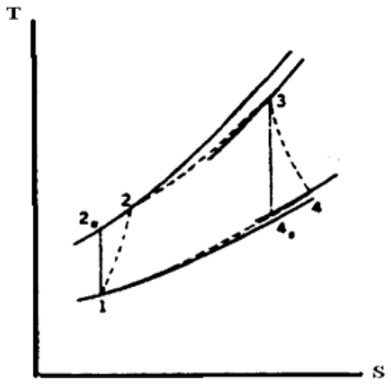
توربین‌ها ابتدا با استفاده از آب بعنوان سیال عامل شناخته شدند و امروزه نیز نیروی هیدرو-الکتریک بعنوان یک تامین‌کننده مهم در شمار تامین‌کنندگان مهم منابع انرژی دنیا قرار دارد. در حدود قرن بیستم توربین بخار کار خود را شروع کرد و کاملاً جدا از استفاده وسیع آن بعنوان یک واحد تولید نیروی دریائی، این منبع مهمترین بحرکت درآورنده اصلی نیروگاه‌های برق شناخته شد. لیکن علیرغم توسعه‌ی موفقیت آمیز آنها توربین بخار یک عیب ذاتی دارد و آن اینست که تولید بخار با فشار و درجه حرارت بالا مستلزم استفاده از دستگاه‌های تولید کننده‌ی بخار حجیم وگران قیمت است (که معمولاً همان دیگ بخار معمولی و یا راکتور هسته‌ای می‌باشد). روشن است هنگامی که مرحله‌ی تبدیل آب به بخار حذف شود و گازهای داغ مستقیماً خود برای به حرکت دادن توربین بکار روند واحد تولید قدرت بسیار کم حجم‌ترخواهد شد. استفاده جدی از توربین گاز کمی قبل از جنگ جهانی دوم و با نوع قدرت محوری شروع شد. لیکن بزودی نظرها متوجه موتورهای توربوجت برای تولید نیروی محرکه موتورجت گردید[۳].

در اولین روزهای تولید توربین گاز دو سیستم احتراق قابل استفاده مطرح گردید، احتراق در فشار ثابت و دیگری احتراق در حجم ثابت. از نظر تئوری راندمان حرارتی احتراق در حجم ثابت بیشتر از احتراق با فشار ثابت است، اما مشکلات مکانیکی احتراق در حجم ثابت نیز خیلی زیادتر از احتراق در فشار ثابت می‌باشد، زیرا برای احتراق در حجم ثابت شیرها باید بطور کامل اتاق احتراق را از کمپرسور جدا کنند و به این ترتیب احتراق متناوباً انجام می‌گیرد که با کار یکنواخت ماشین منافات دارد[۱].

سه جزء اصلی توربین گازی در ساده‌ترین حالت آن عبارتند از کمپرسور، محفظه احتراق و توربین. طرحواره ساده از سیکل مکانیکی و ترمودینامیکی توربین گاز در شکل زیر نشان داده شده است.



شکل ۲-۱ طر حواره ساده چرخه مکانیکی و ترمودینامیکی توربین گاز [۳]



شکل ۲-۲ نمودار T-S سکل واقعی توربین گاز [۳]

نخستین مرحله در یک سیکل توربین گازی تراکم سیال عامل است. اگر سیال عامل پس از تراکم مستقیماً در توربین منبسط شود و هیچ افت انرژی در اجزا رخ ندهد توان تولیدی توسط توربین دقیقاً برابر با توان جذب شده در مرحله تراکم توسط کمپرسور می‌باشد. اما با افزایش انرژی سیال عامل توسط احتراق سوخت در هوای متراکم قبل از ورود به مرحله انبساط توان توربین افزایش می‌یابد و کار بیشتری از کار مورد نیاز کمپرسور تولید می‌شود[۳].

در ابتدای این فصل فرآیند احتراق و انواع محفظه احتراق را تشریح می کنیم. در قسمت دوم به چگونگی تشکیل آلاینده ها (CO وNOx) می پردازیم و مطالعات متعددی که در این زمینه انجام گرفته را بررسی می کنیم .در قسمت آخر کارهایی را که در زمینه مدل کردن آلودگی ها به روش (PEMS) انجام گرفته بررسی می کنیم.

فرآیند احتراق:
احتراق فرآیندی است که طی آن سوخت اکسید می شود و مقدار زیادی انرژی آزاد می شود [۳]. در این پژوهش فرآیند احتراق را کامل فرض میکنیم اگرچه در حالت واقعی فرآیند احتراق تمایل به یک احتراق ناقص دارد.

۲-۱-۱- فرآیند احتراق کامل :

یک فرآیند احتراق کامل است اگر تمام کربن موجود در سوخت به صورت کامل بسوزد [۳]. شکل عمومی معادله احتراق کامل در حالت استیکیو متری که توسط هیوود نوشته شده به صورت زیر می باشد [۴]:

$$C_aH_b+\left(a+\frac{b}{4}\right)(O_2+3.76N_2)\rightarrow aCO_2+\frac{b}{2}H_2O+3.76\left(a+\frac{b}{4}\right)N_2 \qquad (۱-۲)$$

فرآیند ایده آلی که در آن تمام سوخت به صورت کامل با مقدار هوای تئوری سوخته شود استیکیو متری نامیده می شود که در معادله ۲-۱ نشان داده شده است [۴].
ضریب استیکیو متری به صورت زیر می باشد[۴]:

$$f_{stioch}=a+\frac{b}{4} \qquad (۲-۲)$$

در حالت استیکیو متریک ،محصولات احتراق شامل هیچگونه مقادیری از CH4/H2/NO/CO و O2 نمی باشد .در یک فرآیند احتراق واقعی برای کنترل دمای محفظه احتراق اضافه کردن مقداری هوای اضافی متداول می باشد .
مقدار هوای مصرف شده در فرآیند احتراق به کمک نسبت تعادل (ϕ)به صورت زیر بیان می شود[۴] :