دانشگاه فردوسی مشهد
دانشکده مهندسی، گروه مهندسی مکانیک

عنوان پایان نامه :

بررسی آزمایشگاهی اثر دمای گازهای بازخورانی اگزوز بر مولفه های اگزرژی در یک موتور دیزل تزریق غیر مستقیم

نگارش:

محمد شریف زاده

ارائه شده جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد
در رشته مهندسی مکانیک گرایش تبدیل انرژی

استاد راهنما:

دکتر محسن قاضی خانی

شهریور ۱۳۸۹

تأییدیه گروه مکانیک

پایان‌نامه حاضر تحت عنوان:

بررسی آزمایشگاهی اثر دمای گازهای بازخورانی اگزوز بر مولفه های اگزرژی در یک موتور دیزل تزریق غیر مستقیم

که توسط آقای **محمد شریف زاده** تهیه و به هیأت داوران ارائه شده، به عنوان کار پژوهشی دوره کارشناسی ارشد ناپیوسته مکانیک در گرایش تبدیل انرژی، مورد تأیید شورای تحصیلات تکمیلی گروه مکانیک دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد می‌باشد.

تاریخ دفاع: ۱۳۸۹/۷/۳ نمره: درجه ارزشیابی:

اعضای هیأت داوران:

نام و نام خانوادگی	**سمت**	**امضاء**
دکتر محسن قاضی خانی	استاد راهنما	
دکتر محمد رضا مدرس رضوی	استاد دفاع	
دکتر علی کیانی فر	استاد دفاع	
دکتر حمید نیازمند	نماینده تحصیلات تکمیلی	

تأییدیه

گواهی می‌شود که این پایان‌نامه تاکنون برای احراز یک درجه علمی ارائه نشده است و تمامی مطالب آن به جز مواردی که نام مرجع آورده شده است، نتیجه کار پژوهشی دانشجو می‌باشد.

دانشجو: محمد شریف زاده امضاء تاریخ:

استاد راهنما:

دکتر محسن قاضی خانی امضاء تاریخ:

سپاس خداوند را که نخستین موجود است و پیش از او هیچ نبود و آخرین موجود است و پس از او هیچ نباشد و سپاس برای هر آنچه که برایم مقدر می کند.

به پاس تعبیر عظیم و انسانی شان از کلمه ایثار و از خودگذشتگی
به پاس عاطفه سرشار و گرمای امیدبخش وجودشان که در این سردترین روزگاران بهترین پشتیبان است
به پاس قلب های بزرگشان که فریادرس است و سرگردانی و ترس در پناهشان به شجاعت می گراید
و به پاس محبت های بی دریغشان که هرگز فروکش نمی کند
این مجموعه را به پدر ، مادر، خواهر و برادران عزیزم تقدیم می کنم.

تشکر و قدردانی

به انجام رسانیدن این پایان‌نامه محصول لطف و راهنمایی های استاد ارجمند و گرانمایه جناب آقای دکتر محسن قاضی خانی است و اینجانب لازم می دانم کمال تشکر و قدردانی خود را خدمت ایشان ابراز بدارم.

از آقایان دکتر محمدرضا مدرس رضوی و دکتر علی کیانی فر اعضای محترم ممتحن پایان‌نامه که با ارائه پیشنهادات و نقطه نظرات ارزشمند خویش سبب ارتقای کیفیت پایان‌نامه شدند بسیار سپاسگذارم.

از دوست عزیزم مهندس امیر ارژنگ نیا که در انجام آزمایشات همکاری داشته اند تشکر می نمایم.

فهرست مطالب

فصل اول- مقدمه

مقدمه ۱

فصل دوم- مروری بر ادبیات فن

۲-۱ مقدمه ۵

۲-۲ انرژی، انتروپی،اگزرژی ۵

۲-۲-۱ تاریخچه ۶

۲-۲-۲ بررسی کارهای انجام شده ۷

۲-۳ آلودگی ها ۱۰

۲-۳-۱ اکسیدهای نیتروژن ۱۰

۲-۳-۲ دوده ۱۰

۲-۳-۳ هیدروکربن های نسوخته ۱۱

۲-۳-۴ روش های کنترل ۱۱

۲-۴ بازخورانی گاز اگزوز ۱۲

۲-۴-۱ تاریخچه ۱۳

۲-۴-۲ مکانیزم عمل ۱۴

۲-۴-۲-۱ اثر گرمایی ۱۴

۲-۴-۲-۲ اثر رقیق سازی ۱۴

۲-۴-۲-۳ اثر شیمیایی ۱۴

۲-۴-۲-۴ اثر احتراقی ۱۴

۲-۴-۳ مزایا ۱۵

۲-۴-۴ معایب ۱۵

۲-۴-۵ گاز بازخوران شده سرد ۱۵

۲-۴-۶ طرح های مختلف ۱۶

۲-۴-۷ روش های مختلف بازخورانی ۱۸

۲-۴-۸ نحوه محاسبه درصد باز خورانی اگزوز ۱۸

۲-۴-۹ بررسی کارهای انجام شده ۱۹

فصل سوم- تئوری اگزرژی

۳-۱ مقدمه ۲۳
۳-۲ معادله اگزرژی ۲۴
۳-۳ حالت مرده ۲۵
۳-۴ اگزرژی یک سیستم(اگزرژی غیر جریانی) ۲۶
۳-۵ اگزرژی جریان ۲۶
۳-۶ اگزرژی شیمیایی ۲۷
۳-۷ انتقال اگزرژی در رابطه با انتقال حرارت ۲۸
۳-۸ بازگشت ناپذیری ها ۲۹
۳-۹ اگزرژی هوای ورودی ۳۰
۳-۱۰ اگزرژی اگزوز ۳۰
۳-۱۱ بازده قانون دوم(تأثیر پذیری ۳۱
۳-۱۲ دبی هوای ورودی، سوخت و اگزوز ۳۲
۳-۱۳ مصرف مخصوص سوخت ترمزی ۳۲
۳-۱۴ بازده حجمی ۳۳
۳-۱۵ ضرایب تصحیح قدرت و راندمان حجمی ۳۴
۳-۱۶ نسبت هم ارزی ۳۴
۳-۱۷ بالانس اگزرژی موتور ۳۵
۳-۱۸ محاسبه دمای گاز باز خوران شده ۳۶

فصل چهارم - بستر و روش آزمون

۴-۱ مقدمه ۳۸
۴-۲ موتور و تجهیزات وابسته ۳۸
۴-۲-۱ موتور ۴۰
۴-۲-۲ استارتر ۴۱
۴-۲-۳ سیستم خنک کننده ۴۱
۴-۲-۴ سیستم بازخورانی سرد ۴۱

۴-۲-۵ آبرسانی به سیستم خنک کننده و دینامومتر ۴۳
۴-۳ وسایل اندازه گیری ۴۴
۴-۳-۱ دینامومتر ۴۴
۴-۳-۲ دورسنج ۴۶
۴-۳-۳ دبی سنج هوا ۴۷
۴-۳-۴ دبی سنج سوخت ۴۸
۴-۳-۵ سیستم کامپیوتری اندازه گیری دما ۴۹
۴-۳-۶ اندازه گیری شرایط محیطی ۴۹
۴-۴ آماده سازی بستر آزمون ۵۱
۴-۴-۱ کالیبراسیون ۵۱
۴-۵ روش انجام آزمایشات ۵۲
۴-۵-۱ آزمایش عملکرد موتور ۵۲
۴-۵-۲ آزمایشات بازخورانی اگزوز ۵۲

فصل پنجم - نتایج و بحث

۵-۱ مقدمه ۵۴
۵-۲ نمایش و تحلیل نتایج مربوط به سرعت ۱۵۰۰ ۵۴
۵-۲-۱ بازده قانون دوم ۵۵
۵-۲-۲ مصرف مخصوص سوخت ۶۱
۵-۲-۳ بازگشت ناپذیری ها ۶۳
۵-۳ نمایش و تحلیل نتایج مربوط به سرعت ۲۰۰۰ ۶۸
۵-۳-۱ بازده قانون دوم ۶۸
۵-۳-۲ مصرف مخصوص سوخت ۷۲
۵-۳-۳ بازگشت ناپذیری ها ۷۵
۵-۴ نمایش و تحلیل نتایج مربوط به سرعت ۳۰۰۰ ۷۸
۵-۴-۱ بازده قانون دوم ۷۸
۵-۴-۲ مصرف مخصوص سوخت ۸۲
۵-۴-۳ بازگشت ناپذیری ها ۸۴
۵-۵ اثر سرعت روی بازده قانون دوم ۸۸

۵-۶ خلاصه نتایج ۹۰
۵-۷ زمینه های پژوهشی آینده ۹۱
مراجع ۹۲
پیوست
پیوست ۱ : منحنی مشخصه موتور ۹۵
پیوست ۲ : مشخصات موتور ۹۶
پیوست ۳ : مشخصات سوخت ۹۶
پیوست ۴ : نمودار تجربی اختلاف ارتفاع آب در ارفیس بر حسب سرعت موتور ۹۷
پیوست ۵ : کد محاسباتی MATLAB ۹۸
پیوست ۶ : نمودار bmep و جدول خطای وسایل اندازه گیری ۹۹

فهرست علائم

علائم لاتین

اگزرژی شیمیایی سوخت ..... $a_{f,ch}$

اگزرژی هوا ..... A_{air}

اگزرژی اگزوز ..... A_{exh}

اگزرژی سوخت ..... A_f

اگزرژی ترمومکانیکی مخصوص سوخت ..... $b_{f,th}$

اگزرژی ترمومکانیکی مخصوص هوای ورودی ..... $b_{in,air}$

ظرفیت گرمایی ویژه هوا ..... C_{air}

ظرفیت گرمایی ویژه سوخت ..... C_f

ضریب تصحیح قدرت ..... C_f

ضریب تصحیح راندمان حجمی ..... C'_f

ظرفیت گرمایی ویژه آب ..... C_w

قطر ارفیس هوای ورودی ..... D

محتوای انرژی ماده ..... E

شتاب گرانش ..... g

تابع گیبس ..... g_f

آنتالپی در حالت مرده ..... h_0

آنتالپی ورودی ..... h_{in}

آنتالپی خروجی ..... h_{out}

ارتفاع آب در مانومتر ..... H

بازگشت ناپذیری در حجم کنترل ..... $\dot{I}_{C.V.}$

بازگشت ناپذیری کلی ..... $\dot{I}_{tot}$

بازگشت ناپذیری کلی موتور ..... $\dot{I}_{Engine}$

دبی جرمی هوا ..... $\dot{m}_{air}$

دبی جرمی اگزوز ..... $\dot{m}_{exh}$

دبی جرمی سوخت..... $\dot{m}_{f}$

دبی جرمی آب در مبدل روغن..... $\dot{m}_{h.e}$

دبی جرمی ورودی..... $\dot{m}_{in}$

دبی جرمی خروجی ..... $\dot{m}_{out}$

دبی جرمی رادیاتور..... $\dot{m}_{rad}$

سرعت دورانی موتور ..... N

فشار اگزوز..... p_{exh}

فشار مطلق هوای محیط ..... p_{m}

فشار جزئی بخار آب محیط ..... $p_{v,m}$

فشار استاندارد و مطلق هوای محیط ..... $p_{s,d}$

فشار محیط ..... P_0

توان موتور ..... P

گرمای منتقل شده ..... Q

ثابت هوا ..... R

انتروپی در حالت مرده ..... s_0

انتروپی ورودی به حجم کنترل ..... s_{in}

انتروپی خروجی از حجم کنترل ..... s_{out}

زمان مصرف سوخت ..... t_f

T_0 ..... دمای محیط

T_{EGR} ..... دمای گاز بازخوران شده

T_i ..... دمای مرز حجم کنترل

T_j ..... دمای مرز سیستم واسطه

T_{mix} ..... دمای مخلوط ورودی

T_s ..... دمای استاندارد محیط

u_0 ..... انرژی داخلی در حالت مرده

v_{in} ..... سرعت ورود به حجم کنترل

v_{out} ..... سرعت خروج از حجم کنترل

V_0 ..... حجم در حالت مرده

$\dot{V}_{air}$ ..... دبی حجمی هوای ورودی

w_{act} ..... کار واقعی

w_{rev} ..... کار بازگشت پذیر

W_{br} ..... کار ترمزی

x_p ..... کسر مولی محصولات

x_r ..... کسر مولی واکنش دهنده ها

y ..... تعداد هیدروژن سوخت

z ..... تعداد کربن سوخت

z ..... ارتفاع

علائم یونانی

α ..... نسبت تعداد هیدروژن به کربن سوخت

ε ..... بازده قانون دوم

η_t ..... بازده قانون اول

η_v ..... بازده حجمی

μ_r ..... پتانسیل شیمیایی واکنش دهنده ها

v ..... حالت بخار

ρ_{air} ..... چگالی هوا

ρ_f ..... چگالی سوخت

$\sigma_{C.V.}$ ..... تولید انتروپی در حجم کنترل

σ_{tot} ..... تولید انتروپی در حجم کنترل

ϕ ..... اگرزژی مخصوص سیستم بسته

Φ_{Q_i} ..... انتقال اگزرژی مربوط به گرمای $\dot{Q}_i$

Φ_{Q_j} ..... انتقال اگزرژی از یا به یک منبع با دمای T_j

ψ_{tm} ..... اگزرژی ترمومکانیکی جریانی در واحد جرم

ψ_{ch} ..... اگزرژی شیمیایی جریانی در واحد جرم

ψ_{tot} ..... اگزرژی کلی جریانی در واحد جرم

علائم اختصاری

bsfc (brake specific fuel consumption) ..... مصرف مخصوص سوخت ترمزی

HHV (Higher HeatingValue) ..... ارزش حرارتی بالا

IDI (Indirect Injection) ..... موتور دیزل تزریق غیر مستقیم

LHV (Lower HeatingValue) ..... ارزش حرارتی پایین

فصل اول

مقدمه

انرژی طی صده های گذشته یکی از مهمترین دغدغه های بشر بوده است. او همیشه به دنبال راهی آسان و کم هزینه برای تبدیل انرژی های موجود به انرژی مکانیکی و الکتریکی است. یکی از ابزارهای مورد توجه برای این تبدیل موتورهای احتراق داخلی بوده و هست. در این بین موتورهای دیزل به خاطر خصوصیاتی ویژه مثل راندمان حرارتی بالا نسبت به سایر انواع موتور، بیشتر مورد توجه هستند. در دهه های اولیه ابداع این نوع موتور تمرکز اصلی روی افزایش توان و کاهش وزن و حجم موتور بوده است. اما در دهه های اخیر با مورد توجه قرار گرفتن مسائل زیست محیطی و در اولویت قرار گرفتن سلامت انسان و محیط زندگی اش اکثر تلاش ها به جهت کاهش آلودگی در این موتور و سایر انواع موتور های احتراق داخلی متمایل شده است. تا جائیکه در حال حاضر به ندرت کار تحقیقاتی را می توان مشاهده کرد که راههای کاهش یکی از آلودگی های موجود در موتور های احتراق داخلی را بررسی نکرده باشد[۱].

اگزوز موتور دیزل شامل هزاران ذره در فازهای گاز و جامد است که از احتراق سوخت های فسیلی تولید می شوند. اما بیشترین آلودگی ها در اگزوز موتورهای دیزل مربوط به اکسیدهای نیتروژن[۱]، منوکسید کربن[۲]، دی اکسیدکربن[۳]، دوده[۴]، هیدروکربن های نسوخته[۵] و ذرات معلق[۶] است[۱].

روش های زیادی برای کاهش آلودگی ها در موتورهای احتراق داخلی پیشنهاد شده است. بعضی از محققین بر روش هایی مانند استفاده از سوخت گیاهی برای کاهش تمامی آلاینده ها تاکید دارند. بعضی دیگر با افزودن هیدروژن به سوخت، کاهش مقدار دوده و ذرات معلق و هیدروکربن های نسوخته را در موتورهای دیزل بررسی می کنند. عده ای با استفاده از بازخورانی گاز اگزوز[۷] یا تزریق آب به داخل سیلندر

---

[1] NO_x
[2] CO
[3] CO_2
[4] Soot
[5] Unburned Hydrocarbon(UHC)
[6] Particle matter(PM)
[7] Exhaust Gas Reciculation (EGR)

مقدار اکسیدهای نیتروژن را کم می کنند. در این بین روش های پیشرفته تری نیز مثل ایجاد شعله سرد یا انواع مختلف احتراق همگن وجود دارند[۱]. مشاهده شده است که اکثر روش هایی برای کاهش یکی از آلاینده ها به کار می رود موجب افزایش در آلاینده دیگری می شود و یا حداقل موجب کاهش کارایی و افت عملکرد موتور در بعضی شرایط کاری موتور می شود. عده دیگر با مهم تر دانستن کارایی موتور و فرض اینکه تولید آلاینده ها در موتورهای احتراق داخلی اجتناب ناپذیر است، استفاده از وسائل اضافی مانند مبدل های کاتالیستی (برای جلوگیری از ورود آلاینده ها به اتمسفر) را پیشنهاد می کنند. اینکه از چه روشی برای کاهش آلاینده ها استفاده می شود مهم نیست. مهم این است که طراحی و بهینه سازی روش مورد نظر به گونه ای انجام شود که کمترین تأثیر منفی را بر دیگر آلاینده ها و کارایی موتور داشته باشد.

همانطور که گفته شد بازخورانی گاز اگزوز روشی است که برای کاهش اکسیدهای نیتروژن در موتورهای احتراق داخلی استفاده می شود. اکسیدهای نیتروژن در احتراق معمولاً در هر دمایی تشکیل می شود. ولی با افزایش دما تولید آن به مقدار چشمگیری زیاد می شود. موتورهای دیزل در کل رقیق سوز هستند ولی به خاطر نوع احتراق در نواحی شعله نسبت سوخت به هوا نزدیک به حالت استوکیومتریک است و این باعث افزایش دمای منطقه ای می شود[۲]. دو عامل اکسیژن و دمای بالا برای تولید اکسیدهای نیتروژن لازم است. پس اگر به نحوی این دو عامل را کاهش داد مقدار اکسیدهای نیتروژن کاهش می یابد. گاز اگزوز با مشخصه های فیزیکی و شیمیایی که دارد دمای احتراق را مقداری پایین می آورد و موجب کاهش تولید اکسیدهای نیتروژن می شود. کاهش دمای احتراق از طرفی موجب افزایش تولید دوده می شود و این از مضرات استفاده از سیستم بازخورانی گاز اگزوز است. از مضرات دیگر بازخورانی گاز اگزوز این است که گرم شدن هوای ورودی موجب افزایش دمای احتراق می شود و این به معنی از بین رفتن مزیت اصلی این روش (کاهش اکسیدهای نیتروژن) است. همچنین گرم شدن هوای ورودی به خاطر اثرات تراتلینگ گرمایی کارایی موتور را کاهش می دهد. بنابراین لازم است که گاز اگزوز در مسیر ورود به موتور سرد شود[۳].

روش های پیشگیری کننده اکثراً اثرات منفی روی کارایی و عملکرد موتور دارند. کارایی و عملکرد موتور را در شرایط کاری مختلف معمولاً با تحلیل قانون اول و دوم ترمودینامیک می سنجند. اما مشاهده شده است که در بیشتر تحلیل های ترمودینامیکی قوانین اول و دوم را ترکیب کرده و مفهوم جدیدی به نام اگزرژی یا قابلیت کار دهی معرفی می کنند. اگزرژی به صورت ماکزیمم کاری که از یک سیستم یا جریان تا رسیدن به حالت مرجع می توان دریافت کرد تعریف می شود. با کاربرد مفهوم قابلیت کاردهی می توان کیفیت منابع انرژی موجود و درصد موفقیت در استفاده از پتانسیل کار موجود در این منابع را سنجید. با تعریف مفهوم اگزرژی، مفهوم بازگشت ناپذیری ها (به معنی اگزرژی ازبین رفته) نیز به وجود می آید. با کاربرد مفهوم اگزرژی در موتورهای احتراق داخلی و تعریف راندمان قانون دوم می توان چگونگی استفاده از اگزرژی شیمیایی سوخت و مقداری از این اگزرژی که صرف بازگشت ناپذیری و همچنین مکان این بازگشت ناپذیری ها را پیدا کرد.

واضح است که بازخورانی اگزوز گرم اثراتی روی بازگشت ناپذیری ها و راندمان قانون دوم خواهد داشت. دیده شده است که بسته به شرایط کاری موتور این اثرات می تواند مثبت یا منفی باشد. استفاده از گاز اگزوز با دماهای مختلف نیز مسلماً اثراتی روی راندمان قانون دوم خواهد داشت. اهمیت بررسی این موضوع وقتی مشخص می شود که بدانیم تقریباً تمام سیستم های بازخورانی گاز اگزوز نصب شده روی موتور های احتراق داخلی دارای یک سرد کننده هستند که دمای گاز اگزوز را پایین می آورد. تاکنون کارهای تحقیقاتی در زمینه بررسی اثر بازخورانی گاز اگزوز سرد بر روی آلودگی ها انجام شده است. ولی هیچکدام مشخصاً اثر دمای گاز اگزوز را روی بالانس اگزرژی بررسی نکرده اند. کارهای انجام شده در زمینه اگزرژی و بازخورانی گاز اگزوز را در فصل دوم به طور مفصل مرور خواهد شد.

در این پژوهش هدف بررسی اثر دمای گاز باز خورانی شده روی اگزرژی مصرفی در قسمت های مختلف موتور است. به این جهت یک سیستم بازخورانی گاز اگزوز سرد[1] طراحی، ساخته و بر روی موتور نصب شده است. این سیستم دارای یک مسیر بای پس و یک مسیر همراه با میان سرد کن است که گام های دمایی مورد نظر را در گاز بازخوران شده ایجاد می کند. بعد از نصب این سیستم و وسائل اندازه گیری، طبق استانداردهای موجود آزمایشاتی روی موتور انجام شده است. در نهایت با اعمال بالانس اگزرژی بر روی موتور، اگزرژی مصرفی در اگزوز، سیستم سرد کننده، اگزرژی خروجی (کار) و باز گشت ناپذیری ها محاسبه شده و نتایج برای دمای های مختلف گاز بازخوران شده با هم مقایسه شده است.
به این ترتیب فصل های این پایان نامه به شرح زیر است.

فصل دوم مربوط به کارهای تحقیقاتی انجام شده مرتبط با موضوع پایان نامه است و به دو گروه کلی تقسیم می شود. گروه اول مربوط به تحقیقات انجام شده در زمینه اگزرژی و کاربرد آن در موتورهای احتراق داخلی است و گروه دوم مربوط به سیستم بازخورانی گاز اگزوز است. درهرگروه ابتدا به معرفی موضوع پرداخته و تاریخچه ای از آن ارائه شده و سپس مقاله های موجود در این زمینه بررسی شده است.

فصل سوم مربوط به تئوری اگزرژی و روابط مورد نیاز برای محاسبه ترم های اگزرژی در موتور است. در این فصل ابتدا روابط مربوط به قوانین اول و دوم را ارائه کرده و سپس ترکیب این دو را به عنوان معادله بالانس اگزرژی ذکر شده است. سپس روابطی برای محاسبه دبی هوای ورودی، دبی سوخت مصرفی، اگزرژی شیمیایی سوخت، ضرائب تصحیح و تعریف های راندمان قانون دوم ارائه شده و در نهایت معادله بالانس اگزرژی روی موتور اعمال شده است.

فصل چهارم مربوط به معرفی بستر آزمون است . در این فصل ابتدا تجهیزات اندازه گیری معرفی و سپس نحوه کار بعضی از تجهیزات توضیح شده داده شده است. در ادامه سیستم بازخورانی گاز اگزوز سرد طراحی شده، معرفی و در نهایت روش انجام آزمون شرح داده شده است.

فصل پنجم مربوط به بررسی نتایج و تحلیل آنها است. در این فصل نتایج در سه سرعت ۱۵۰۰ و۲۰۰۰ و۳۰۰۰ دور بر دقیقه دسته بندی شده و در بارهای مختلف با هم مقایسه شده است. سپس

[1] Cooled EGR

بعضی پارامترها مثل بازده قانون در سرعت های مختلف ، مقایسه و تحلیل شده است. در انتها نیز یک نتیجه گیری کلی از کار انجام شده ارائه و کارهای تحقیقاتی که در آینده در ادامه این کار می توان انجام داد بررسی شده است.

فصل دوم

مروری بر ادبیات فن

۲- ۱ مقدمه

اگزرژی، مفهوم زاده شده از قانون دوم ترمودینامیک، همگام با مفهوم انتروپی و حتی جلوتر از آن طی دو قرن اخیر در تحلیل های ترمودینامیکی به تکامل رسیده است. امروزه تحلیل یک فرآیند ترمودینامیکی بدون تحلیل اگزرژتیک آن تحلیلی ناقص محسوب می شود. مروری برمقالات منتشر شده نشان می دهد که تحلیل اگزرژی جزء جدایی ناپذیر تحلیل هر وسیله ای است که در یک فرآیند ترمودینامیکی عمل می کند. به طوریکه تحلیل اگزرژی در زمینه های تحقیقاتی مثل موتورهای احتراق داخلی و تولید توان در نیروگاه ها به کرات انجام می شود.

بازخورانی گازهای اگزوزتکنیکی است که برای کاهش آلودگی اکسید های نیتروژن در موتورهای احتراق داخلی به کار می رود. این تکنیک به این صورت است که درصدی از گاز اگزوز را گرفته و پس از سرد کردن با هوای ورودی مخلوط کرده و همراه سوخت به موتور معرفی می کنند. همانطور که قبلاً ذکر شد هدف این پروژه تحلیل اگزرژی یک موتور احتراق داخلی است که از یک سیستم بازخورانی اگزوز سرد استفاده می کند. در این فصل ابتدا مقدمه ای درباره اگزرژی ذکر شده ، تاریخچه ای کوتاه از آن بیان شده و کارهای تحقیقاتی انجام شده در زمینه تحلیل اگزرژی موتورهای احتراق داخلی بررسی شده است. سپس آلودگی های موتور دیزل به ویژه اکسیدهای نیتروژن بررسی و تکنیک بازخورانی گاز اگزوز معرفی شده است. در ادامه تاریخچه ای از آن ذکر و مکانیزم عمل آن بررسی و مزایا و معایب آن را یاد آوری و در پایان کارهای تحقیقاتی انجام شده در این زمینه را بررسی شده است.

۲-۲ انرژی، انتروپی، اگزرژی

ترمودینامیک عموماً به عنوان علم انرژی و انتروپی شناخته می شود و مهندسی حرارت راه استفاده بهینه از منابع انرژی موجود را بررسی می کند. واژه ترمودینامیک از دو واژه یونانی ترمو (حرارت) و دینامیک (نیرو) تشکیل شده است که توصیف کننده تلاش های اولیه برای تولید توان است. علم ترمودینامیک اصولاً بر مبنای دو قانون کلی اول و دوم بنا شده است. قانون اول یک بیان ساده از اصل

تبدیل انرژی است. این اصل ادعا می کند که انرژی یک خاصیت ترمودینامیکی است و در ضمن یک واکنش انرژی می تواند از شکلی به شکل دیگر در آید. اما مقدارکل آن ثابت باقی می ماند. قانون دوم ترمودینامیک بیان می کند که به همان وضوح که برای انرژی کمیت قائلیم باید برای آن کیفیت نیز قائل شویم و دیگر اینکه فرآیندهای واقعی در مسیر کاهش کیفیت انرژی پیش می روند. همیشه انرژی گرمایی یک جسم دما بالا در ضمن انتقال به جسم دما پایین تنزل کیفیت پیدا می کند. تلاش ها برای کیفی سازی مقدار انرژی در مسیر قانون دوم ترمودینامیک منجر به تعریف کمیت های انتروپی و اگزرژی شده است[۴].

در طی ۵۰ سال اخیر دیدگاه ما از طبیعت شدیداً تغییرکرده است. علوم کلاسیک همیشه برتعادل و پایداری تأکید داشته اند. اما حالا فرآیند های نوسانی، ناپایدار و تکاملی را در همه زمینه های علوم (شیمی، بیولوژی و کیهان شناسی) مشاهده شده است. هر جایی ما فرآیندهای بازگشت ناپذیری را مشاهده می کنیم که تقارن را شکسته اند. جدایی بین فرآیند های بازگشت پذیر و بازگشت ناپذیر ابتدا توسط واژه انتروپی و سپس اگزرژی به وجود آمد[۴].

اولین بار مفاهیم قانون اول و دوم ترمودینامیک همزمان در دهه۱۸۵۰ در کارهای ویلیام رنکین[۱]، رودولف کلازیوس[۲] و ویلیام تامسون[۳] (لرد کلوین) پدیدار شدند. اگر چه اصول ترمودینامیک از ابتدای خلق جهان وجود داشته اند. اما ترمودینامیک از زمانی به عنوان یک علم ظاهر شد که اولین ماشین بخار اتمسفریک در انگلستان توسط ساواری[۴] در سال ۱۶۹۷ و تامسون نیوکامن[۵] در سال ۱۷۱۲ ساخته شد. این موتورها بسیار کند و نا کارآمد بودند اما راه را برای توسعه علوم جدید باز کردند[۴].

مفاهیم اگزرژی و انتروپی در زمینه های دیگری مثل استاتیک و تئوری تشکیل نیز به کار می روند. بنابراین اگزرژی و انتروپی کاملاً زیر مجموعه انرژی نیستند. چون کار شفت بدون انتروپی است بنابراین انتروپی زیر مجموعه تنها قسمتی از انرژی است. به طور مشابه اگزرژی زیر مجموعه تنها قسمتی از انرژی است. همانطور که در بعضی سیستم ها فقط تحلیل انرژی مهم است مانند سیستم های تهویه مطبوع. اما در بیشتر سیستم های ترمودینامیکی مثل تولید بخار در نیروگاهها تحلیل هرسه مفهوم لازم است[۴].

۲-۲- ۱ تاریخچه

اولین کسانی که به مفهوم قابلیت کاردهی انرژی برای تبدیل شدن به کار پرداختند، کلازیوس، تایت، توماسون، ماکسول و گیبس بودند که از سال ۱۸۶۸ به این مفهوم توجه کردند. ولی با توجه به مقاله ای که توسط گوی در سال ۱۸۸۹ منتشر گردید ترمودینامیک دانان این مقاله را به عنوان سندی برای تولد مفهوم قابلیت کاردهی اعلام می نمایند[نقل ازمرجع شماره ۵].

---

[1] William Rankine
[2] Rudolph Clausius
[3] William Thomson
[4] Thomas Savery
[5] Thomas Newcomen