

شکل ۴-۲۳: منحنی‌های نرخ آزادسازی گرما در جرم سوخت پاشش‌شده‌ی $M=60.0 \text{ MG/CYCLE}$ بر حسب زاویه‌ی

میل‌لنگ.....۶۹

شکل ۴-۲۴: منحنی‌های نرخ آزادسازی گرما در جرم سوخت پاشش‌شده‌ی $M=70.0 \text{ MG/CYCLE}$ بر حسب زاویه‌ی

میل‌لنگ.....۶۹

شکل ۴-۲۵: کانتورهای دمایی مرتبط در دمای اولیه محفظه‌ی احتراق ۶۰۰ کلوین.....۷۱

شکل ۴-۲۶: کانتورهای نسبت هم‌ارزی در دمای اولیه محفظه‌ی احتراق ۶۰۰ کلوین.....۷۲

شکل ۴-۲۷: کانتورهای جزء جرمی $\text{C}_{13}\text{H}_{23}$ در دمای اولیه محفظه‌ی احتراق ۶۰۰ کلوین.....۷۳

فصل اول

مقدمه و ساختار پایان نامه

۱-۱- مقدمه

یکی از مشکلات جدی زیست‌محیطی در جوامع امروزی، مشکل آلودگی هواست. از طرفی با گسترش شهرها حجم تولید آلاینده‌های هوا به میزان قابل توجهی در حال افزایش است. شکی نیست که این آلاینده‌ها برای سلامتی انسان و محیط زیست مضر هستند. آلودگی ناشی از موتورهای حرارتی سهم زیادی در این مسئله دارند، اما استفاده از آن‌ها بسیار رایج است و عملاً امکان کنار گذاشتن موتورهای حرارتی از لیست منابع تأمین نیروی لازم برای حرکت وسایل گوناگون، غیر ممکن است.

موتورهای دیزل^۱، به عنوان شکلی از موتورهای حرارتی احتراق داخلی با تولید اکسیدهای نیتروژن NOx، دوده، ذرات ریز و ... از پرکاربردترین منابع آلوده‌کننده‌ی هوا محسوب می‌شوند. تحقیقات و مطالعات تجربی نشان می‌دهد که ایجاد تغییراتی در ساختار سیستم سوخت‌رسانی موتورهای دیزل به میزان قابل توجهی در عملکرد موتور و حجم آلاینده‌های تولیدشده تأثیرگذار است. برای همین سیستم سوخت‌رسانی، و تلاش برای بهبود عملکرد آن، در سال‌های اخیر موضوع بسیاری از مطالعات در زمینه‌ی موتورهای دیزل بوده است.

زندگی بهتر بشر مستلزم بهبود تجهیزات و سیستم‌هایی است که از آن‌ها استفاده می‌کند. با افزایش روزافزون کاربرد موتورها در زمینه‌های مختلف صنعتی از جمله خودرو، تحقیقات در این زمینه امری ضروری است. در این میان تحقیق در زمینه‌ی موتورهای احتراق داخلی با توجه به خصوصیات و کاربردهایشان از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است.

موتورهای احتراق داخلی به دلیل داشتن بازده و قدرت بالا نسبت به وزن و حجم‌شان، کاربردهای فراوانی در حمل‌ونقل و سایر صنایع دارند؛ که یکی از اصلی‌ترین چالش‌های پیش رو در استفاده از آن‌ها، مسائل زیست‌محیطی و خصوصاً آلودگی هوا می‌باشد. البته تحقیقات فراوانی نیز جهت کاهش آلاینده‌های منتشره از این موتورها صورت گرفته است.

علاوه بر مطالعات تجربی صورت گرفته در این زمینه، یکی از ابزارهای مهم جهت پژوهش در این حوزه، مدل‌کردن کامپیوتری پدیده‌های درونی موتورهاست. این مدل‌ها در واقع رهیافتی برای رابطه‌مندکردن و تحلیل چرخه‌های درونی موتور است. اغلب مدل‌ها نمی‌توانند فرآیندها و خواص را با ریزترین جزئیات نشان

^۱ Diesel engines

دهند، با این حال، ابزار قدرتمند و قابل اعتمادی در فهم و توسعه‌ی فرآیندهای درونی موتور می‌باشند. با استفاده از این مدل‌ها در تحلیل و طراحی موتورهای جدید، صرفه‌جویی عمده‌ای در زمان و هزینه‌ی مطالعات صورت می‌گیرد. در این راستا مدل‌های کلاسیک ارائه‌شده را می‌توان به دو گروه مدل‌های ترمودینامیکی و مدل‌های سیالاتی طبقه‌بندی کرد. ولی علاوه بر این دو گروه، شبکه‌های عصبی مصنوعی نیز یکی از قدرتمندترین ابزارها در تحلیل سیستم‌های پیچیده و غیرخطی محسوب می‌شوند. این شبکه‌ها توانایی تحلیل ارتباط موجود بین انواع پارامترهای ورودی و خروجی و ایجاد مدلی مناسب برای موتورهای احتراق داخلی را دارند.

علاوه بر مشکل آلودگی محیط زیست، کاهش منابع طبیعی و در نتیجه افزایش هزینه‌ی استفاده از سوخت‌های فسیلی نیز مانعی در زمینه‌ی فعالیت موتور دیزل است. تکنیک‌هایی که برای غلبه بر مشکلات موتور دیزل ارائه می‌شود در حالت کلی دو جهت‌گیری دارند [1] و [2]:

۱- ایجاد تغییراتی در طراحی موتورهای دیزل برای افزایش عملکرد آن و کاهش آلودگی محصولات احتراق (نظیر استفاده از سیستم ریل مشترک، استراتژی‌های کنترل تزریق سوخت، کار بر روی گاز خروجی و ...).

۲- استفاده از سوخت جایگزین برای حل بحران انرژی، مسئله‌ی آلاینده‌ها و کاهش افزایش عملکرد موتور دیزل (به عنوان نمونه، سوخت‌های اکسیژن‌دار که در آن ریز کمتری تولید می‌کنند یا سوخت‌های تجدیدپذیر که با محیط زیست سازگاری دارند).

۱-۲- هدف مطالعه‌ی حاضر برای دریافت فایل کامل پایان‌نامه‌ی پیش‌رو مطالعه‌ی عددی بر روی موتور دیزل ۱/۸ لیتر انجام می‌باشد. ابتدا شبیه‌سازی موتور انجام شده و تاثیر شرایط اولیه‌ی حاکم مورد بررسی قرار می‌گیرد. بدین وسیله ابتدا مدل هندسی دامنه‌ی محاسباتی سیلندر پیستون طراحی گردیده و سپس در نرم افزار Ansys ICEM مش‌زنی سطحی صورت گرفته است و در نرم افزار ESE Diesel مش‌زنی حجمی صورت گرفته و برای برقراری شرایط اولیه و مرزی و همچنین چگونگی حل معادلات بقا، گسسته‌سازی معادلات پیوستگی، مومنتوم، و انرژی تصمیم‌گیری می‌شود. مدل هندسی مش‌زنی شده‌ی سه‌بعدی وارد نرم افزار AVL-Fire شده و نتایج دو بعدی و سه‌بعدی با تغییر پارامترهای اولیه‌ی مورد نظر مطالعه قرار خواهد گرفت. هدف این پایان‌نامه تبیین راهکارهایی

1001daneshjo.ir

جهت افزایش عملکرد موتور و کاهش آلاینده‌ها با استفاده از انتخاب بهترین نقاط کارکردی شرایط اولیه خواهد بود.

۱-۳- ساختار کلی پایان نامه

قسمت‌های مختلف این پایان‌نامه شامل مقدمه‌ای از موتورهای دیزل در فصل اول می‌باشد. فصل دوم به تعریف موتور و مروری بر کارهای انجام شده می‌پردازد. همچنین روش‌شناسی و خصوصیات مش و تیز مدل‌های احتراقی که در سال‌های اخیر مورد توجه قرار گرفته و نحوه‌ی گسسته‌سازی معادلات مطالب فصل سوم را شکل می‌دهند. همچنین نحوه‌ی تزیین نمودار و معادلات مربوطه به همراه جداول استفاده شده برای شبیه‌سازی بحث خواهند شد. در فصل چهارم نتایج حاصل از شبیه‌سازی به همراه بحث بر روی نتایج جهت ایجاد بهترین عملکرد و کمترین آلودگی ارائه خواهند شد. نتایج ارائه شده به صورت کانتورهای سه‌بعدی از تغییرات زمانی و مکانی پارامترهای هدف خواهند بود. همچنین نمودارهای دوبعدی از تغییرات پارامترهای مربوطه در طول میل‌لنگ و پیشرفت سیکل دیزل ارائه می‌شوند. در فصل پنجم راهکارها و پیشنهادهایی جهت انجام کارهای آتی مطرح خواهند شد.

به سایت مراجعه کنید

1001daneshjo.ir

هزارویک دانشجو

فصل دوم

معرفی مباحث و مروری بر کارهای گذشته

برای دریافت فایل کامل

به سایت مراجعه کنید

1001daneshjo.ir

در این فصل، ابتدا تاریخچه‌ای از روند تکامل موتورهای احتراق داخلی و موتورهای دیزل به صورت کاملاً خلاصه و فشرده با تأکید بر کاربردها و مزایای آن آورده شده است. تمرکز مطالب بیشتر بر روی موتورهای دیزل و چند مورد از مشخصه‌های عملکردی آن‌ها می‌باشد. در ادامه به پدیده‌ی احتراق در موتور پرداخته شده، و در نهایت آلاینده‌های منتشره از موتورهای دیزل و عوامل مؤثر در تولید این آلاینده‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرند.

۲-۲- تاریخچه موتورهای احتراق داخلی^۲

در گذشته، انسان برای تأمین نیرو در عملیات و کارهای مختلف از نیروی حیوانات استفاده می‌نمود، اما با گذشت سال‌ها و پیشرفت‌های بشر، موتور گرمایی^۳ اختراع و به عنوان منبع تولید توان در کارهای گوناگون به کار گرفته شد. تاریخچه‌ی موتورهای احتراق داخلی به سال ۱۸۷۶ میلادی، زمانی که نیکولاس اتو^۴ (۱۸۳۲-۱۸۹۱) برای اولین بار موتور اشتعال جرقه‌ای^۵ و نیز سال ۱۸۹۲ زمانی که رادلف دیزل^۶ (۱۸۵۸-۱۹۱۳) موتور اشتعال تراکمی^۷ را اختراع کردند، روی می‌گردد. از آن زمان تاکنون، همراه با افزایش دانش ما از فرآیندهای موتور، فراهم شدن فن‌آوری‌های جدید، افزایش تقاضا برای انواع موتورهای جدید و تغییر در محدودیت‌های زیست‌محیطی، تکنولوژی مربوط به موتورها همواره در حال پیشرفت بوده است. هم‌اکنون، موتورهای احتراق داخلی و صناعی که آن‌ها را توسعه دادند و از تولید و به‌کارگیری آن‌ها حمایت می‌کنند، نقش بارزی در زمینه‌های توان، پیشرفت و انرژی می‌نمایند. در سال‌های گذشته با توجه به اهمیت فزاینده‌ی مسائلی نظیر آلودگی هوا، قیمت سوخت و رقابت بازار، شاهد رشد انفجاری در تحقیق و توسعه‌ی انواع این موتورها بودیم [3]. در این میان، موتورهای دیزل در سال‌های اخیر، به دلایل متعددی از جمله، بالا بودن راندمان حرارتی، ارزان بودن سوخت مصرفی‌شان، بیشتر بودن طول عمر و قرار گرفته‌اند. مطالعات در این پایان‌نامه نیز عمدتاً بر این نوع از موتورهای احتراق داخلی استوار است.

^۲ Internal Combustion Engines (ICE)

^۳ Heat Engine (H.E)

^۴ Nicolaus Otto

^۵ Spark Ignition (SI) Engine

^۶ Rudolf Diesel

^۷ Compression Ignition (CI) Engine

۲-۱- چرا موتورهای احتراق اشتعال تراکمی را موتورهای دیزلی می‌نامند؟

رادلف دیزل در سال ۱۸۵۸ میلادی در فرانسه به دنیا آمد. او در سال ۱۸۷۵ موفق به اخذ بورس تحصیلی از دانشگاه سلطنتی پلی تکنیک مونیخ گردید. دیزل، پس از ورود به این دانشگاه با پروفیسور کارل فن لینده^۸ آشنا شد که در یک شرکت تحقیقاتی در زمینه‌ی طراحی و ساخت یخچال‌های مدرن فعالیت می‌کرد. او به کمک پروفیسور لینده، در سال ۱۸۹۰ به فکر طراحی موتورهای بخار با سوخت آمونیاک افتاد، اما در حین آزمایش، موتور او منفجر شده و دیزل به شدت آسیب دید. همین حادثه باعث شد که بینایی او با مشکل مواجه گردد. وی پس از آن، فعالیت پژوهشی خود را صرف نوع دیگری از موتورها کرد که از بازده بالاتری نسبت به موتورهای بنزینی برخوردار بودند. اشتعال در موتور جدید، که سوخت آن پودر زغال سنگ بود، در اثر درجه‌ی حرارت بالای هوای متراکم شده انجام می‌گرفت (اشتعال تراکمی) و از این حیث تفاوت‌های اساسی با موتورهای بنزینی، که در آن دوران مورد استفاده بودند، داشت. موتور مذکور در سال ۱۸۹۲ با موفقیت آزمایش شد و همین موفقیت باعث گردید تا نام دیزل، به عنوان یک مخترع بزرگ در تاریخ سیر تکاملی موتورهای احتراق داخلی ثبت شود. رادلف دیزل به آخرین بار در سال ۱۹۱۳ در یک کشتی بخار، حین عبور از یک کانال در انگلستان دیده شد [3].

پس از گذشت سال‌ها و تحقیقات دانشمندان و همچنین اختراع پمپ انژکتور توسط رابرت بوش در سال ۱۹۲۳ انواع تکامل یافته‌ی موتورهای اشتعال تراکمی ساخته شدند و مشکلاتی که این نوع موتورها به دلیل عدم استفاده از پمپ انژکتور و سوخت مناسب داشتند، برطرف گردیدند. امروز موتورهای اشتعال تراکمی با سوخت گازوئیل کار می‌کنند و به احترام مخترع آن، یعنی رادلف دیزل، موتورهای دیزل نامیده می‌شوند.

۲-۳- مقایسه‌ی موتورهای احتراق اشتعال تراکمی (CI) و چرخه‌ای (SI)

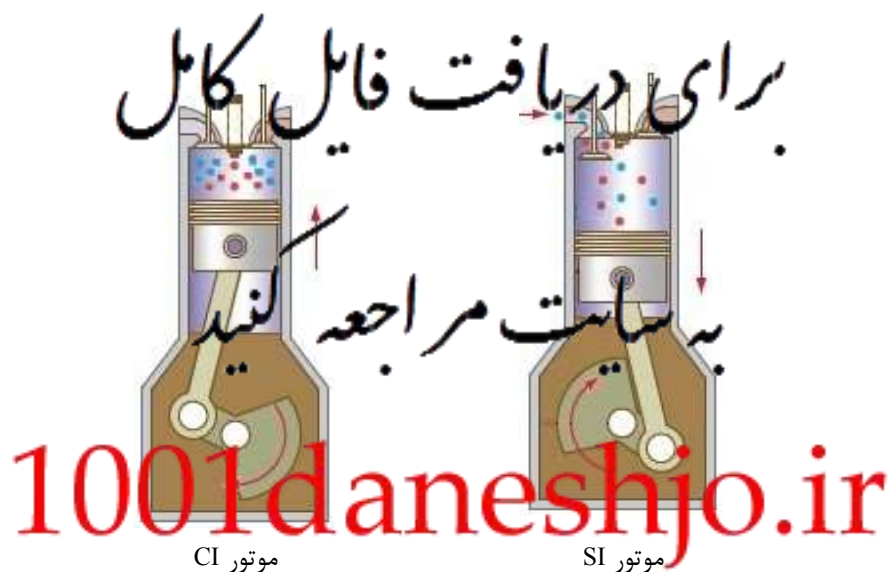
موتورهای احتراق داخلی مختلف دارای تفاوت‌ها و شباهتهایی با یکدیگر می‌باشند. تفاوت موتورهای احتراق داخلی عمدتاً از تفاوت مایه‌ی فرآیندهای جاک-ایجاد می‌شود که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود:

^۸Carl Von Linde

^۹Internal Combustion Engines

سوخت مصرفی: نوع سوخت مصرفی در یک موتور احتراق داخلی از اهمیت بالایی برخوردار است؛ چراکه طراحی یک موتور احتراق داخلی بر اساس نوع سوخت مصرفی صورت می‌گیرد. در موتورهای اشتعال جرقه‌ای یا بنزینی (SI) سوخت مصرفی باید دارای عدد اکتان بالایی باشد؛ در حالی که در موتورهای احتراق تراکمی یا دیزلی (CI) باید عدد اکتان سوخت مصرفی پایین باشد. البته برای هر دو مورد محدودیت‌هایی نیز وجود دارد.

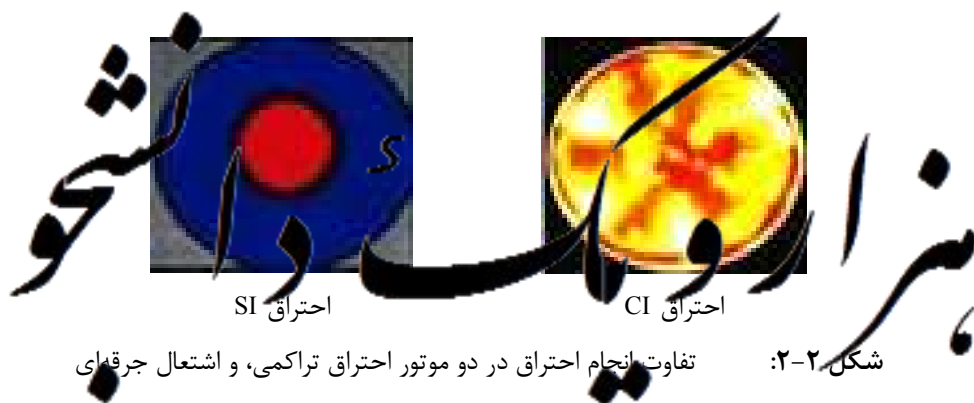
نحوه عملکرد: یکی از تفاوت‌های اصلی بین موتورهای احتراق داخلی بنزینی و دیزلی، نحوه سوخت‌دهی در داخل سیلندر است. شکل ۱-۲ این تفاوت را به صورت شماتیک نمایش می‌دهد. در موتورهای دیزل به طور معمول با استفاده از یک انژکتور، سوخت به داخل محفظه احتراق تزریق و به همراه هوای اضافه شده در مرحله مکش مخلوط می‌شود، ولی در موتورهای SI سوخت به صورت پیش‌اختلاط وارد محفظه احتراق می‌شود.



شکل ۱-۲: آماده‌سازی مخلوط هوا-سوخت در موتورهای مختلف

در موتورهای بنزینی قدیمی، کاربراتور وظیفه‌ی تولید مخلوط هوا-سوخت مناسب را بر عهده دارد؛ ولی در موتورهای بنزینی جدید سوخت به صورت مستقیم در مانیفولد ورودی و پشت سوپاپ ورودی تزریق می‌شود. این سیستم سوخت‌رسانی موجب اختلاط بهتر مخلوط هوا-سوخت نسبت به مدل کاربراتوری می‌گردد.

احتراق: موتور CI به روش افزایش تراکم، تولید احتراق می‌نماید. احتراق CI در یک توده به وقوع می‌پیوندد. در موتور SI روش احتراق کاملاً متفاوت می‌باشد و از یک شار الکتریکی (جرقه) برای تولید احتراق استفاده می‌شود. در این روش احتراق از محل جرجه‌زنی شروع شده و به تدریج کل محفظه را دربرمی‌گیرد. شکل ۲-۲ تفاوت ماهیت احتراق را در موتورهای احتراق داخلی مختلف، به تصویر کشیده است.



برای دریافت فایل کامل
 گازهای خروجی و راندمان تمام موتورهای احتراق داخلی، گاز گلخانه‌ای تولید می‌کنند اما میزان این گازها در هر کدام از موتورها متفاوت است. در موتور SI به دلیل دمای بالای احتراق میزان NO_x تولیدی بالا می‌باشد. موتورهای CI نیز با توجه به ماهیت احتراقشان مقداری NO_x و دوده تولید می‌کنند اما در مقابل موتورهای CI راندمانی به مراتب بهتر از موتورهای SI دارند. جدول ۲-۱ به مقایسه‌ی انواع موتورهای احتراق داخلی در این خصوص پرداخته است.

1001daneshjo.ir

جدول ۲-۱: مقایسه‌ی موتورهای احتراق داخلی مختلف از منظر تولید آلاینده‌های منتشره و راندمان.

موتور بنزینی (SI)	موتور دیزل (CI)	
HC و CO، NO _x ، بالا،	NO _x و soot	آلاینده‌ها
متوسط	خوب	راندمان

۲-۳-۲- کاربرد موتورهای دیزل

موتورهای دیزل اولیه دارای ساختمانی سنگین و معمولاً تک‌سیلندر بودند. سروصدای زیادی داشتند و بسیار کم‌کار می‌گردند، مصرف سوخت آلاینده کمی داشتند و همچنین راه‌اندازی آن‌ها مشکل بود. بنابراین از آن‌ها بیشتر برای تولید توان ثابت و یا به کار انداختن پمپ‌های آب و خرمن‌کوب‌ها استفاده می‌شد. اما در دهه‌ی ۱۹۲۰، موتورهای دیزل چند سیلندر با ابعاد نسبتاً کوچک برای استفاده در خودروهای سواری و کامیون‌ها ساخته شدند. همین امر باعث گسترش کاربرد موتورهای دیزل در جنبه‌های گوناگون شد. امروزه از موتورهای دیزل در ماشین‌های ساختمانی، ماشین‌های راه‌سازی و معادن، کامیون‌ها و کامیونت‌ها، اتوبوس‌های شهری و بین‌شهری، مینی‌بوس‌ها، قطارهای باری و مسافری، ژنراتورهای برق، موتور جوش، ماشین‌های نظامی، پمپ‌های آب صنعتی و کشاورزی و مهم‌تر از همه در اتومبیل‌های سواری جدید و ... استفاده می‌شود. همچنین با پیشرفت‌های انجام گرفته، موتورهای دیزل با بازده بالا، مصرف سوخت پایین و مجهز به تجهیزاتی نظیر توربوشارژر، اینتر کولر و سیستم‌های کاهش آلاینده‌ها ساخته شدند [4] و [5]. در کشورمان نیز انواع مختلف موتورهای دیزل به صورت بسیار وسیع در ناوگان حمل‌ونقل کشور و واحدهای صنعتی استفاده می‌شوند.

1001daneshjo.ir

۲-۴- مزایای موتورهای دیزل

از مزایای موتورهای دیزل می‌توان به موارد زیر اشاره کرد [5] و [6]:

۱- ارزان بودن سوخت مصرفی آنها: سوخت مصرفی موتورهای دیزل در مقایسه با موتورهای بنزینی عموماً ارزان‌تر است.

۲- ایجاد گشتاور بالا با دور کم و مصرف پایین سوخت: در موتورهای دیزل، پاشش سوخت توسط انژکتور در مرحله‌ی احتراق، ادامه‌دار می‌باشد. به همین دلیل زمان تولید قدرت در داخل سیلندر ادامه‌دار بوده و با پایین رفتن پیستون مقدار کمتری از فشار احتراق کاسته می‌شود. این عمل موجب تولید گشتاور بالا خواهد شد.

۳- بالا بودن بازده حرارتی: موتورهای دیزل به علت داشتن نسبت تراکم بالا از بازده حرارتی بیشتری برخوردارند، پس کار مفید آنها نیز بیشتر است. بازده حرارتی موتورهای دیزل معمولاً به طور متوسط حدود ۳۵٪ است.

۴- کم‌خطر بودن موتورهای دیزل در مقابل آتش‌سوزی: درجه‌ی اشتعال گازوئیل ۸۰ درجه‌ی سلسیوس است. بنابراین، نسبت به بنزین که درجه‌ی اشتعال آن ۲۰ درجه‌ی سلسیوس است، خیلی کم‌خطرتر است. همچنین عدم وجود تجهیزات جرقه‌زنی و اشتعال در موتورهای دیزل خطر آتش‌سوزی آنها را کاهش می‌دهد.

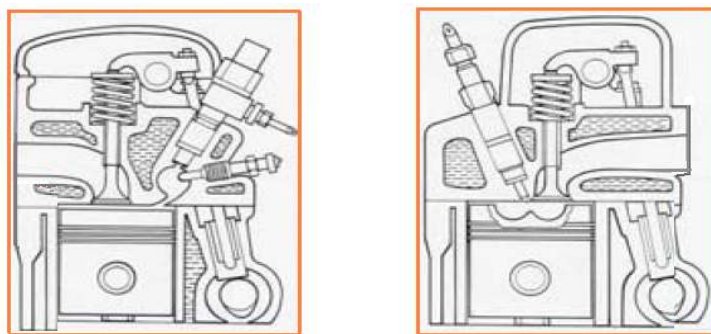
۵- بالا بودن عمر موتورهای دیزل: موتورهای دیزل در صورت نگهداری و سرویس مرتب و استفاده‌ی درست، می‌توانند سال‌ها بدون عیب و نقص کار کنند.

از معایب موتورهای دیزل نیز می‌توان به بزرگ بودن ساختمان موتور، لرزش بالای آن حین کار، گران بودن قطعات و در نتیجه بالا بودن قیمت موتور و حساس بودن سیستم‌های سوخت‌رسانی اشاره کرد که با تکنولوژی‌های جدید برخی از این معایب برطرف شده و بعضی نیز در حال برطرف شدن هستند [4].

1001daneshjo.ir

۲-۵- موتورهای دیزل پاشش مستقیم (DI)^{۱۰} و پاشش غیرمستقیم (IDI)^{۱۱}

سیستم‌های احتراق در موتورهای دیزل به دو نوع اصلی سیستم‌های پاشش مستقیم و پاشش غیرمستقیم تقسیم می‌شوند. همان‌طور که در شکل ۲-۳ نیز نشان داده شده است، در سیستم پاشش غیرمستقیم از یک پیش‌محفظه برای ایجاد چرخش در هوا و تلاطم به منظور اختلاط بهتر سوخت و هوا استفاده می‌شود؛ در حالی که در موتورهای پاشش مستقیم، تزریق به طور مستقیم به محفظه‌ی اصلی احتراق صورت می‌گیرد.



شکل ۲-۳: تصویری از موتور دیزل پاشش مستقیم (سمت راست) و پاشش غیرمستقیم (سمت چپ) [4]

کاربرد سیستم‌های پاشش مستقیم، بیشتر از سیستم‌های پاشش غیرمستقیم می‌باشد، چراکه سیستم‌های پاشش غیرمستقیم دارای مصرف سوخت و تلفات حرارتی بیشتری می‌باشند.

بررسی انواع موتورها در کاربردهای مختلف توسط پژوهشگران نشان داده است که موتورهای دیزل پاشش مستقیم از لحاظ اقتصاد مصرف سوخت، نسبت به تمامی موتورهای احتراق داخلی که امروزه مورد استفاده قرار می‌گیرند، مناسب‌تر هستند. تاکنون موتورهای دیزل، بیشتر در لوکوموتیوها، کشتی‌ها و منابع ثابت نیرو استفاده می‌شدند؛ اما در دهه‌های اخیر بسیاری از محققان، موتور دیزل پاشش مستقیم را به عنوان یک منبع نیروی مناسب با سرعت بالا برای موتور اتومبیل‌های سواری، مناسب تشخیص داده‌اند [7] و [8].

^{۱۰}Direct Injection (DI)

^{۱۱}Indirect Injection (IDI)

۲-۶- مراحل کار موتورهای دیزل

احتراق در موتورهای بنزینی و دیزل کاملاً متفاوت است. احتراق در موتورهای بنزینی، اساساً حرکت جبهه‌ی شعله در مخلوط همگن است، در حالی که احتراق در موتور دیزل، فرایندی غیرپایا است که، با نرخ‌ی که توسط پاشش سوخت کنترل می‌شود، به‌صورت هم‌زمان در مواضع بسیاری در یک مخلوط بسیار ناهمگن رخ می‌دهد. با توجه به اینکه درجه‌ی حرارت و فشار محتویات سیلندر در موتورهای دیزل در لحظه‌ی پاشش بسیار بالاست، جت سوخت، به‌صورت یک هسته‌ی سوخت محاصره شده به وسیله‌ی ذرات هوا درمی‌آید. مناطق مختلف در اثر اتمیزه شدن و تبخیر سوخت، ایجاد می‌شوند. همچنین چون سرعت جت سوخت نسبت به هوا زیاد است، لذا حالت پراکندگی مشاهده می‌شود [3]، [9] و [10]. بعد از پراکنده شدن سوخت، قطرات ریزی تشکیل می‌شوند که بایستی با هوا مخلوط گردند، یعنی همان مسئله‌ی اختلاط، پیش می‌آید و چون دمای هوا بیشتر از قطره است، پس یک انتقال گرمایی از بیرون به داخل قطره وجود دارد. لذا دمای آن افزایش یافته و به دمای جوش می‌رسد. در این لحظه، تبخیر قطره شروع شده و مولکول‌های سوخت در مولکول‌های هوا نفوذ می‌کنند، که در نتیجه‌ی آن احتراق شروع می‌گردد. بنابراین، همان طور که در شکل ۲-۴ نیز مشاهده می‌شود، در حالت کلی فرآیند احتراق در موتورهای دیزل را می‌توان به چهار مرحله‌ی متمایز تقسیم کرد که عبارتند از [11]:

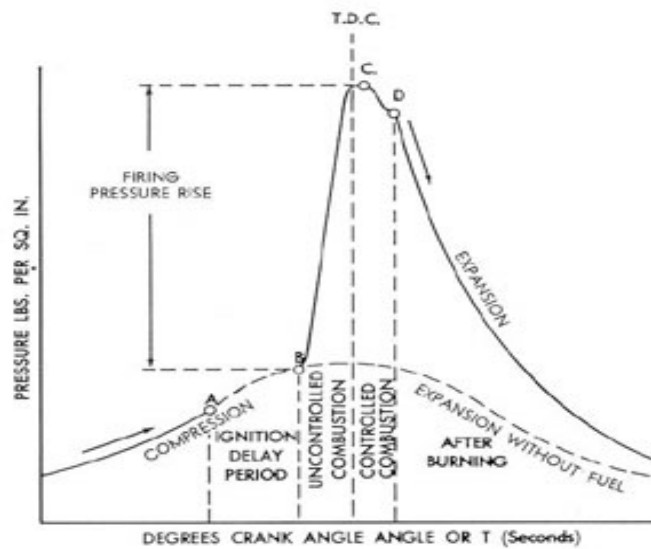
- ۱- مرحله‌ی تأخیر در اشتعال^۱
- ۲- مرحله‌ی احتراق سریع (کنترل نشده یا پیش‌آمیخته)^۱
- ۳- احتراق پخشی یا دیفیوژنی^۱
- ۴- دنباله‌ی احتراق^۱

^۱ Ignition Delay (I.D)

^۲ Rapid (Uncontrolled or Premixed) Combustion

^۳ Diffusion Combustion

^۴ Tail of Combustion



شکل ۲-۴: نمونه ای از تغییرات فشار برحسب زاویه میل لنگ در موتور اشتعال تراکمی [5]

فرآیند احتراق موتورهای اشتعال جرقه‌ای با جرقه‌زنی شمع به سرعت شروع می‌شود و بلافاصله انتشار می‌یابد. در نتیجه این موتورها، چون نسبت تراکم کمتری نسبت به موتورهای دیزلی دارند، فشارهای احتراق پایین و در نتیجه گشتاور کم و متوسطی تولید می‌کنند. از طرفی موتورهای دیزل دارای محدوده‌ی کاری وسیعی هستند که از آن در خودروهای سواری تا لوکوموتیوها، کشتی‌ها، نیروگاه‌های حرارتی و کامیون‌ها می‌توان استفاده کرد. با توجه به اینکه ماهیت اشتعال و شروع احتراق در موتورهای دیزلی به صورت خوداشتعالی و انتشار شعله‌ی تدریجی و آرام می‌باشد، این موتورها عموماً کم‌دور هستند؛ ولی چون فشارهای احتراق بالایی دارند، در همین سرعت‌های کم، گشتاور بالایی تولید می‌کنند. همچنین به علت وجود نسبت تراکم بالاتر، که منجر به بازده حرارتی بیشتر نیز می‌شود، مصرف سوخت موتورهای دیزلی در مقایسه با موتورهای بنزینی کمتر است.

مراحل مختلف مطالعه‌ی فرآیند موتور عبارتند از:

- ۱- تزریق افشانه‌ی سوخت به داخل محفظه‌ی احتراق و بررسی خصوصیات افشانه‌ی پاشش شده تحت تأثیر عوامل فیزیکی و یا ساختاری انژکتور یا محفظه؛ مانند فشار و دمای انژکتور و محفظه، قطر سوراخ نازل، ابعاد محفظه‌ی احتراق و....

- ۲- بررسی چگونگی اختلاط سوخت با هوا در داخل محفظه؛ که از شاخص‌هایی مانند نسبت هم‌ارزی برای ارزیابی کیفیت اختلاط استفاده می‌شود. چنانچه سوخت همگن‌تری داخل محفظه ایجاد شود -به‌ترتیبی که به‌زای هر کسر جرمی از سوخت، هوای کافی موجود باشد- می‌توان انتظار داشت که احتراق استوکیومتریک، که بیشترین انرژی را آزاد می‌کند، در طی فرایند احتراق ایجاد شود.
- ۳- شروع فرآیند احتراق، فاز بعدی مطالعه بوده و رکن اساسی در مطالعه‌ی موتور به شمار می‌رود؛ چراکه پدیده‌ی انتقال جرم، حرارت و انتقال گرما به‌صورت آنی با درجه‌ی آشفنگی بالا اتفاق می‌افتد که تاکنون مدل‌سازی و پیاده‌نمودن فرمول ریاضی و شیمیایی نیز در این زمینه تکمیل نشده است. از طرف دیگر تمامی اصلاحات موتور به امید ثمربخش بودن در این فاز طرح‌ریزی و عملیاتی می‌شود.
- ۴- مرحله‌ی پسا احتراقی نیز از مهم‌ترین مراحل مطالعاتی موتور به شمار می‌رود که بیشتر برای بررسی آلاینده‌های منتشره در ضمن واکنش‌های شیمیایی مرحله‌ی قبل به‌کار می‌رود. همچنین با توجه به اینکه قسمت عمده‌ای از گازهای خروجی با دمای بالا بدون استفاده از سوپاپ خروجی خارج می‌شوند، یافتن راهکاری جهت استفاده از این پتانسیل، بخشی از کار محققان را برای افزایش راندمان موتور تشکیل می‌دهد.

۲-۷- مروری بر منابع

در مطالعات قبلی تاثیر پارامترهای ساختاری موتور و شرایط مرزی حاکم بر مسئله و نیز نوع سوخت استفاده‌شده مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به نتایج به‌دست آمده، مکان قرارگیری کاسه‌ی پیستون و شعاع آن می‌تواند به نحو چشم‌گیری باعث تغییر در اختلاط سوخت پاشش شده و هوای محفظه گردد که به نوبه‌ی خود می‌تواند احتراق و راندمان موتور را تحت تاثیر قرار دهد. می‌توان با تغییر شرایط مرزی حاکم بر مسئله و نیز در نظر گرفتن تاثیر هم‌زمان آن‌ها، شرایطی که می‌تواند منجر به افزایش هم‌زمان عملکرد و کاهش آلاینده‌ها گردد را به‌دست آورد. در همین راستا در موتورهای دیزل، مخلوط سوخت-هوای تزریقی به داخل محفظه‌ی احتراق، تاثیر به‌سزایی بر واکنش شیمیایی احتراق، تولید انرژی و گرما، و غلظت گونه‌های مولی گازهای خروجی خواهد داشت [12]. یکی از رهیافت‌های چشم‌گیر می‌تواند تغییر در هندسه‌ی محفظه باشد، زیرا می‌تواند میزان برخورد و رسوب قطرات سوخت بر دیواره و نسبت هم‌ارزی

مخلوط سوخت، و نحوه‌ی اثرگذاری فشار ایجاد شده را در مرحله‌ی پسااحتراقی تحت تاثیر قرار دهد [13] و [14].

لی^۱ و همکاران [15] کاری عددی در رابطه با نقش مختصات محفظه‌ی احتراق بر احتراق و آلاینده‌ی موتور دیزلی که با سوخت بیودیزل کار می‌کند، انجام داده‌اند. بر مبنای این کار، محفظه‌ای که دارای مساحت سطح کمتری است، در دوره‌های پایین ارجح می‌باشد.

جایچاندر^۱ و همکاران [16] تاثیر زمان‌بندی تزریق سوخت و شکل هندسه‌ی کاسه با دو وضعیت متفاوت را مورد بررسی قرار دادند که بر مبنای آن راندمان حرارتی ترمزی بهبود یافت و مصرف سوخت ویژه با استفاده از نوع TCC^۱ در مقایسه با نوع HCC^۱ کاهش یافت. عمده‌ی کارهای انجام شده در این حیطه بر روی شکل‌های هندسی پیش ساخته با انواع مختلف نامی می‌باشد که نمی‌توانند با ثابت ماندن سایر مؤلفه‌های هندسی، توجیه مناسبی در اثرگذاری مکان قرارگیری کاسه‌ی پیستون و فاصله از محور مرکزی محفظه‌ی پیستون بر پارامترهای خروجی موتور، داشته باشند. در این کار با ثابت نگه‌داشتن تمامی مؤلفه‌های هندسی محفظه، تنها شعاع کاسه‌ی پیستون با گام‌های مساوی مشخص و نیز فاصله‌ی افقی دیواره‌ی خارجی کاسه تا محور مرکزی پیستون با گام‌های مساوی مدل‌سازی شده است.

از سایر عواملی که قابلیت مطالعه‌ی موردی دارد، می‌توان به کیفیت و نوع پاشش افشانه‌ی سوخت از انژکتور اشاره کرد. زاویه‌ی پاشش سوخت به داخل محفظه‌ی احتراق می‌تواند ساختار افشانه‌ی ایجاد شده را از لحاظ قطر قطرات (SMD) و طول نفوذ اسپری متأثر کرده و در نتیجه اثر کنترلی بر کیفیت مخلوط سوخت-هوا، نرخ احتراق، راندمان قانون اول و دوم، و آلاینده‌های منتشره داشته باشد. مقبولی و همکاران [17] با استفاده از مدل‌های سه‌بعدی دینامیک سیالات محاسباتی، مطالعه‌ای عددی بر روی مشخصات آلاینده‌ی و احتراق موتور دوگانه‌سوز انجام داده‌اند که در آن سه حالت موردی مورد مقایسه قرار گرفته است. در مطالعه‌ی موردی اول فشار اولیه، دمای اولیه، دور موتور و نوع سوخت به ترتیب ۱ بار، ۳۳۸ کلوین، ۱۴۰۰ دور بر دقیقه و سوخت دیزل می‌باشد. مقادیر ذکر شده برای مطالعه‌ی موردی دوم ۱/۱۹، ۳۶۵، ۲۲۰۰ و سوخت دوگانه می‌باشد. مطالعه‌ی موردی سوم با مقادیر روبرو مطالعه شده‌اند: ۱/۲۱، ۳۶۷، ۱۶۰۰

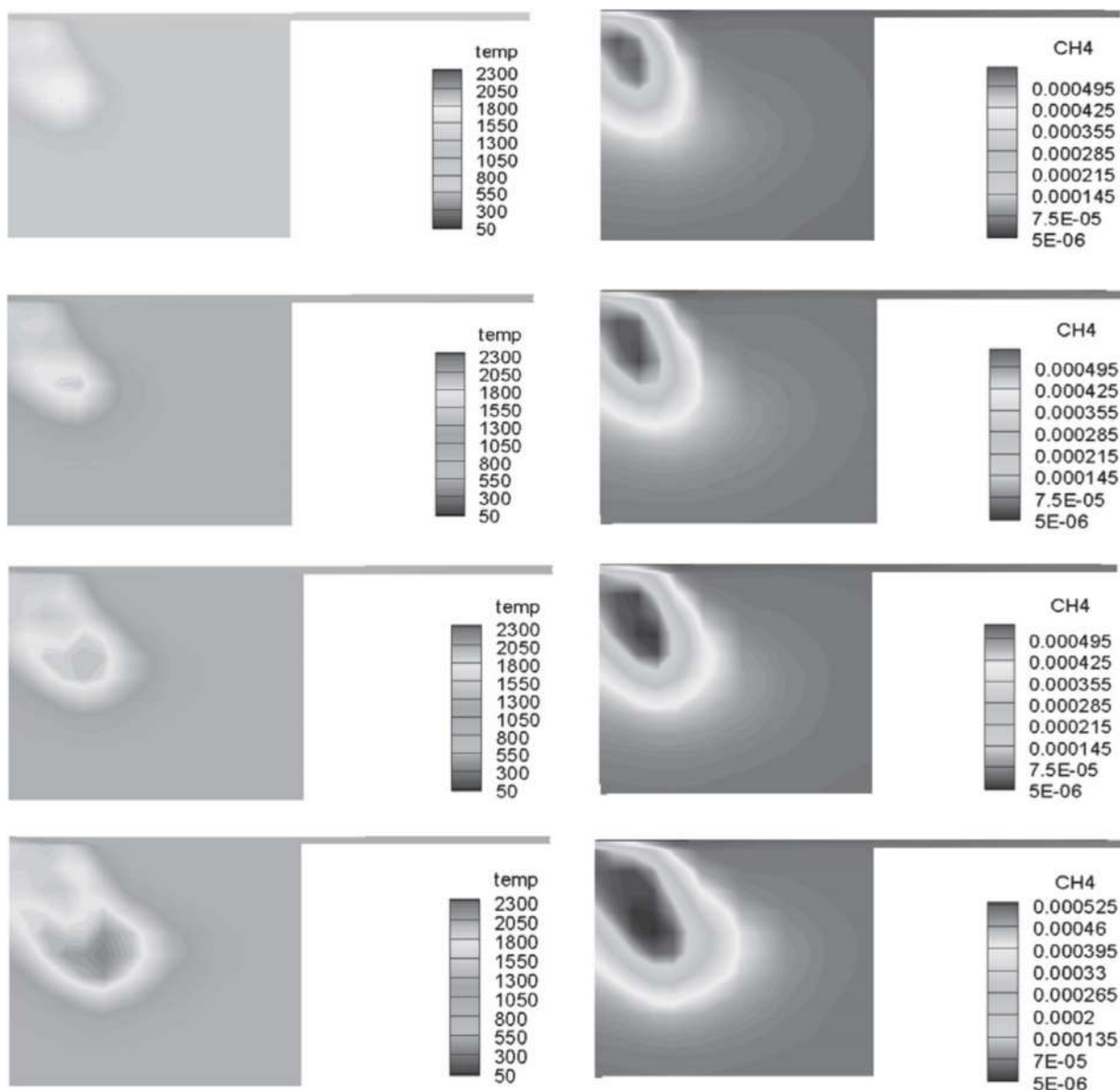
^{۱۶} Li

^{۱۷} Jaichandar

^{۱۸} Toroidal Combustion Chamber

^{۱۹} Hemispherical Combustion Chamber

و سوخت دوگانه. شکل ۲-۵ کانتورهای دما و غلظت متان را در مطالعه‌ی پارامتری تحت بررسی برای مقادیر مختلف متان، نشان می‌دهد. می‌توان به این نتیجه رسید که سوختن متان از نواحی دما بالا در مسیر افشانه شروع می‌شود. همین‌طور در زاویه‌های مساوی میل‌لنگ، برای حالت‌های پاشش زیادتر متان، غلظت بیشتری از متان مصرف می‌شود.



شکل ۲-۵: توزیع مکانی دما و غلظت متان مصرفی در عرض برشی از مقطع سیلندر برای مقادیر مختلف متان

پاششی [17]

تقوی فر و همکاران [18] مطالعه‌ای بر روی موتور دیزل انجام دادند که در آن مشخصات هندسی و مختصات قرارگیری کاسه‌ی پیستون موتور و محفظه‌ی احتراق تحت بررسی قرار گرفته و تأثیر آن بر آلاینده‌ی و مشخصه‌های کارکردی و راندمان موتور از طریق پارامتر بهبودیافته و پارامتر فاکتور همگنی آنالیز شده است. شبیه‌سازی بر روی یک موتور دیزل فورد ۱/۸ لیتر انجام گرفته و اصلاحات هندسی ساختار پیستون از نقطه‌نظر جابجایی کاسه‌ی پیستون و اندازه‌ی آن در ۴ گام مساوی صورت پذیرفته است. دو پارامتر متناقض در احتراق و راندمان موتور شناسایی شده‌اند:

- ۱- پروسه‌ی اختلاط سوخت-هوا که با دو فاکتور نسبت هم ارزی و فاکتور همگنی تبیین شده‌اند.
- ۲- شروع احتراق و تحویل کار با شاخص‌هایی نظیر نرخ آزادسازی گرما، منحنی‌های فشار و بازده گرمایی اندیکه.

مدل ECFM-3Z برای شبیه‌سازی احتراق به کار گرفته شده است تا نرخ واکنش شیمیایی و احتراق صورت گرفته با جزئیات بهتری در اختیار قرار گیرد. طبق نتایج به دست آمده، جابجایی بیرونی کاسه‌ی پیستون باعث افزایش HF مخلوط سوخت-هوا شده و در نتیجه فشار بالاتر و پیک نرخ آزادسازی گرمایی بالاتری به دست می‌آید. از طرف دیگر، هزینه‌ی این کار تأخیر در احتراق می‌باشد که از فشار مؤثر ایجاد شده در داخل سیلندر می‌کاهد.

کاهش زمان تأخیر در اشتعال، کلید حل مشکلات مربوط به آلاینده‌ی و سروصدا در موتورهای دیزل است. دمای بالا در ابتدای پاشش سوخت، که در نتیجه‌ی افزایش ضریب تراکم حجمی در موتور به وجود می‌آید، نقش اساسی در کاهش زمان تأخیر در اشتعال ایفا می‌کند [19]. از طرف دیگر اندازه‌ی کاسه‌ی کوچک‌تر باعث پدید آمدن افشردگی بهتر مخلوط و شکل‌گیری ورتکس^۱ در محفظه می‌شود، اگرچه در این حالت نیز امکان برخورد افشانه‌ی سوخت به جداره و سرد شدن شعله^۲ وجود دارد و تأخیر در اشتعال را کاهش می‌دهد.

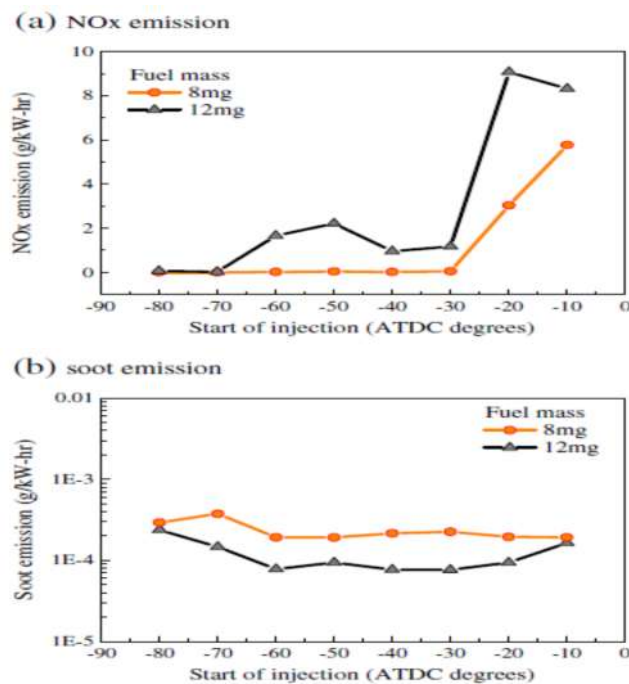
کیم^۳ و همکاران [20] مطالعه‌ای را بر روی کاهش آلاینده‌های موتور DME سوز انجام دادند که از طریق طریق احتراق HCCI انجام شده است. شکل ۲-۶ تأثیر زمان‌بندی پاشش سوخت را بر روی آلاینده‌های

^۱vortex

^۲Flame quenching

^۳ Kim

NOx و soot برای دو جرم مختلف پاشش شده ۸ و ۱۲ میلی گرمی نشان می دهد. به طور کلی مقدار آلاینده‌ی NOx ۲۰ درجه قبل از نقطه‌ی مکث بالا به بیشترین حد خود می رسد، زیرا در این زمان بیشترین مقدار دما مشاهده می شود. اصولاً آلاینده‌ی NOx در دماهای بالای ۲۰۰۰ کلوین رخ می دهد. در زمان بندی تزریق ۷۰ درجه قبل از نقطه‌ی مکث بالا میزان آلاینده‌ی NOx در حدود صفر می باشد، زیرا دمای پایین احتراق باعث متوقف شدن این آلاینده می شود و از سوی دیگر به علت انجام احتراق در منطقه‌ی افشردگی محفظه‌ی احتراق، تولید آلاینده‌ی soot افزایش می یابد. طبق این نمودار میزان تولید آلاینده‌ی NOx برای حالت تزریق ۱۲ میلی گرم سوخت نسبت به تزریق ۸ میلی گرم بیشتر بوده و از سوی دیگر میزان انتشار آلاینده‌ی soot برای تزریق ۸ میلی گرم بیشتر از حالت تزریق ۱۲ میلی گرم است.



شکل ۲-۶: تاثیر زمان بندی تزریق سوخت و جرم پاشش شده بر روی آلاینده‌های NOx و soot [20]

۸-۲- جمع بندی

در این بخش سعی شد تا پس از بیان تاریخچه‌ی کوتاهی از موتورهای احتراق، به مقایسه‌ی موتورهای احتراق اشتعال جرقه‌ای و اشتعال تراکمی پرداخته و دلیل نام گذاری موتورهای دیزلی بیان گردید. سپس

مزایای موتورهای دیزلی نسبت به موتورهای اشتعال جرقه‌ای بیان شد. بنابراین اهمیت گسترش و توسعه‌ی این نوع موتورها کاملاً واضح و مبرهن می‌باشد. پس از آن چند دسته بندی کلی از موتورهای دیزل بیان شده و در آخر به مطالعات صورت گرفته توسط محققان این حوزه اشاره گردید.

با توجه به مطالعات انجام شده که در بخش قبلی نیز اشاره‌ی مختصری شد، لزوم تحقیقی جامع و شامل، که دربرگیرنده‌ی مطالعه‌ی تأثیرات پارامترهای مختلف شرایط اولیه بر روی مشخصات عملکردی و آلاینده‌ی و همچنین کانتورهای مرتبط به صورت گسترده و در دامنه‌ی وسیع و نیز همگی در یک‌جا، بسیار به چشم می‌خورد.

در فصل بعد پس از بررسی انواع مش و نحوه‌ی مش‌زنی، به معرفی انواع روش‌های مطالعه‌ی موتور توسط نرم‌افزار AVL-Fire اشاره شده و سپس روش و مدل‌های مورد استفاده در این پایان‌نامه معرفی می‌گردند.

$$F_{drag} = \frac{1}{2} \rho_g A_d C_D |u_{rel}| \quad (3-3)$$

که C_D ضریب درگ بوده و عموماً تابعی از عدد رینولدز ذره Re_d می‌باشد. همچنین A_d مساحت سطح مقطع ذره و ρ_g دانسیته‌ی محتویات محفظه‌ی احتراق است. از بین همه‌ی فرمول‌های گوناگونی که برای ضریب درگ یک کره ارائه شده است، Fire از رابطه‌ی (3-4) استفاده می‌کند.

$$C_D = \begin{cases} \frac{24}{Re_d} (1 + 0.15 Re_d^{0.687}) & Re_d < 10^3 \\ 0.44 & Re_d \geq 10^3 \end{cases} \quad (3-4)$$

در رابطه‌ی اخیر، عدد رینولدز ذره را طبق رابطه‌ی (3-5) به دست می‌آورند:

$$Re_d = \frac{\rho_g |u_{rel}| D_d}{\mu_g} \quad (3-5)$$

که در آن μ_g ویسکوزیته‌ی سیال می‌باشد.

نیروی دیگری که به ذره وارد می‌شود، نیروی وزن است و از رابطه‌ی (3-6) محاسبه می‌گردد:

$$F_{ig1} = m_d g_i = V_d \rho_d g_i \quad (3-6)$$

اثر نیروهای شناوری را هم می‌توان طبق رابطه‌ی (3-7) در نظر گرفت:

سوخت در ناحیه‌ی "سوخت خالص" مدل‌سازی می‌شود. معادله‌ی انتقال برای "سوخت مخلوط نشده" حل شده و در آن انتقال ترم بنیادی^۱ سوخت از حالت غیر مخلوط به مخلوط با رابطه‌ی زیر توصیف می‌گردد:

$$\bar{S}_{Fu}^{F \rightarrow M} = -\frac{1}{\tau_m} \bar{y}_{Fu}^F \left[1 - \bar{y}_{Fu}^F \frac{\bar{\rho} M^M}{\bar{\rho}^u M_{Fu}} \right] \quad (35-3)$$

در این رابطه \bar{y}_{Fu}^F جزء جرمی سوخت غیر مخلوط، M^M جرم مولی میانگین در ناحیه‌ی اختلاطی، M_{Fu} جرم مولی سوخت، $\bar{\rho}$ چگالی متوسط، $\bar{\rho}^u$ چگالی گازهای نسوخته (چگالی گازهای تازه که در صورت اتفاق نیفتادن احتراق به دست می‌آید)، و τ_m زمان اختلاط می‌باشد.

۳-۹-۳ مدل PDF (Probability Density Function)

این مدل قادر به مدل‌سازی توربولانس مربوط به لحظه‌ی شروع احتراق تا پایان می‌باشد که این امر از طریق ارزیابی مقادیر میانگین خصوصیات واکنشی صورت می‌پذیرد. مدل‌های دیگر فاقد دقت لازم در محاسبه‌ی نرخ واکنش در مورد اشتعال و تأثیرات آشفستگی در مدل احتراق می‌باشند و لذا در این پایان‌نامه نیز از همین مدل برای احتراق استفاده شده است. ضمن اینکه این مدل، تنها مدلی است که تأثیرات توربولانس را در نظر می‌گیرد. این مدل با معرفی c به عنوان متغیر پیشروی واکنش، نسبت اختلاط f ، و آنتالپی h معرفی می‌گردد. در این روش تابع $P(\psi)$ تابعی از c ، f و h است. این تابع توسط تکنیک شبیه‌سازی مونت کارلو^۱ حل شده است. معادله‌ی انتقال PDF به صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{\partial P(\psi)}{\partial t} + \rho U_k \frac{\partial P(\psi)}{\partial x_k} + \rho \sum_{\alpha=1}^N \frac{\partial}{\partial \psi_\alpha} \{ \omega_\alpha(\psi) P(\psi) \} = \frac{\partial}{\partial x_k} \left\{ \rho \dot{u}_k @ \phi = \psi \right\} P(\psi) + \sum_{\alpha=1}^N \frac{\partial}{\partial \psi_\alpha} \left\{ \left\langle \frac{\partial J_{i,\alpha}}{\partial x_i} @ \phi = \psi \right\rangle P(\psi) \right\} \quad (36-3)$$

^{۱۵} Source term

^{۱۶} Monte Carlo

همان گونه که از منحنی‌های بالا مشخص است، با افزایش دمای اولیه‌ی محفظه‌ی احتراق، HRR کاهش می‌یابد. دلیل این امر این است که هرچه دمای محفظه بیشتر می‌شود، انتقال گرما کم‌تر می‌گردد؛ زیرا انتقال گرما با تغییرات دما نسبت کاملاً مستقیم دارد. در واقع $Q \sim \Delta T$.

همچنین در هر منحنی شاهد دو پیک محلی HRR هستیم که پیک اولی مربوط به پیش‌احتراق^۲ و پیک دوم مربوط به احتراق پخشی^۳ است.

۴-۷- کانتورهای مرتبط

قبل از بررسی کانتورها، ذکر این نکته ضروری است که تمام کانتورها در دمای محفظه‌ی ۶۰۰ کلوین بوده و تنها متغیر موجود جرم سوخت پاشش‌شده می‌باشد. همچنین جرم سوخت پاشش‌شده در تمام شکل‌ها از بالا به پایین در حال افزایش است.

^{۲۲} Premix

^{۲۳} Diffusion