

بررسی تاثیر زمان پاشش سوخت بر تولید آلاینده ها در موتورهای SI انژکتوری

فتح اله امی^۱، احسان موحد نژاد^۲، مصطفی حسینعلی پور^۳

دانشگاه تربیت مدرس تهران، دانشکده فنی، صندوق پستی ۱۴۳-۱۴۱۱۵
f_ommi@yahoo.com

چکیده

یکی از پارامترهای موثر بر عملکرد موتورهای انژکتوری و میزان آلاینده های خروجی از آنها، تعیین مکانیسم زمانی پاشش و زمان مناسب برای پاشش در هر کدام از مکانیسم ها می باشد. زمان پاشش سوخت بطور مستقیم بر چگونگی تبخیر سوخت، اختلاط هوا و سوخت، میزان تشکیل فیلم مایع در پورت و میزان سوخت وارد شده به سیلندر تاثیر گذاشته و بر این اساس نقش مهمی در عملکرد مناسب موتور و کنترل میزان آلاینده های خروجی بخصوص HC ایفا می کند. در این مقاله تاثیر زمان پاشش سوخت در مکانیسم زمانی ترتیبی^۴، با استفاده از مدل ایجاد شده از موتور XU7JP-L3 (مورد استفاده در خودرو سمند) در کد مهندسی Wave و با استفاده از مدل انژکتور پالس ویدس^۵ بررسی می شود و با نتایج تست موتور در حالت تمام بار و نیمه بار مقایسه می شود. دقت مدل سازی با استفاده از داده های حاصل از تست گرم موتور تایید شده و تطابق زیادی را با داده های واقعی موتور نشان می دهد. با توجه به میزان گشتاور موتور و آلاینده های خروجی از موتور، زمان بهینه پاشش در سرعت ها و بارهای مختلف بدست می آید.

واژه های کلیدی: موتور- انژکتور- زمان پاشش- آلاینده.

۱- مقدمه

یکی از عوامل موثر بر احتراق کامل و در نتیجه میزان آلاینده های خروجی و عملکرد موتور ایجاد مخلوط همگنی از سوخت و هوا در سیلندر می باشد. به این منظور لازم است بیشترین حد ممکن از سوخت پاشیده شده در پورت تبخیر شده و با هوای ورودی ترکیب شود و کمترین میزان سوخت بصورت فیلم مایع بر روی دیواره های پورت و سیلندر تشکیل شود. برای رسیدن به این هدف اطلاع از ساختار و الگوی پاشش و اینکه سوخت تحت چه شرایط و در چه زمانی به داخل پورت پاشیده شود از اهمیت ویژه ای برخوردار است. فهم بهتر خصوصیات اسپری در انژکتورهای پاشش غیر مستقیم نقش مهمی در تطبیق پارامترهای اسپری با شرایط مختلف عملکرد موتور ایفا می کند و بر این اساس تحقیقات زیادی در این زمینه روی اسپری انژکتورهای با پاشش غیر مستقیم انجام شده است. [1-7]

همچنین تحقیقات زیادی در زمینه بهبود فرایند تشکیل مخلوط در پورت با توجه به پارامترهای عملکردی انژکتور و طراحی هندسه پورت صورت گرفته است. [8-11]

۱- استادیار دانشگاه تربیت مدرس

۲- دانشجوی دکتری دانشگاه تربیت مدرس

۳- استادیار دانشگاه علم و صنعت ایران

بسیاری از این تحقیقات از تاثیر متقابل فازهای مختلف در مینیفولد یا پورت ورودی صرف نظر کرده و یا حالت جریان یکنواخت در نظر گرفته اند. برخی نیز با انتخاب سوخت تک جزئی از تاثیر دیفیوژن صرفنظر کرده اند. چن (Gang chen 1996) با مدلسازی جریان چندفازی گذرا در پورت موتور انژکتوری، فرایند اختلاط سوخت و هوا و چگونگی تاثیر سه فاز گاز، قطرات و فیلم مایع سوخت بر هم را مورد بررسی قرار داد. [8]

با توجه به نتایج تحقیقاتی که بر روی مکانیسم پاشش و تاثیر پارامترهای عملکرد پاشش در موتور XU7JP-L3 توسط نویسندگان مقاله حاضر انجام شده است، خصوصیات و الگوی پاشش انژکتور این موتور شناخته شد و تاثیر فشار و دمای سوخت بر عملکرد و مصرف سوخت و میزان تولید آلاینده ها بررسی گردید. [12-13]

در مقاله حاضر تاثیر مکانیسم زمانی پاشش بر عملکرد و میزان آلاینده ها مورد مطالعه قرار گرفته است. برای این منظور مدل این موتور از ورودی هوا به دریچه گاز تا خروجی گاز از اگزوز شبیه سازی شده است. دقت مدلسازی با استفاده از داده های حاصل از تست گرم موتور با دستگاه دینامومتر برای محدوده سرعت ۲۶۰۰ تا ۶۰۰۰ rpm و با مقایسه نمودار فشار سیلندر، راندمان حجمی و گشتاور تایید شده و تطابق زیادی با داده های واقعی موتور داشته است.

۲- مدلسازی

نرم افزار Wave یک کد گاز دینامیکی یک بعدی جهت تحلیل دینامیک امواج فشاری، جریان جرمی و افت انرژی در انواع سیستمها می باشد. اساس کار این نرم افزار بر پایه حرکت امواج فشاری رفت و برگشتی در طول سیستم و انعکاس آنها از انتهای باز یا بسته و محاسبه دما و فشار سیال می باشد. این نرم افزار قادر به مدلسازی جریان سیال تراکم پذیر با استفاده از انواع مختلف حجم، داکت، لوله، اریفیس و بکارگیری شرایط مرزی به عنوان محیط بوده و انواع مختلف نمودارها از پارامترهای مختلف موتور را در خروجی ایجاد می کند. نرم افزار Wave با داشتن مدلهای مختلف انژکتور و با استفاده از معادلات حاکم بر حرکت و تبخیر قطرات، قادر به پیش بینی فرایند پاشش، توزیع و تبخیر قطرات و تشکیل فیلم سوخت و انتقال آن در پورت می باشد. این نرم افزار دارای دو مدل برای پیش بینی تبخیر سوخت است. در مدل عمومی اول سوخت مایع وارد شده به سیلندر در شرایط فشاری بالاتر از فشار بخار مخلوط تبخیر می شود. اگر شرایط داخل سیلندر به گونه ای تغییر کند که فشار بخار اشباع در سطح سوخت مایع تا پایین تر از فشار بخار سوخت مخلوط داخل سیلندر تغییر کند، آنگاه سوخت مجدداً به حالت مایع چگالیده می شود. مدل جامع دوم، حرکت اسپری سوخت مایع را در دو شکل جابجایی قطرات و فیلم مایع و همچنین تبخیر آنها در مسیر جریان پیش بینی می کند. در مدل پاشش این نرم افزار محل و زاویه قرار گیری انژکتور روی پورت، مکان برخورد جت روی پورت و همچنین زاویه برخورد (جهت پیش بینی نوع برخورد) توسط کاربر وارد می شود و مدل می تواند سطح پوشیده شده از فیلم سوخت و رژیم برخورد قطرات^۱ به سطوح مختلف پورت و سوپاپ را پیش بینی کند. رژیم برخورد قطرات پس از برخورد به سطح، بستگی به خصوصیات قطره از جمله سرعت، اندازه، زاویه برخورد، دما و صافی سطح، ضخامت فیلم سوخت و خصوصیات فیزیکی سوخت دارد که توسط اعداد بدون بعد وبر و لاپلاس بیان می شود.

مدل احتراق در این نرم افزار، یک مدل ترمودینامیکی گذرا از فرایندهای داخل سیلندر، بر پایه حل معادلات جرم و انرژی با فرض احتراق دو ناحیه ای^۲ است که در آن سیلندر به دو ناحیه سوخته و نسوخته تقسیم می شود. معادلات جرم، تغییرات جرم داخل سیلندر در نتیجه جریان عبوری از سوپاپها و پاشش سوخت را تعیین کرده و نرخ هوای عبوری، سوخت تبخیر شده و سوخت مایع و نرخ محصولات احتراق را محاسبه می نماید. در مدل احتراق استفاده شده، احتراق پیش مخلوط با استفاده از تابع وایب (Wiebe) که کسر جرمی مخلوط سوخته شده را با استفاده از محاسبات ترمودینامیکی توصیف می کند مدل می شود.

۳- مراحل مدلسازی

داده های لازم برای مدلسازی عبارتند از: (۱) داده های هندسی و ضریب اصطکاکی اجزاء جانبی موتور، (۲) مشخصات موتور از قبیل قطر، کورس، نسبت تراکم، زمانبندی سوپاپ ها و جرعه، (۳) داده های عملکرد موتور به همراه دمای دیواره های داکت ها، اتصالات و اجزاء موتور. تعدادی از این پارامترها مانند خصوصیات هندسی از اندازه گیری مستقیم روی قطعات بدست می آیند و برخی نیز مانند زمانبندی سوپاپها و دیاگرام پاشش از نتایج تست قطعات و یا تست گرم موتور گرفته می شوند. برخی از داده ها نیز مانند خصوصیات احتراقی و دمای دیواره ها با کمک حدس مهندسی وارد می گردند و در حین کالیبره کردن مدل با حالت واقعی تصحیح می شوند.

موتور مورد بررسی، یک موتور ۴ سیلندر انژکتوری با پاشش غیر مستقیم در پورت ورودی بوده که مشخصات عمومی آن در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات موتور نمونه

قطر پیستون	طول کورس	حجم (CC)	تعداد سیلندر
81.4(mm)	83(mm)	1680	4
پایان پاشش (زاویه)	زمانبندی سوپاپ دود	زمانبندی سوپاپ هوا	نسبت تراکم
320	116.3 to 377.0	325.5 to 604.2	9.3

۳-۱- مدل انژکتور

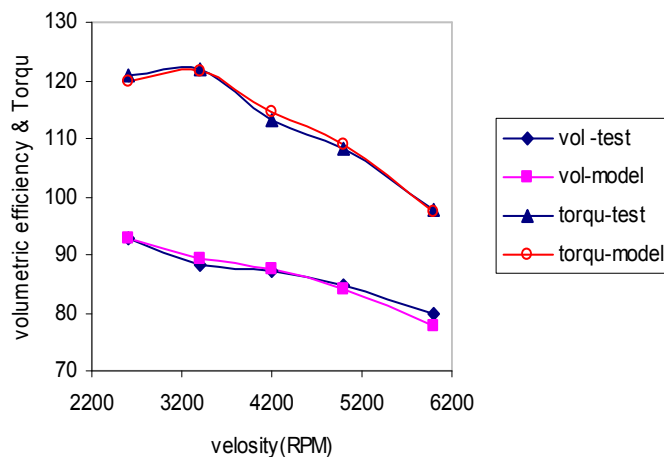
مدل استفاده شده برای انژکتور از نوع پالس ویدس (pulse width) بوده که در آن دیاگرام پاشش انژکتور که بیانگر میزان جرم سوخت آزاد شده بر حسب عرض پالس است، توسط کاربر وارد می شود. این داده ها با استفاده از نتایج تست گرم موتور در شرایط سرعت و بار مورد نظر و با توجه به میزان مصرف سوخت موتور و مقدار عرض پالس پاشش در آن شرایط بدست می آیند. داده های لازم برای مدل کردن انژکتور عبارتند از: (۱) دمای سوخت، (۲) قطر نازل، (۳) قطر متوسط قطرات (SMD)، (۴) زاویه مخروط پاشش، (۵) سرعت اولیه سوخت، (۶) منحنی پاشش انژکتور، (۷) زمان شروع پاشش بر حسب زاویه لنگ، (۸) عرض پالس پاشش. داده های ذکر شده با استخراج مشخصه های پاشش با استفاده از اندازه گیری با کمک دستگاه PDA¹ بدست آمده و خلاصه نتایج برای شرایط عملکرد واقعی در جدول ۲ ارائه شده است. [1]

جدول ۲- مشخصه های پاشش انژکتور در دمای ۲۵ درجه

۳۰۰	فشار سوخت (kpa)
۱۳،۱	سرعت اولیه متوسط
۷۷	قطر متوسط SMD (میکرون)
۸،۳۹	نرخ پاشش (kg/hr)
۱۵	زاویه مخروط پاشش

۳-۲- کالیبراسیون مدل

همانطور که قبلاً گفته شد، برخی از داده های ورودی برای شبیه سازی، مانند دمای دیواره ها ی قسمتهای مختلف موتور و اجزاء سیلندر، ضرایب افزایش انتقال حرارت، ضرایب افت اصطکاکی داخل سیلندر و مشخصه های احتراقی بر اساس حدس مهندسی بدست می آیند و در حل های اولیه نتایج شبیه سازی با نمونه واقعی اندکی اختلاف دارد. بنابراین پس از شبیه سازی موتور، لازم است صحت مدل سازی و میزان تطابق مدل با حالت واقعی، با تنظیم مجدد این دسته از پارامترها مورد تایید قرار گیرد. برای این منظور پارامترهای راندمان حجمی، فشار بیشینه سیلندر، گشتاور و دمای آگزوز به ترتیب تنظیم شده و نتایج مدل سازی برای شرایط بار مشخص و در محدوده سرعت ۲۶۰۰ تا ۶۰۰۰ rpm با داده های حاصل از آزمون گرم موتور با دستگاه دینامومتر مقایسه شده است. در شکل ۱ مقادیر راندمان حجمی و گشتاور مدل در محدوده سرعت ۲۶۰۰ تا ۶۰۰۰ rpm با نتایج عملکرد واقعی موتور مقایسه شده است.

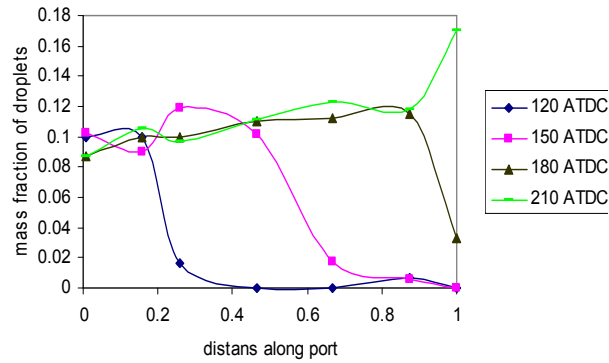


شکل ۱- مقایسه راندمان حجمی و گشتاور مدل با داده های تست گرم

۴- بررسی زمان پاشش سوخت در سرعت پایین

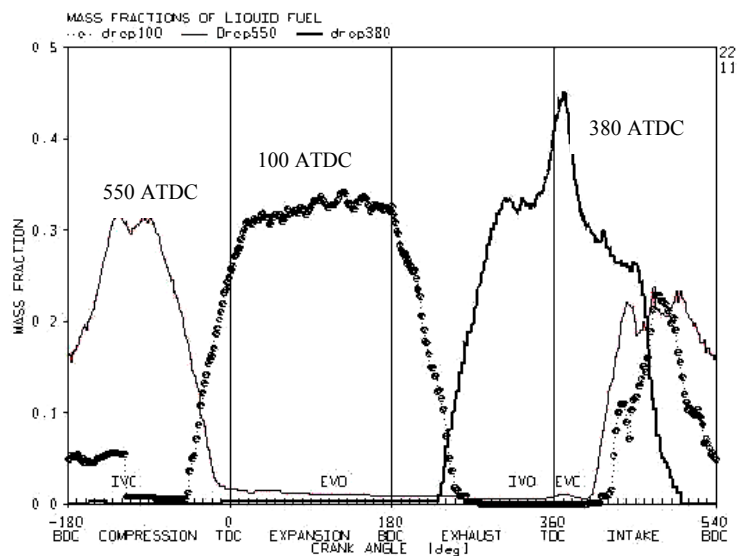
با توجه به زمان شروع پاشش سوخت در دور ۲۶۰۰ (90ATDC)، اولین قطرات سوخت پس از گذشت تقریباً ۷۰ درجه یا ۴،۵ ms به انتهای پورت می رسند و به دنبال آن پس از ۲۰ms پس از شروع پاشش، فیلم سوخت به انتهای پورت و نزدیک سوپاپ ورودی می رسد. حرکت قطرات سوخت و انباشته شدن آنها در انتهای پورت در زمانهای مختلف (برحسب زاویه لنگ) برای دور ۲۶۰۰ rpm در شکل ۲ نشان داده شده است. با توجه به شکل اولین قطرات در زاویه ۱۵۰ATDC به انتهای پورت می رسند و پس از آن تجمع قطرات و افزایش کسر جرمی آنها در انتهای پورت آغاز می شود. از موقعیت زمانی حدود ۳۰۰ ATDC به بعد میزان افزایش کسر جرمی قطرات در انتهای پورت کاهش یافته و انباشتگی قطرات به سمت بالا دست پورت و قسمتهای میانی آن کشیده می شود.

در ابتدا تاثیر زمان پاشش برای سرعت 2600rpm و حالت تمام بار با تغییر آن در طول سیکل کامل عملکرد موتور بررسی می شود. عرض پالس پاشش در این حالت برابر ۲۳۰ درجه زاویه لنگ می باشد. مقدار بیشینه گشتاور در حالتی رخ می دهد که فاز پاشش (انتهای زمان پاشش) در زاویه ۳۶۰ تا ۳۹۰ ATDC یعنی ابتدای مرحله مکش قرار گیرد. [۱۴]



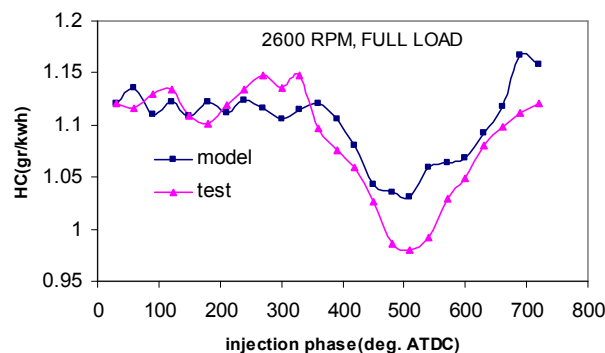
شکل ۲- حرکت قطرات سوخت در طول پورت و انباشته شدن آنها در انتهای پورت

به منظور بررسی علت بیشینه بودن گشتاور در این زاویه، چگونگی ورود قطرات سوخت به داخل سیلندر برای چند حالت پاشش با فازهای مختلف ۱۰۰ و ۳۸۰ و ۵۰۰ بعد از نقطه مرگ بالا (زمان انتهای پاشش) در شکل ۳ نشان داده شده است. در سرعت 2600RPM، پس از شروع پاشش تقریباً ۷۰ درجه میل لنگ یا 4.5 ms طول می کشد تا اولین قطرات به انتهای پورت و پشت سوپاپ ورودی برسند. با توجه به شکل در حالتی که انتهای پاشش در 100ATDC قرار دارد، بیشتر سوخت در مرحله انبساط به پشت سوپاپ می رسد. در حالت 550 ATDC، قطرات در طول مرحله مکش به پشت سوپاپ می رسند و قسمتی از سوخت در ابتدای مرحله تراکم در اثر شتاب منفی جریان هوا، به پورت پس زده می شود و پس از بسته شدن سوپاپ ورودی در پورت باقی می ماند. باقی ماندن قسمتی از سوخت در پورت، علت کاهش گشتاور موتور در این حالت می باشد. در حالتی که انتهای پاشش در زاویه 380ATDC قرار دارد، بیشتر قطرات در مرحله تخلیه و در زمان باز شدن سوپاپ ورودی به پشت سوپاپ می رسند و تمام قطرات سوخت در نیمه اول مرحله تراکم وارد سیلندر می شوند. در این حالت علاوه بر اینکه جریان برگشتی گازهای داغ سیلندر موجب امتیازسیون فیلم سوخت جمع شده در انتهای پورت و تبخیر بهتر آن می شود، با ورود سوخت به سیلندر در ابتدای مرحله مکش، فرصت کافی برای تبخیر سوخت در سیلندر و اختلاط بهتر سوخت و هوا مهیا می شود. بنابراین مقدار بیشینه گشتاور در این فاز پاشش رخ می دهد. زمانی که بیشترین قطرات به انتهای پورت می رسند، با توجه به سرعت پاشش، طول پورت و عرض پالس پاشش قابل محاسبه می باشد.

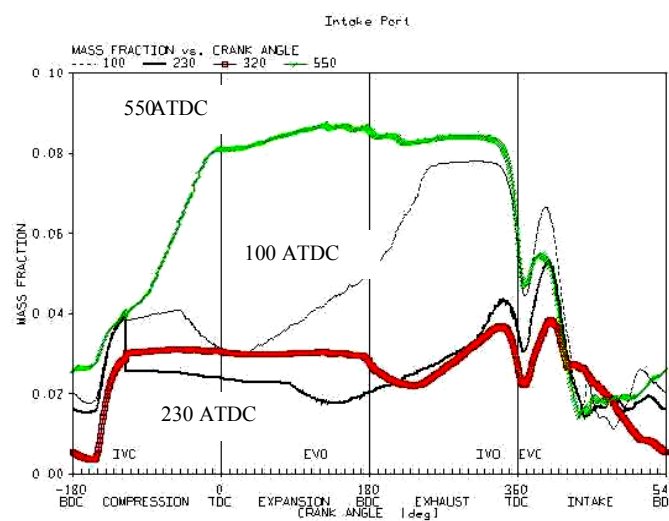


شکل ۳- کسر جرمی قطرات سوخت در انتهای پورت برای فازهای پاشش ۱۰۰، ۳۸۰ و ۵۵۰ درجه زاویه لنگ

در شکل ۴ تغییرات میزان آلاینده HC بر حسب gr/kwh با تغییر زمان انتهای پاشش دیده می شود. با توجه به تبخیر مناسب سوخت در پورت قبل از باز شدن سوپاپ ورودی، میزان آلاینده HC در فاز پاشش 500 حداقل می باشد. افزایش چشمگیر میزان تبخیر سوخت در پورت در فاز پاشش 550 که منجر به کاهش فیلم مایع سوخت در سیلندر و تشکیل مخلوط بهتر می شود، در مقایسه با حالت‌های دیگر در شکل ۵ نشان داده شده است.



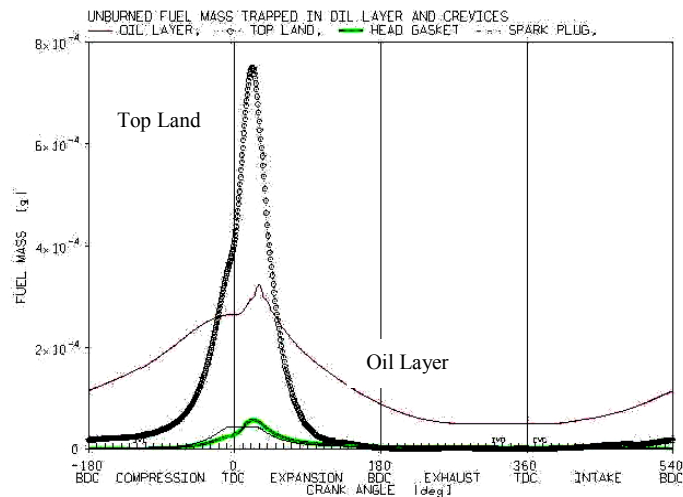
شکل ۴- تغییرات میزان آلاینده HC بر حسب gr/kwh با تغییر زمان انتهای پاشش(فاز پاشش) با استفاده از نتایج مدل‌سازی و تست



شکل ۵- کسر جرمی بخار سوخت در انتهای پورت به ازای فازهای مختلف پاشش سوخت

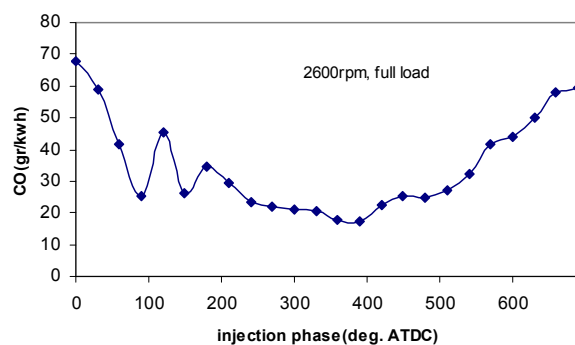
از طرفی دیگر زیاد بودن میزان گشتاور ترمزی موتور در محدوده فاز پاشش حدود 230-380 deg. ATDC و در نتیجه زیاد بودن ماکزیمم فشار سیلندر در این حالت دلیلی بر افزایش میزان آلاینده HC در این رنج فاز پاشش می باشد. یکی از عوامل موثر در تولید آلاینده HC، نفوذ سوخت به لایه روغن و همچنین داخل شکافها و درزهای موجود در سر سیلندر، جداره های پیستون با سیلندر، رینگها و محل قرارگرفتن شمع می باشد. نفوذ سوخت به داخل این شکافها و خاموش شدن شعله در این مکانها در اثر دمای پایین سطوح و عدم ورود شعله به شکافها مانع از سوختن مناسب آنها می شود. با افزایش فشار محفظه احتراق در مرحله تراکم و بخصوص زمان احتراق، میزان نفوذ سوخت به ماکزیمم مقدار خود می رسد و با کاهش فشار در مرحله انبساط و تخلیه، سوخت مخفی شده در شکافها مجدداً وارد محفظه سیلندر می شود و همراه با گازهای خروجی از

سیلندر خارج می شود. روند تغییرات سوخت وارد شده به فواصل هوایی بین پیستون و جداره سیلندر، شکاف های موجود در سر سیلندر و محل شمع و همچنین لایه روغن در طول یک سیکل کامل در شکل ۶ نشان داده شده است. شکافها و تلورانسهای موجود در اجزاء سیلندر با توجه به خصوصیات هندسی اجزاء، در مدلسازی محفظه احتراق اعمال می شوند. باافزایش فشار ماکزیمم محفظه احتراق و همچنین نفوذ بیشتر سوخت به داخل لایه روغن و شکافها و درزها، میزان تولید HC ناشی از به تله افتادن سوخت در شکافهای محفظه احتراق افزایش می یابد و به همین علت در بعضی از حالات علی رقم بهبود در خصوصیات پاشش و تبخیر سوخت با افزایش میزان HC روبرو می شویم.

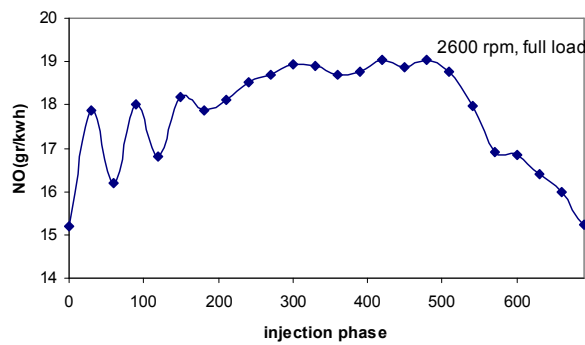


شکل ۶ - تغییرات جرم سوخت نسوخته وارد شده در شکافهای سیلندر و لایه روغن در 2600rpm

در شکل های ۷ و ۸ تغییرات آلاینده CO و NOx همانند نمودارهای قبل نشان داده شده است. میزان CO در حالت ماکزیمم گشتاور یعنی فاز پاشش حدود ۳۹۰ درجه به علت احتراق مناسب که منجر به دما و فشار بالا در محفظه احتراق می شود دارای حداقل مقدار است. در عوض میزان آلاینده NOx در این حالت در اثر دمای بالا محصولات احتراق دارای نرخ تولید زیادی می باشد، بطوری که مطابق شکل ۸ میزان NO از فاز پاشش ۳۰۰ تا ۴۵۰ درجه دارای ماکزیمم مقدار است. زیادی با توجه به مقادیر گشتاور و آلاینده ها برای سرعت 2600 RPM با ماکزیمم بار، فاز پاشش ۳۹۰ درجه پس از نقطه مرگ بالا بهترین زمان برای انتهای پاشش می باشد.



شکل ۷ - تغییرات میزان آلاینده CO بر حسب gr/kwh با تغییر زمان انتهای پاشش (فاز پاشش)

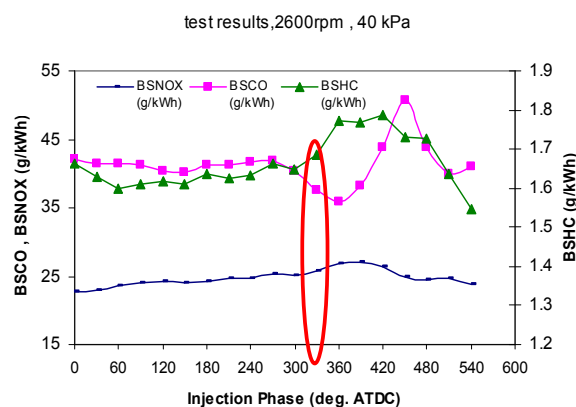


شکل ۸- تغییرات میزان آلاینده NO بر حسب gr/kWh با تغییر زمان انتهای پاشش (فاز پاشش)

از آنجا که بسیاری از مسافرتها درون شهری در سرعتهای تقریباً پایین و با بار میانی^۱ صورت می گیرد، تحلیل نتایج و یافتن زمان پاشش بهینه در این شرایط عملکرد موتور از اهمیت خاصی برخوردار است. به این منظور روشهای ذکر شده در بالا، در این قسمت برای سرعت 2600 rpm و part load (MAP=40kPa) انجام شده و زمان پاشش بهینه بدست می آید. لازم به ذکر است عرض پالس پاشش در این حالت برابر با ۱۰۰ درجه زاویه لنگ می باشد.

در شرایط ذکر شده ماکزیمم گشتاور در حالتی رخ می دهد که پایان پاشش سوخت یا فاز پاشش در زاویه 390 ATDC یعنی در ابتدای مرحله مکش قرار گیرد. در این حالت بیشترین مقدار قطرات سوخت در لحظه باز شدن سوپاپ ورودی به انتهای پورت و پشت سوپاپ می رسند و کمترین میزان سوخت در پورت باقی می ماند [۱۴].

در انتخاب فاز پاشش بهینه لازم است علاوه بر در نظر گرفتن میزان گشتاور مناسب، تا حد امکان از زیاد بودن آلاینده های خروجی جلوگیری کرد. به این منظور میزان آلاینده های NO, HC, CO که از تست موتور بدست آمده در فازهای پاشش مختلف در شکل ۹ نشان داده شده است. با توجه به شکل میزان HC در محدوده 360-420 deg. ATDC دارای بیشترین مقدار می باشد. علت آن بیشینه بودن فشار ماکزیمم محفظه احتراق در این رنج فاز پاشش در نتیجه احتراق بهتر می باشد. به همین علت میزان CO در این محدوده (330-390 deg. ATDC) دارای کمترین مقدار است. همچنین با توجه به شکل ۹ میزان آلاینده NO در فازهای پاشش 330-420 به علت دمای احتراق بالاتر دارای مقادیر بیشینه است.



شکل ۹- تغییرات میزان آلاینده های NO, HC, CO حاصل از تست موتور در فازهای پاشش مختلف

بنابراین با در نظر گرفتن مقادیری تا حد امکان بهینه برای گشتاور، مصرف سوخت و میزان آلاینده های موتور، پیش بینی می شود، فاز پاشش 330 deg.ATDC نقطه ای مناسب برای انتهای پاشش در سرعت 2600 rpm و با بار میانی است. زیرا در این زاویه بدون افت زیاد در مقدار گشتاور، میزان آلاینده ها در حد نسبتا کمی می باشد.

۵- نتیجه گیری

در حالی که زمان انتهای پاشش (فاز پاشش) بگونه ای باشد که بیشتر قطرات سوخت در انتهای مرحله تخلیه و در زمان باز شدن سوپاپ ورودی به پشت سوپاپ برسند و تمام قطرات سوخت در نیمه اول مرحله تراکم وارد سیلندر شوند، فرصت کافی برای ورود تمام سوخت به محفظه احتراق و تبخیر آن در سیلندر و اختلاط بهتر سوخت و هوا مهیا می شود. بنابراین مقدار بیشینه گشتاور در این فاز پاشش رخ می دهد. در این حالت به علت احتراق بهتر و دما و فشار احتراق بالاتر، نرخ تولید آلاینده NO و CO به ترتیب افزایش و کاهش می یابد. زمانی که بیشترین قطرات به انتهای پورت می رسند، با توجه به سرعت پاشش، طول پورت و عرض پالس پاشش قابل محاسبه می باشد.

تشکر و قدردانی

با تشکر از شرکت تحقیقات موتور ایران خودرو (ایپکو)، آزمایشگاه PDA دانشگاه تهران و آزمایشگاه دینامیک گاز دانشگاه

تربیت مدرس

مراجع

- 1- Zhao, F.; Lai, M. C.; "The Spray Characteristics of Automotive Port Fuel Injection - A Critical Review", SAE Technical Paper, No. 950506, 1995
- 2- Min Ren, W.; Sayar, H.; "Influence of Nozzle Geometry on Spray Atomization and Shape for Port Fuel Injector", SAE Technical Paper, No. 01-0608, 2001
- 3- Lai, M. C.; Zhao, F. Q.; "The Structure of Port Injector in Gasoline Engines", Proceedings of Advanced Spray Combustion (ISASC), Hiroshima, Japan, July 6-8, 1994, pp.79-89
- 4- SAE Recommended Practice, Gasoline Fuel Injector, SAE J1832 NOV89, P:99-115
- 5- Chen, S. K.; Lefebvre, A.; "Influence of Ambient Air Pressure on Effervescent Atomization", AIAA Journal, 1993, pp10-15
- 6- Jackson, S. D.; Williams, P.; "Development of a Fuelling System to Reduce Cold-Start Hydrocarbon Emissions in an SI Engine", SAE Technical Paper, No. 961119, 1996
- 7- Quan Zhao, F.; Yoo, J. H.; "The Spray Characteristics of Dual-Stream Port Fuel Injectors for Applications to 4-Valve Gasoline Engines", SAE Technical Paper, No. 952487
- 8- Chen, G.; Aggarwal, A.; "Unsteady Multiphase Intake Flow in a Port-injected Gasoline Engine", SAE Technical Paper, No. 960074
- 9- Meyer, R.; Heywood, J.B.; "Effect of Engine and Fuel Variables on Liquid Fuel Transport into the Cylinder in Port-Injected SI Engines", SAE Technical Paper, No. 01-0563, 1999
- 10- Amer, A. A.; Chue, T. H.; Zhao, F. Q.; and Lai, M. C.; "Modeling Turbulence Primary Breakup and Its Application in Director-Plate-Compounded Port Injectors", Proceedings of the 8th Annual Conference on Liquid Atomization and Spray Systems, ILASS-America, May 21-24, 1995
- 11- Aggarwal, S. k.; Chen, G.; "Vaporization Behavior of Fuel Droplets in a Hot Air Stream", International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 30, pp 2669-2673

۱۲- امی، ف.، حسینعلی پور، م.، موحدنژاد، ا.، "مطالعه تجربی پاشش در انژکتور با جریان چندگانه"، سیزدهمین کنفرانس سالانه مکانیک، اصفهان، ۱۳۸۴

۱۳- امی، ف.، حسینعلی پور، م.، موحدنژاد، ا.، "بررسی تاثیر پارامترهای پاشش بر عملکرد موتورهای انژکتوری با پاشش چند نقطه ای (MPFI)"، سیزدهمین کنفرانس سالانه مکانیک، اصفهان، ۱۳۸۴

۱۴- موحدنژاد، ا.، "کاهش مصرف سوخت و آلاینده ها در موتورهای انژکتوری بنزینی با اصلاح پارامترهای عملکرد انژکتور"، پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی هوافضا، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۳