

بررسی مکانیزم کاهش آلاینده‌های دوده و NO در موتورهای دیزل پاشش مستقیم با استفاده از راهکار پاشش دومرحله‌ای سوخت

کامران پورقاسمی^{۱*}، فتح اله امی^۲، وحید اصفهانیان^۳، حامد طنابی^۴

دانشگاه تربیت مدرس

(نویسنده مخاطب: Kamran.poorghasemi@gmail.com)

چکیده

۳/۵ cm

هدف مقاله بررسی نحوه کاهش آلاینده‌های دوده و NO در پاشش چندمرحله‌ای سوخت به عنوان یک راهکار مؤثر در کاهش آلایندگی موتورهای دیزل پاشش مستقیم (DI) می‌باشد. در این پژوهش ابتدا مکانیزم کاهش آلاینده‌ها با استفاده از پاشش دومرحله‌ای سوخت مطالعه گردیده و پس از بررسی حالت‌های مختلف پاشش دومرحله‌ای، بهینه ترین حالت پاشش دو مرحله‌ای سوخت برای یک موتور دیزل پاشش مستقیم ساخت داخل ارائه شده است. آزمون‌های حالت پایه موتور در مرکز تحقیقات موتورسازان تبریز انجام گرفته و برای صحت‌گذاری پارامترهای عملکردی و آلاینده‌های حاصل از شبیه‌سازی فرآیند احتراق موتور با کد سه‌بعدی KIVA-3V استفاده شده است. مقدار سوخت در هر پالس پاشش، فاصله زمانی بین دو پالس، فشار پاشش پارامترهای اصلی مورد بررسی می‌باشند. نتایج نشان داد که با استفاده از این راهکار مقدار آلاینده دوده تا ۳۳٪ و NO تا حدود ۱۱٪ کاهش می‌یابند.

واژه‌های کلیدی: موتور دیزل پاشش مستقیم (DI)، پاشش دومرحله‌ای سوخت، KIVA-3V، دوده و NOx.

۱- مقدمه

۲/۵ cm

فرآیند احتراق در موتورهای دیزل بشدت وابسته به مشخصه‌های پاشش سوخت و پدیده اتمیزاسیون جهت افزایش نرخ اختلاط و تبخیر سوخت می‌باشد. عوامل فشار پاشش سوخت، زمان شروع و نرخ پاشش، هندسه نازل و شرایط محیط داخل سیلندر بر نرخ اختلاط، احتراق و میزان آلاینده‌های خروجی موتور دیزل پاشش مستقیم تاثیر زیادی دارند [۱]. مطالعات در مورد تاثیر پاشش با فشار بالا و هندسه ورودی نازل انژکتور جهت ایجاد افشانه سوخت با قطر متوسط کوچکتر برای کاهش آلاینده‌های موتور راهکاری محدود می‌باشد [۲]. لذا محققان همواره به دنبال راهکارهای جدیدی جهت کاهش بیشتر آلاینده‌ها در پاسخ به استانداردهای سختگیرانه آلایندگی می‌باشند.

مشکل اصلی در موتورهای دیزلی کاهش همزمان آلاینده‌های دوده و NOx می‌باشد. زیرا این دو آلاینده در تقابل هم بوده و کاهش هر کدام افزایش دیگری را در پی دارد [۳]. راهکارهای مختلفی جهت کاهش هر یک از این آلاینده‌ها ارائه شده است ولی بیشتر این راهکارها تنها قابلیت کاهش یکی از این دو آلاینده را داشته و سبب افزایش دیگری می‌گردند. یکی از

۱- کارشناس ارشد هوافضا (پیش‌رانش)، دانشگاه تربیت مدرس و مربی گروه مکانیک دانشگاه آزاد واحد شبستر

۲- استادیار بخش مکانیک، دانشگاه تربیت مدرس

۳- استاد دانشکده مکانیک، دانشگاه تهران

۴- مربی گروه مکانیک، دانشگاه آزاد واحد شبستر

راهکارهای نوین در کاهش همزمان این آلاینده‌ها پاشش چندمرحله‌ای سوخت در هر سیکل موتور می‌باشد. سیستمهای ابتکاری پاشش سوخت در دهه اخیر مانند سیستم "مخزن مشترک (Common Rail)" با قابلیت پاشش چندمرحله‌ای سوخت توسعه داده شده‌اند تا آلاینده‌های مذکور را کنترل کنند. کلمه "چند مرحله‌ای (Multiple Injection)" معانی مختلفی دارد که شامل پیش پاشش یا پایلوت (Pilot Injection)، پاششهای مجزا (Split Injection)، و سایر شکلهای پاشش می‌باشند که در پالسهای جداگانه پاشش صورت می‌گیرند. در پاشش پایلوت مقدار نسبتاً کمی از سوخت چند درجه چرخش میل‌لنگ زودتر از پاشش اصلی به محفظه احتراق تزریق می‌شود. پاشش مجزای سوخت شامل دو مرحله پاشش سوخت می‌باشد که با مقادیر مختلف سوخت و فاصله بین دو مرحله پاشش نسبتاً زیاد انجام می‌شود. سایر شکلهای پاشش شامل پاشش دوبل، سه مرحله‌ای و چهار مرحله‌ای و... می‌باشند. در این مقاله منظور از پاشش چندمرحله‌ای سوخت پاشش دو مرحله‌ای سوخت با مقادیر مختلف سوخت در هر پالس پاشش می‌باشد.

نتایج بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که پاشش چندمرحله‌ای سوخت اختلاط بهتر نسبت به پاشش یک مرحله‌ای ایجاد کرده و بدون کاهش توان موتور سطح دوده را به مقدار زیادی کاهش می‌دهد [۴-۵]. همچنین در پاشش چندمرحله‌ای وقتی یک میزان کوچک پیش پاشش سوخت در مرحله تراکم تزریق شود بهبود قابل توجهی بر روی عملکرد موتور مانند استارت سرد و صدای احتراق خواهد داشت [۶-۷].

هدف اصلی از به کارگیری راهکار پاشش چند مرحله‌ای بهبود احتراق نفوذی در مرحله انبساط، کاهش دمای داخل محفظه احتراق و نرخ آزادشدن حرارت (HRR) تا حد بهینه و ایجاد زمان کافی برای سوختن دوده می‌باشد [۸-۹]. در این کار پژوهشی با بررسی مکانیزم کاهش آلاینده‌های موتور MT-4.244 با استفاده از شبیه سازی CFD موتور به کمک داده‌های تجربی، مشخصه‌های پاشش بهینه سوخت در پاشش دومرحله‌ای برای این موتور تعیین شده‌است که می‌تواند راه روشنی فراروی صنعت تولید موتورهای دیزل در کشور باشد.

۲- مدل سازی فرآیند احتراق

جهت بررسی عددی و شبیه سازی فرآیند احتراق موتور دیزل از کد CFD سه بعدی KIVA-3V استفاده شده است. کد KIVA-3V حل جریانهای سه بعدی ناپایا، تراکم پذیر، متلاطم و واکنشی را به روش حجم محدود انجام می‌دهد که در شبیه سازی عملکرد موتورهای احتراق داخلی کاربرد فراوان دارد [۱۰]. مدلهای اصلی به کار رفته در کد مذکور عبارت از: مدل توربولانسی K-ε برای جریان متلاطم داخل محفظه سیلندر، مدل احتراق ماگنوسن-هجرتاگر و آرینیوس، اشتعال خودبخودی مدل Shell و جهت حل میدان جریان و فشار داخل سیلندر از الگوی Simple استفاده شده‌است. در این پژوهش جهت نیل به هدف مقاله، مدل شکست اسپری Wave همراه با تغییرات جهت اعمال پاشش چندمرحله‌ای به کد KIVA-3V اضافه شده است. [۱۱]

مکانیزم مورد استفاده در KIVA-3V برای سینتیک تشکیل NO مکانیزم توسعه یافته زلدوویچ می‌باشد. این مکانیزم شامل معادلات زیر می‌باشد که توسط آقای باومن (Bowman) ارائه شده است [۱۲]:



از طرفی رابطه زیر برای رادیکالهای هیدروژن برقرار است:



با فرض حالت پایا برای N ، $(d[N]/dt)$ در معادلات فوق رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$\frac{d}{dt}[NO] = 2 K_{1f}[O][N_2] \left\{ \frac{1 - [NO]^2 / K_{1f}[O_2][N_2]}{1 + K_{1b}[NO] / (K_{2f}[O_2] + K_{3f}[OH])} \right\} \quad (5)$$

که در آن $K_{12} = (k_{1f}/k_{1b})(k_{2f}/k_{2b})$ می‌باشد. O ، OH و O_2 و N_2 فرض می‌شود که در تعادل ترمودینامیکی هستند [۱۳]. ثوابت نرخ تشکیل NO از معادله آرنیوسی با ضرایب تجربی محاسبه می‌شوند.

$$k_f = A T \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \quad (6)$$

مدل به کار رفته در کد KIVA-3V برای محاسبه مقدار دوده از دومرحله تولید دوده و اکسیداسیون آن تشکیل می‌شود و مقدار نهایی دوده تولیدی از تفاضل این دو مرحله بدست می‌آید. نرخ تشکیل دوده توسط آقای هیروياسو مدل شده است که عبارت است از:

$$\frac{d(M_s)}{dt} = \dot{M}_{sf} - \dot{M}_{so} \quad (7)$$

در رابطه (۷)، M_s جرم نهایی دوده، $\dot{M}_{sf}$ نرخ تشکیل دوده و $\dot{M}_{so}$ نرخ اکسیداسیون دوده می‌باشند. نرخ تشکیل آرنیوسی دوده با جرم بخار سوخت متناسب است. لذا:

$$\dot{M}_{sf} = K_f M_{fv} \quad (8)$$

در رابطه فوق، K_f ضریب تشکیل دوده، تابعی از فشار و دما، به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$K_f = A_{sf} P^{0.5} \exp\left(-\frac{E_{sf}}{RT}\right) \quad (9)$$

نرخ اکسیداسیون دوده توسط مدل نیگر (Nagle) و استریکلند (Strickland-Constable) به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\dot{M}_{so} = K_0 M_s \quad (10)$$

$$K_0 = \frac{6}{\rho_s D_s} M_w_c \cdot M_s \cdot R_{tot} \quad (11)$$

M_s جرم دوده، M_w_c وزن مولکولی کربن، D_s قطر دوده برابر ۲۵ nm و ρ_s دانسیته دوده برابر ۲/۵g/cm³ می‌باشد. [۱۴]

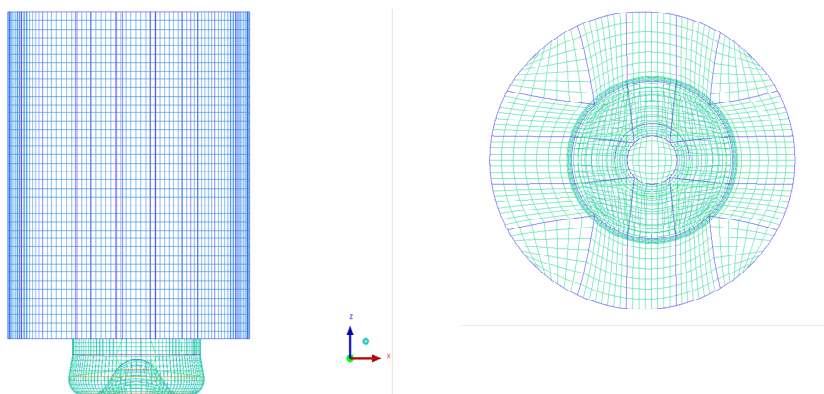
۳- صحنه گذاری نتایج شبیه سازی

جهت ارزش دهی نتایج حاصل از شبیه سازی فرآیند احتراق با پاشش چندمرحله ای سوخت، نتایج حاصل از آزمون های آزمایشگاهی موتور دیزل پاشش مستقیم (DI) MT-4.244 ساخت شرکت موتورسازان تراکتورسازی تبریز استفاده شده است. مشخصات موتور در جدول ۱ ارائه گردیده است. آزمونهای آزمایشگاهی 8- Mode با دستگاههای آزمون AVL انجام شد. در مورد هر مشخصه دیگری از موتور که در کد نیاز بود نیز مقدار مربوط به موتور مذکور تهیه شده و به عنوان اطلاعات ورودی در کد وارد شده است. آزمون تجربی و شبیه سازی در بار کامل و دور ۲۰۰۰rpm انجام شده است.

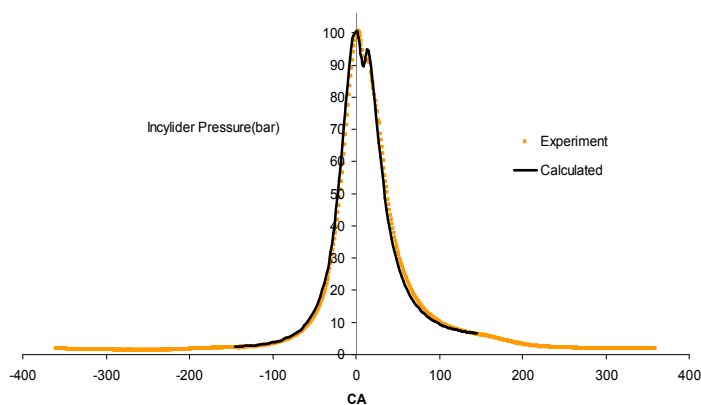
شبکه‌بندی محفظه احتراق موتور به صورت ۳۶۰ درجه در نظر گرفته شده است. سلول‌های محاسباتی به شکل Hexa می‌باشند. شکل ۱ شبکه‌بندی محفظه داخل سیلندر را نشان می‌دهد. تعداد تقسیمات شبکه در جهت شعاعی برابر ۲۰ می‌باشد و ۲ ردیف شبکه لایه‌مرزی و ۶ سلول در نقطه مرگ بالا برای ناحیه فشرده‌گی نیز در نظر گرفته شده است.

جدول ۱- مشخصات و شرایط اولیه موتور

۲/۳۳ kbar	فشار اولیه داخل سیلندر	MT_4.244	مدل موتور
۴۵۰ K	دمای اولیه داخل سیلندر	۱۰۰ mm	قطر پیستون
۲۵۰ bar	فشار پاشش سوخت	۱۲۷ mm	کورس پیستون
۱۴۸ BTDC	لحظه بسته شدن سوپاپ هوای ورودی	۱۷/۵:۱	نسبت تراکم
۱۵۰ ATDC	لحظه باز شدن سوپاپ دود	۲۰۰۰ rpm	دور موتور
۱۵ CA	مدت زمان پاشش سوخت	۲ ATDC	زمان تزریق سوخت (SOI)



شکل ۱- شبکه بندی محفظه احتراق در حالت ۳۶۰ درجه (شکل سمت راست دید از بالای محفظه می باشد)



شکل ۲- مقایسه تغییرات فشار داخل سیلندر حاصل از نتایج تجربی و شبیه‌سازی

شکل ۲ منحنی تغییر فشار داخل سیلندر حاصل از شبیه سازی موتور را در مقایسه با نتایج آزمون های آزمایشگاهی نشان می دهد. مشاهده می شود که منحنی فشار حاصل از نتایج عددی و تجربی مطابقت خوبی با هم دارند. جهت بررسی دقت مدل های مورد استفاده برای پیشگویی آلاینده ها مقادیر حاصل از شبیه سازی در جدول ۲ با نتایج تجربی مقایسه شده است. با توجه به مقادیر جدول، نتایج شبیه سازی و آزمایشگاهی همخوانی خوبی دارند.

جدول ۲- مقدار آلاینده های موتور دیزل در حالت پایه

آلاینده	مقدار تجربی (gr/kW.h)	مقدار حاصل از شبیه سازی (gr/kW.h)
اکسید نیتروژن NO	۶/۸۴	۷/۶۸
دوده (Soot)	۰/۸۷	۱/۰۲

۴- تحلیل نتایج

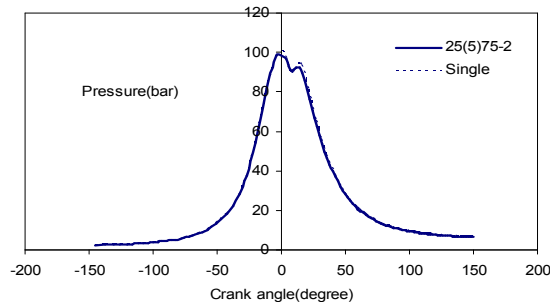
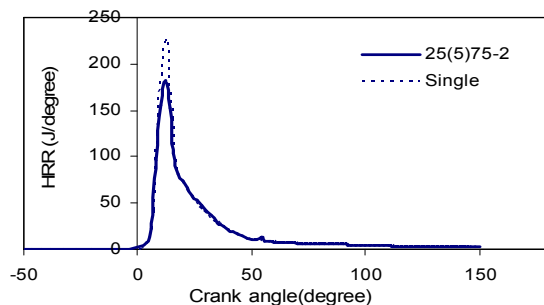
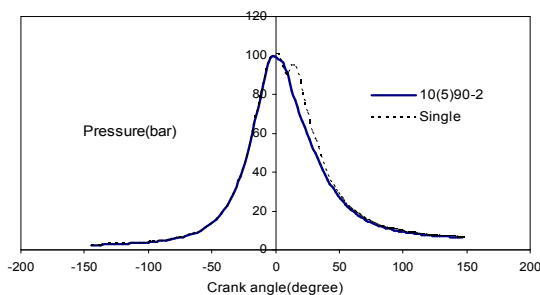
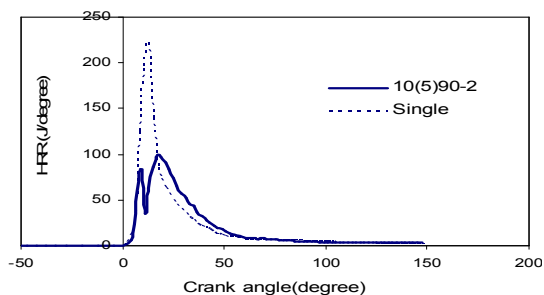
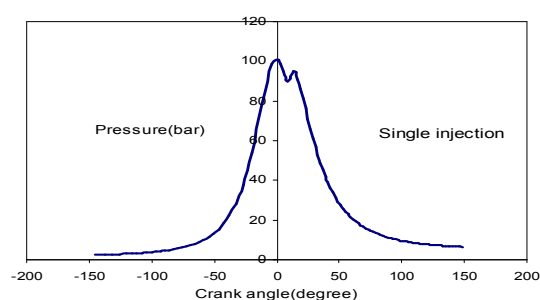
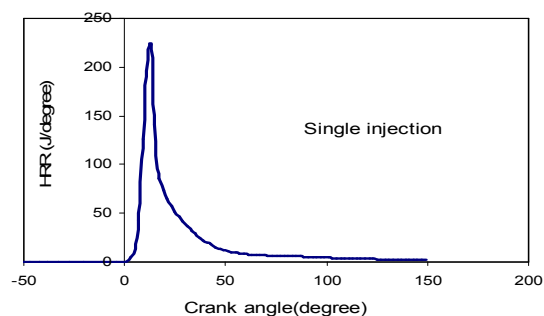
مهمترین پارامترهای پاشش چند مرحله ای عبارت از: تعداد پاشش سوخت، زمان پاشش سوخت، فشار پاشش سوخت و مقدار سوخت در هر مرحله از پاشش و فاصله زمانی بین پاشش ها می باشد. با انتخاب بهینه پارامترهای مذکور می توان به یک مصالحه در کاهش همزمان آلاینده های دوده و NO موتور دیزل دست یافت. جهت سهولت بیان مقدار پاشش سوخت در هر مرحله، فاصله بین دو پالس پاشش قرارداد (شروع پاشش - % سوخت در مرحله دوم (فاصله بین دو پاشش)) % سوخت در مرحله اول) در نظر گرفته شده است. برای مثال ۲-۱۰ (۸) ۹۰ بدین معنی است که شروع پاشش سوخت از ۲ درجه پس از نقطه مرگ بالا با ۹۰ % درصد سوخت در پالس اول پاشش انجام شده و پس از ۸ درجه چرخش میل لنگ فاصله از اتمام پالس اول ۱۰ % سوخت باقی مانده نیز پاشش می شود. در ادامه حالت های مختلف تزریق دو مرحله ای در نظر گرفته شده است که شامل حالت های (پیش پاشش + پاشش اصلی) و (پاشش اصلی + پس پاشش) با مقادیر مختلف سوخت در هر مرحله و فاصله های زمانی مختلف توقف پاشش می باشد.

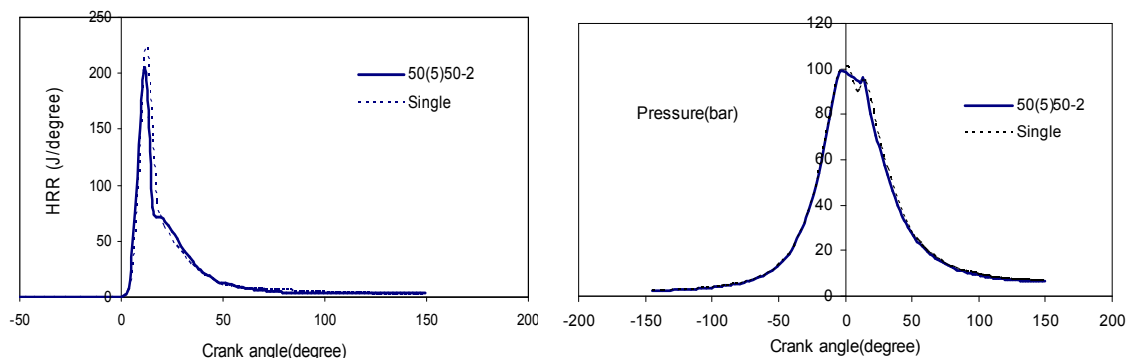
شکل ۳ منحنی فشار داخل سیلندر و نرخ آزاد شدن حرارت را برای شش حالت نشان می دهد. با توجه به منحنی های فشار و HRR در شکل ۳، مشاهده می شود که برای حالت های پاشش سوخت که مقدار بیشتر سوخت در پالس دوم پاشش می شود بیشترین نرخ آزاد سازی حرارت کاهش می یابد که علت آن کاهش احتراق پیش آمیخته است و رفتار احتراق مانند حالت ریتارد می باشد. با توجه به افت فشار داخل سیلندر در برخی از حالت های پاشش، حالت بهینه وقتی است که قسمت اعظم سوخت در مرحله اول تزریق شود تا توان موتور کاهش نیابد.

جدول ۳ مقدار تولید آلاینده های دوده و NO را برای حالت های مختلف پاشش سوخت ارائه می دهد. مشاهده می شود که هر چه مقدار سوخت در پاشش ثانویه بیشتر باشد مقدار NO کاهش می یابد که دلیل آن کاهش بیشترین نرخ آزاد سازی حرارت و احتراق پیش آمیخته و در نتیجه کاهش دمای سیلندر می باشد. همچنین نتایج نشان می دهد که هر چه مقدار سوخت در پالس دوم پاشش بیشتر شود دوده تولیدی زمان کافی برای اکسید شدن را پیدا نمی کند لذا مقدار نهایی آن افزایش می یابد. بنابراین در جستجوی حالت بهینه ای که همزمان بیشترین نرخ آزاد سازی حرارت کم باشد تا NO کاهش یابد و همچنین دمای احتراق حاصل از پالس اول پاشش و زمان اکسیداسیون (فاصله بین دو پاشش) کافی باشد تا از ایجاد دوده در پیشانی اسپری پاشش ثانویه جلوگیری شود، حالت های ۲-۲۵ (۵) ۷۵ و ۲-۱۰ (۵) ۹۰ جهت بررسی بیشتر مورد توجه می باشند.

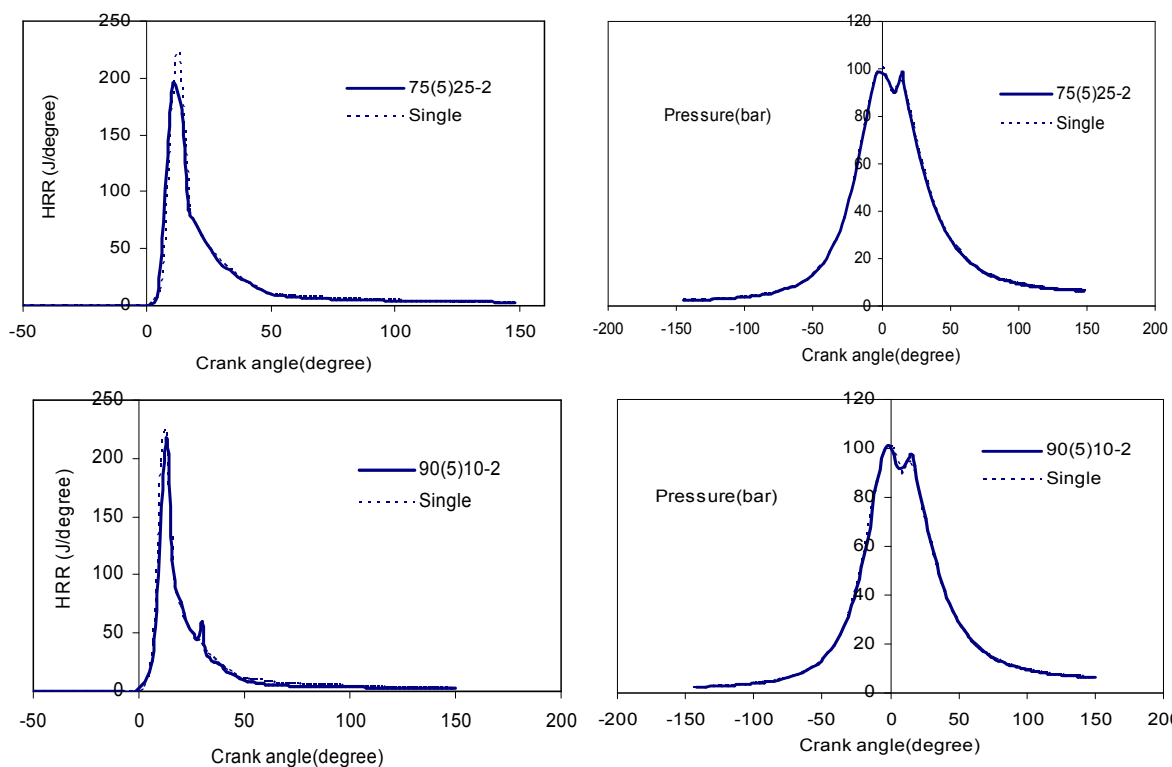
شکل ۴ مقدار آلاینده های NO و دوده را برای حالت ۲-۲۵ (۵) ۷۵ بر حسب فاصله زمانی مختلف بین دو پالس پاشش نشان می دهد. مشاهده می شود که برای حالت پاشش ۲-۲۵ (۳۵) ۷۵ دو آلاینده کمترین مقدار خود را دارند. نتایج نشان می

دهد که در این فاصله زمانی بین دو پاشش هر دو آلایند NO و دوده کمینه هستند زیرا از یکطرف با کاهش سهم احتراق پیش‌آمیخته تولید NO کاهش می‌یابد و از طرف دیگر در این فاصله زمانی دمای محفظه جهت سوختن دوده تولیدی حاصل از پالس اول پاشش مناسب می‌باشد. دلیل افزایش NO در فاصله‌های زمانی بیشتر از ۳۵ درجه چرخش میل لنگ اینست که بخشی از کاهش دمای محفظه که در اثر جذب گرمای محفظه در تبخیر سوخت پاششی می‌باشد، حذف گردیده است. در اثر افت دمای محفظه با افزایش فاصله زمانی بین پالسهای پاشش، اکسیداسیون دوده نیز بخوبی انجام نشده و دوده افزایش می‌یابد.





شکل ۳- منحنی تغییرات فشار داخل سیلندر و آزاد سازی حرارت برای حالت‌های مختلف پاشش سوخت



ادامه شکل ۳- منحنی تغییرات فشار داخل سیلندر و آزاد سازی حرارت برای حالت‌های مختلف پاشش سوخت

جدول ۳-آلاینده های تولید شده در حالت‌های مختلف پاشش

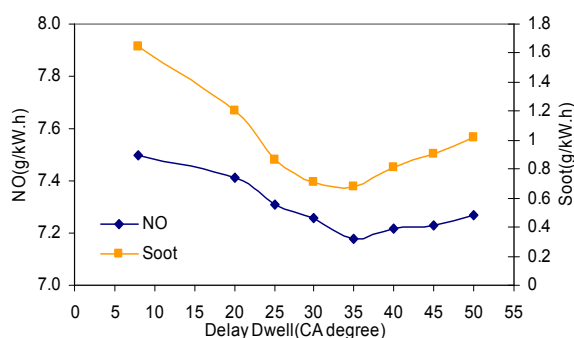
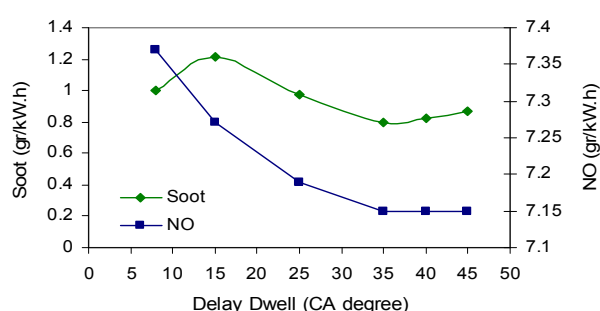
دوده (g / kW. h)	اکسیدهای نیتروژن (g / kW. h)	حالت‌های پاشش
۱/۰۲	۷/۶۸	حالت پایه
۳/۵۱	۳/۵۸	۱۰-۲ (۵)
۲/۷۶	۶/۵۰	۲۵-۲ (۵)
۲/۵۹	۶/۸	۵۰-۲ (۵)
۱/۲۶	۷/۳۲	۷۵-۲ (۵)

۱/۱۲	۷/۵۶	۹۰ (۵) ۱۰-۲
------	------	-------------

جدول ۴- درصد کاهش آلاینده ها برای دو حالت بهینه پاشش

حالت پاشش	اکسیدنیترژن NO (%)	دوده (Soot) (%)
۷۵(۳۵)۲۵-۲	۱۰/۸۷	۳۳/۸۵
۹۰(۳۵) ۱۰-۲	۷/۶۸	۲۱/۵۶

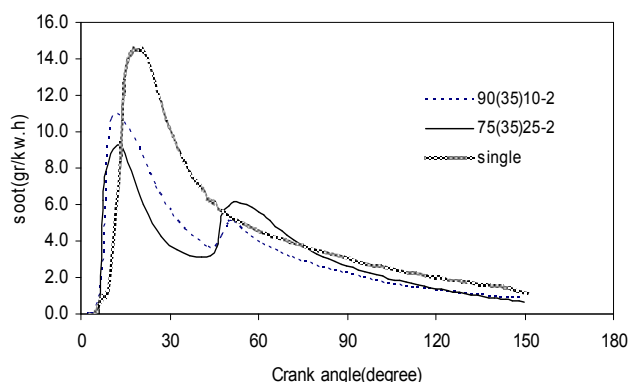
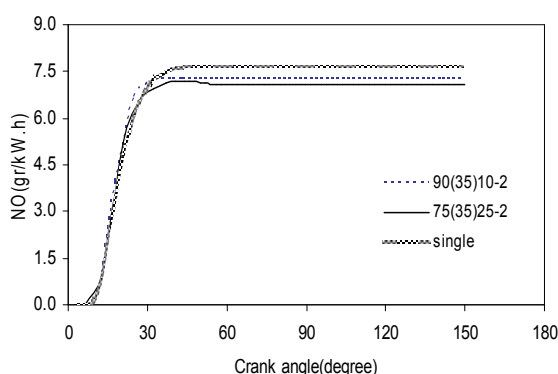
در شکل ۵ نتایج فوق برای حالت پاشش ۱۰-۲ (۹۰) نیز ارائه شده است. همانطور که مشاهده می شود در این حالت پاشش بهینه ترین پاشش ۱۰-۲ (۳۵) ۹۰ می باشد.



شکل ۵- تغییرات مقدار آلاینده های NO و دوده برحسب فاصله زمانی بین دو پالس پاشش سوخت برای حالت پاشش ۱۰-۲ (۳۵) ۹۰

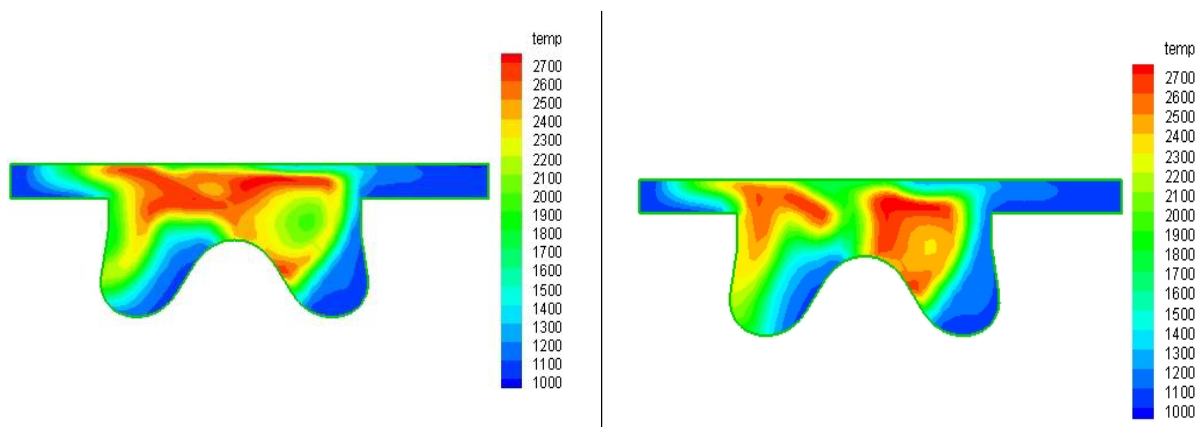
شکل ۴- تغییرات مقدار آلاینده های NO و دوده برحسب فاصله زمانی بین دو پالس پاشش سوخت برای حالت پاشش ۷۵(۳۵)۲۵-۲

در شکل ۶ مقایسه ای بین تشکیل آلاینده های NO و دوده برای دو حالت پاشش بهینه انجام شده است. مشاهده می شود که در تمامی نتایج حالت پاشش ۷۵(۳۵)۲۵-۲ دارای نتایج بهتری می باشد. درصد کاهش آلاینده ها برای هر دو حالت بهینه پاشش در جدول ۴ ارائه شده است. با توجه به داده ها مشاهده می شود که از بین حالت های بهینه پاشش موردنظر حالت پاشش ۷۵(۳۵)۲۵-۲ دارای مشخصه های بهتری می باشد.

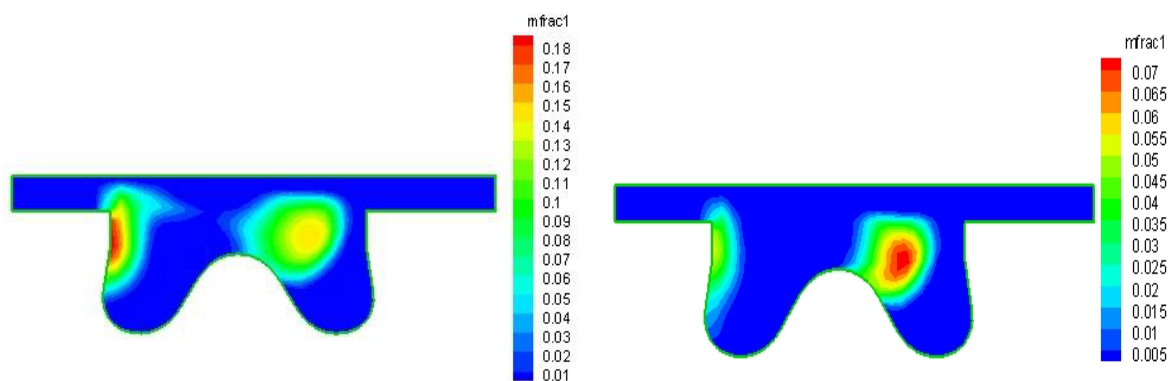


شکل ۶- منحنی تشکیل آلاینده های دوده و NO برای حالت پاشش تک مرحله ای و دو حالت پاشش بهینه

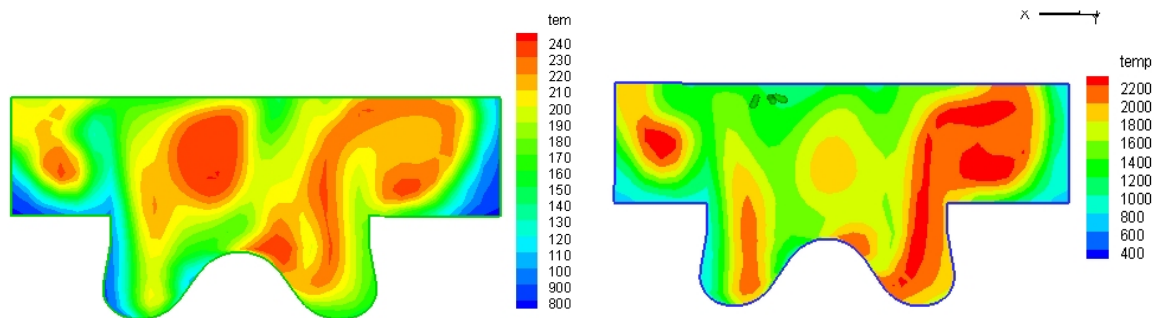
شکل ۷ توزیع دما و کسر مولی سوخت داخل سیلندر را برای دو پاشش یک مرحله‌ای و دو مرحله‌ای بهینه در ۱۹ و ۴۵ و ۵۳ درجه چرخش میل لنگ بعد از نقطه مرگ بالانشان می‌دهد. با توجه به تعداد نازلها و عدم تقارن هندسه محفظه نشان- دادن همزمان پاشش دو نازل ممکن نیست. لذا عدم تقارن احتراق به این دلیل می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود. در شرایط ATDC ۱۹ در مناطق با دمای بیشینه در حالت پاشش دو مرحله‌ای به مراتب کمتر از حالت پایه می‌باشد که این عامل کمتر شدن تولید NO می‌باشد. همچنین به دلیل کمتر بودن جرم سوخت پاشیده شده در پالس اول پاشش دو مرحله‌ای مقدار سوخت کمتری نسبت به حالت پاشش یک مرحله‌ای باقی می‌ماند لذا مقدار دوده کاهش می‌یابد. در ۴۵ و ۵۳ درجه چرخش میل لنگ پس از نقطه مرگ بالا مشاهده می‌شود که در احتراق با پاشش یک مرحله‌ای، سوخت تزریق شده با ممنتوم بالا به منطقه غنی از سوخت و دمای نسبتاً پایین در نوک جت نفوذ کرده و به طور پیوسته وارد منطقه غنی از سوخت شده و تولید دوده می‌کند. ولی در پاشش دو مرحله‌ای، سوخت پاششی در مرحله دوم وارد یک منطقه دما بالا و رقیق از سوخت می‌شود که از احتراق حاصل از پالس اول پاشش سوخت باقی مانده است، در نتیجه از تشکیل و انباشتگی سوخت در نوک اسپری و ایجاد منطقه غنی و تولید دوده جلوگیری می‌شود.



توزیع دما در داخل سیلندر در ATDC ۱۹

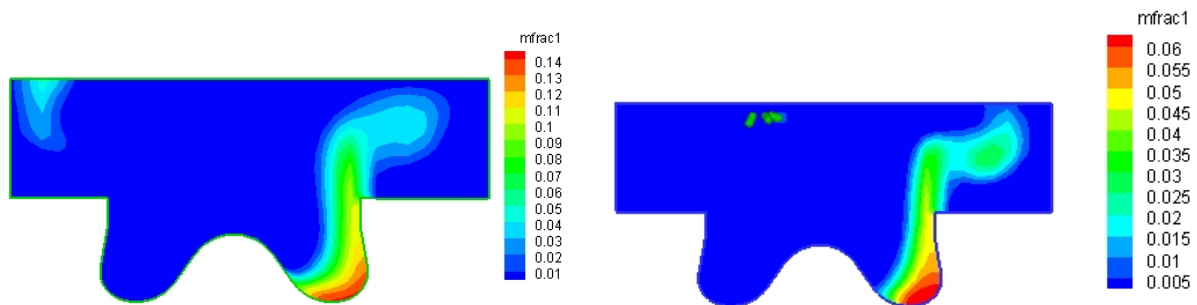


توزیع کسر مولی سوخت ATDC ۱۹

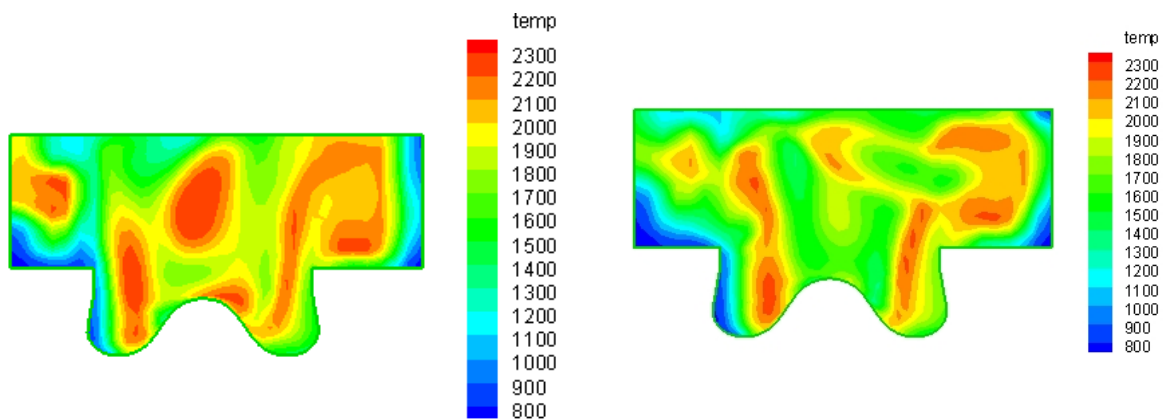


توزیع دمای داخل سیلندر در ۴۵ ATDC

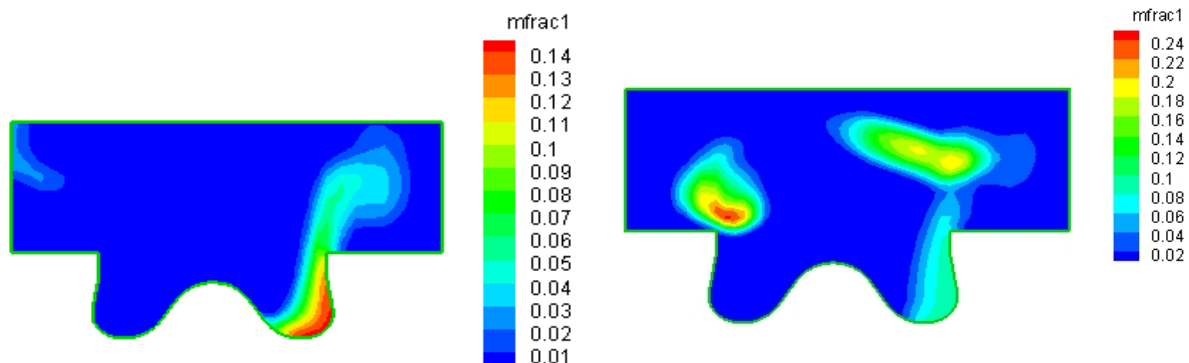
شکل ۷- توزیع دما، کسر مولی سوخت داخل سیلندر برای دو پاشش یک مرحله‌ای و دو مرحله‌ای بهینه در زاویه های ۱۹ و ۴۵ و ۵۳ درجه بعد از نقطه مرگ بالا (سمت چپ پاشش یک مرحله‌ای و سمت راست پاشش دو مرحله‌ای ۲۵ (۳۵) ۷۵)



توزیع سوخت در ۴۵ ATDC



توزیع دمای داخل سیلندر در ۵۳ ATDC



توزیع سوخت در ATDC ۵۳

ادامه شکل ۷- توزیع دما، کسر مولی سوخت داخل سیلندر برای دو پاشش یک مرحله‌ای و دو مرحله‌ای بهینه در زاویه های ۱۹ و ۴۵ و ۵۳ درجه بعد از نقطه مرگ بالا (سمت چپ پاشش یک مرحله‌ای و سمت راست پاشش دو مرحله‌ای ۲۵(۳۵) ۷۵)

۵- نتیجه گیری

متن در مقاله حاضر با استفاده از شبیه سازی سه بعدی به کمک کد KIVA-3V و صحه گذاری آن با نتایج تجربی حاصل از آزمون حالت پایه موتور، مکانیزم کاهش آلاینده های دوده و NO در پاشش دو مرحله‌ای سوخت مورد مطالعه قرار گرفت و در نهایت راهکار پاشش دو مرحله‌ای سوخت جهت کاهش همزمان این آلاینده ها برای موتورهای دیزل پاشش مستقیم MT-4.244 ارائه گردید. خلاصه نتایج به صورت زیر می باشد:

- ۱- در پاشش دومرحله‌ای به دلیل افت بیشینه نرخ آزادسازی حرارت و تاخیر در پاشش دوم مقدار آلاینده NO کاهش می یابد. مکانیزم کاهش NO در راهکار پاشش چندمرحله‌ای همانند پاشش یک مرحله‌ای یا تاخیر در زمان پاشش سوخت می باشد.
- ۲- فاصله بین دو پاشش سوخت باید به حد کافی کوتاه باشد تا دمای مورد نیاز جهت اکسید شدن دوده حاصل از پالس اول تامین شود. همچنین فاصله زمانی بین دو پاشش باید به حد کافی زیاد باشد تا مقدار زیادی از دوده قبل از آغاز پاشش ثانویه اکسید شود. بنابراین لازم است که یک حالت بهینه انتخاب شود.
- ۳- حالت بهینه پاشش چندمرحله‌ای برای موتور MT-4.244، حالت ۲-۲۵(۳۵) ۷۵ می باشد که با این راهبرد NO ۱۱٪ و دوده ۳۳٪ کاهش می یابد.
- ۴- با توجه به کانتورهای ارائه شده، در پاشش دو مرحله‌ای سوخت پاششی در پالس دوم پاشش وارد یک منطقه دما بالا و رقیق از سوخت می شود در نتیجه از انباشتگی سوخت در نوک اسپری و ایجاد منطقه غنی از سوخت جلوگیری می شود. نتیجتاً مقدار دوده تولیدی کاهش چشمگیری پیدا می کند.

۶- تشکر و قدردانی

در نویسندگان از آزمایشگاه موتور و پیشرانان دانشگاه تربیت مدرس و شرکت موتورسازان تراکتورسازی تبریز بواسطه حمایت از این کار تحقیقاتی تشکر و قدردانی می نمایند.

مراجع

- 1- Heywood, J. B., *Internal Combustion Engine Fundamentals*, McGraw-Hill, Inc., New York, 1998.
- 2- Pierpont, D. A. and Reitz, R. D., "*Effect of injection Pressure and Nozzle Geometry on Emissions and Performance in a D.I Diesel*", SAE Paper 950604, 1995.
- 3- Nehmer, D. A. and Reitz, R. D., "*Measurement of the Effect of injection rate and Split Injections on Diesel Engine Soot and NOx Emissions*", SAE Paper 940668, 1994.
- 4- Lee, T., "*An Experimental Study of Emission Reduction Mechanisms in a High Speed Direct Injection Diesel Engine With Multiple Injection and EGR*", PhDs Thesis, University of Wisconsin-Madison, 2002.
- 5- Ricaud, J.C., Lavoisier, F., "*Optimizing the Multiple Injection Settings on an HSDI Diesel Engine*", THESEL 2002 Conference, 2002.
- 6- Liu, Y., Tao, F., Foster, D. and Reitz, R.D., "*Application of a Multiple- Step Phenomenological Soot Model to HSDI Diesel Multiple Injection Modeling*", SAE Technical Paper 2005-01-0924, 2005.
- 7- Ghafarpour, M. R., Noorpoor, A. R., "*A Numerical study of Pilot or Split Rate Injection to Reduce Diesel engine Noise*", Proc. IMechE, Vol. (221), pp 457-464, 2007.
- 8- Liu, Y., "*Diesel Engine Modeling and Optimization for Emission Reduction*", PhDs Thesis, University of Wisconsin- Madison, 2005.
- 9- Mendez, S. and Thirouard, B., "*Using Multiple Injection Strategies in Diesel Combustion: Potential to Improve Emissions, Noise and Fuel Economy Trade-Off in Low CR Engines*", SAE Technical Paper 2008-8-01- 1329, 2008.
- 10- Amsden A.A., "*KIVA-II: A Computer Program for Chemically Reactive Flows with sprays*", Los Alamos National Laboratory report, LA-11560-MS, 1989.
- ۱۱- فتح اله امی، کامران پورقاسمی، وحید اصفهانیان، علی میرمحمدی، ۱۳۸۸، "بررسی تاثیر پاشش چند مرحله‌ای سوخت و مشخصه‌های افشانه بر کاهش آلاینده‌های موتور دیزل پاشش مستقیم"، دوازدهمین کنفرانس دینامیک شاره‌ها، دانشگاه صنعتی نوشیروانی بابل.
- 12- Bowman, C. T., "*Kinetics of Pollutant Formation and Destruction in Combustion*", Prog. Energy Combust Sci, Vol. (33), 1975.
- 13- Han, Z., Uludogan, A., Hampson, G. J., Reitz, R. D., "*Mechanism of Soot and NOx Emission Reduction Using Multiple-injection in a Diesel Engine*", SAE Paper 960633, 1996.
- 14- Nagle, J., Strickland- Constable, R. F., "*Oxidation of Carbon between 1000-2000C*", Proceedings of the Fifth Conference on Carbon, New York, Pergamon, 1962.