



شبیه سازی عددی مدل های شکست قطرات سوخت بر مشخصه های اسپری در موتور های دیزلی تزریق مستقیم

علیرضا حسین نژاد دوین^{۱*}، عباس زارع نژاد اشکذری^۲، مهدی ربیعی^۳

دانشگاه سیستان و بلوچستان، دانشکده مهندسی مکانیک

(* عباس زارع نژاد اشکذری: azarenezhad@yahoo.com)

چکیده

برای پیش بینی نتایج عملکرد و آلاینده‌گی در موتورهای دیزلی مدل های مختلفی پیشنهاد شده است. در این مقاله، به صورت تئوری مدل های پیشنهادی برای افشانه سوخت در محفظه احتراق موتور دیزلی شش سیلندر OM-355 شرکت ایدم مورد بررسی قرار گرفته است باشد تاثیر مدل های WAVE، KH-RT و TAB در پیش بینی نتایج عملکرد و آلاینده‌گی موتورهای دیزلی مورد بررسی قرار گرفته و دقت هر کدام از مدل ها در مقایسه با نتایج تجربی مشخص می شود. در این بررسی از نرم افزار AVL FIRE استفاده شده است که از مدل سه بعدی دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) برای تحلیل استفاده می کند. نتایج نشان می دهند که مدل TAB بیشترین NO_x و کمترین دوده را پیش بینی می کند. همچنین این مدل، اندازه قطرات افشانه های دیزل را کمتر از حد پیش بینی کرده و نفوذ را نیز کمتر از حد تخمین می زند که دلایلی بر رفتار غیر عادی این مدل می باشند. با توجه به هم خوانی نتایج فشار داخل سیلندر و آلاینده‌گی خروجی موتور با نتایج تجربی در مدل WAVE، می توان نتیجه گیری کرد که این مدل، اندازه قطرات تولیدی در اثر تجزیه و نفوذ اسپری را به درستی پیش بینی می کند و می توان با تنظیم ثوابت مربوط به مدل، آن را برای شبیه سازی اتمیزاسیون در شرایط کارکردی مختلف موتور به کار برد.

واژه های کلیدی: شکست قطرات، آلاینده‌گی، موتورهای دیزلی

۱- مقدمه

در ۲۰ سال گذشته، مطالعات تجربی و عددی بسیاری بر روی سیستم های تزریق سوخت و ساختار اسپری سوختی انجام شده است. زیرا افشانه سوخت، مهمترین نقش را در تعیین عملکرد و آلاینده های خروجی موتور بازی می کند. برای پیش بینی نتایج تجربی در موتور های دیزلی به صورت تئوری مدل های مختلفی برای احتراق، پاشش سوخت و اتمیزاسیون اسپری سوخت پیشنهاد شده است که دقت آن در دستیابی به نتایج دقیق نسبت به حالت واقعی یکی از مسائل مورد توجه محققان در شبیه سازی فرآیند احتراق بوده است. پترسن و همکاران [۱] توسط کد سه بعدی KIVA تاثیر فشار پاشش و پاشش های تکه ای را بر روی عملکرد و آلاینده‌گی موتورهای دیزل بررسی کرده اند. آنها برای مدل کردن شکست قطرات سوخت از مدل WAVE استفاده کرده اند که توافقات خوبی را در مقایسه با نتایج تجربی نشان می دهد.

ریتز و همکاران [۲] مدلی را توسعه دادند که دو حالت مختلف را برای تجزیه افشانه سوخت در سرعت های نسبی پایین و بالا در نظر گرفتند. آنها فرض کردند قطرات با عدد وبر کوچکتر از ۶ ناپایدار بوده و تمایل دارند به قطرات کوچکتر تجزیه شوند

۱- استادیار دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه سیستان و بلوچستان

۲- دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک، دانشگاه سیستان و بلوچستان

۳- کارشناس ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز

و معادله آهنگ کاهش شعاع قطره را بر حسب حالت تجزیه به دست آوردند. لیو و همکارانش [۳] داده های مربوط به تجزیه قطره و نفوذ اسپری را با پیش بینی های انجام شده توسط نسخه اصلاح شده کد چند بعدی KIVA-II مقایسه کردند. اتمیزاسیون اسپری با استفاده از مدل WAVE و نیز مدل TAB کد KIVA انجام شد. مدل WAVE نتایج خوبی را چه برای تشریح مسیر و چه اندازه قطرات حاصل از اتمیزاسیون به همراه داشت. روتوندی و همکارانش [۴] یک مدل ترکیبی برای اتمیزاسیون اسپری های دیزل فشار پایین و فشار بالا توسعه دادند. برای مورد فشار پایین، مدل WAVE برای اتمیزاسیون هسته مایع به کار رفت. برای مورد فشار بالا، تاثیر آشفتگی جت و کاویتاسیون بر روی تجزیه اولیه هسته مایع در نظر گرفته شد. برای تحلیل و فهم عمیقتر پدیده اصلی فرایند پاشش و شبیه سازی بهتر اسپری، این مدل به کد KIVA اضافه شد و نتایج خوبی در مورد پارامترهای تزریق مانند پیش بینی نفوذ اسپری به دست آمد.

در بررسی انجام گرفته در این مقاله مدل های معروف پیشنهادی برای تجزیه افشانه سوخت شامل KH-RT،WAVE و TAB مورد توجه قرار گرفته است و برای این منظور بعد از مدل سازی سه بعدی شکل محافظه احتراق موتور شش سیلندر OM-355 در محیط شبیه سازی ESE از نرم افزار FIRE برای شبکه بندی و انجام تحلیل به صورت دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) استفاده شده است. تحلیل به صورت سوپاپ بسته یعنی از لحظه بسته شدن سوپاپ ورودی (60ABDC) تا لحظه باز شدن سوپاپ خروجی (62BBDC) انجام می گیرد. زمان شروع تزریق سوخت ۱۶ درجه میل لنگ قبل از نقطه مرگ بالا و طول دوره تزریق ۱۸ درجه می باشد. نرم افزار FIRE مانند دیگر کدهای عمل کننده به روش حجم محدود، اقدام به گسسته سازی معادلات پیوستگی جرم، مومنتوم و انرژی به همراه مدلی برای آشفتگی نموده و سپس با یک الگوریتم تکراری اقدام به حل معادلات جبری حاصل می کند. در این بررسی از مدل خود اشتعالی Shell [۵]، مدل احتراقی Eddy breakup [۱]، مدل توربولانس $K-\epsilon$ استاندارد [۶]، مدل Dukowicz برای انتقال حرارت و تبخیر قطرات سوخت [۷]، مدل برخورد به دیواره Walljet [۸] و مکانیزم آلاینده Soot (دوده) [۹] و مدل NSC برای اکسیداسیون [۱۰] آن استفاده شده است. جزئیات این مدل ها در ادبیات فن موجود می باشد که برای اطلاعات بیشتر به مراجع ارجاع داده شده رجوع شود. مشخصات موتور مورد بررسی در جدول ۱ آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات موتور OM-355

Bore	128mm
Stroke	150mm
Connecting Rod Length	280mm
Compression ratio	16.1
Engine Speed	1400 rpm
Intake Pressure	119kpa
Intake Temperature	320 k
Intake Valve Close Timing	120 deg. BTDC
Swirl ratio	1.1

نتایج تئوری حاصل از این تحلیل ها با نتایج تجربی موتور مورد بررسی مقایسه شده و در نهایت مدل با دقت بالا معرفی شده است.

۲- مدل های Break up افشانه سوخت

مدل های پیشنهاد شده در نرم افزار FIRE جهت شبیه سازی افشانه سوخت متنوع بوده که هر کدام دارای مشخصات خاص خود می باشند که در این بررسی سه نوع از مدل های موجود در نرم افزار فوق که برای موتورهای دیزلی پیشنهاد شده، مورد توجه قرار گرفته است. لازم به یاد آوری است که با پیروی از نگرش ریتز، قطر اولیه قطرات در حدود قطر سوراخ نازل در

نظر گرفته شده است. یعنی مدل‌های در نظر گرفته شده برای شبیه سازی اتمیزاسیون اسپری سوختی، از روش قطره یعنی همان فرض ریتز برای تجزیه اولیه جت سوخت استفاده می کنند و اتمیزاسیون اولیه و ثانویه را به صورت دو فرایند جدا از هم مدل نمی کنند. با این کار، با کمی کاهش در دقت جواب ها از مدل سازی جریان داخل سوراخ نازل انژکتور که با پیچیدگی های زیادی همراه بوده و نیازمند اطلاعات زیادی برای شبیه سازی و نیز زمان محاسبات زیاد می باشد جلو گیری می شود. برای در نظر گرفتن تاثیر شرایط جریان داخل نازل بر روی تجزیه از یک ثابت استفاده می شود که برای شرایط مختلف و جهت تطابق جوابها با نتایج تجربی کالیبره می شود.

۱-۲- مدل WAVE Standard

در این مدل، نتایج حاصل از یک تحلیل پایداری خطی مرتبه اول جت های مایع، که پایداری یک ستون از مایع خارج شده از یک اریفیس مدور به شعاع a به داخل یک محیط خیلی بزرگ گازی شکل تراکم ناپذیر ساکن را مورد توجه قرار می دهد، برای تشریح جزئیات اتمیزاسیون مایع تزریق شده استفاده می شود. به خاطر اثرات آیرودینامیکی بین مایع و گاز که باعث رشد موج ناپایدار بر روی سطح جت مایع می شود اتمیزاسیون روی می دهد. نوسانات بوسیله معادله پیوستگی و معادله حرکت تشریح می شوند که منجر به یک معادله انتشار می شود که رشد آشفتگی اولیه بر روی سطح مایع را به طول موج و دیگر پارامترهای فیزیکی و دینامیکی مایع پاشیده شده و گاز اطراف ربط می دهد. فرکانس نوسان این آشفتگی ها (موجهای سطحی) از معادله زیر به دست می آید:

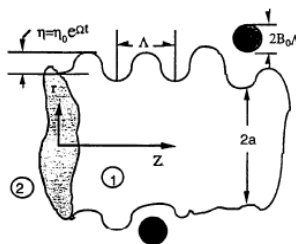
$$\omega^2 + 2v_l k^2 \omega \left[\frac{I_1'(ka)}{I_0(ka)} - \frac{2kl}{k^2 + l^2} \frac{I_1(ka)}{I_0(ka)} \frac{I_1'(la)}{I_0(la)} \right] = \quad (1)$$

$$\frac{\sigma k}{\rho_1 a^2 (1 - k^2 a^2)} \left(\frac{l^2 - k^2}{l^2 + k^2} \right) \frac{I_1(ka)}{I_0(ka)} + \frac{\rho_2}{\rho_1} (U - iw/k)^2 k^2 \left(\frac{l^2 - k^2}{l^2 + k^2} \right) \frac{I_1(ka)K_0(ka)}{I_0(ka)K_1(ka)}$$

در رابطه فوق k عدد موج و $l^2 = k^2 + \frac{\omega}{v_l}$ می باشد.

بسته های قطرات با اندازه مشخصه ای برابر با قطر خروجی نازل پاشیده می شوند. بیشینه فرکانسی که از معادله درجه دوم فوق به دست می آید یعنی $\omega = \Omega$ موجب متلاشی شدن جت سوخت و تبدیل آن به قطرات ریزتر می شود. قطرات کوچک جدید با اندازه Γ متناسب با طول موج مربوط به امواج سطحی موجود در سطح جت سوخت می باشد که به صورت زیر است:

$$r = B_0 \Lambda \quad (2)$$



شکل ۱- طرحواره مدل اتمیزاسیون سوخت WAVE [۲]

زمان متلاشی شدن جت سوخت از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\tau = \frac{3.726 B_0 a}{\Lambda \Omega} \quad (3)$$

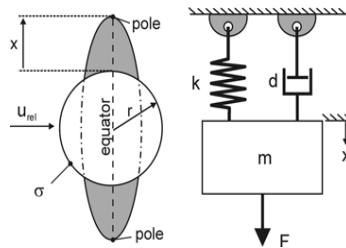
آهنگ تغییر اندازه مشخصه قطرات ناپایدار اولیه از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\frac{da}{dt} = -\frac{(a-r)}{\tau}, \quad r \leq a \quad (4)$$

طول موج Λ و آهنگ رشد موج Ω از تحلیل پایداری جت به دست می آیند. مقدار ثابت B_0 (معادل ثابت $C1$ نرم افزار FIRE) برای اسپری دیزل توسط ریتز در سال ۱۹۸۷ برابر با $0/61$ پیشنهاد شده است. ثابت زمانی تجزیه B_1 (معادل ثابت $C2$ نرم افزار FIRE) ثابت زمانی مدل می باشد که به ویژگی های نازل انژکتور و به سطح آسفنگی اولیه در فرایند تجزیه مایع وابسته است. این ثابت برابر ۱۲ فرض شده است. محدوده آن بین ۵ تا ۶۰ می باشد. هر چه قدر این ثابت کمتر باشد زمان اتمیزاسیون جت سوخت و طول تزریق کوتاهتر می شود. [۳]

۲-۲- مدل TAB

مدل تجزیه تشابه تیلور (TAB model) که توسط O'Rourke و Amsden پیشنهاد شده و همانطور که در شکل ۲ مشاهده می شود بر اساس شبیه سازی بین یک سیستم جرم - فنر با نوسان اجباری و یک قطره در حال نوسان وقتی که با سرعت نسبی u_{rel} به داخل محیط گازی نفوذ می کند قرار دارد.



شکل ۲- مدل اتمیزاسیون تشابه تیلور [۹]

نیروی F شروع کننده نوسان جرم m همان نیروی های آیرودینامیکی است که قطره را دفرمه می کند و بنابر این باعث می شود جرم آن نوسان کند نیروی بازگرداننده فنر $F_{spring} = k \cdot x$ با نیروی کشش سطحی شبیه سازی می شود. که سعی می کند تا قطره را به صورت کروی نگه دارد و تغییر شکل آن را مینیمم کند. نیروی میرایی $F_{damping} = d \cdot (dx/dt)$ با نیروهای اصطکاکی داخل قطره به خاطر ویسکوزیته دینامیکی مایع معادل است. معادله دیفرانسیل مرتبه دوم حرکت برای سیستم جرم - فنر میرا شده به صورت زیر است:

$$\ddot{x} = \frac{F}{m} - \frac{k}{m}x - \frac{d}{m}\dot{x} \quad (5)$$

که در آن x جابجایی جرم از حالت تعادلش است. بنا بر تشابه، ضرائب معادله فوق با روابط زیر جایگزین می شود.

$$\frac{F}{m} = C_F \frac{\rho_g u_{rel}^2}{\rho_l r} \quad (6)$$

$$\frac{k}{m} = C_k \frac{\sigma}{\rho_l r^3} \quad (7)$$

$$\frac{d}{m} = C_d \frac{\mu_l}{\rho_l r^2} \quad (8)$$

و X جابجایی خط تقارن قطره از حالت تعادلش است. C_b , C_F , C_k , C_d ثابتهای مدل هستند. در معادله فوق، Γ شعاع قطره در حالت تعادل است (قطره کروی) و ρ_g و ρ_l دانسیته های گاز و مایع هستند و σ کشش سطحی مناسب می باشد. با استفاده از جابجایی بدون بعد $y = X / (C_b \Gamma)$ معادله حرکت به فرم زیر در می آید:

$$\ddot{y} = \frac{C_F}{C_b} \frac{\rho_g}{\rho_l} \frac{u_{rel}^2}{r^2} - C_k \frac{\sigma}{\rho_l r^3} y - C_d \frac{\mu_l}{\rho_l r^2} \dot{y} \quad (9)$$

با در نظر گرفتن یک سرعت نسبی ثابت u_{rel} ، که در فرایند حل عددی در طول یک بازه زمانی داده شده رضایت بخش است، معادله حرکت را می توان به صورت تحلیلی حل کرد. شکستن یا تجزیه قطره، به خاطر تقویت تغییر شکل ایجاد شده توسط رزونانس (تشدید) ارتعاشی سطح قطره رخ می دهد. فرکانس ارتعاشی مشخصه قطره که شکستن آن را کنترل می کند توسط رابطه زیر داده می شود:

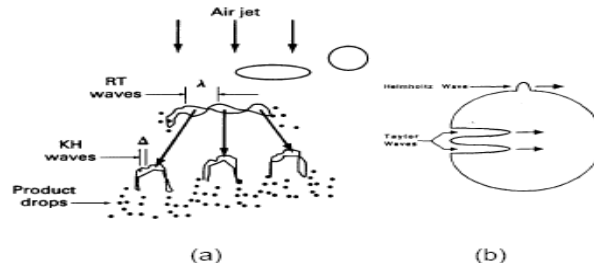
$$\omega^2 = C_k \frac{\sigma_l}{\rho_l r^3} - \left(\frac{C_D}{2} \frac{\mu_l}{\rho_l r^2} \right)^2 \quad (10)$$

که در آن: $C_k = 8$ و $C_D = 5$ است. شرط شکستن قطره آن است که مقدار نوسانات قطب های شمال و جنوب قطره با شعاع قطره برابر شوند. ($y=1$)

ایراد این مدل آن است که اندازه قطرات افشانه های مخروط توپر دیزل را کمتر از حد پیش بینی کرده و نفوذ را نیز کمتر از حد تخمین می زند. به همین دلایل، امروزه برای مدل سازی تجزیه اسپری از آن استفاده نمی شود. ولی برای پیش بینی تغییر شکل قطره که برای محاسبه ضریب پسای دینامیکی قطرات در یک اسپری نیازمند است به کار می رود. بر خلاف شبیه سازی اسپری دیزلی، این مدل مهمترین مدل تجزیه ثانویه در مورد اسپری های بنزینی مخروط توخالی می باشد. [۶]

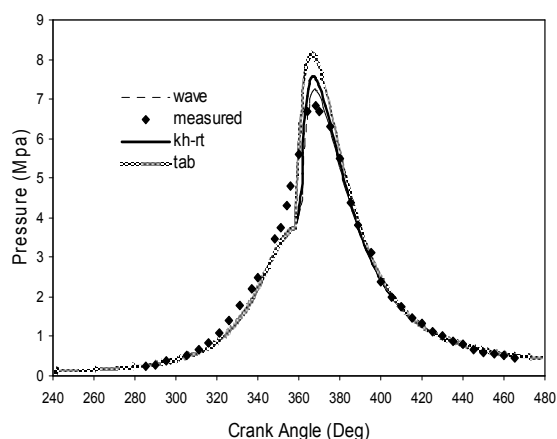
۳-۲- مدل KH-RT

در این مدل، در اعداد وبر خیلی بالا، هر دو ناپایداری KH و RT درگیر هستند. نیروی آیرودینامیکی بر روی قطره، آن را به صورت یک صفحه مایع پهن می کند و این صفحه که شتاب آن در حال کاهش است توسط ناپایداری ریلی - تیلور به تکه های بزرگی تبدیل می شود. سپس امواج کلوین - هلمهولتز با طول موج کوتاهتر در لبه های این تکه ها تشکیل شده و این امواج به قطرات خیلی ریز تبدیل می شوند. کاهش اندازه قطره توسط مدل RT در صورتی که برای مدلسازی قطرات خروجی از سوراخ نازل به کار رود، خیلی سریع است. بنابراین، این مدل برای تجزیه اسپری سوختی در فاصله خاصی از نازل به نام طول تجزیه به کار می رود. در مقایسه با مدل KH، تجزیه قطرات بزرگ سریعتر صورت گرفته و تبخیر سوخت بهتر شده و در نتیجه نفوذ کاهش می یابد که تطابق خوبی با نتایج تجربی حاصل می شود. این مدل معتبرترین مدل ترکیبی بوده که امروزه توسط محققان زیادی به منظور پیش بینی فرایند تجزیه اسپری موتور دیزل فشار بالا به کار می رود. [۶]



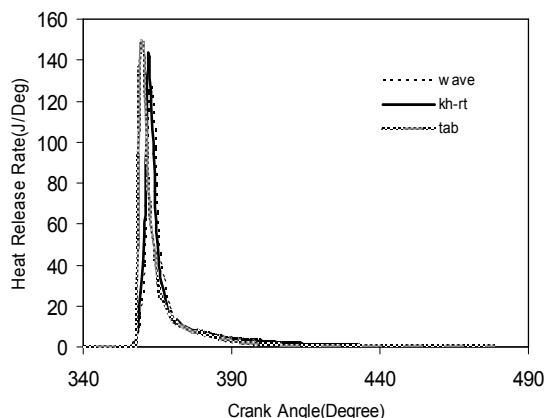
شکل ۳- رقابت بین ناپایداری های ریلی - تیلور و کلوین - هلمهولتز در اعداد وبر خیلی بالا [۶]

در این قسمت نتایج کار حاضر با مدل های مختلف افشانه سوخت با نتایج تجربی موجود در ادبیات فن مقایسه شده است. در شکل ۴ منحنی فشار بر حسب زاویه میل لنگ برای مدل های مختلف با نمودار تجربی مقایسه شده است. هر سه مدل رفتار کیفی تغییرات فشار داخل سیلندر را به درستی پیش بینی کرده ولی نزدیک ترین جواب به نتیجه تجربی مخصوصاً از لحاظ بیشینه فشار داخل سیلندر و موقعیت آن، از مدل WAVE حاصل می شود که علت آن ناشی از عدم وجود بخار سوخت کافی و نرخ تبخیر کمتر نسبت به دو مدل دیگر است که باعث کاهش ماکزیمم فشار پیش بینی شده می شود.

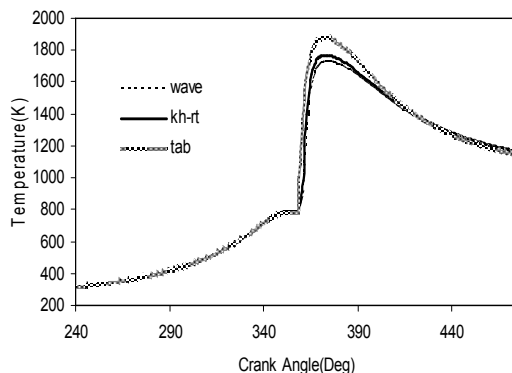


شکل ۴- مقایسه فشار داخل سیلندر با مدل های مختلف

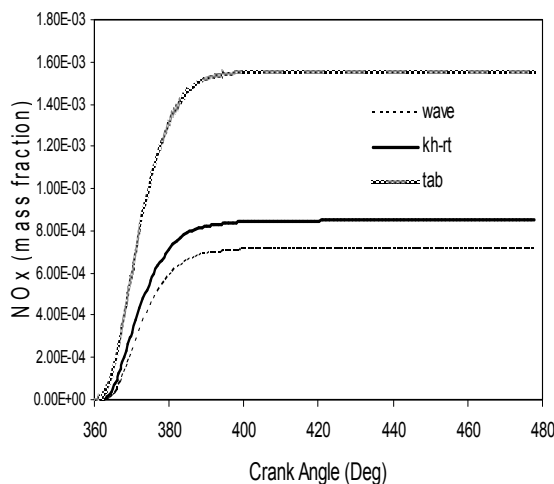
در شکل ۵ آهنگ آزادسازی گرما، در شکل ۶ دمای متوسط داخل سیلندر، در شکل ۷ نتایج مربوط به آلاینده NO_x و در شکل ۸ تولید دوده برای مدل های مختلف مقایسه شده اند. مشاهده می شود که مدل WAVE، پیک احتراق پیش آمیخته و پیک دمایی پایین تری نسبت به سایر مدلها داشته و کمترین میزان آلاینده NO_x و بیشترین میزان دوده را در خروجی موتور در مقایسه با سایر مدلها نشان می دهد. مدل TAB رفتاری کاملاً عکس آن را نشان داده و مدل KH-RT رفتاری بین این دو مدل را نشان می دهد. افزایش ناگهانی در دما و فشار نشان دهنده شروع احتراق می باشد.



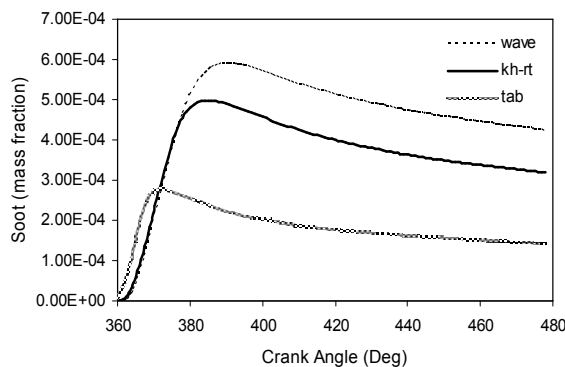
شکل ۵- مقایسه آهنگ آزادسازی گرما برای مدل های مختلف



شکل ۶- مقایسه دمای متوسط داخل سیلندر با مدل های مختلف



شکل ۷- مقایسه تشکیل NO_x برای مدل های مختلف



شکل ۸- مقایسه تشکیل دوده برای مدل های مختلف

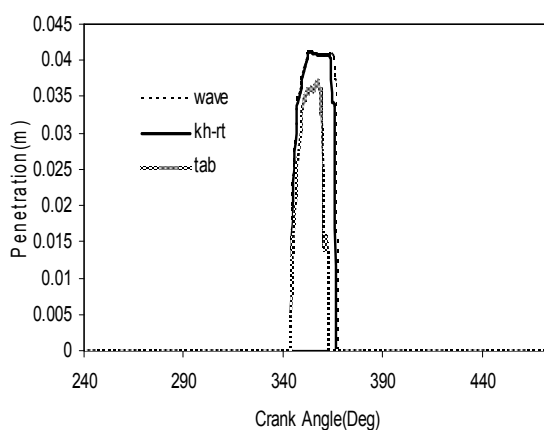
در جدول ۲ نتایج آلاینده های خروجی از موتور با نتایج شبیه سازی توسط مدل WAVE مقایسه شده اند که توافق خوبی را با نتایج تجربی نشان می دهند. متوسط دما داخل سیلندر در این مدل و پیک پیش آمیخته، پایین تر از دو مدل دیگر

بوده که دلیل بر کمتر بودن NO_x تولیدی آن می باشد. با توجه به نمودارها مشاهده می شود که مدل TAB بیشترین NO_x و کمترین دوده را پیش بینی می کند. این مشاهدات با توجه به نمودارهای ۹ و ۱۰ که نفوذ اسپری داخل سیلندر و قطر متوسط قطرات را نشان می دهند قابل توجیه است.

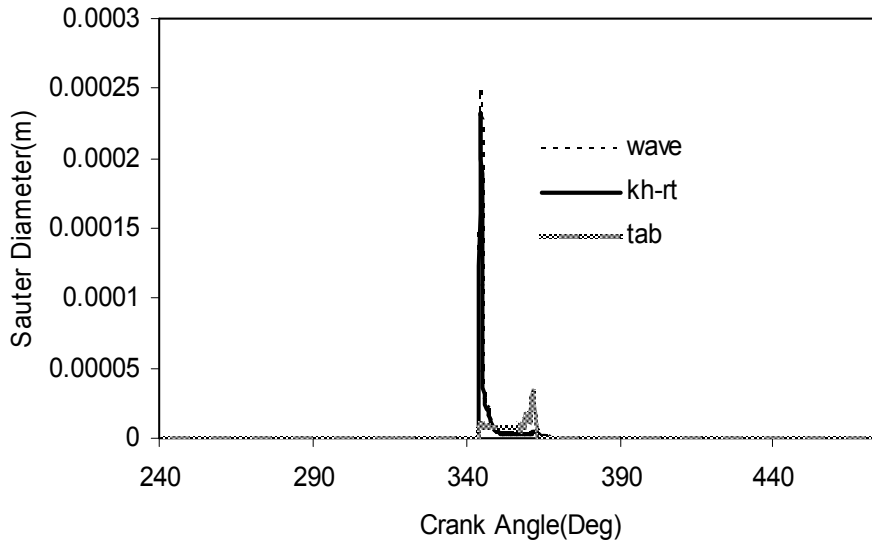
جدول ۲- مقایسه نتایج تجربی و شبیه سازی شده با مدل WAVE

مقدار پیش بینی شده (g / kw- hr)	مقدار تجربی (g / kw- hr)	آلاینده خروجی از موتور
۷/۰۲	۷/۶۷۲	اکسیدهای نیتروژن (NO_x)
۰/۶۳	۰/۷۲۲	دوده (Soot)

همانطوری که در تشریح مدل TAB ذکر شد و با توجه به نمودارهای زیر، این مدل اندازه قطرات افشانه دیزل را کمتر از حد پیش بینی کرده و نفوذ را نیز کمتر از حد تخمین می زند. نفوذ کمتر و اندازه قطرات کوچکتر بیانگر این موضوع هستند که اختلاط سوخت با هوا و تبخیر آن بهتر صورت گرفته که منجر به پیک پیش آمیخته بالاتر و پیک فشار بالاتر و پیک دمایی بالاتر داخل سیلندر شده و در نتیجه NO_x که مکانیزم تولید آن حساس به دمای داخل سیلندر است افزایش پیدا می کند و بر عکس، دوده به خاطر اختلاط بهتر مخلوط و احتراق کاملتر کاهش می یابد. در مدل KH-RT نیز با توجه به اینکه ترکیب دو ناپایداری ریلی - تیلور و کلونین - هلمهولتز را برای پیش بینی تجزیه قطرات سوخت به کار می گیرد تجزیه قطرات و تبخیر آنها در مقایسه با مدل WAVE که تنها ناپایداری کلونین - هلمهولتز را به کار می برد سریعتر بوده و نتایج به دست آمده از این مدل بین دو مدل دیگر واقع است.

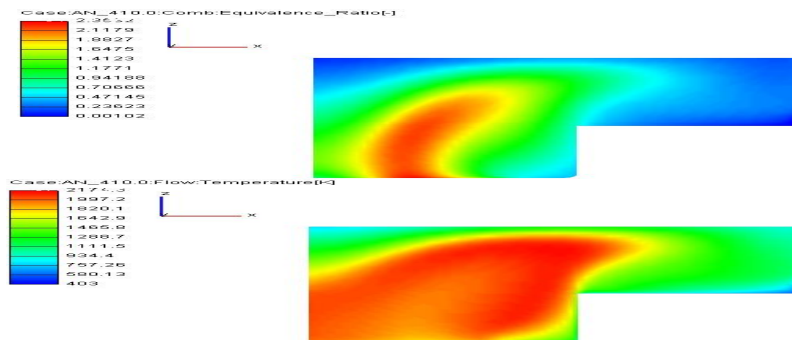


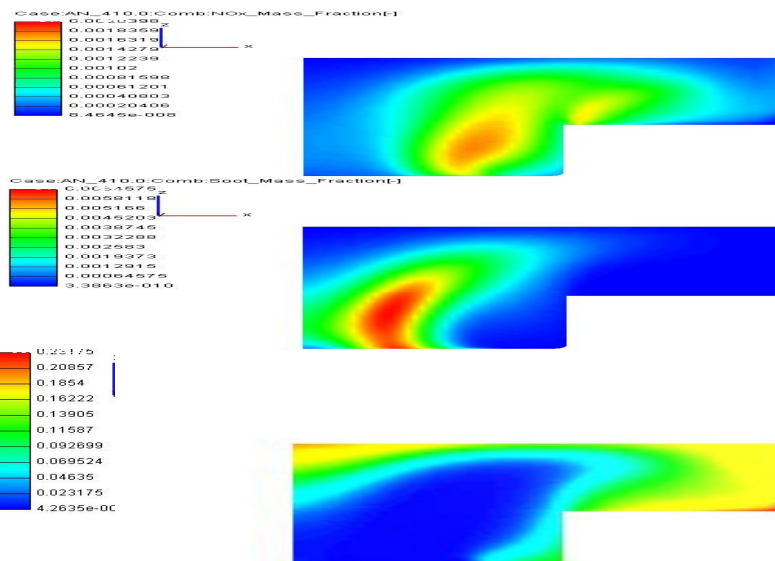
شکل ۹- نفوذ اسپری برای مدل های مختلف



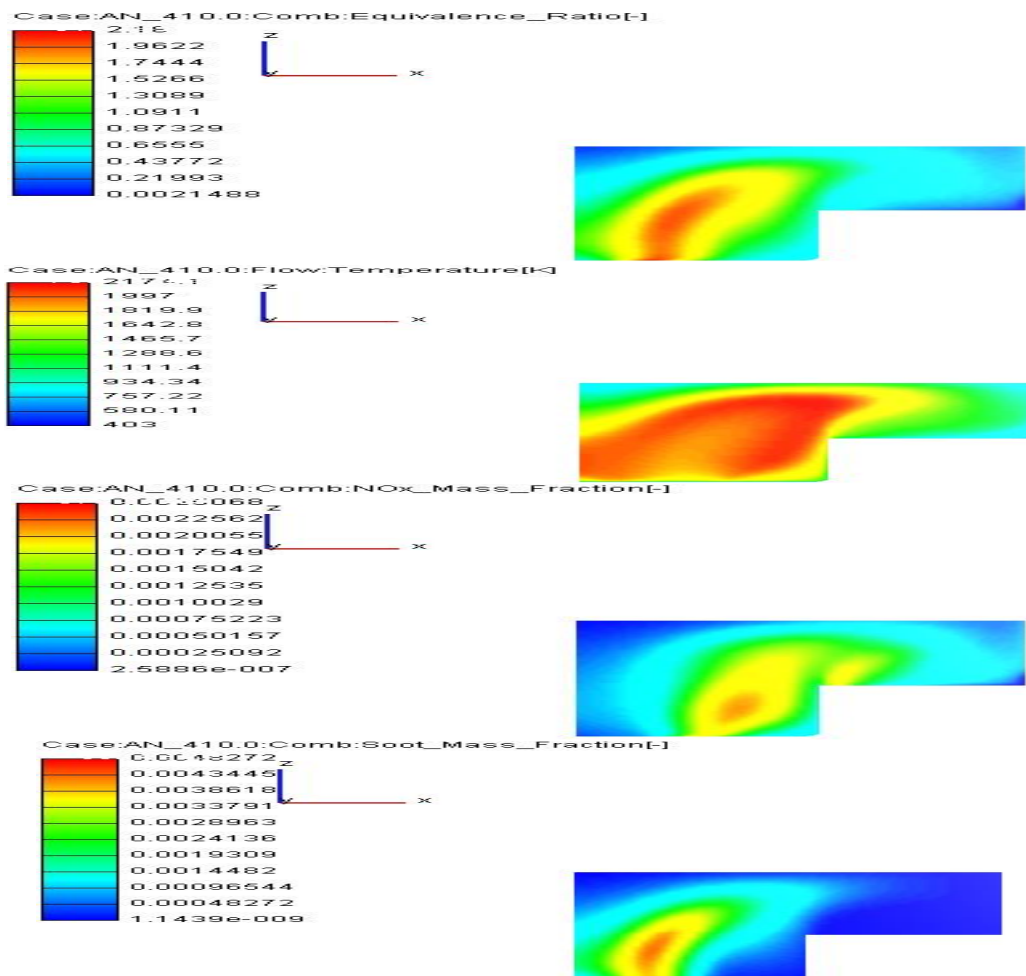
شکل ۱۰- تغییرات قطر متوسط قطرات برای مدل های مختلف

در شکل های ۱۱ و ۱۲ و ۱۳، کانتورهای رنگی نسبت هم ارزی، دمای داخل سیلندر، NO_x ، دوده و اکسیژن در لحظه ۵۰ درجه میل لنگ پس از نقطه مرگ بالا، به ترتیب برای مدل های WAVE، KH-RT و TAB نشان داده شده است. بررسی کانتورهای دما، نسبت هم ارزی و آلاینده NO_x بدست آمده از نتایج شبیه سازی نشان میدهند که در مناطق با نسبت هم ارزی برابر با یک (مخلوط استوکیومتریکی) و دمای مناطق بالای ۲۰۰۰ کلوین، اکسید نیتروژن بیشترین مقدار می باشد. می دانیم که دوده در نواحی احتراق غنی یعنی جایی که آهنگ نفوذ اکسیژن به ناحیه احتراقی جهت رسیدن به شرایط استوکیومتریکی کافی نمی باشد تشکیل می شود. با توجه به کانتورهای دما و نسبت هم ارزی حاصله از نتایج شبیه سازی مشاهده می شود که تولید دوده بیشتر در مناطق با نسبت هم ارزی برابر با ۱/۵ تا ۲/۵ و محدوده دمایی ۱۶۰۰ تا ۲۱۰۰ کلوین تشکیل می شود. دوده در منطقه نوک اسپری جت، تشکیل و انباشته می شود. سوخت تزریق شده با مومنتوم بالا به داخل منطقه غنی از سوخت و دمای نسبتاً پایین در نوک جت نفوذ کرده و به طور پیوسته منطقه غنی از سوخت را شارژ کرده و تولید دوده می کند. با دقت در کانتورهای دوده و اکسیژن مشاهده می شود که در محلهایی که تولید دوده بیشینه است اکسیژن موجود به اندازه کافی نمی باشد تا احتراق کامل صورت گیرد. با دقت در کانتورهای فوق به یک نتیجه مهم دیگر پی می بریم و آن، این است که رفتار متضادی بین محلهای تشکیل دوده و NO_x دیده می شود. این دو آلاینده در طرفین نقاط دما بالا داخل سیلندر تشکیل می شوند. NO_x در منطقه فقیرتر ناحیه دما بالا و دوده در منطقه غنی ناحیه دما بالا تشکیل می شود.

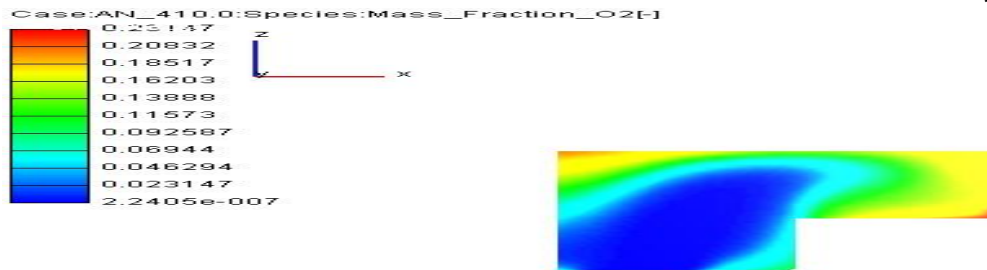




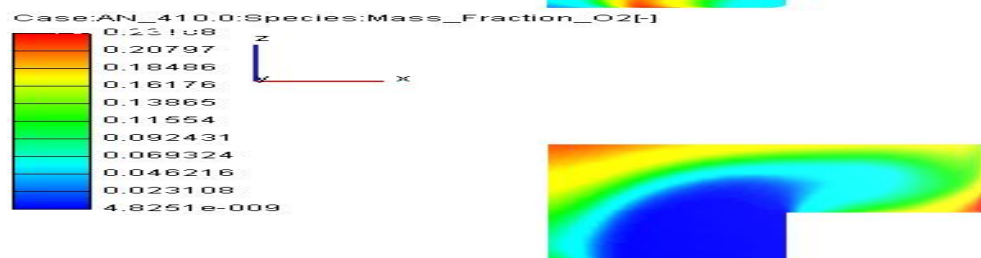
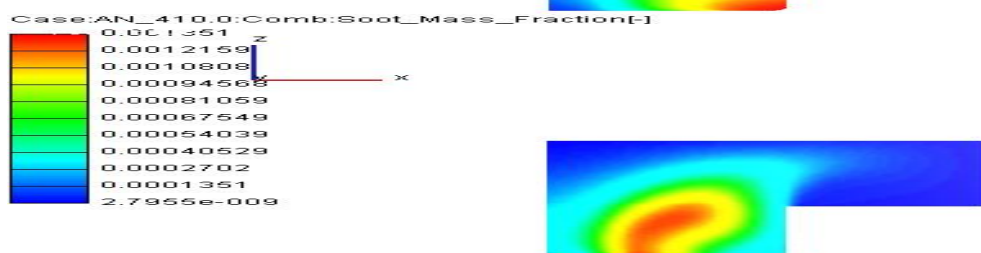
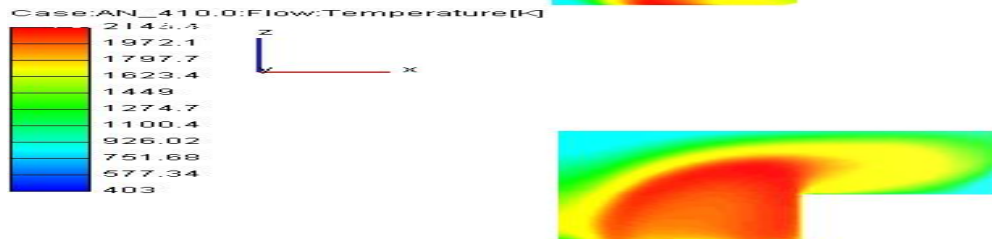
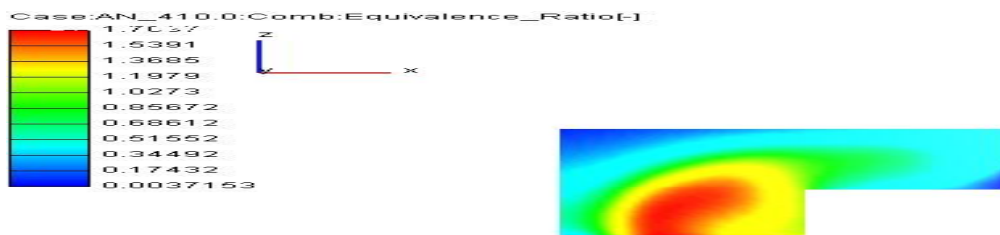
شکل ۱۱- کانتورهای رنگی برای مدل WAVE در لحظه ۵۰ درجه میل لنگ پس از نقطه مرگ بالا: به ترتیب از بالا به پایین، نسبت هم ارزی، دمای داخل سیلندر، NO_x ، دوده و اکسیژن



FCCI2010-1189



شکل ۱۲- کانتورهای رنگی برای مدل KH-RT در لحظه ۵۰ درجه میل لنگ پس از نقطه مرگ بالا: به ترتیب از بالا به پایین، نسبت هم ارزی، دمای داخل سیلندر، NO_x ، دوده و اکسیژن



شکل ۱۳- کانتورهای رنگی برای مدل TAB در لحظه ۵۰ درجه میل لنگ پس از نقطه مرگ بالا: به ترتیب از بالا به پایین، نسبت هم ارزی، دمای داخل سیلندر، NO_x ، دوده و اکسیژن



با مقایسه کانتورهای مختلف مربوط به مدل های مختلف، مشاهده می شود که در کانتور نسبت هم ارزی مربوط به مدل TAB، ماکزیمم نسبت هم ارزی برابر ۱/۷ بوده که نسبت به مدل های دیگر مقدار کمتری بوده و علت آن به خاطر اندازه قطرات کوچک پیش بینی شده و تبخیر سریع قطرات و کاهش نفوذ آنها داخل سیلندر بوده که منجر به کاهش مناطق غنی از سوخت شده و در نتیجه کاهش آلاینده دوده می شود. مقایسه کانتورهای اکسیژن مربوط به مدل های مختلف نیز نشان می دهند که مناطق دارای اکسیژن کم که علت اصلی تشکیل دوده می باشد در مدل TAB، نسبت به دو مدل دیگر کوچک بوده و این مشاهدات، تصدیقی بر نتایج به دست آمده در بخش قبلی می باشند.

۴- نتیجه گیری

با توجه به نتایج حاصله، می توان چنین نتیجه گیری کرد که:

۱. نتایج عددی به دست آمده از مدل سازی موتور دیزل پاشش مستقیم OM-355 توافق بسیار خوبی را با نتایج تجربی نشان می دهد.
۲. با توجه به نتایج ارائه شده از مدل های مختلف شکست و مقایسه نتایج بدست آمده با نتایج تجربی، مشاهده می شود که مدل شکست TAB نسبت به مدل های دیگر نتایج قابل قبولی را برای مشخصه های اسپری ارائه نکرده است که نسبت به مدل های دیگر رفتار طول نفوذ اسپری با زمان را با دقت کمتری پیش بینی کرده است. این رفتار می تواند ناشی از این باشد که در این مدل زمان شکست، قطر قطرات و تعداد قطرات جدید بعد از شکست به طول موج و نرخ رشد امواج سطحی که عامل اصلی شکست می باشند بستگی ندارد.
۳. مدل اتمیزاسیون WAVE قابلیت بهتری در پیش بینی فرایند تجزیه قطرات اسپری سوختی دارد. با توجه به هم خوانی نتایج فشار داخل سیلندر و آلایندهی خروجی موتور با نتایج تجربی، می توان نتیجه گیری کرد که این مدل، اندازه قطرات تولیدی در اثر تجزیه و نفوذ اسپری را به درستی پیش بینی می کند و می توان با تنظیم ثوابت مربوط به مدل، آن را برای شبیه سازی اتمیزاسیون در شرایط کارکردی مختلف موتور به کار برد.

مراجع

- 1- Patterson, M.A., Kong, C., Hampson, G.J., and Reitz, R.D., " Modeling The Effects of The Fuel Injection Characteristics on Diesel Engine Soot and NOx Emission", SAE Paper 940523, 1994.
- 2- Reitz, R.D., Diwakar, R., "Structure of High-Pressure Fuel Sprays", SAE Paper 870598 1987.
- 3- Liu, A. B., Mather, D., Rietz, R. D., "Modeling the effects of drop drag and breakup on Fuel sprays", SAE Paper 930072, 1993.
- 4- Rotondi, R. and Bella, G. and Grimaldi, C. and Postriotti, L. "Atomization of High-Pressure Spray: Experimental Validation of a New Break up model", SAE 2001-01-1070, 2001.
- 5- Halstead, M., Kirsch, L., Quinin, C., "The Auto ignition of Hydrocarbon Fueled at High Temperatures and Pressures-Fitting of a Mathematical Model". Combustion Flame, vol. 30, pp 45-60, 1977.
- 6- Baumgarten, C., "Mixture Formation in Internal Combustion Engines", 1965.
- 7- Dukowicz, J. K., "Quasi-Steady Droplet Change in the Presence of Convection". Informal Report Los Alamos Scientific Laboratory LA7997-MS.
- 8- Chengxin, Bai and Gosman A. D. "Development of Methodology for Spray Impingement Simulation", SAE 950283, 1995.
- 9- Help of CFD AVL FIRE Software, Part: "Spray".
- 10 - Nagle, J., Strickland-Constable, R. F., "Oxidation of Carbon between 1000-2000 C". Proceedings of the Fifth Conference on Carbon, New York: Pergamon, 1962.