

تجزیه و تحلیل نحوه شکل گیری مخلوط سوخت و هوا در موتورهای بنزینی تزریق مستقیم

سیدعلی جزایری

استادیار دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین توسی
jazayeri@kntu.ac.ir

ضیاء بشرحق

استادیار دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین توسی

مجتبی باوندپور

دانش آموخته مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین توسی

مجتبی کشاورز *

کارشناس ارشد

شرکت دیزل سنگین ایران خودرو

m.keshavarz@desa.ir

* نویسنده مسؤل / پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۸۷/۹/۱۳

چکیده

در موتورهای اشتعال جرقه‌ای بنزینی جدید، سوخت از افشانه، مستقیماً به درون استوانه پاشیده می‌شود. شکل گیری مخلوط سوخت و هوا در داخل استوانه این گونه موتورها، امکان خوبی برای کاهش مصرف ویژه سوخت و گازهای آلاینده به دست می‌دهد. مدت زمان کوتاه پاشش سوخت و پخش شدن آن به علاوه پیچیدگی دینامیک سیال در گستره وسیعی از سرعت و بارگذاری موتور باعث تفاوت اساسی در شکل گیری مخلوط سوخت، هوا و احتراق نسبت به حالت تزریق سوخت در چندراهه ورودی یا پس از سوخت‌آما می‌شود. در این تحقیق، روشی برای الگوسازی شکل گیری مخلوط سوخت و هوا با ترکیب کردن مؤلفه‌های شکل گیری مخلوط نظیر فشار سوخت، زمان پاشش، سرعت پاشش و محل قرار گرفتن افشانه ارائه و بسط داده شده است. این تحلیل از لحظه پاشش سوخت شروع و تا نقطه مکث بالا در فرآیند تراکم ادامه دارد. توزیع قطرات پاشیده شده، توزیعی معلوم فرض شده و به جزییات نحوه شکل گیری قطرات پرداخته نمی‌شود. تشکیل مخلوط داخلی برای استوانه موتور خودرو و با استفاده از نرم افزار دینامیک سیالات محاسباتی^۱ الگوسازی می‌شود. برای شبیه سازی فرآیند نفوذ افشانه سوخت در داخل محفظه احتراق و در ادامه، فرآیند اختلاط آن با هوا که فرآیندی وابسته به زمان است از الگوی شبکه‌های قابل تغییر و انعطاف پذیر استفاده شده است.

بیشتر، محدودیت سرعت، راه اندازی ضعیف تر و تولید NO_x بیشتر از موتورهای جرقه‌های هستند. در خلال دو دهه اخیر بهترین نتایج از ترکیب موتورهای دیزلی و جرقه‌های در زمینه موتورهای احتراق داخلی گرفته شده که اندیشه اصلی آن، قدرت موتورهای بنزینی و بازدهی موتورهای دیزلی بوده است. چنین موتوری، مصرف مخصوص موتور دیزل را با ویژگی‌های تعمیر و نگهداری و قدرت موتور بنزینی ترکیب می‌کند.

تحقیقات نشان داده که برای رسیدن به این هدف، موتور تزریق مستقیم، چهارزمانه و جرق‌های بسیار مناسب است. در این نوع موتور، سوخت به صورت فواره به طور مستقیم به داخل استوانه پاشیده می‌شود. شکل گیری مخلوط سوخت

کلیدواژه‌ها: موتور بنزینی، پاشش مستقیم، تشکیل مخلوط، شبکه بندی متحرک، نرم افزار دینامیک سیالات محاسباتی

۱- مقدمه

■ امروزه با رشد فناوری در زمینه مصرف سوخت، مهندسان خودرو برای رسیدن به موتورهای بهینه با مصرف سوخت ویژه ترمزی آبهینه تلاش می‌کنند. مصرف بهینه و در نتیجه صرفه جویی در مصرف سوخت برای موتورهای تزریق مستقیم معمولاً در موتورهای دیزل کاربرد دارد. اما موتورهای دیزلی دارای سر و صدای

Brake specific fuel consumption (BSFC) -۲

FLUENT-۱

www.SID.ir

جدول ۱ ویژگی های موتور بررسی شده در تحلیل عددی

| مقدار | ویژگی موتور | |
|-------------------|--------------------|---|
| ۳۷ میلی متر | شعاع استوانه | ۱ |
| ۸۹ میلی متر | طول پیمایش سمبه | ۲ |
| ۴۰۰۰ دور بر دقیقه | دور موتور | ۳ |
| ۱:۱۱ | نسبت تراکم | ۴ |
| ۱۸/۵ میلی متر | شعاع کاسه سمبه | ۵ |
| ۷/۵ میلی متر | عمق کاسه سمبه | ۶ |
| ۷۲ درجه | زاویه مخروطی بستار | ۷ |

جدول ۲ ویژگی های افشانه

| مقدار | ویژگی افشانه | |
|-------------------------|-----------------------|---|
| Pressure-Swirl-Atomizer | نوع افشانه | ۱ |
| ۴۵-۷۰ اتمسفر | فشار پاشش سوخت | ۲ |
| ۰.۳۴ میلی متر | قطر دهانه پاشش | ۳ |
| ۲ میلی ثانیه | مدت زمان پاشش | ۴ |
| ۲۵ درجه | نصف زاویه مخروط اسپری | ۵ |

و هوا در داخل استوانه این گونه موتورها، امکان خوبی برای کاهش مصرف ویژه سوخت و گازهای آلاینده به دست می دهد. مدت زمان کوتاه پاشش سوخت و پخش شدن آن به علاوه پیچیدگی پویای سیال (مخلوط سوخت و هوا) در گستره وسیعی از سرعت و بارگذاری موتور باعث تفاوت اساسی در شکل گیری مخلوط سوخت، هوا و احتراق نسبت به حالت تزریق سوخت در چندراهه ورودی یا پس از سوخت آما می شود. در این نوع موتورها با توجه به زمان پاشش سوخت، می توان دو نوع مخلوط همگن و یا مخلوط لایه های ایجاد کرد. هنگامی که موتور در محدوده بار متوسط و پایین کار می کند، سوخت پیش از جرقه شمع به داخل استوانه تزریق می شود که در این حالت، مخلوطی لایه های تشکیل می شود. مهم ترین مزیت این روش این است که میزان آلاینده های هیدروکربن نسوخته و مونواکسیدکربن به طور چشمگیری کاهش می یابد. به این نوع راهبرد، راهبرد رقیق هدایت شده نیز گفته می شود. اما زمانی که موتور در بارهای سنگین کار می کند، زمان پاشش به مرحله تراکم انتقال می یابد و مخلوطی تقریباً همگن ایجاد می شود. البته برای توان بیشینه، مخلوط همگن اندکی غنی است و در بارهای کمتر این مخلوط درست است.

نخستین سامانه پاشش مستقیم شرکت بوش^۱ در سال ۱۹۵۲ میلادی عرضه کرد و در سال ۱۹۵۵ میلادی این سامانه در خودروی مرسدس بنز 300SL که نخستین خودرو با سامانه پاشش سوخت بود، استفاده شد. در این سامانه پاشش سوخت، افشانه در داخل استوانه و در روی دیواره استوانه، مکانی که برای شمع موتور شش استوانه این شرکت وجود دارد، قرار داده شده و شمع به بالای محفظه احتراق تغییر مکان داده است.

در دهه ۷۰ میلادی، شرکت فورد، موتور مخلوط لایه ای خود را با نام ProCO که مخفف احتراق برنامه نویسی شده است و از سامانه پاشش مستقیم سوخت با تلمبه واحد استفاده می کرد، توسعه داد. این طرح به دلایل زیادی از جمله تجربه جدید و ناپختگی پایش الکترونیک، هزینه گران تلمبه و افشانه، تولید اکسیدهای ازت بیش از حد استاندارد EPA به علت رقیق بودن مخلوط و نیز هزینه بسیار گران مبدل واکنشگر سه منظوره متوقف شد.

از آن موقع تا سال ۱۹۹۶ میلادی که شرکت میتسوبیشی از سامانه پاشش مستقیم سوخت در خودروی الگوی Galant 4G93 استفاده کرد، تجربه ای در این زمینه صورت نگرفته است. این بار شرکت میتسوبیشی توانست با فناوری GDI^۲ طرح تولید و عرضه این خودرو را در ژاپن و سپس در اروپا با موفقیت انجام دهد. پس از این تجربه، دیگر شرکت های سازنده خودرو به سوی فناوری پاشش مستقیم سوخت روی آوردند و توانستند این سامانه را به نوبه خود بهبود بخشند.

۲- شرح مسأله

در این بخش به شرح و بررسی مسأله مطالعه شده و معادلات و تحلیل های عددی درباره ساختارهای جریان و توزیع مخلوط سوخت و هوا در داخل استوانه موتور فرض شده در حالت تقارن محوری و در خلال فرآیندهای مکش و تراکم می پردازیم.

در ابتدا به بررسی تأثیر شبکه محاسباتی و همچنین تأثیر گام زمانی بر روی نتایج خواهیم پرداخت. سپس به مقایسه نتایج به دست آمده برای دو شکل مختلف تاج سمبه می پردازیم. در ادامه، تأثیر ویژگی های افشانه را نظیر فشار پاشش سوخت، زمان بندی پاشش سوخت و ... بر تشکیل مخلوط سوخت و هوا در استوانه بررسی می کنیم.

ویژگی های موتور بررسی شده و نیز افشانه پاشش سوخت بترتیب در جدول های (۱) و (۲) آمده است. این موتور از نوع شمع - افشانه SPI^۳ است.

۳-۲- انتگرال گیری معادلات مسیر

معادلات مسیر و هرگونه معادله کمکی که انتقال حرارت و جرم را از (یا به) قطره تشریح کند، به صورت انتگرال گیری مرحله به مرحله روی گام‌های گسسته زمانی حل می شود. انتگرال گیری زمانی روی معادله (۱) سرعت قطره را در هر نقطه از مسیر به دست می دهد و خود مسیر از معادله (۵) به دست می آید.

$$\frac{dx}{dt} = u_p \quad (5)$$

معادلات مشابه با معادلات (۱) و (۵) در هر یک از جهت های مختصات حل می شوند تا مسیر حرکت حالت گسسته به دست آید.

فرض می شود که مؤلفه نیروهای حجمی در فواصل زمانی کوچک ثابت باقی بماند. با خطی سازی دیگر نیروهای وارد شده بر ذره، معادله مسیر را می توان به صورت ساده شده (۶) نوشت [۲].

$$\frac{du_p}{dt} = \frac{1}{\tau_p} (u - u_p) \quad (6)$$

که τ_p زمان رهایی ذره است. برای انتگرال گیری از معادله (۶) از روش دوزنقه ای استفاده می شود [۲].

$$\frac{u_p^{n+1} - u_p^n}{\Delta t} = \frac{1}{\tau} (u^* - u_p^{n+1}) + \dots \quad (7)$$

که n تعداد تکرار و

$$u^* = \frac{1}{2} (u^n + u^{n+1}) \quad (8)$$

$$u^{n+1} = u^n + \Delta t u_p^n \cdot \nabla u^n \quad (9)$$

معادلات (۵) و (۶) به طور هم زمان حل می شوند و سرعت و مکان قطره را در هر زمان مشخص می کنند. در چارچوب های مرجع دوار، برای لحاظ کردن چرخش سامانه، انتگرال گیری از این معادلات در چارچوب دوار و همراه مؤلفه های اضافی دیگر انجام می شود.

در همه موارد باید دقت شود که گام زمانی انتخاب شده به اندازه کافی کوچک باشد تا بتوان مسیر را بدرستی مشخص کرد.

۳-۳- معادلات انتقال حرارت از قطره سوخت

انتقال حرارت را به ذره می توان از معادله (۱۰) به دست آورد [۳].

$$m_p c_p \frac{dT_p}{dt} = A_p \left[-(h + \epsilon_p \sigma T_p^3) T_p + (h T_\infty + \epsilon_p \sigma \theta_R^4) \right] \quad (10)$$

که در آن

$$m_p c_p \frac{dT_p}{dt}, \text{ تغییر انرژی داخلی ذره } (T_\infty - T_p), h A_p, \text{ انتقال حرارت}$$

۳- معادلات حاکم

هنگامی که سوخت درون استوانه پاشیده می شود، می توان ذرات سوخت را به صورت حالت گسسته در حالت پیوسته (هوا) در نظر گرفت. می توان با مشخص کردن مکان اولیه، سرعت، اندازه و دمای قطرات از حالت گسسته در الگوی خود استفاده کرد. این شرایط اولیه همراه با ورودی هایی که برای خواص فیزیکی حالت گسسته مشخص می شوند، برای مسیریابی و محاسبات انتقال حرارت/انتقال جرم به کار می روند. مسیریابی و محاسبات انتقال حرارت/انتقال جرم بر اساس موازنه نیروها روی ذرات و انتقال جرم و حرارت تشعشعی/جابجایی از ذرات و با استفاده از شرایط محلی حالت پیوسته در حالی که ذرات درون جریان حرکت می کنند، انجام می پذیرد. مسیرهای پیش بینی شده برای قطرات سوخت و محاسبات انتقال حرارت/انتقال جرم به صورت نموداری و عددی قابل مشاهده است. شایان ذکر است که موتور از نوع مخلوط همگن است.

۳-۱- معادلات موازنه نیرویی قطره سوخت

مسیر حرکت قطرات براساس موازنه کلی نیروهای وارد بر قطره که در چارچوب مرجع لاگرانژی نوشته شده، پیش بینی می شود. این موازنه نیرو بین نیروی لختی و نیروهای اعمالی روی قطره برقرار است و معادله آن را (در جهت X) می توان به صورت معادله (۱) نوشت [۳]:

$$\frac{du_p}{dt} = F_D (u - u_p) + \frac{g_x (\rho_p - \rho)}{\rho_p} + F_x \quad (1)$$

که در آن $F_D (u - u_p)$ نیروی پسا بر واحد جرم قطره است و F_D از معادله (۲) به دست می آید [۳].

$$F_D = \frac{18\mu C_D Re}{\rho_p d_p^2 24} \quad (2)$$

که در آن:

- u = سرعت حالت پیوسته
- u_p = سرعت ذره
- μ = گرانیروی مولکولی سیال
- ρ = چگالی سیال
- ρ_p = چگالی ذره
- d_p = قطر ذره

Re نیز عدد رینولدز نسبی است که از معادله (۳) محاسبه می شود [۳].

$$Re = \frac{\rho d_p |u_p - u|}{\mu} \quad (3)$$

ضریب نیروی پسا، C_D نیز از معادله (۴) محاسبه می شود [۳].

$$C_D = \alpha_1 + \frac{\alpha_2}{Re} + \frac{\alpha_3}{Re^2} \quad (4)$$

که در آن α_1 و α_2 و α_3 ثابت هایی هستند که برای ذرات کروی صاف به کار می روند. این ضرایب بر اساس محدوده هایی از عدد رینولدز که مورسی و الکساندر [۳،۱] تهیه کرده اند، محاسبه می شوند.

که در آن R ثابت جهانی گازهاست.

غلظت بخار در توده گاز از حل معادلات انتقال برای اجزاء یا از جدول محاسبات احتراق غیر پیش مخلوط یا جدول محاسبات احتراق پیش مخلوط جزئی به دست می آید.

$$C_{i,\infty} = X_i \frac{P_{OP}}{RT_\infty} \quad (17)$$

که در آن X_i کسر مولی محلی جزء، P_{OP} فشار عملگر و T_∞ دمای محلی توده گاز است.

ضریب انتقال جرم در معادله (۱۵) از معادله تصحیح شده ناسلت^۲ به دست می آید [۵].

$$Nu_{AB} = \frac{k_C d_p}{D_{i,m}} = 2.0 + 0.6 Re_d^{1/2} Sc^{1/3} \quad (18)$$

که در آن

- $D_{i,m}$ = ضریب نفوذ بخار سوخت در توده گاز (m^2/s)
- Sc = عدد اشمیت^۳ = $\mu/(\rho D_{i,m})$
- d_p = قطر ذره (m)

شار بخاری که از معادله (۱۵) به دست می آید به عنوان منبع گرمی جزء i در معادلات انتقال اجزاء حالت گازی به کار می رود.

کاهش جرم قطره طبق معادله (۱۹) صورت می گیرد [۵].

$$m_p(t + \Delta t) = m_p(t) - N_i A_p M_{w,i} \Delta t \quad (19)$$

که در آن

- $M_{w,i}$ = جرم مولکولی جزء i ($kg/kgmol$)
- m_p = جرم قطره (kg)
- A_p = مساحت سطح قطره (m^2)

می توان برای پیش بینی خصوصیات حالت گسسته از میدان جریان ثابت حالت پیوسته (روش غیر متصل^۴) استفاده کرد و یا تأثیر حالت گسسته را بر حالت پیوسته لحاظ نمود (روش متصل). در روش متصل حالت گسسته روی جریان حالت پیوسته تأثیر می گذارد. در این تحقیق از روش متصل استفاده شده؛ بدین معنی که معادلات جرم، حرکت و حرارت قطرات به همراه معادلات حالت پیوسته (هوا) به طور همزمان حل شده است.

۴- ساخت الگوی مناسب استوانه و سمیه

در بررسی جریان هوا در موتور، محفظه احتراق و یا به عبارتی دیگر استوانه تغییر حجم می دهد و مرزهای سامانه ما تغییر می کند. تجزیه و تحلیل این امر باید بدقت در الگوسازی جریان سیال در نظر گرفته شود تا شرایط احتراق واقعی در موتور هر چه بهتر شبیه سازی شود. چون محفظه احتراق شبکه بندی شده و این شبکه با تغییر ابعاد استوانه باید متناسب با حرکت و نوع الگو، حرکت کند، به این شبکه، شبکه

Nusselt-۲

Schmidt number-۳

Couple-۴

جابه جایی از گاز به ذره و $e_p s A_p (q_R^4 - T_p^4)$ ، انتقال حرارت تابشی از ناحیه احتراق به ذره است.

هم زمان که خط مسیر ذره محاسبه می شود، برای به دست آوردن دمای ذره در گام زمانی بعدی از معادله (۱۰) انتگرال گیری می شود [۳].

$$T_p(t + \Delta t) = \alpha_p + [T_p(t) - \alpha_p] e^{-\beta_p \Delta t} \quad (11)$$

که Δt گام زمانی انتگرال گیری است که معادل مقدار زمانی در نظر گرفته می شود که سمیه ارتفاع یک سلول محاسباتی را طی می کند و

$$\alpha_p = \frac{h T_p + \epsilon_p \sigma \theta_R^4}{h + \epsilon_p \sigma T_p^3(t)} \quad (12)$$

$$\beta_p = \frac{A_p [h + \epsilon_p \sigma T_p^3(t)]}{m_p C_p} \quad (13)$$

همچنین می توان معادله (۱۱) را با معادله انتقال جرم هم ارز آن حل کرد. ضریب انتقال حرارت، h ، از معادله تصحیح شده رانز و مارشال^۱ به دست می آید [۵].

$$Nu = \frac{h d_p}{k_\infty} = 2.0 + 0.6 Re_d^{1/2} Pr^{1/3} \quad (14)$$

۳-۴- معادلات انتقال جرم از قطره سوخت

نرخ تبخیر به توسط نرخ نفوذ تعیین می شود. این معادله، شار بخار قطره و تبدیل آن را به حالت گاز، به اختلاف غلظت بخار بین سطح قطره و توده گاز می پیوندد [۶].

(۱۵)

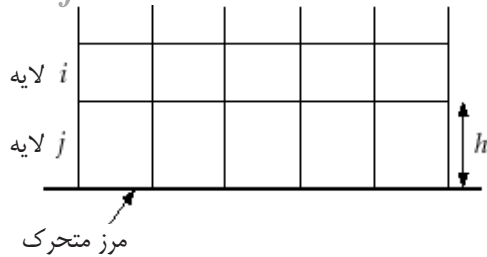
$$N_i = k_C (C_{i,s} - C_{i,\infty})$$

که در آن

- N_i = شار مولی بخار ($kgmol/m^2-s$)
- k_C = ضریب انتقال جرم (m/s)
- $C_{i,s}$ = غلظت بخار در سطح قطره ($kgmol/m^3$)
- $C_{i,\infty}$ = غلظت بخار در توده گاز ($kgmol/m^3$)

توجه داشته باشید که در معادله (۱۵) فرض می شود که N_i مثبت باشد (تبخیر). در شرایطی که N_i منفی باشد؛ یعنی دمای قطره به خنک تر از دمای نقطه شبنم برسد و شرایط چگالش به وجود آید. قطره را بی اثر در نظر می گیریم ($N_i=0$). غلظت بخار با این فرض محاسبه می شود که فشار جزئی بخار در سطح قطره برابر با فشار بخار اشباع P_{sat} در دمای قطره T_p باشد [۶].

$$C_{i,s} = \frac{P_{sat}(T_p)}{RT_p} \quad (16)$$



شکل ۱ روش لایه پویا (روش پویا)

متحرک یا پویا گفته می‌شود. خوشبختانه در نرم‌افزار FLUENT این امکان مهیا شده و ما می‌توانیم از شبکه پویا یا هر نوع دیگر آن استفاده کنیم. همچنین این شبکه متحرک با الگوی پاشش که در واقع الگوی موتور تزریق مستقیم ما را تشکیل می‌دهد، همخوانی دارد و قابل استفاده است. شبکه پویا برای شبیه‌سازی جریان‌ها و سامانه‌هایی است که شکل دامنه آن‌ها با زمان تغییر می‌کند. در این مقاله ما از روش لایه‌های پویا استفاده کرده‌ایم.

۴-۱- روش لایه‌های پویا

در نواحی هسته‌های منشوری شبکه، ما می‌توانیم از این روش برای اضافه و حذف لایه‌های مجاور به مرزها بر اساس ارتفاع هسته‌های مجاور به مرز متحرک، استفاده کنیم. لایه مجاور به مرز متحرک (لایه j در شکل ۱) می‌تواند با لایه قبلی خود ادغام شود یا خود به دو لایه تقسیم شود. این کار براساس ارتفاع هسته در لایه j صورت می‌گیرد.

از این روش برای استوانه‌ای که دریچه‌های آن در فرآیند مورد نظر حرکتی ندارد (باز یا بسته نمی‌شود) بخوبی می‌توان استفاده کرد. در مواردی که ما حرکت باز یا بسته شدن دریچه‌ها را داریم باید در ناحیه مجاور به دریچه‌ها از نوع دیگری از شبکه پویا استفاده کنیم. البته باز هم در دیگر نقاط، استفاده از این نوع شبکه بندی بسیار سودمند است.

اگر هسته در ناحیه j در حال انبساط باشد، ارتفاع هسته امکان افزایش دارد تا هنگامی که:

$$h > (1 + \alpha_h) h_{ideal} \quad (20)$$

که در آن h_{min} برابر کمترین ارتفاع هسته در لایه j ام و h_{ideal} برابر ارتفاع مطلوب هسته و α_s برابر عامل جداشدگی است. تجاوز از این حد منجر به تقسیم هسته به دو هسته می‌شود.

اگر سلول‌های ناحیه j در حال تراکم و جمع شدن باشد، این روند ادامه می‌یابد تا هنگامی که:

$$h < \alpha_h h_{ideal} \quad (21)$$

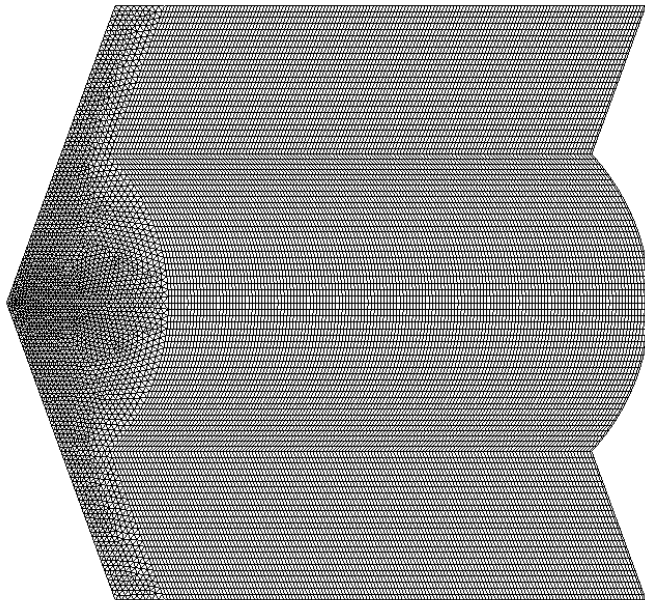
مانند حالت قبلی کوچک تر شدن از این مقدار باعث تبدیل و یکی شدن دو هسته (ادغام) در همدیگر می‌شود.

در شکل (۲) هندسه استوانه و نحوه شبکه بندی آن دیده می‌شود. همان‌گونه که مشخص است ابتدا در حالت نقطه مکث بالا شبکه بندی به صورت غیرساختار یافته (ترکیبی از هسته‌های مثلثی و مربعی) ساخته می‌شود و لایه هسته‌های مربعی در سطح سمبه ساخته می‌شود. این لایه با حرکت سمبه می‌تواند لایه‌های جدیدی را تولید کند. این الگوی استوانه و سمبه تقارن محوری دارد.

۵- نتایج

در شکل‌های زیر از دید دوبعدی و از پهلو، استوانه برش خورده را در موقعیت‌های مختلف بررسی می‌کنیم و مقادیر به دست آمده را نمایش می‌دهیم. شبکه پویا در هر حالت فعال است. توضیحات کافی در زیر اشکال به طور خودکار با نمودار نمایش داده می‌شود. در این موتور شمع و افشانه در مرکز بستار و بالای محفظه احتراق قرار دارند.

در این مطالعه، نرم‌افزار Fluent با توجه به تسلط نویسنده و قابلیت این نرم‌افزار با شرایط مرزی متحرک انتخاب شده است.



شکل ۲ نمونه‌ای از شبکه بندی به کاررفته (۱۳۵ درجه پیش از نقطه مکث بالا در تراکم)

۵-۱- اثر فشار پاشش سوخت بر تهیه مخلوط

برای بررسی تأثیر فشار پاشش بر تهیه مخلوط، یک محفظه احتراق نمونه در نظر گرفته شد. تهیه مخلوط در دو فشار مختلف افشانه بررسی شد. مدت زمان سوخت‌پاشی ۲ میلی ثانیه برابر با ۴۸ درجه میل‌لنگ است و جرم سوخت با افزایش فشار پاشش، افزایش می‌یابد. در شکل‌های (۳) و (۴) نمودار غلظت سوخت در امتداد محور تقارن استوانه ترسیم شده است. ملاحظه می‌شود که روند نمودارها با یکدیگر مشابه است، ولی فشار پاشش بیشتر باعث افزایش غلظت مخلوط شده است. در صورتی که فشار پاشش از حد معینی کم تر باشد، عمل سوخت‌پاشی دچار مشکل می‌شود، زیرا فشار افشانه برای پاشش به محفظه احتراقی که دارای فشار بزرگی است، کفایت نخواهد کرد. شکل‌های (۵) و (۶) وضع مخلوط درون استوانه را برای دو فشار مختلف افشانه نشان می‌دهد. علاوه بر بیشتربودن بیشینه غلظت مخلوط در فشار تزریق ۷۰ اتمسفر، مشخص است که در این فشار، سوخت پیشروی بهتری به سمت شمع داشته است.

۵-۲- اثر زمان شروع پاشش

در این تحلیل که بر روی یک طرح از سرسمبه انجام گرفته، زمان شروع پاشش سوخت تغییر کرده، ولی مدت زمان پاشش ثابت باقی مانده است. دیگر ویژگی‌های افشانه نیز در هر دو حالت مانند هم است. شکل‌های (۷) و (۸) نمودار غلظت مخلوط را در امتداد محور استوانه نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود در زمانی که سوخت دیرتر پاشیده می‌شود، غلظت مخلوط در محل قرارگیری شمع بیشتر می‌شود و همچنین نرخ افزایش غلظت مخلوط در امتداد محور استوانه بیشتر است که این، می‌تواند در کمک به پایداری احتراق مؤثر باشد. با توجه به پاشش در مرحله تراکم و نوع مخلوط همگن، محدودیتی برای جرعه وجود ندارد.

شکل‌های (۹) و (۱۰) منحنی پراکندگی غلظت مخلوط را در محفظه احتراق نشان می‌دهد. با توجه به این شکل‌ها می‌توان دریافت در موردی که سوخت زودتر پاشش شده، تمرکز سوخت روی سمبه کمتر شده و این به علت وجود زمان بیشتر برای تشکیل مخلوط است.

۵-۳- اثر شکل سرسمبه

برای بررسی تأثیر شکل سرسمبه بر نحوه شکل‌گیری مخلوط سوخت و هوا دو شکل مناسب بستر انتخاب شد. در نمونه (الف) عمق کاسه سمبه بیشتر از نمونه (ب) است، ولی در مقابل، قطر کاسه آن نسبت به نمونه (ب) کمتر است.

در هر دو بررسی، شکل بستر و ویژگی‌های پاشش سوخت یکسان بود. نتایج در شکل‌های (۱۱) تا (۱۴) دیده می‌شوند. بررسی هندسه در دو زمان مختلف ۱۳۲ درجه میل‌لنگ و ۱۲۰ درجه میل‌لنگ صورت گرفته، اما هندسه‌های مختلف طوری در نظر گرفته شده‌اند که نسبت تراکم ثابت بماند.

از روی نمودارهای (۱۱) و (۱۴) می‌توان دریافت که در نمونه (الف) تمرکز غلظت مخلوط در نزدیکی محل شمع بیشتر است و نیز رشد غلظت مخلوط در امتداد محور استوانه و در نزدیک شمع بهتر و سریع تر است.

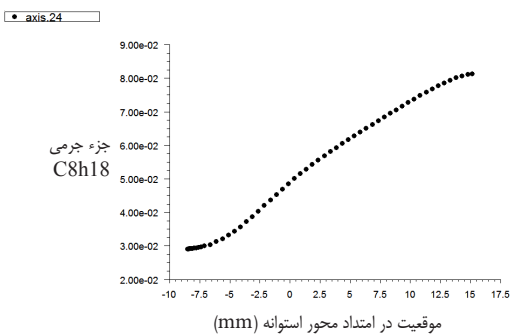
با توجه به منحنی‌های مخلوط می‌توان دریافت که در نمونه (ب) پخش شدن سوخت روی دیواره سمبه بیشتر است و در نمونه (الف) تمرکز سوخت در راستای محور استوانه بیشتر است

۶- نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به دست آمده، می‌توان چنین جمع‌بندی کرد که:

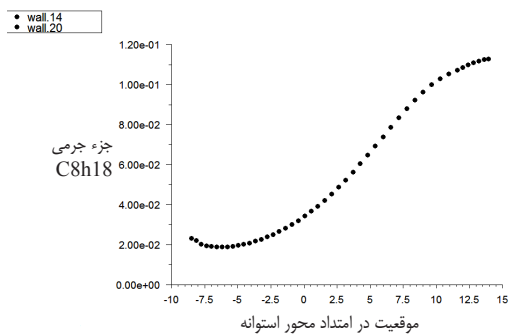
۱. روند تهیه مخلوط در فشارهای مختلف تزریق مشابه است. ولی فشار پاشش بیشتر باعث افزایش غلظت مخلوط در امتداد محور فواره شده، همچنین سوخت پیشروی بهتری به سمت شمع داشته است. شایان ذکر است که جهت پیشروی سوخت با توجه به نرخ غلظت مشخص می‌شود. البته فشار پاشش باید از حد معینی بیشتر باشد، در غیر این صورت عمل سوخت‌پاشی دچار مشکل می‌شود، زیرا فشار تزریق برای غلبه بر فشار محفظه احتراق قوی، کفایت نخواهد کرد.
۲. در بررسی تأثیر زمان شروع پاشش سوخت (دیگر شرایط کاملاً یکسان) بر روند شکل‌گیری مخلوط سوخت و هوا ملاحظه می‌شود در زمانی که سوخت دیرتر پاشیده می‌شود، غلظت مخلوط در محل قرارگیری شمع بیشتر می‌شود و همچنین نرخ افزایش غلظت مخلوط در امتداد محور فواره بیشتر است که این، می‌تواند در کمک به پایداری احتراق مؤثر باشد. همچنین در موردی که سوخت زودتر پاشش شده، تمرکز سوخت روی سمبه کمتر شده و این به علت وجود زمان بیشتر برای تشکیل مخلوط است.

۳. با بررسی روند تشکیل مخلوط در ۲ نمونه شکل سمبه (در نمونه (الف) عمق کاسه سمبه بیشتر از نمونه (ب) است، ولی در مقابل، قطر کاسه آن نسبت به نمونه (ب) کمتر است. می‌بینیم در نمونه (الف) تمرکز غلظت مخلوط در نزدیکی محل شمع بیشتر است و نیز رشد غلظت مخلوط در امتداد محور فواره و در نزدیک شمع بهتر و سریع تر است. در نمونه (ب) پخش شدن سوخت روی دیواره سمبه بیشتر است و در نمونه (الف) تمرکز سوخت در راستای محور فواره بیشتر است
۴. پاسخ‌های به دست آمده با مقالاتی که در بخش مراجع آمده‌اند، همخوانی دارد و نیز با نتایج متعارف منافاتی ندارد.



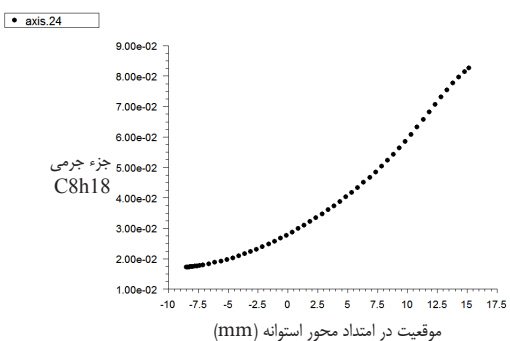
Mass fraction of c8h18(Time=5.5000e-03) Feb 18, 2005
FLUENT 6.1 (axi, swirl, dp, segregated, dynamesh, spe5, ske, unsteady)

شکل ۷ غلظت مخلوط در امتداد محور تقارن استوانه (زمان شروع پاشش: ۹۰ درجه پیش از TDC در تراکم)



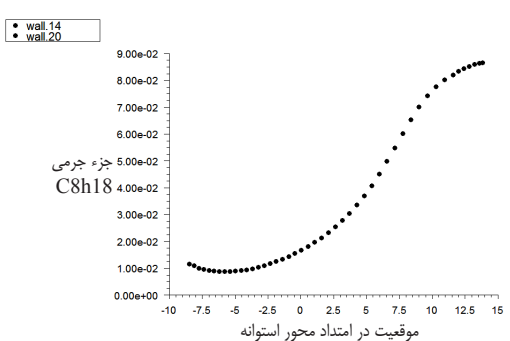
Mass fraction of c8h18(Time=5.5000e-03) Feb 18, 2005
FLUENT 6.1 (axi, swirl, dp, segregated, dynamesh, spe5, ske, unsteady)

شکل ۳ غلظت مخلوط در امتداد محور تقارن (فشار پاشش سوخت: ۷۰ اتمسفر)



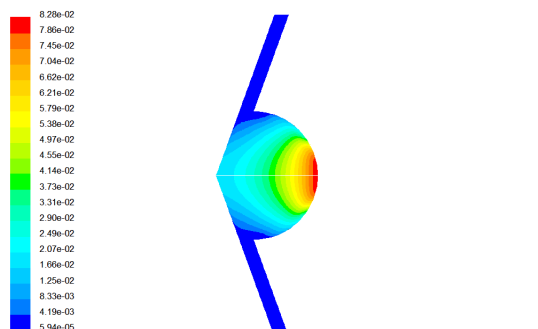
Mass fraction of c8h18(Time=5.5000e-03) Feb 18, 2005
FLUENT 6.1 (axi, swirl, dp, segregated, dynamesh, spe5, ske, unsteady)

شکل ۸ غلظت مخلوط در امتداد محور تقارن استوانه (زمان شروع پاشش: ۱۱۰ درجه پیش از TDC در تراکم)



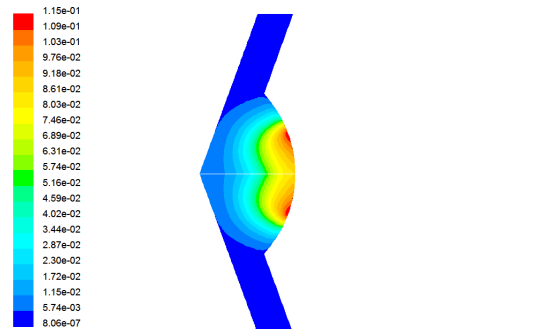
Mass fraction of c8h18(Time=5.5000e-03) Feb 18, 2005
FLUENT 6.1 (axi, swirl, dp, segregated, dynamesh, spe5, ske, unsteady)

شکل ۴ غلظت مخلوط در امتداد محور تقارن (فشار پاشش سوخت: ۴۵ اتمسفر)



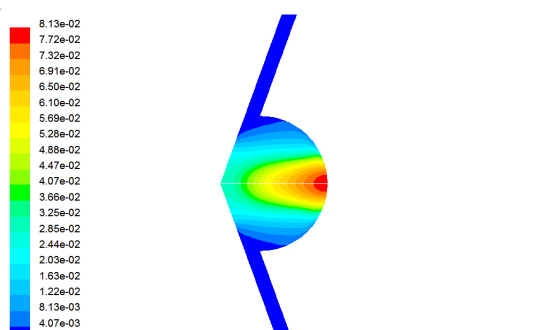
Contours of Mass fraction of c8h18(Time=5.5000e-03) Feb 18, 2005
FLUENT 6.1 (axi, swirl, dp, segregated, dynamesh, spe5, ske, unsteady)

شکل ۹ منحنی تهیه مخلوط داخل استوانه (زمان شروع پاشش: ۱۱۰ درجه پیش از TDC در تراکم)



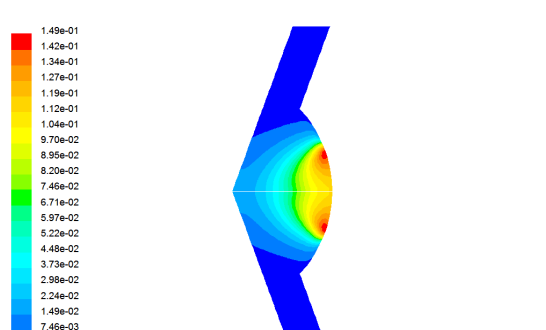
Contours of Mass fraction of c8h18(Time=5.5000e-03) Feb 18, 2005
FLUENT 6.1 (axi, swirl, dp, segregated, dynamesh, spe5, ske, unsteady)

شکل ۵ منحنی غلظت مخلوط (فشار پاشش سوخت: ۴۵ اتمسفر)



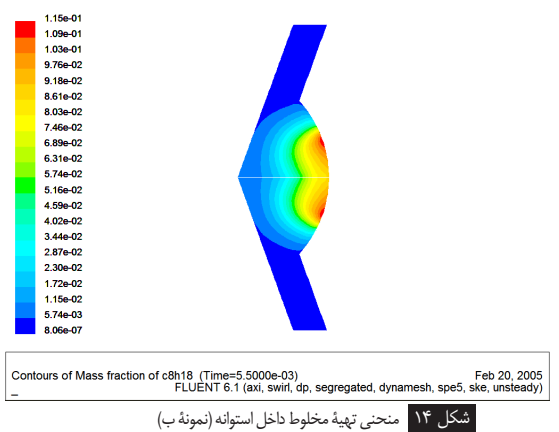
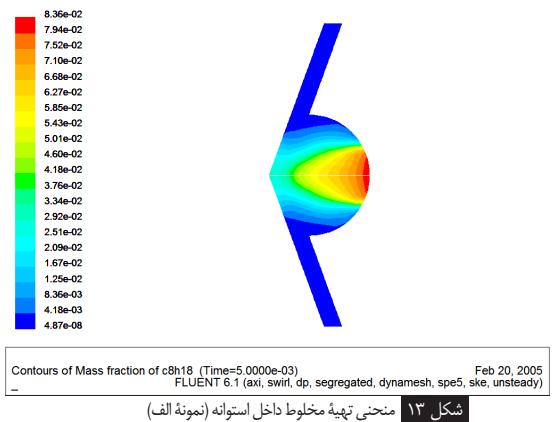
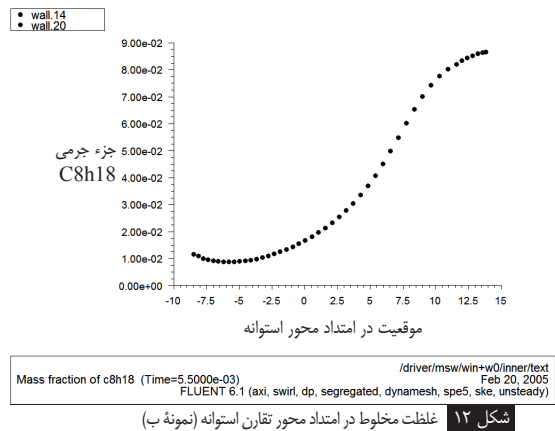
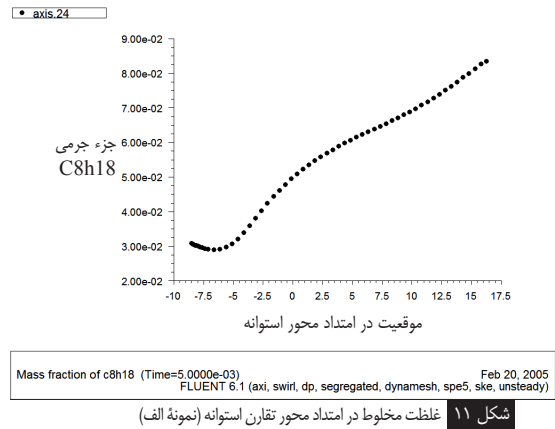
Contours of Mass fraction of c8h18(Time=5.5000e-03) Feb 18, 2005
FLUENT 6.1 (axi, swirl, dp, segregated, dynamesh, spe5, ske, unsteady)

شکل ۱۰ منحنی تهیه مخلوط داخل استوانه (زمان شروع پاشش: ۹۰ درجه پیش از TDC در تراکم)



Contours of Mass fraction of c8h18(Time=5.5000e-03) Feb 18, 2005
FLUENT 6.1 (axi, swirl, dp, segregated, dynamesh, spe5, ske, unsteady)

شکل ۶ منحنی غلظت مخلوط (فشار پاشش سوخت: ۷۰ اتمسفر)



References

- 1- Zhao, F., Laia, M. C. and Harrington, D. L. Automotive Spark-Ignited Direct-Injection Gasoline Engines. Elsevier, 2000.
- 2- Lefebvre AH. Atomization and Sprays, Washington DC: Hemisphere, 1989.
- 3- FLUENT 6.1, User's Guide, Fluent Inc. February 2003.
- 4- FLUENT 6.1, Tutorial Guide, Fluent Inc. February 2003.
- 5- Varble, D. et al. Design, Modeling and Development of a Unique Gasoline Direct Injection Fuel System. International Symposium on Automotive Technology and Automation, Dusseldorf, Germany, 98VR028, 1998.
- 6- Abraham, J. "Entrainment Characteristics of Sprays for Diesel and DISI Applications." SAE Technical Paper, no. 981934.
- 7- Fraidl, G. K. and Piock, W. F. "Gasoline Direct Injection: Actual Trends and Future Strategies for Injection and Combustion Systems", SAE Technical Paper, no. 960465.
- 8- Tomoda, Terutoshi and Sasaki, Shizuo., "Development of Direct Injection Gasoline Engine – Study of Stratified Mixture Formation", SAE Technical Paper, no. 970539.
- 9- Ohsuga, M. and Shiraishi, T. "Mixture Preparation for Direct-Injection SI Engines", SAE Technical Paper, no. 970542.
- 10- Jackson, N. S., Stokes, J. "Stratified and Homogeneous Charge Operation for the Direct Injection Gasoline Engine – High Power with Low Fuel Consumption and Emissions", SAE Technical Paper, no. 970543.
- 11- Karl, G. and Kemmler, R. "Analysis of a Direct-Injected Gasoline Engine", SAE Technical Paper, no. 970624.
- 12- Preussner, C. and Döring, C. "GDI: Interaction Between Mixture Preparation, Combustion System and Injector Performance", SAE Technical Paper, no. 980498.
- 13- Fan, L. and Li, G. "Modeling Fuel Preparation and Stratified Combustion in a Gasoline Direct Injection Engine", SAE Technical Paper, no. 1999-01-0175.
- 14- Stan, C. and Stanciu, A. "Influence of Mixture Formation on Injection and Combustion Characteristic in a Compact GDI Engine", SAE Technical Paper, no. 2002-01-0997.
- 15- Adomeit, Philipp and Lang, Oliver. "Computational Analysis of Flow and Mixture Formation in DISI Engines", 12th International Multidimensional Engine Modeling User's Group Meeting, March 2002.