جهت تهیه فایل WORD این مقاله به سایت DaneshResan.com مراجعه نمایید و عنوان مقاله را جستجو کنید
بیش از ۲ میلیون مقاله فارسی در این سایت موجود میباشد

پیشگوئی فرایند احتراق در موتورهای دوگانه سوز با تلفیق مدلهای شبه بعدی چند منطقهای و سینتیک شیمیائی

وهاب پیروزپناه استاد دانشکده مهندسي مکانیک، دانشگاه تبریز
صمد جعفرمدار دانشجوي دکتراي دانشکده مهندسي مکانیک، دانشگاه تبریز

چکیده

در مقاله حاضر یک مدل شبه بعدی (چند منطقهای احتراق) با یک مدل سینتیک شیمیائی تلفیق شده تا فرایند احتراق یک موتور دوگانهسوز پاشش مستقیم را پیشگوئی نماید. برای احتراق سوخت گازی از مدل سینتیک شیمیائی شامل ۱۰۵ واکنش و۳۱ گونه شیمیائی و برای احتراق سوخت آتشزای دیزلی از مدل چند منطقهای استفاده شده است. در این مدل تلفیقی فشار متوسط و متوسط جرمی دما حاصل از دومدل به عنوان دما و فشار سیلندر موتور دوگانه سوز در نظر گرفته شده است. مقادیر پیشگوئی شده فشار داخل سیلندر و آهنگ گرمای آزاد شده برای موتور دوگانهسوز (گاز طبیعی-گازوئیل) توسط این مدل با مقادیر تجربی مقایسه شده وتوافق خوبی را نسبت به مدلهای قبلی نشان میدهد.

کلمات کلیدی: دوگانه سوز، احتراق، سینتیک شیمیائی، مدل احترافی، سوخت آتشزا،مدل چند منطقهای.

Predicting Combustion Process in Dual Fuel Engines by Incorporating Quasi-dimensional Multi-Zone and Detailed Chemical Kinetics Models

V. Pirouzpanah and S. Jafarmadar
Mechanical Engineering Department, University of Tabriz, Tabriz, Iran

Abstract

In the present work for prediction of combustion process in dual-fuel engines, a multi-zone combustion model for predicting combustion of pilot fuel and a chemical kinetic model for predicting gaseous fuel combustion are incorporated. Chemical kinetic model is consisting of 105 reactions with 31 species. Average pressure and mass average temperature, which are derived from two models, are considered as pressure and temperature of dual fuel engine. Predicted values of pressure and heat release rate from this modeling for dual fuel operation show good agreement with corresponding experimental data than the previous models.

Key words: dual fuel, combustion modeling, chemical kinetics, pilot fuel, multi-zone model.

جهت تهیه فایل WORD این مقاله به سایت DaneshResan.com مراجعه نمایید و عنوان مقاله را جستجو کنید
بیش از ۲ میلیون مقاله فارسی در این سایت موجود میباشد

۱- مقدمه

موتورهای دوگانه سوز بدون صرف هزینه اضافی انعطافپذیری بهتری را در مصرف انواع سوختهای گازی، نسبت به موتورهای دیزلی از خود نشان می‌دهند و همچنین آلودگی آنها نسبت به موتورهای دیزلی به مقدار قابل ملاحظه کاهش می‌یابد [۱]. تحقق این امر مستلزم آن است که در این موتورها همواره مقداری از سوخت دیزل به عنوان منبع اشتعال برای سوخت گازی استفاده شود. مطالعهٔ پدیدهٔ خوداشتعالی گازطبیعی در محیط دیزلی و اثر ترکیبات آن بر پریود تأخیر در اشتعال و همچنین روابط پریود تأخیر در اشتعال با دما و فشار موتور دوگانهسوز از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد به طوریکه اثبات شده است که در دماهای زیر ۱۲۰۰ درجه کلوین پریود تأخیر در اشتعال با فشار رابطه خطی و با دما رابطه آرنیوسی داشته و در دماهای بالای ۱۳۰۰ درجه کلوین به مقدار حدی تأخیر در اشتعال فیزیکی که مربوط به سیستم پاشش است، نزدیک می‌شود نتایج فوق به صورت تجربی و مدل سینیتکی در مرجع [۲] آورده شده است. در این موتورهاگاز طبیعي با هواي تازه در مجراي ورودي پیش آمیخته شده و به صورت همگن به داخل محفظه احتراق هدایت شده و یا به کمك افشانه به داخل محفظه احتراق پاشیده مي‌شود، سپس در معرض اشتعال چند نقطه‌اي ناشي از اشتعال تراکمي سوخت آتش‌زای دیزلی قرار گرفته و نهایتاً پس از مدتی تأخیر در اشتعال، شعله از نقاط اشتعال شروع شده و در داخل مخلوط همگن گاز طبیعي و هوا انتشار مي‌یابد. به هرحال فرآیند احتراق در موتورهای دوگانه سوز به دلیل انتشار شعله به داخل مخلوط فقیر سوخت گازی و هوا همچنین احتراق سوخت آتشزا به صورت دو مرحلهای پیش آمیخته و نفوذی از پیچیدگیهای خاصی برخودار است به همین دلیل میتوان گفت که مدل احتراقی این موتورها باید تلفیقی از مدلهای موتورهای اشتعال جرقه ای و اشتعال تراکمی باشد.

برای مطالعه فرایند پیچیدهٔ احتراق در موتورهای دوگانه سوز بهتر است از مدلهای ریاضی استفاده شود. سالهای متوالی‌ایست که مدلهای شبه بعدی به علت نیاز به زمان کامپیوتری خیلی کم برای مدل کردن و مطالعه فرایند احتراق در موتورهای دیزلی به عنوان راه حل مناسب پذیرفته شدهاند[۳ و ۴]. مدلهای شبهبعدی برای شبیهسازی فرایند احتراق موتورهای دیزلی دوگانهسوز نیز به کار می‌روند [۵-۹].

در این مدلها اکثراً سوخت آتشزا به عنوان چشمه حرارتی در نظر گرفته شده و از اثرات سینیتیکی سوخت آتشزا بر سوخت گازی به دلیل پیچیدگی بیش از حد مسئله صرفنظر شده است. در برخی مدلها از مدل تک منطقهای احتراق استفاده شده است [۵-۷] و در برخی دیگر برای مطالعه سرعت انتشار شعله در داخل مخلوط هوا و سوخت، مدل دو منطقهای برای احتراق سوخت گازی اعمال شده است [۸ و ۹]. در حالت کلی این مدلها بر اهمیت نرخ پاشش سوخت آتشزا و تشریح مراحل فرایند احتراق به صورت ریاضی تأکید میکنند. از طرف دیگر براي پیشگوئي فرایند احتراق موتورهای دوگانهسوز از مدلهای چند بعدي CFD نیز استفاده می‌شود که شامل مدلهاي تک بعدی، دو بعدي و سه بعدي مي‌باشند[۱۰ و ۱۱]. مبنای کار آنها براساس حل عددی معادلات بقاء جرم، انرژی، مومنتوم و گونهها می‌باشد که از طریق آنها می‌توان به مطالعه میدان جریان در داخل محفظه احتراق پرداخت. در حالت کلي نتایج حاصل از مدلهای شبه بعدي به دلیل اینکه جزئیات دینامیك جریان را در نظر نمي‌گیرد، قابلیت کمي در ارائه نتایج دقیق دارند ولي نتایج کلي این مدلها در مقایسه با مدلهای چند بعدي مورد قبول بوده و حجم کار رایانهاي نیز در این مدلها کمتر است. در سالهای اخیر مدل کردن سینتیک شیمیائی یکی از ابزارهای قوی برای مطالعه سیستمهای احتراقی مطرح شده است. مدل کردن شیمیائی برای مطالعه دقیق نرخ واکنشهای گونههای مهم، توزیع محصولات احتراق، نرخ گرمای آزاد شده، راندمان احتراق و دیگر پارامترهای شیمیائی احتراق اهمیت فراوان دارند. در دسترس بودن کامپیوترهای با قدرت و سرعت بالا، فهمیدن و حل مسائل پیچیده موجود در موتورهای دوگانهسوز از جمله فرایند احتراق در بارهای کلی، واکنشهای پیش اشتعالی، آلایندگی، احتراق در بارهای جزئی وپیشگوئی پدیدهٔ کوبش با استفاده از حل معادلات سینتیک، را ممکن می‌سازد [۱۲-۱۴].

در این کار تحقیقاتی بر خلاف کارهای انجام گرفته قبلی [۵-۹، ۱۵ و ۱۶] که در آنها تقریب ساده توابع وبب برای پیشگوئی نرخ گرمای آزاد شده سوخت آتشزا بکار رفته، از مدل چند منطقهای احتراق جداگانهای برای پیشگوئی احتراق سوخت آتشزا و نرخ گرمای آزاد شدهٔ از آن و همچنین از مدل سینتیکی جدید استفاده شده است. به نظر می‌رسد که مدل تلفیقی جدید بکار گرفته شده در این کار میتواند پیشگوئی دقیقتری از فرایند

جهت تهیه فایل WORD این مقاله به سایت DaneshResan.com مراجعه نمایید و عنوان مقاله را جستجو کنید
بیش از ۲ میلیون مقاله فارسی در این سایت موجود میباشد

احتراق سوخت آتشزا و در نتیجه فرایند احتراق موتور دوگانهسوز را ارائه نماید.

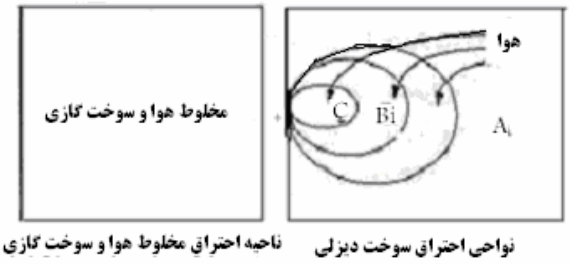
۲- تشریح فیزیکی مدل

در مدل حاضر سوخت آتشزای دیزلی به عنوان چشمه حرارتي و منبع اشتعال برای سوخت گازی عمل کرده و باعث آزاد شدن گرمای حرارتی سوخت گازی می‌شود. برای تجزیه و تحلیل فرایند احتراق، پیشگوئی نرخ گرمای آزاد شده سوخت آتشزا از مدل چند منطقهای (MZCM) که در دانشگاه تبریز توسعه یافته، استفاده شده است [۱۶، ۱۸ و ۱۹].

مخلوط هوا و سوخت گاز طبیعی (NG) به عنوان مدل تک منطقهای فرض شده است که در معرض تغییرات دما و فشار حاصل از حرکت پیستون و واکنشهای پیش اشتعالی قرار می‌گیرد. در طول مراحل تراکم، احتراق، انبساط، مدل سینیتیک شیمیائی مخلوط هوا و سوخت گاز طبیعی برای پیشگوئی محصولات احتراق و سایر پارامترها اعمال میشود.

مکانیسم سینتیکی شیمیائی مورد استفاده شامل ۱۰۵ واکنش و ۳۱ گونه شیمیائی بوده و برای پیشگوئی فرایند احتراق مخلوطهای فقیر در دما و فشار بالا تهیه شده است. واکنشهای مورد استفاده در این مکانیسم در مراجع [۱۷] آورده شده است. این مکانیسم کلیه ترکیبات گاز طبیعی را شامل نبوده و به دلیل پیچیدگی بیش از حد مسئله و بیشتر شدن واکنشهای مربوطه، فقط از هیدروکربنهای تا ترکیبات پروپان در نظر گرفته شده است. شایانذکر است که در این مقاله فقط فرایند احتراق موتورهای دوگانه سوز به طور دقیق مورد مطالعه قرار گرفته است.

فرایند احتراق هر نوع موتور دوگانه سوز با ابعاد، نسبت تراکم و زمانبندی سوپاپ مشخص را میتوان با این مدل شبیهسازی کرد. بعد از بسته شدن سوپاپ ورودی، مخلوط هوا و سوخت گازی متراکم و محترق شده سپس تا مرحله تخلیه منبسط می‌شود. در تمامی مراحل فوقالذکر معادلات سینتیک شیمیائی گونهها، بقاء انرژی و حالت به صورت دستگاه معادلات دیفرانسیل کوپل هم، برای پیشگوئی تغییرات در غلظت گونهها، خواص ترمودینامیکی مخلوط و نرخ آزادسازی گرما حل می‌شوند. در شکل ۱ نمائی از مدل تلفیقی و توزیع سوخت آتشزا در داخل محفظه احتراق به صورت طرحوارهای نشان داده شده است.



شکل ۱- نمائي از توزیع سوخت آتشزا و مخلوط هوا وسوخت گازی در این مدل

۳-مفروضات

الف- در این مدل اثر سوخت دیزل بر سوخت گازي تنها بصورت چشمه حرارتي در نظر گرفته شده است (اثرات شیمیائي سوخت دیزل بر سوخت گازي به دلیل پیچیدگی بیش ازحد مسئله، صرفنظر شده است).

ب- در تجزیه تحلیل احتراقی سوخت آتشزا فرض شده است که ما بین مناطق مختلف احتراقی مطرح شده در مدل، تبادل حرارتی وجود ندارد. ولی بین مناطق و دیواره انتقال حرارت صورت میگیرد. همچنین از گرادیان دما و فشار در مناطق مذکور صرفنظر شده است.

ج- در مدل سینیتکی شیمیائی گاز نیز از گرادیان دما و فشار در داخل منطقه احتراقی، نشتی گاز از سیلندرها و سوپاپها صرفنظر شده است.

د- فرض می‌شود که مخلوط هوا و سوخت گاز طبیعی کاملاً همگن بوده و در طول کورس مکش کاملاً با هم مخلوط شدهاند.

ر- اتلافات حرارتی از منطقه گاز طبیعی (NG) و هوا به دیوارهها به دلیل پیچیدگی مسئله مستقیماً صرفنظر شده و سهم آن به صورت کاهش از انرژی آزاد شده سوخت دیزل در نظر گرفته شده است.

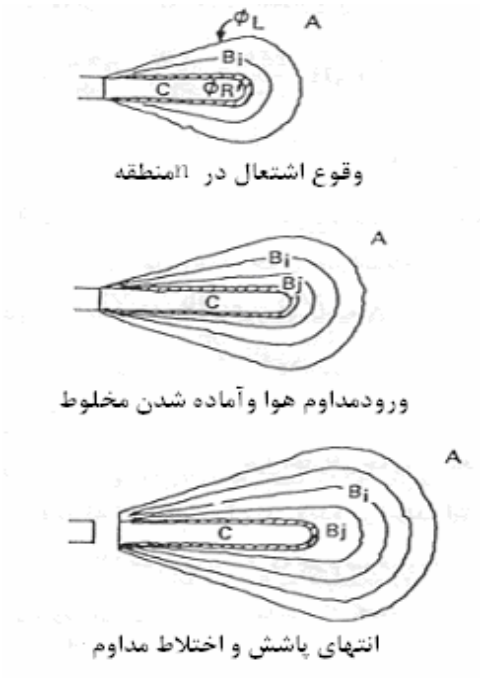
ه- همچنین فرض شده که تمام گونههای شیمیائی به صورت گاز ایدهال رفتار میکنند.

۴-فرمولبندی ریاضی مدل

۴-۱- مدل آزادسازی احتراق سوخت آتشزا

مدلسازی فرایند احتراق سوخت آتشزا با مدل احتراق چند منطقهای (MZCM) توسعه یافته در دانشگاه تبریز، انجام گرفته که شرح مقدماتی و پایهای ازاین مدل در مراجع [۱۵، ۱۸ و ۱۹] ذکر شده است.

همانطورکه در شکل ۲ نشان داده شده در این مدل براي بررسي احتراق سوخت آتشزا، کل محفظه احتراق به چندین منطقه متمایز از یکدیگر تقسیمبندي شدهاند و هریك از این مناطق به طور جداگانه همگن در نظر گرفته شدهاند.



شکل ۲- نمائی از تشکیل مناطق مختلف در احتراق سوخت آتشزا [۱۶]

در این بررسي هر یك از این مناطق داراي مشخصات هندسي دقیق نمیباشد، بلکه در هر گام محاسباتي هر منطقه با تـرکیب معینـي از مخلوط سوخت هوا و سوخت آماده شده، بـراي احتراق تعیین میشوند. در این مدل تمام سوخت دیـزل به صورت بخار در نظر گرفته شده و از وجود قطرات جت مایع صرفنظر شده است. رشد افشانه سوخت دیزلي در این مدل براساس نتایج نیمه تجربي اختلا ط هوا و سوخت مدلسازي شدهاند [۱۸ و ۱۹].

معادلات حاکم در هر منطقه به طور مختصر به صورت زیر میباشند:

$$\frac{d(M_c U_c)}{d\theta} = -P\frac{dV_c}{d\theta} + \frac{dQ_c}{d\theta} + \frac{dM_f}{d\theta}H_f + \frac{dM_{ec}}{d\theta}H_a - \frac{dM_{mp}}{d\theta}H_m \quad (۱)$$

$$\frac{d(M_a U_a)}{d\theta} = -P\frac{dV_a}{d\theta} + \frac{dQ_a}{d\theta} - \frac{dM_a}{d\theta}H_a \quad (۲)$$

$$\frac{d(M_{bi}U_{bi})}{d\theta} = -P\frac{dV_{bi}}{d\theta} + \frac{dQ_{bi}}{d\theta} + \frac{dM_{ebi}}{d\theta}H_a \quad (۳)$$

$$i = 1,2,3,\ldots\ldots,\ (j-1)$$

$$\frac{d(M_{bj}U_{bj})}{d\theta} = -P\frac{dV_{bj}}{d\theta} + \frac{dQ_{bj}}{d\theta} + \frac{dM_{mp}}{d\theta}H_{mp} + \frac{dM_{ebj}}{d\theta}H_a \quad (۴)$$

که در مجموعه معادلات فوق معادله (۱) بقاء انرژی در مغز افشانه، معادله (۲) بقاء انرژی در منطقه هوا، معادله (۳) بقاء انرژی در مناطق متعدد احتراقی، معادله (۴) بقاء انرژی در منطقه مجاور مغز افشانه میباشند. Q,V,M,U به ترتیب معرف انـرژي داخـلي و تـعداد مـول و حجم ومقدارحرارت انتقال یافته بوده و زیرنویسهاي ebj,bj,bi,mp,ec,f,c به ترتیب معرف مغز افشانه، سوخت، مقدار جرم ورودي به مغز افشانه، جرم منطقه آماده شده، منطقه احتراقي i ام، منطقه آماده شده و ورودي به منطقه آماده شده میباشند. انتقال حرارت نیز از رابطه آناند [۲۰] محاسبه میشود و دماي متوسط حاصل از احتراق سوخت آتشزا به روش زیر محاسبه میشود:

$$T_m = \frac{\Sigma M_{bi}T_{bi} + M_a T_a + M_c T_c}{\Sigma M_{bi} + M_a + M_c} \quad (۵)$$

زیر نویس m معرف مقدار متوسط میباشد. فرض میگردد که سهم هریك از جملههاي انتقال حرارت (از مناطق مختلف احتراقي) از کل انتقال حرارت انجام شده به طریق زیر، با جرم و دماي هریك از آن مناطق متناسب است:

$$\frac{dQ_{bi}}{d\theta} = \left[\frac{M_{bi}T_{bi}}{\Sigma M_{bi}T_{bi} + M_a T_a + M_c T_c}\right]\frac{dQ_m}{d\theta} \quad (۶)$$

معادله حالت براي هر ناحیه برابر است با:

$$P_i V_i = mR_i T_i \quad (۷)$$

و قید کلي حجمي برابر است

$$\Sigma V_{bi} + V_a + V_c = V_{ch}(\theta) \quad (۸)$$

هر ناحیه احتراقي B_i نشان داده شده در شکل ۲ به صورت ترکیبي از محصولات تعادلي که از خواص موضعي همان منطقه به دست میایند، فرض میشود. از معادلات بقاء جرم که در محاسبات اختلاط افشانه به کار میرود، میتوان نتیجه گرفت:

$$\Sigma \frac{dM_{ebi}}{d\theta} + \frac{dM_{ec}}{d\theta} = \frac{dM_a}{d\theta} \qquad (۹)$$

در نهایت با استفاده از مجموعه معادلات بالا، میتوان معادله بقاء انرژي را براي كل محفظه احتراق به شرح زیر نوشت:

$$\frac{d(M_{ch}U_{ch})}{d\theta} = -P\frac{dV_{ch}}{d\theta} + \frac{dQ_m}{d\theta} + \frac{dM_f}{d\theta}H_f \qquad (۱۰)$$

که در معادله فوق مقدارعبارت $\frac{dM_f}{d\theta}H_f$ گرمای آزاد شده توسط سوخت آتشزا می‌باشد. از حل معادلات (۱) تا (۹) مشخصههای احتراقی مناطق مختلف سوخت آتشزا در مراحل متوالی به دست می‌آید.

۲-۴- مدل سینتیک شیمیائی

در این مدل سینتیکی برای تشریح واکنشهای پیش اشتعالی و احتراقی سوخت گازی از مکانیسمی استفاده شده است که شامل گونههای شیمیائی زیر می‌باشد:

C2H, C2H2, C2H3, C2H4, C2H5,C2H6,C3H8, NC3H7, iC3H7, C3H6, CH4, CH3, CH2, CH2CO, CH2O, CH3O, CHO, CH3CHO, CH3CO, CO, H2,H, CO2, C, HO2, H2O2, H2O, O, OH, N2, O2.

با به کار گرفتن این مدل می‌توان تغییرات غلظت تمام گونههای فوقالذکر و نرخ آزادسازی گرما در طول کورس تراکم، احتراق و انبساط را مطالعه کرد. در این مکانیسم مراحل میانی واکنشها به صورت زیر نشان داده است [۱۷]:

$$\sum_{i=1}^{31} \alpha_{ijf} A_i \underset{k_{jb}}{\overset{k_{jf}}{\Leftrightarrow}} \sum_{i=1}^{31} \alpha_{ijb} A_i \qquad j = ۱..,۱۰۵$$

(۱۱)

که در آن α_{ijf} و α_{ijb} ضرائب استوکیومتري می‌باشند. برای واکنش j ام ثابت پیشروی مستقیم واکنش k_{jf} با عبارت آرنیوسی به صورت زیر نمایش داده میشود [۱۷]:

$$k_{jf} = A_{jf}T^{\beta}\exp(\frac{-E_{jf}}{T\bar{R}}) \qquad (۱۲)$$

ثابت پیشروی در جهت معکوس (ثابت پس روی) k_{jb} با عبارت آرنیوسی مشابه به صورت زیر محاسبه میشود:

$$k_{jb} = A_{jb}T^{\beta}\exp(\frac{-E_{jb}}{T\bar{R}}) \qquad (۱۳)$$

نرخهای پیشروی واکنشها در جهت مستقیم و معکوس به صورت زیر می‌باشند [۱۷]:

$$R_{jf} = k_{jf}\prod_{i=1}^{31}(\rho x_i)^{\alpha_{ijf}} \qquad (۱۴)$$

$$R_{jb} = k_{jb}\prod_{i=1}^{31}(\rho x_i)^{\alpha_{ijb}} \qquad (۱۵)$$

با دانستن حجم محتوای سیلندر به صورت تابع زمان [۲۱] و جرم داخل آن، جرم مخصوص مخلوط داخل سیلندر به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\rho = \frac{M}{V(\theta)} \qquad (۱۶)$$

۲-۴-۱- معادله گونه ها

نرخ خالص تولید هرگونه در تمامی واکنشها به صورت زیر می‌باشد:

$$-\rho\frac{dx_i}{dt} = \sum_{j=1}^{105}(\alpha_{ijf} - \alpha_{ijb})(R_{jf} - R_{jb}) \qquad (۱۷)$$

۲-۴-۲- معادله حالت

فرض شده است که مخلوط داخل سیلندر به صورت گاز ایدهال عمل می‌کند پس داریم:

$$PV = MRT \qquad (۱۸)$$

که در آن M جرم، P فشار، T دمای داخل سیلندر و R ثابت جهانی گازها میباشند.

۲-۴-۳- معادله بقاء انرژی

معادله بقاء انرژی برای سیستم مخلوط واکنشی همگن با فرض گاز ایدهال به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\sum_{i=1}^{31} x_i \bar{R}T \times \frac{f'(t)}{f(t)} + \sum_{i=1}^{31}\left\{(\int_{T_0}^{T} C_{Vi}dT + \Delta U_{fi})\frac{dx_i}{dt} + x_i C_{Vi}\frac{dT}{dt}\right\} = \dot{Q}_p \qquad (۱۹)$$

که در معادله فوق $\dot{Q}_p$ آهنگ انرژی آزاد شده سوخت آتشزای دیزل می‌باشد که از طریق برنامه MZCM به دست می‌آید. مجموعه معادلات (۱۷) تا (۱۹) تشکیل (۳۱+۱+۱) عدد معادله دیفرانسیل غیر خطي داده و غلظت ۳۳ گونه، دما و فشار سوخت گازی مجهولها می‌باشندکه با نرمافزار II–Chemkin حل شدهاند.

۵-مدل تک منطقه ای تشخیص(آنالیز)

یک مدل تک منطقهای برای پیشگوئی تجربی نرخ گرمای آزاد شدة [۲۲]، با استفاده از اطلاعات تجربی فشاربرای موتور دوگانه سوز OM-۳۵۵ [۲۳]، استفاده شده است.

معادله مورد استفاده در این مدل تک منطقهای به شرح زیر می‌باشد:

$$\dot{q} = \frac{\gamma_{av}}{\gamma_{av}-1} p \frac{dV}{d\theta} + \frac{1}{\gamma_{av}-1} V \frac{dp}{d\theta} + \dot{q}_{wall} \qquad (۲۰)$$

که در آن مقدار $\dot{q}$ و $\frac{dp}{d\theta}$ به ترتیب نرخ گرمای آزاد شده و تغییر فشار برحسب زاویه میل لنگ در موتور دوگانهسوز می‌باشند.

۶- بحث درنتایج

همانطوریکه قبلاً تشریح شده، در مقاله حاضر از یک مدل شبه بعدی تک منطقهای برای پیشگوئی احتراق و سوخت گازی و همچنین از یک مدل چند منطقهای برای پیشگوئی احتراق سوخت دیزلی آتشزا استفاده شده است. مشخصات موتور دوگانهسوز و ترکیب گاز طبیعی مورد استفاده در این موتور در جداول ۱و۲ آورده شده است. مقدار آهنگ سوخت آتشزای دیزلی ۲/۳۷۶ kg/h، مقدار آهنگ سوخت گازی ۱۹/۵۴۸kg/h، دور موتور۱۴۰۰rpmو پاشش سوخت آتشزا ۱۹ درجه قبل از نقطه مرگ بالا می‌باشد.

جدول ۱- ترکیب گاز طبیعی مورد استفاده در تست موتور(گاز طبیعی کشور نیوزیلند)

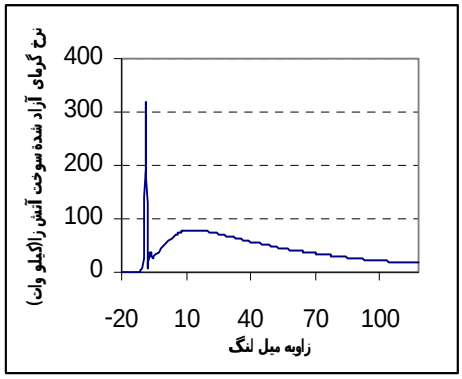
Methane	Ethane	Propane	i-Butane	n-Butane
۸۴/۷۰۱۸	۷/۰۹۲۹	۲/۰۵۶۶	۰/۳۱۹	۰/۳۳۳۲
neo-pentane	i- pentane	n- pentane	Hexanes	Carbon Dioxide
۰/۰۰۵۳	۰/۰۰۶۸۹	۰/۰۴۴۵	۰/۰۲۲	۲/۵۶
Nitrogen	Heptanes	octane		
۲/۷۸۰۱	۰/۰۱۳	۰/۰۰۲۶		

جدول ۲- مشخصات موتور دوگانه سوزOM355

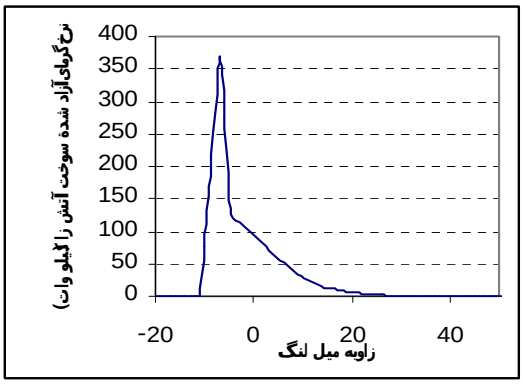
ساخت ومدل موتور	مرسدس-بنز
تعداد حفره های انژکتور	۴عدد
فشار پاشش	۱۹۵ بار
حداکثر توان خروجی	۲۴۰ اسب بخار
دور موتور در حداکثر گشتاور	۱۴۰۰ rpm
حداکثر گشتاور خروجی	۸۲۴n.m
دور در حداکثر گشتاور خروجی	۲۲۰۰ rpm
نوع موتور	موتور دیزلی سنگین پاشش مستقیم ، چهار کورسی
سیلندرها	۶ سیلندر، به صورت سری و حالت عمودی
قطرپیستون*کورس	۱۵۰ *۱۲۸ بر حسب میلیمتر
گنجایش	۱۱,۵۸ (liter)
نسبت تراکم	۱۶,۱

مقادیر آهنگ جریان سوختها و هوا و همچنین نتایج تجربی مورد استفاده در این تحقیق از مرجع [۲۲] به دست آمده است. وجود نقاط متعدد مراکز اشتعال ناشی از پاشش سوخت آتشزا در این موتورها سبب شده است که مسیر حرکت شعله نسبت به موتورهای اشتعال جرقهای کوتاهتر بوده در نتیجه زمان احتراق کوتاهتر شده و فرایند احتراق گاز خیلی سریع و حالتی شبیه به خود اشتعالی خواهد داشت.

در شکلهای ۳ و ۴ تغییرات نرخ گرمای آزاد شدهٔ سوخت آتشزا برحسب زاویه میل لنگ با دو مدل چند منطقهای و توابع ویب داده شده است،که شامل دو قسمت میباشند اولی احتراق پیش آمیخته که همراه با نرخهای سوختن بالا در مدت زمان کوتاه و دومی احتراق پخشی با نرخهای سوختن پائین در مدت زمان طولانی میباشد.



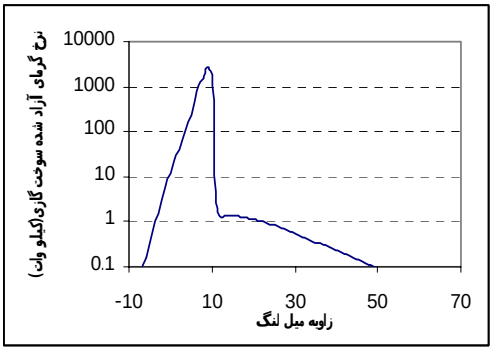
شکل ۳- تغییرات نرخ گرمای آزاد شده سوخت آتشزا در حالت بار کامل و دور موتور 1400 rpm از مدل MZCM



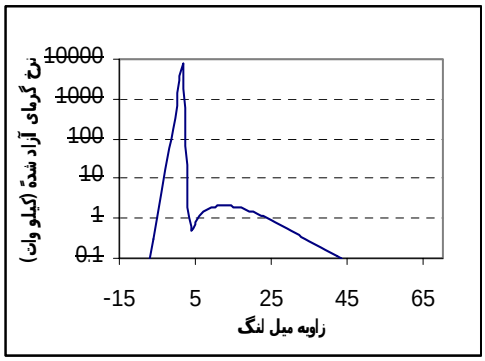
شکل ۴- تغییرات نرخ گرمای آزاد شده سوخت آتشزا در حالت بار کامل و دور موتور 1400 rpm از مدل توابع وبب [۱۴]

چنانچه از این نمودارها پیدا است در مدل وبب پریود احتراق کوتاه و گرمای آزاد شده حالت متمرکزتری داشته ولی در مدل چند منطقهای احتراق سوخت آتشزا تا مرحله تخلیه ادامه داشته و گرمای آزاد شده نیز حالت پخشتری خواهد داشت. در نتیجه رفتار احتراقی آنها نیز متفاوت بوده و تأثیر متفاوتی در فرایند احتراق سوخت گازی خواهند داشت. به نظر میرسد که نرخ گرمای آزاد پیشگوئی شده با مدل احتراقی چند منطقهای به دلیل وجود قطرات سوخت آتشزا و احتراق پخشی مربوط به آنها که تا مرحله تخلیه ادامه داشته، از دقت خوبی برخودار باشد.

در شکلهای ۵ و ۶ تغییرات نرخ گرمای آزاد شدهٔ سوخت گازی برحسب زاویه میل لنگ به ترتیب با تلفیق مدلهای چند منطقه ای وتوابع وبب داده شده است،که با منحنی گرمای آزاد شده سوخت آتشزا کا ملاً همخوانی داشته و از الگو و نحوه احتراق سوخت آتشزا تبعیت میکند، همانطور که واضح است نرخ احتراق سوخت گازی در مدل توابع وب خیلی بالاتر از مدل چند منطقهای میباشد.

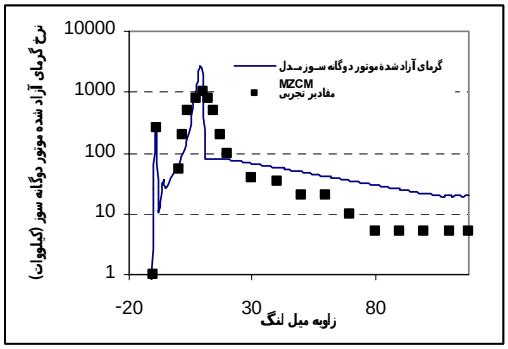


شکل ۵- تغییرات نرخ گرمای آزاد شده سوخت گازی در حالت بار کامل و دور موتور 1400 rpm از مدل MZCM

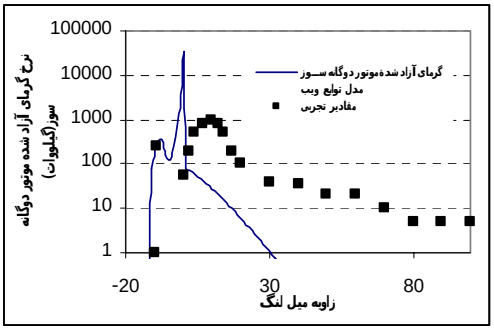


شکل ۶- تغییرات نرخ گرمای آزاد شده سوخت گازی در حالت بار کامل و دور موتور 1400 rpm از مدل توابع وبب [۱۴]

در شکلهای ۷ و ۸ نیز تغییرات گرمای آزاد شدهٔ کل موتور دوگانه سوز (گرمای آزاد شدهٔ سوخت آتشزا+گرمای آزاد شدهٔ سوخت گازی) با مقادیر تجربی حاصله از موتور دوگانه سوز OM- ۳۵۵ مقایسه شده است. مقدار تجربی گرمای آزاد سوخت آتشزا با استفاده از یک مدل تک منطقهای تشخیص یا آنالیز و منحنی تجربی فشار (P-θ تجربی) محاسبه شدهاند. همانطورکه در این نمودارها واضح است مدل چند منطقهای پیشگوئی بهتری نسبت به مدل توابع وب دارد.



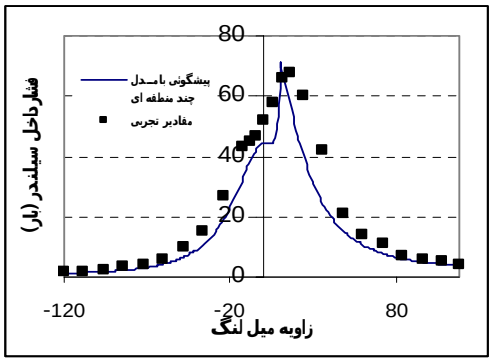
شکل ۷- تغییرات نرخ گرمای آزاد شده موتور دو گانه سوز از مدل MZCM در حالت بار کامل و دور 1400 rpm



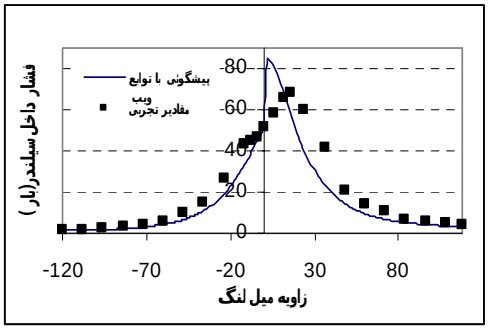
شکل ۸- تغییرات نرخ گرمای آزاد شده موتور دو گانهسوز از مدل توابع وب [۱۴] در حالت بار کامل و دور 1400 rpm

در هر دو مدل گرمای آزاد شده موتور دوگانه سوز شامل دو پیک میباشد، پیک اول ناشی از احتراق پیش آمیخته سوخت آتشزا، پیک دوم از احتراق سوخت گازی در مجاورت قطرههای سوخت آتشزا و انتشار شعله در داخل بقیه مخلوط هوا و سوخت ناشی میشود.

در شکلهای ۹ و ۱۰ نیز مقادیر تجربی فشار با مقادیر پیشگوئی شده آن توسط مدل با هم مقایسه شده است. همانطورکه در این شکلها نشان داده شده، مدل تلفیقی چند منطقهای وسینیتک شیمیائی میتواند فشار داخل سیلندر موتور دوگانهسوز را با دقت بالائی پیشگوئی کند و رفتار منحنی به دست آمده با کارهای قبلی موجود در ادبیات فن در این زمینه نیز همخوانی دارد [۹ و ۱۷].

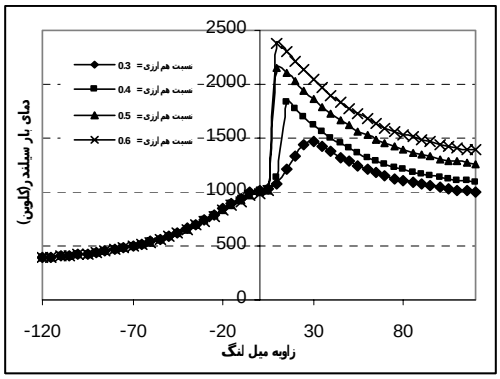


شکل ۹- مقایسه مقادیر تجربي فشار با مقادیر پیشگوئی شده توسط مدل MZCM

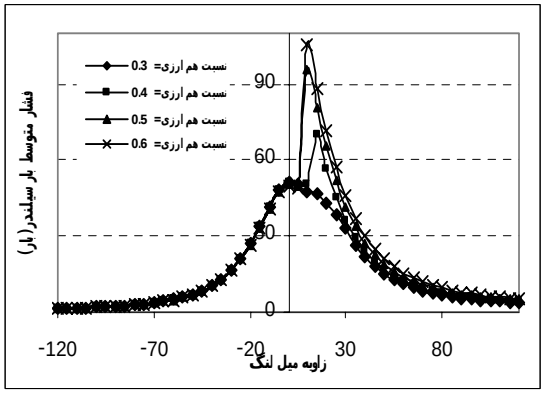


شکل ۱۰- مقایسه مقادیر تجربي فشار با مقادیر پیشگوئی شده توسط مدل توابع وب [۱۴]

در شکلهای ۱۱ تا ۱۳ تغییرات دما، فشار و نرخ گرمای آزاد شدهٔ موتور دوگانهسوز در نسبتهای همارزی مختلف با آهنگ جریان سوخت آتشزای ۲/۳۷۶ Kg/h و دور 1400rpm در حالت بار کامل، نشان داده شده است.



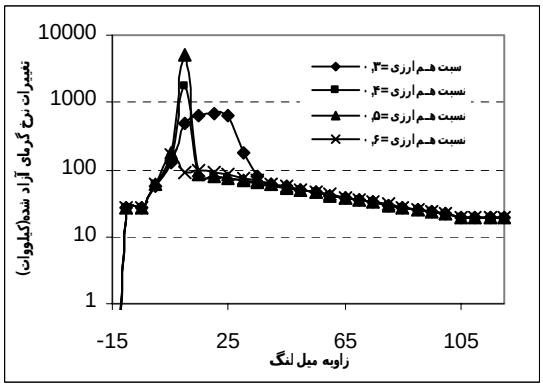
شکل ۱۱- تغییرات دما در موتور دوگانه سوز



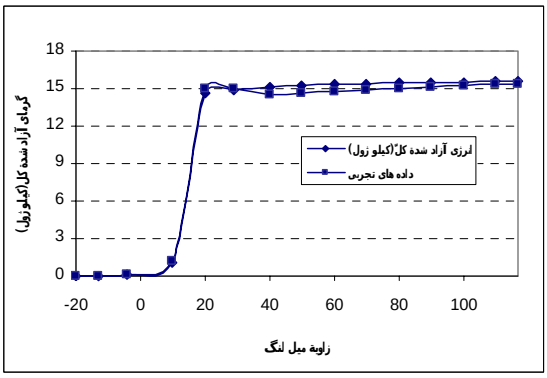
شکل ۱۲- تغییرات فشار در موتور دوگانه سوز

طبق نمودارهای فوق با کاهش نسبت هم ارزی به ازا مقدار ثابت سوخت آتشزا، دما، فشار و نرخ گرمای آزاد شده به صورت تدریجی کاهش یافته و نهایتاً در صورت ادامه روند فوق به محدوده اشتعال پائین $\phi=0.3$ سوخت گازی نزدیک شده، که به علت عدم وجود احتراق و انتشار شعله در داخل مخلوط هوا و سوخت گازی، فشار به حالت موتورینگ نزدیک خواهد شد. مقدار نرخ گرمای آزاد شده موتور دوگانه سوزنیز با کاهش نسبت هم ارزی به علت کاهش دمای داخل سیلندر و در نتیجه کاهش نرخ واکنشهای سینیتکی کاهش می‌یابد.

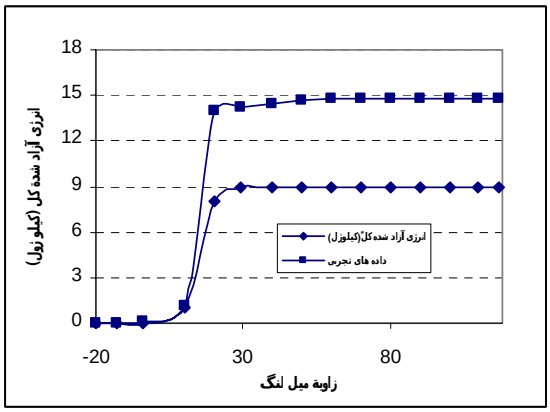
در شکلهای ۱۴ و ۱۵ نیز تغییرات انرژی آزاد کلّ[1] پیشگوئی شده با دو مدل برای موتور دوگانهسوز با نتایج تجربی مقایسه شده است. مقایسه نمودارهای مذکور نیز دقت بالای مدل چند منطقهای را تأئید میکنند.



شکل ۱۳- تغییرات نرخ گرمای آزاد شده در موتور دوگانهسوز



شکل ۱۴- تغییرات نرخ گرمای آزاد شده کلّ موتور دو گانهسوز از مدل چند منطقهای در حالت بار کامل و دور 1400 rpm



شکل ۱۵- تغییرات نرخ گرمای آزاد شده کلّ موتور دو گانهسوز از مدل توابع وبب [۱۴] در حالت بار کامل و دور 1400 rpm

1- Accumulative Heat Release

۷- نتیجهگیری

در این کار تحقیقاتی یک مدل شبه بعدی چند منطقهای برای پیشگوئی فرایند احتراق سوخت آتشزا با یک مدل سینتیک شیمیائی سوخت گازی تلفیق شده و نتایج کلی زیر حاصل شده است:

۱- مقایسه نتایج تئوری با نتایج تجربی برای فشار و نرخ گرمای آزاد شده برای موتور دوگانه سوز نشان میدهد که مدلهای تلفیقی سینتیک شیمیائی با مدل احتراقی سوخت آتشزا در دو حالت (مدل توابع ویب و مدل چند منطقهای) با دقت نسبتاً خوبی می‌تواند برای پیشگوئی فرایند احتراق موتورهای دوگانه سوز بکار گرفته شوند.

۲- مدل احتراق سوخت آتشزا با استفاده از توابع ویب یک مدل سادهای است که در آن احتراق سوخت آتشزا در پریود زمانی کوتاه تری و همراه با نرخهای بالا صورت میگیرد و در نتیجه مقادیر نرخ گرمای آزاد شده و فشار پیشگوئی شده برای موتور دوگانه توسط این مدل نسبت به مدل تلفیقی حاضر به مقدار قابل ملا حظهای سر یعتر و بالاتر از مقدار تجربی آنها بهدست می‌آید.

۳- بکارگیری مدل چند منطقهای MZCM، فرایند احتراق سوخت آتشزا را دقیقتر از سایر مدلهای ساده (توابع ویب) پیشگوئی نموده و نهایتاً فرایند احتراق موتورهای دوگانهسوز را نیز دقیقتر پیشبینی می‌نماید.

۴- مدل چند منطقهای احتراق بکار رفته در این کار تحقیقاتی، قبلاً با دقت خوبی فرایند احتراق موتورهای دیزلی با پاشش مستقیم را پیشبینی نموده و در این کار تحقیقاتی برای سوخت آتشزا بکار گرفته شده است.

سپاسگزاریها

این پروژه با حمایت مالی شرکت ملی گاز ایران (منطقه ۸ عملیات انتقال گاز تبریز) اجرا شده است. مؤلفین مقاله از حمایت شرکت مذکور قدردانی می‌نمایند.

نمادها

θ	زاویه میل لنگ
$\dot{Q}_p$	نرخ گرمای آزاد شده سوخت آتشزا
x	غلظت گونه
A	گونه
α	ضریب استوکیومتري
k	ثابت واکنش
R	نرخ پیش روی واکنش
ρ	دانسیته مخلوط داخل سیلندر
M	جرم مخلوط گاز و هوا داخل سیلندر
T_c	دمای مغز افشانه
T_{bi}	دمای مناطق مختلف افشانه
p	فشار داخل سیلندر ناشی از احتراق گاز
T	دمای داخل سیلندر ناشی از احتراق گاز
C_V	گرمای ویژه در حجم ثابت
ΔU	تغییرات انرژی داخلی
H	انتالپی

بالا و پائین نویسها

a	هوا
bi	منطقه احتراقیi ام سوخت آتشزا
bj	منطقه مجاور مغز افشانه
ebj	ورودی به منطقه مجاور مغز افشانه
ebi	ورودی به مناطق احتراقی
ec	ورودی به منطقه مغز افشانه
.i	شماره گونهها
j	شماره واکنشها
f	جهت مستقیم واکنش و سوخت
b	جهت معکوس واکنش
d	احتراق پخشی
p	احتراق پیش آمیخته
s	زاویه شروع پاشش
c	غلظت و مغز افشانه
ch	محفظه احتراق
mp	مخلوط آماده شده
av	مقدار متوسط

[1] Callan.T.J. "Dual fuel operation of automotive diesel engine." M.Sc. Thesis, Department of Mechanical Eng. University of Auckland,1988.

[2] Jeffrey.D.N. et al, "Natural gas auto ignition under diesel conditions: experimental and

chemical kinetic modeling" SAE 1994, 942034.

[3] Bazari. Z, Register. L"A DI-diesel engine combustion and emission predictive capability for use in cycle simulation" SAE 1992,920462.

[4] Hiroyasu, H., and Arai, M. "Development and use of a spray combustion modeling to predict diesel engine efficiency and pollutant emission" Proceeding of the Fifth International Automotive Propulsion System Symposium, pp.264-288, SAE, Warren dale, Pa., 1980.

[5] G.H. Abd Alla et al, "Combustion quasi-two zone predictive model for dual fuel engines" Energy Conversion and Management 42(2001) 1477-1498.

[6] Z. Liu, G. A. Karim "An analytical examination of the preignition process with in Homogeneous mixtures of a Gaseous fuel and Air in a motored engine" SAE 1994.

[7] G. A. Karim, Z. Liu, W. Jones "Exhaust emissions from Dual fuel engines at light Load" SAE 1993.

[8] G. H. Abd Alla, H. A. Soliman "A computational investigation of the effect of exhausts Gas Recirculation on the performance of a Dual fuel engine" SAE 2000.

[9] Z. Liu, G.A. Karim "Simulation of combustion process in gas-fuelled diesel engines." Imech 1997.

[10] Makame Mbarawa, et al. "Experimental and modeling of natural gas combustion ignited by a pilot diesel fuel spray." Int. Therm. Sci. (2001) 40,927-936.

[11] Jin. Kusaka and et al. "A numerical study on combustion and exhaust gas emissions characteristics of a dual fuel natural gas engine using a multi-dimensional model combined with detailed kinetics." SAE 2003-01-1939.

[12] Y. Zhaoda "Modeling of atuo- Ignition and knock in a compression Ignition engine of the dual fuel type" Imech 1991.

[13] G. A. Karim, Y. Zhaoda "An analytical model for knock in Dual fuel engines of the compression Ignition type" SAE 1988.

[14] F.A. Williams, S.C. Li "An reduced reaction mechanisms for predicting knock in Dual-Fuel engines" SAE paper 2000.

[۱۵] وهاب پیروزپناه، صمد جعفرمدار "مدل شبه بعدی برای پیشگوئی احتراق و آلایندگی موتورهای دیزلی دوگانه سوز" مجلة دانشکدة فنی - دانشگاه تبریز، جلد ۳۸-۱۳۸۴.

[16] V. Pirouzpanah, B. O. Kashani "Prediction of major pollutant emission in Direct injection Dual fuel Diesel and Natural Gas engines" SAE 1999.

[17] Karim, G.A. et al, Zhigang. Liu "A predictive model for knock in dual fuel engine" SAE921550.

[18] Chiu, W.S, Shahed, M.S. and Lyn, W.T, "A transient spray mixing model of diesel engine," SAE NO:760128,pp502-512,1976.

[19] Shahed, S.M, Flyn, P.F. and Lyn, W.T, "A model for the spray formation in a direct injection diesel engine," Mattavi, J.N and Charles, A. A, Plenum Press, pp345-368,1980.

[20] Annand, W.J.D. "Heat transfer in the cylinder of reciprocating internal combustion engines." Proc.I Mech E, Vol.177, pp973-996, 1963.

[21] Heywood, J.B. "Internal combustion Engine fundamental." McGraw Hill Book company, NewYourk, 1988.

[22] Karim, G.A and Khan, M.O "Examination of effective rates of combustion heat release rate in a dual fuel type" J.Mech. Engg. Sci, vol:10, No1, pp13-23, 1968.

[23] Pirouzpanah.V et al, "Reduction of pollutants emissions of OM-355 Diesel Engine to Euro2 by converting to Dual-fuel Engine (Diesel + Gas)." Proceeding of first Conference of Automotive Fuel to CNG,19-20 June 2003, Tehran, Iran, pp84-94.