تأثیر ترکیبات گازهای طبیعی موجود در ایران بر عملکرد و آلایندگی موتور گازسوز 135 Ti

آیدین زرگر[۱]، سید اسماعیل رضوی[۲]، وهاب پیروزپناه[۳]

تاریخ دریافت مقاله:
۸۸/۱/۳۰
تاریخ پذیرش مقاله:
۸۸/۳/۳۰

چکیده:

با توجه به منابع سرشار و سودمند سوخت گاز طبیعی در ایران و شرایط جایگزینی مناسب، گاز طبیعی سوخت جانشین موتورهای درونسوز شده است. این مقاله به مدلسازی عددی سوخت گاز طبیعی پنج حوزه متفاوت در ایران از نظر عملکرد و آلایندگی آلاینده NO_x در یک موتور اشتعال جرقه ای صد در صد گازسوز می پردازد. اغلب تحقیقات انجام شده برای گاز سوز نمودن خودروها و تمام نرم افزارهای مهندسی موجود، گاز طبیعی را که قسمت عمده آن متان است متان خالص فرض نموده و سایر ترکیبات گاز طبیعی نادیده گرفته می شوند، در حالی که در مقاله حاضر گاز طبیعی به صورت یک مخلوط گازی لحاظ شده است. برای مدلسازی احتراق مخلوطهای گاز طبیعی از مدل دو منطقه ای استفاده شده و موتور به صورت سیکل بسته است. سایر تحقیقات انجام شده در این مقاله عبارت از بررسی و محاسبه دمای شعله آدیاباتیک و عدد اکتان حوزه های گازی ایران است. برای محاسبه دمای شعله آدیاباتیک از مدل احتراق تک منطقه ای استفاده شده و احتراق در موتور در نظر گرفته نمی شود. مقایسه نتایج تحقیق حاضر با نتایج عملی دیگری که تا کنون در این زمینه انجام شده است تطابق خوبی را نشان می دهند نتایج تحقیق حاضر نشان می دهند که احتراق حوزه گاز ورودی تهران باعث ایجاد بالاترین آلاینده اکسید ازت می شود.

کلمات کلیدی:
موتور صددرصد گازسوز، مدل احتراق دو منطقه‌ای، ترکیبات گاز طبیعی، دمای شعله آدیاباتیک، عدد اکتان، موتور 135Ti

۱) کارشناس ارشد مهندس مکانیک aidin_z2003@yahoo.com
۲) استادیار دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز
۳) استاد گروه مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

مقدمه

ترکیب عمده گاز طبیعی، گاز متان (CH_4) است. گاز طبیعی علاوه بر متان دارای هیدروکربنهای سنگین‌ترهمانند اتان، پروپان و بوتان و سایر هیدروکربنهای سنگین‌تر و ناخالصیهای گوگرد، در مقادیر متفاوت می‌باشد، گاز طبیعی همچنین دارای مقادیری از دی‌اکسید کربن، نیتروژن، هلیوم و سولفید هیدروژن و آب است ترکیبات شیمیایی پنج نوع ترکیب گاز طبیعی ایران در جدول ۱ آورده شده است [۱] در این تحقیق احتراق این ترکیبات در یک موتور دیزلی به نام 135Ti که با ایجاد تغییراتی به یک موتور صد در صد گاز سوز تبدیل شده است بررسی شد.

عده ای از محققان به گونه تجربی، اثرات کیفیت گاز طبیعی را بررسی کرده اند. کایلول و همکارانش [۲] مقایسه چند کیفیت گاز را با متان توسط الگوی تک منطقه‌ای سینتیک به همراه آزمایش موتور تک سیلندر روی لگام ترمز انجام داده‌اند. آنها مشاهده کردند که مخلوطهای رقیق‌تر در گشتاور اثر بیشتری دارند، همچنین ملاحظه شد که آهنگ سوختن گازهای طبیعی با درصد اتان بالاتر سریعتر است. از نظر آلایندگی برای هیدروکربن نسوخته و دی‌اکسید کربن بیشینه اختلاف در مخلوط غنی تر مشاهده شده است. در این تحقیق مشاهده شده که ترکیب ۹۰ درصد متان و ۱۰ درصد اتان در مخلوط رقیق (Φ =۰/۶) می‌تواند ۳۵ درصد گشتاور بیشتر نسبت به متان خالص تولید کند. همچنین وجود بوتان و پروپان در مخلوطهای رقیق سرعت سوختن را افزایش می‌دهد. آگاروال و همکارانش [۳] یک تحقیق نظری بر روی تاثیر ترکیب گاز طبیعی بر مرحله تاخیر در اشتعال انجام دادند و نتیجه گرفتند که ترکیب گاز طبیعی تاثیر مهمی در مرحله تاخیر در اشتعال دارد و متان خالص دارای بالاترین میزان تاخیر در اشتعال است که با افزایش درصد هیدروکربنهای سنگین‌تر این میزان کاهش می‌یابد. نایگل [۴] تاثیرات مخلوطهای گازی را بر روی پارامترهای موتور بررسی کرده و شاخص Wobbe را به عنوان پارامتر مهمی در بررسی ترکیب گاز معرفی نمود. همچنین یک تحقیق نظری نیز در این زمینه در ایران انجام شده است [۵]. مرجع مذکور مدلسازی موتور را به صورت دو منطقه ای و سیکل بسته و معادلات حاکم را با قانون اول حل نموده است.

تفاوتهای مقاله حاضر با مرجع [۵] عبارتند از: ۱ـ در مقاله مذکور از انتقال گرما صرفنظر شده (تحول آدیاباتیک فرض شده است) و دمای شعله آدیاباتیک برای مناطق سوخته و نسوخته و مقادیر انتقال گرما با استفاده از مدل آنانـد محاسبه شده است. ۲ـ در مرجع [۵] سیکل مکش مدل نشده و برای تخمین خواص بار سیلندر از دیاگرام تجربی استفاده شده است، در حالی که در این مقاله سیکل مکش به دقت مدل شده است ۳ـ در مرجع [۵] گازهای باقیمانده از سیکل قبلی در مدل لحاظ نشده است، ولی در مقاله گازهای باقیمانده نیز لحاظ شده است ۴ـ مرجع مذکور سوخت گاز طبیعی را بصورت هیدروکربن چند مولفه‌ای فرض نموده و مقاله حاضر هر یک از اجزای گاز طبیعی را به صورت کاملاً مستقل در نظر گرفته

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

است. ۵ـ مرجع مذکور ترکیبات حوزه های گاز طبیعی را در سه ناحیه جنوب و جنوب غربی، شمال و شمال شـرقی و حـوزه مرکزی در نظر گرفته است، ولی مقاله حاضر پنج حوزه گاز کنگان، خانگیران، سرخون، بیدبلند و ورودی گاز شهر تهـران را درنظر گرفته است. نتایج تحقیق حاضر با مرجع [۵] تطابق خوبی دارد چنانچه بیشینه فشار در مقاله مذکور در تمام ترکیبات نسبت به متان خالص افزایش نشان داده است. (این افزایش در حوزه جنوب و جنـوب غربـی کـه در آن مقـدار متـان کـم، هیدروکربن سنگین زیاد و نیتروژن بسیار کم می‌باشد بالاترین مقدار را دارد) همچنین آلاینده اکسید ازت در حوزه جنـوب و جنوب غربی نیز بالاترین مقدار را دارا می‌باشد.

معادلات حاکم بر دمای شعله آدیاباتیک

معادله واکنش برای متان به صورت رابطه (۱) است

$$CH_4 + \lambda \times 4.7625 \times (0.21O_2 + 0.79N_2) \longrightarrow CO_2 + 2H_2O + \lambda 4.7625 \times 0.79N_2 \qquad (۱)$$

$$x_1 CH_4 + x_2 C_2H_6 + x_3 C_3H_8 + x_4 IC_4H_{10} + x_5 nC_4H_{10} + x_6 IC_5H_{12} + X_7 nC_5H_{12} + x_8 C_6H_{14} \qquad (۲)$$
$$+ \lambda 4.7625.x_9 (0.21O_2 + 0.79N_2) \longrightarrow x_{10} CO_2 + x_{11} H_2O + \lambda 4.7625 \times 0.79\ N_2$$

که در آن λ ضریب هوای اضافی و $x_1 \ldots x_8$ ضرایب مولی ترکیبات تشکیل دهنده گـاز طبیعـی هـستند. روابـط حـاکم دمای شعله آدیاباتیک قانون اول ترمو دینامیک است که به صورت رابطه (۳) است [۶]

$$\sum_R n_R (\bar{h}_f^o + \Delta\bar{h})_R)_{T_{in}} = \sum_P n_P (\bar{h}_f + \Delta\bar{h})_P)_{T_{flame}} \qquad (۳)$$

که در آن n_R مقادیر مولی گونه ها ی شرکت کننده در واکنش (قبل از احتراق) و n_P مقادیر مولی گونه های محصولات واکنش (پس از احتراق) هستند. $\bar{h}_f^{\ o}$ آنتالپی تشکیل در دمای مرجع و $\Delta\bar{h}$ تغییرات آنتـالپی در دمـای T از یـک دمـای مرجع T_{ref} است فرضها به صورت زیر لحاظ شده‌اند:

الف- گازها حقیقی فرض می شوند (یعنی به دما و ترکیب مخلوط بستگی دارند).

ب- احتراق کامل در نظر گرفته می شود (محصولات احتراق فقط شامل دی اکسید کربن، آب و مولکول ازت هستند).

پ- احتراق به صورت مدل تک منطقه ای در نظر گرفته می شود.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

معادلات حاکم بر عملکرد و آلایندگی موتور گازسوز (135 Ti)

برای شبیه سازی سیکل موتور، در هر مرحله از چرخه های موتور و همچنین مرحله احتراق، قانون اول ترمودینامیک حل می شود.

$$dE = \int_{T_1}^{T_2} C_p dT \qquad (۴)$$

$$E = C_P.(T_2 - T_1) \qquad (۵)$$

$$dQ + dW = dE \qquad (۶)$$

$$f(E) = E(T_2) - E(T_1) + \delta W - \delta Q \qquad (۷)$$

مرحله مکش

شرایط مرزی:

$$E(T_1) = C_p(T_1)R_{mol}T_1 \qquad E(T_2) = C_p(T_2)R_{mol}T_2 \qquad dW = V_c(P_1 - P_e) \qquad (۸)$$

شرایط اولیه : (در مرحله مکش از انتقال حرارت صرفنظر می شود)

$$dQ = 0 \qquad (۹)$$

مرحله تراکم

شرایط مرزی :

$$E(T_1) = C_v(T_1)R_{mol}T_1 \qquad E(T_2) = C_v(T_2)R_{mol}T_2 \qquad (۱۰)$$

$$dW = \left(\frac{P_1 + P_2}{2}\right)(V_2 - V_1) \qquad (۱۱)$$

مرحله اشتعال

شرایط مرزی:

$$E(T_2) = C_v(T_2)R_{mol}T_2 + E_0 \qquad E(T_1) = C_v(T_1)R_{mol}T_1 + E_0 \qquad (۱۲)$$

$$dW_u = \left(\frac{P_1 + P_2}{2}\right)(V_{u2} - V_{u1}) \qquad (۱۳)$$

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

$$dW_b = (\frac{P_1 + P_2}{2})(V_{b2} - V_{b1}) \quad (۱۴)$$

مرحله انبساط

شرایط مرزی:

$$E(T_2) = C_v(T_2) R_{mol} T_2 \qquad E(T_1) = C_v(T_1) R_{mol} T_1 \quad (۱۵):$$

$$dW = (\frac{P_1 + P_2}{2})(V_2 - V_1) \quad (۱۶):$$

در این مدل انتشار شعله به صورت کروی فرض شده که در هنگام احتراق محفظه سیلندر، توسط جبهه شعله بـه دو ناحیـه سوخته(b) و نسوخته (u) تقسیم می‌شود [۷].

پیش فرض‌ها

الف- محصولات احتراق شامل ۱۳ گونه هستند.

ب ـ مرحله مکش، به علت ناچیز بودن تبادل گرما بین دیواره سیلندر و بار داخل سیلندر آدیاباتیک است.

پ ـ سیکل بسته (یعنی مراحل تراکم، احتراق و انبساط) و گازهای داخل سیلندر حقیقی (یعنی C_P, C_V بستگی به دما و ترکیب مخلوط دارند) در نظر گرفته خواهد شد.

ت ـ در فرآیند مربوط به سیکل بسته انتقال گرما بین مخلوط و دیواره سیلندر در نظر گرفته خواهد شد.

ث ـ در طول مرحله مکش از تغییر فشار و انرژی صرف‌نظر خواهد شد.

ج ـ انرژی داخلی تابعی از دما و ترکیبات است.

چون آهنگ تولید انرژی در ناحیه گازهای سوخته خیلی سریع است بـدین جهـت ایـن گازهـا نزدیـک بـه حالـت تعـادل ترمودینامیکی و شیمیایی خواهند بود. فرض می‌شود که فشار و دمای منطقه گازهای سوخته می‌تواننـد از روابـط تعـادل ترمودینامیکی و شیمیائی محاسبه شوند. از مکانیزم توسعه یافته زلـدوویچ بـرای محاسـبه کـسر مـولی اکـسید نیتـروژن سینتیکی استفاده شده است[۸].

ب ـ محاسبه عدد اکتان

بـرای محاسـبه اعـداد اکتـان از روابـط (۱۷) اسـتفاده مـی شـود کـه در آن (MON) عـدد اکتـان موتـوری و (RON) عدد اکتان تحقیقی و x ضریب مولی اجزای تشکیل دهنده گاز طبیعی است. تفاوت ایـن دو عـدد بـه علـت اندازه گیری عدد اکتان در شرایط متفاوت است. چنانچه در روش MON دما و دور موتور بالاتر از روش RON است.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

$$MON)_{TOTAL} = x_{ch_4}(MON)_{ch_4} + x_{c_2h_6}(MON)_{c_2h_6} + x_{c_3h_8}(MON)_{c_3h_8} + x_{c_4h_{10}}(MON)_{c_4h_{10}} + \ldots \quad (۱۷)$$

$$RON)_{TOTAL} = x_{ch_4}(RON)_{ch_4} + x_{c_2h_6}(RON)_{c_2h_6} + x_{c_3h_8}(RON)_{c_3h_8} + x_{c_4h_{10}}(RON)_{c_4h_{10}} + \ldots$$

جدول ۱: ترکیبات تشکیل دهنده حوزه های گاز ایران بر حسب درصد [۱]

فرمول	ترکیبات	تهران	سرخون	خانگیران	بید بلند	کنگان
CH_4	Methane	۸۷/۷	۸۸/۰۸۹	۹۸/۵۴۸	۸۴/۱۵۷	۸۸/۰۲
C_2H_6	Ethane	۴/۷	۳/۴۲۰	۰/۶۴۷	۹/۵	۴/۱۳
C_3H_8	Propane	۱/۷۴	۱/۲۷۰	۰/۰۶۹	۳/۷۴۴	۱/۲۹
C_4H_{10}	Iso-Butane	۰/۳۷	۰/۲۹۰	۰/۰۱۸	۰/۴۱۳	۰/۲۸
C_4H_{10}	n-Butane	۰/۴۲	۰/۳۷۰	۰/۰۳۹	۰/۷۶۸	۰/۳۸
C_5H_{12}	Iso-pentane	۰/۱۳	۰/۱۲۰	۰/۰۱۸	۰/۱۲۵	۰/۱۶
C_5H_{12}	n-pentane	۰/۱۰	۰/۰۷۰	۰/۰۲۱	۰/۱۰۱	۰/۱۰
C_6H_{14}	Hexane	۰/۰۸	۰/۰۹۰	۰/۱۴۰	۰/۰۱۶	۰/۱۹
N_2	Nitrogen	۴/۷	۵/۷۵۰	۰/۵	۰/۷۱۵	۵/۴۵
CO_2	Carbon dioxide	۰/۰۵	۰/۵۳۰	۰/۰	۰/۴۱۲	۰/۰

جدول ۲: مشخصات فنی موتور گازسوز 135Ti [۹]

نوع سوخت	نوع احتراق	قطر سیلندر	کورس پیستون	حداکثر قدرت	حداکثر گشتاور
گاز طبیعی (CNG)	چهارزمانه / اشتغال جرقه‌ای	۱۰۰ میلی‌متر	۱۲۸ میلی متر	۲۴۰ اسب بخار	۴۴۰ نیوتن متر
تعداد سیلندر	نسبت تراکم	طول شاتون	حجم جابجایی	حداکثر دور موتور	زاویه جرقه‌زنی
۴	۱۱	۲۸۰ میلی متر	۱۱/۵۸ لیتر	۲۶۰۰ دور بر دقیقه	۲۰ درجه قبل از مرگ بالا

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

نتایج عددی

دمای شعله آدیاباتیک ترکیبات تشکیل دهنده گاز طبیعی

از شکل (۱) ملاحظه می شود که دمای شعله آدیاباتیک متان کمترین و هگزان بیشترین مقدار را دارد. همچنین نتایج نشان می‌دهند که وجود مقادیر CO_2، H_2O و N_2 باعث کاهش دمای شعله می‌گردد. میزان کاهش دما برای CO_2 بیشترین، H_2O متوسط و N_2 کمترین مقدار می باشد. از سوی دیگر میزان کاهش دمای شعله برای متان بیشترین مقدار را داراست در حالی که با سنگین‌تر شدن هیدروکربنها میزان کاهش دمای شعله نیز کاهش می یابد. در میان حوزه‌های گاز ایران، حوزه گاز بید بلند دارای بالاترین مقدار دمای شعله آدیاباتیک و حوزه گاز سرخون دارای پایین ترین مقدار است. از سوی دیگر نتایج شکل (۲) نشان می دهد که دمای شعله آدیاباتیک حوزه سرخون به علت وجود مقادیر زیاد نیتروژن و دی اکسید کربن و مقادیر کم هیدرو کربنهای سنگین از متان خالص پایین تر است.

منحنی‌های مربوط به عملکرد و آلایندگی موتور گازسوز

شکل (۳) منحنی $P-\theta$ را در موتور گاز سوز ، برای حوزه های گاز مختلف ایران نشان می دهد. حوزه گاز خانگیران با ۹۸/۵٪ متان نزدیکترین تشابه را با متان خالص دارد و حوزه گاز بید بلند با ۸۴٪ متان، دورترین ترکیب گاز را با متان خالص دارد. شکل (۴) نشان دهنده نمودار $T-\theta$ در موتور گازسوز است و شکل (۵) نشان می دهد که گاز ورودی شهر تهران دارای بیشترین آلاینده NO_X و متان خالص کمترین مقدار را دارا می باشد. بالا بودن آلایندگی گاز ورودی تهران به علت دلایل زیر است:

مقدار کمتر متان، وجود مقادیر زیادتر نیتروژن، وجود مقدار نسبتا زیاد هیدروکربنهای سنگین تر که باعث افزایش دما و ازدیاد آلاینده می باشد.

مقادیر عدد اکتان

مقادیر اعداد اکتان حوزه های گاز طبیعی در شکل (۶) نشان داده شده اند چنانچه ملاحظه می شود عدد اکتان متان خالص و حوزه خانگیران دارای بالاترین مقدار است.

نتیجه‌گیری

اگر خواص انتخابی سوخت مورد نظر برای یک موتور اشتعال جرقه ای گاز سوز را شامل چهار خاصیت عدد اکتان، دمای شعله آدیاباتیک، عملکرد موتور و آلایندگی در نظر بگیریم، در این صورت باید مشخصات حوزه های سوخت گازطبیعی ایران را به سه دسته کلی تقسیم کنیم

الف ـ مقدار متان: متان هیدرو کربنی است که دارای بالاترین عدد اکتان می باشد [۱۰] ب ـ مقدار هیدرو کربنهای سنگین : وجود هیدرو کربنهای سنگین تر عدد اکتان را کاهش و از نظر عملکرد موتور نیز فشار و دما را افزایش می دهد.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

در عین حال باعث افزایش دمای شعله آدیاباتیک می گردد. اکسیدهای ازت نیز به علت بالا رفتن دما افزایش می یابند.
پ ـ وجود نیتروژن : باعث کاهش عدد اکتان، کاهش دمای شعله آدیاباتیک و کاهش دما، فشار پیک موتور و افزایش آلاینده No_x می گردد.

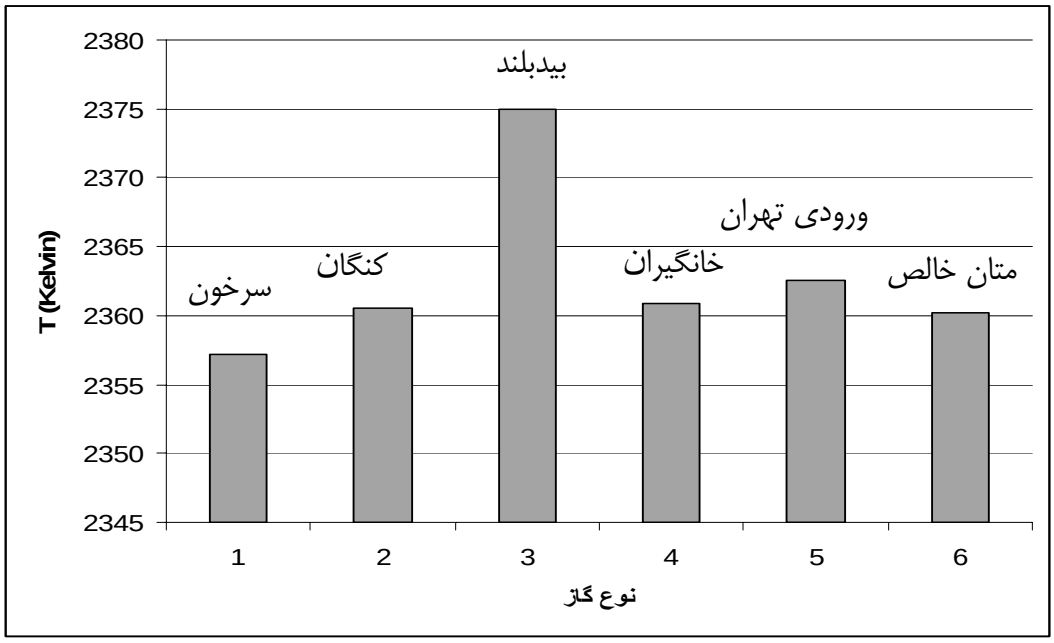
جدول (۳) خواص حوزه های گاز ایران را به صورت ترکیبی از عوامل فوق نشان می دهد. به عنوان مثال حوزه خانگیران با ۹۸/۵٪ متان و مقادیر هیدرو کرینهای سنگین بسیار کم و نیتروژن کم دارای بالاترین عدد اکتان و دمای شعله آدیاباتیک متوسط و کمترین مقدار بیشینه فشار و دما و پایین ترین مقدار اکسیدهای ازت می باشد. حوزه گاز بید بلند به علت وجود مقادیر کم متان و مقادیر زیاد هیدرو کربنهای سنگین و مقادیر کم نیتروژن دارای عدد اکتان کم و بیشترین پیک فشار و دما و مقادیر اکسید ازت نسبتا زیاد می باشد. ورودی گاز تهران به علت وجود مقدار کم متان و مقادیر زیاد هیدرو کربنهای سنگین و مقادیر زیاد نیتروژن دارای بیشترین مقدار آلایندگی می باشد. مقادیر زیاد این آلاینده باعث ایجاد مشکلات زیست محیطی برای انسانها و کشتهای کشاورزی و الیاف مصنوعی می شود.

جدول ۳ : مقایسه خواص سوخت گاز حوزه های مختلف ایران

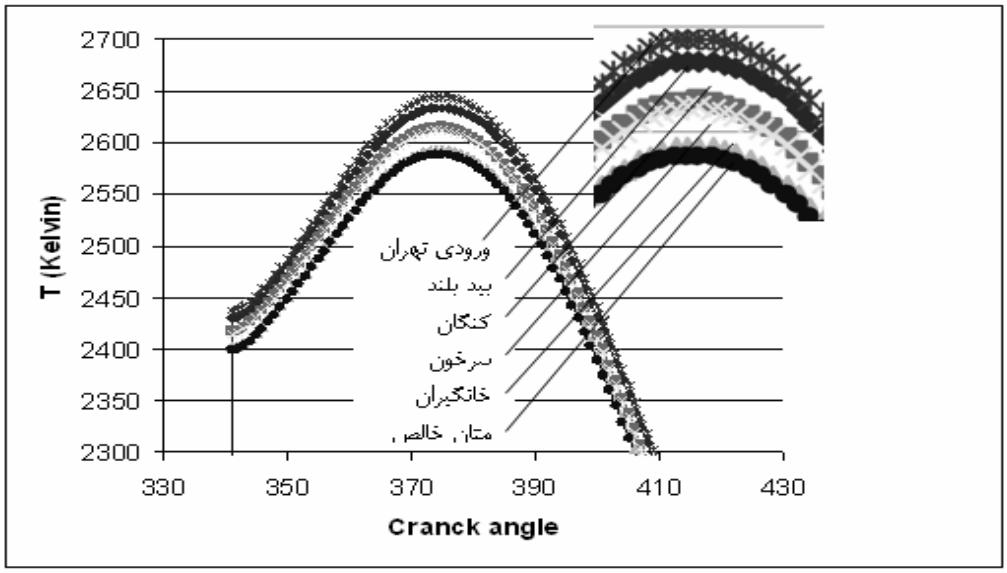
نام حوزه	عدد اکتان	دمای شعله آدیاباتیک	|پیک فشار و دما	آلاینده NO_x
کنگان	متوسط	متوسط	متوسط	متوسط
بید بلند	بسیار خوب	بالاترین	بالا	بالا
خانگیران	عالی	متوسط	کم	کم
سرخون	متوسط	کم	متوسط	متوسط
ورودی تهران	خوب	بالا	متوسط	بالا ترین
متان خالص	بهترین	متوسط	کم	کم

شکل ۱: مقایسه دمای شعله آدیاباتیک گازهای تشکیل دهنده گاز طبیعی

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

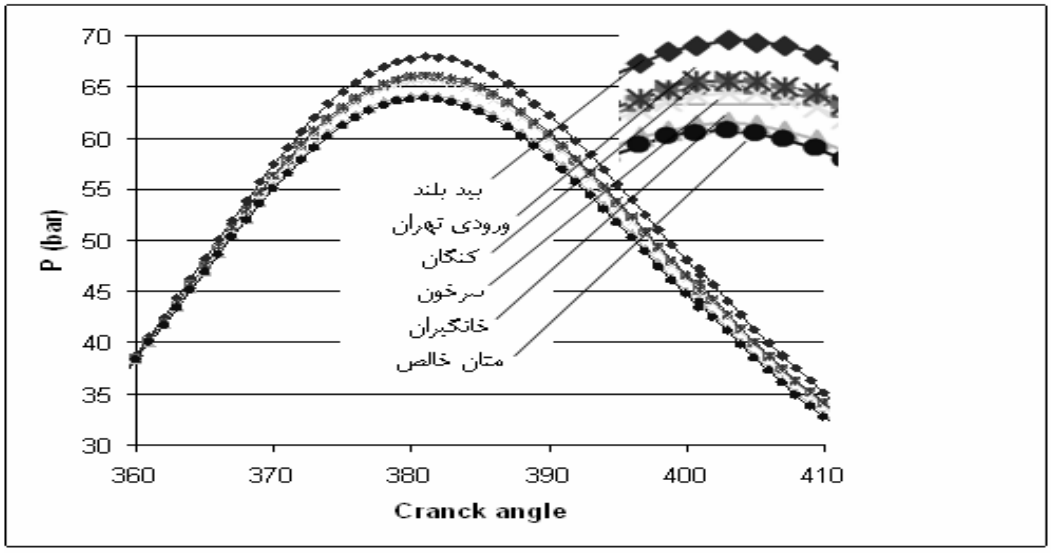


شکل ۲: مقایسه دمای شعله آدیاباتیک حوزه های گاز ایران (دما ۵۰ درجه و استوکیومتریک)

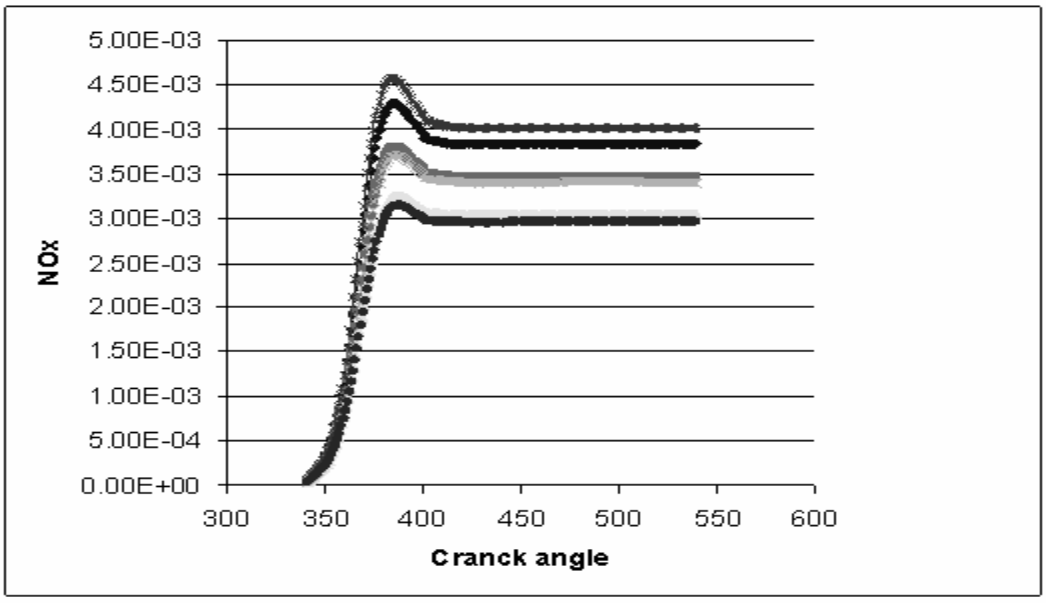


شکل ۳: نمودار نظری $(P-\theta)$ برای موتور 135Ti

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]



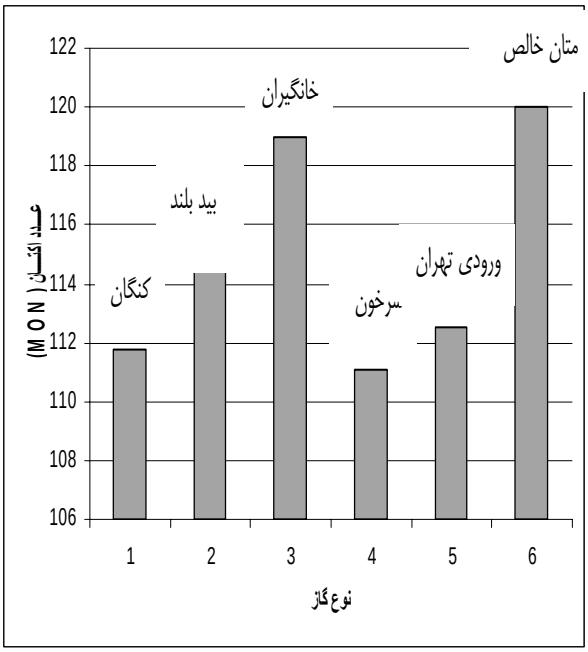
شکل ۴: نمودار نظری ($T-\theta$) برای موتور 135Ti



شکل ۵: نمودار نظری آلاینده NO_X برای موتور 135Ti برای حوزه های گاز مختلف ایران (نسبت تراکم ۱۱ و ۱=λ)

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

ردیف	حوزه گازی	عدد اکتان (MON)	عدد اکتان (RON)
۱	کنگان	۱۱۱۸	۱۱۱,۸
۲	بید بلند	۱۱۵,۳	۱۱۷,۴
۳	خانگیران	۱۱۹	۱۱۹,۲
۴	سرخون	۱۱۱,۱	۱۱۱,۸
۵	ورودی تهران	۱۱۲,۵	۱۱۳,۵
۶	متان خالص	۱۲۰	۱۲۰



شکل ۶: مقادیر عدد اکتان برای حوزه های گاز مختلف ایران

منابع

[۱] پژوهشگاه صنعت نفت، واحد تجزیه فیزیکی، شیمیائی و استاندارد آزمایشگاه گازها و سیالات نفتی، ۱۳۷۹

[2] Caillol.C et al," A combustion model for analyzing the effects of natural Gas Composition on the Operating of a Spark Ignition Engine", SAE paper 2002-01-2236.

[3] poorva Agarwal –" Modeling the Effect of Natural Gas Composition on Ignition Delay Under Compression Ignition Conditions", SAE paper 971711,1997.

[4] Nigel N. Clark, "Effect of Fuel Composition on the Operation of a Lean-Burn Natural Gas Engine", SAE paper 952560,2001.

[۵] جزایری، سیدعلی. شبیه سازی موتورهای اشتعال جرقه ای با سوخت گاز طبیعی (NG) و مقایسه عملکرد انواع گاز طبیعی موجود در کشور ،مجله تحقیقات موتور، زمستان و بهار ۸۴-۸۵.

[۶] هیملبلاو، دیوید، اصول بنیانی و محاسبات در مهندسی شیمی، ترجمه مرتضی سهرابی، ۱۳۶۶.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]

[۷] سالکی حاصل قوبی، نوریه، بررسی تئوری و تجربی موازنه حرارتی موتور OM 355 در حالت صد در صد گازسوز و (OM355G-CNG) و مقایسه آن با موتور دیزلی پایه، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز. ۱۳۸۰

[۸] رستمی، محمدرضا. پایاننامه کارشناسی ارشد ، مدل نشر آلاینده ها در موتورهای اشتعال جرقه ای (SI) با سیکل باز ، دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز ، ۱۳۷۸

[۹] غفار زاده ، سعید. بررسی پدیده پس زدن شعله در موتور گاز سوز Ti ۱۳۵ ، پایاننامه کارشناسی ارشد – دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه تبریز، ۱۳۸۲

[10] Ferguson Coline and Allan,T Kirkpatrick Internal Combustion Engines Colorado state university, 2001.

[Downloaded from necjournals.ir on 2026-06-10]