



بررسی آزمایشگاهی تاثیر دمای سیال EGR بر راندمان قانون دوم ترمودینامیک در موتورهای دیزل سبک

محمد/ابراهیم فیض
 دانشجوی کارشناسی - دانشگاه فردوسی مشهد
 ebi_12704@yahoo.com

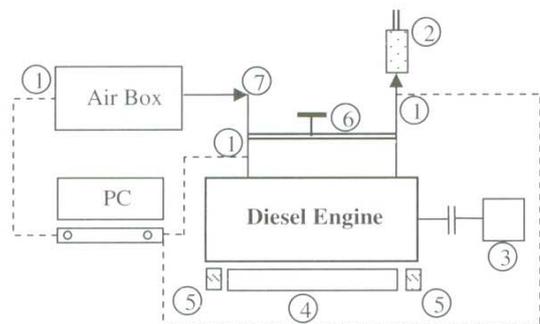
امیر جوهرچی
 دانشجوی کارشناسی ارشد - دانشگاه فردوسی مشهد
 ajoharchi@gmail.com

محسن قاضی‌حانی
 دانشیار - دانشگاه فردوسی مشهد
 m_ghazikhani@yahoo.com

به مرحله بعد ثابت میماند. در این آزمایش برای محاسبه درصد جرمی بازگشتی به موتور از روابط ترمودینامیکی استفاده شده است که با فرض ثابت بودن حجم ورودی به موتور، توسط یک حلقه تکرار و بوسیله نرم افزار MATLAB جرم دود بازگشت یافته به موتور محاسبه میشود.

مشخصات بستر آزمایش

بستر آزمایش متشکل از یک موتور دیزل سبک، دینامومتر برای اعمال و اندازه‌گیری بار بر روی موتور، مخزن هوا مجهز به اریفیس جهت اندازه‌گیری دبی هوای ورودی به موتور و یونیت کامپیوتری برای اندازه‌گیری دماهای اگزوز، هوای ورودی به مخزن هوا، هوای ورودی به موتور و سرعت دورانی موتور، سیستم خنک‌کن شامل دو عدد روتامتر، لوله بازگشت دود از نوع پر فشار بدون میان سرد کن به همراه یک شیر کنشویی^۲ جهت تنظیم میزان بازخورانی شده به موتور می باشد.



- | | |
|-----------------------|--|
| ۱- ترموکوپل | ۵- روتامتر |
| ۲- اگزوز و منبع اگزوز | ۶- لوله بازگشت دود به موتور و شیر تنظیم آن |
| ۳- دینامومتر | ۷- مانیفولد ورودی |
| ۴- رادیاتور | |

شکل ۱- بستر آزمون

مشخصات موتور مورد آزمایش :

مدل: پوکینز ۴/۱۰۸ دیزل	سرعت ماکزیمم ۴۵۰۰ rpm
قطر سیلندر: ۷۹/۸ میلی متر	ماکزیمم قدرت: ۲۸ کیلووات
کورس پیستون: ۸۸/۹ میلی متر	نسبت تراکم ۱:۲۲
حجم جاروب شده: ۱۷۶۰ سی سی	

چکیده

روش های اخیر بررسی موتورهای احتراق داخلی دیگر تنها در قالب قانون اول ترمودینامیکی نبوده و از دیدگاه قانون دوم ترمودینامیکی نیز بررسی می شود. تحلیل از نگاه قانون دوم کمک می کند که بخش های مختلفی از موتور که موجب هدررفت انرژی می شود اصلاح شده و مصرف سوخت در موتورها بهینه شود. از آنجا که استفاده از روش بازگشت دود برای کاهش آلایندگی NO_x در موتورهای دیزلی بسیار متداول است در این تحقیق کوشش شده تا تاثیرات دما و میزان بازگشت دود روی اتلاف انرژی در موتور دیزل بررسی شود. نتایج نشان می دهد که با اضافه کردن به درصد جرمی دود بازگشت یافته به موتور و افزایش دمای سیال EGR راندمان قانون دوم در سرعتها و بارهای مختلف بصورت عمومی کاهش پیدا می کند.

کلمات کلیدی: موتور دیزل، قانون دوم ترمودینامیک، بازگشت دود به موتور

مقدمه

از آنجایی که موتورهای دیزل به دلیل داشتن حجم جایجایی بالاتر نسبت به موتورهای بنزینی هم تراز خود دارای راندمان حرارتی بیشتری هستند همواره در جهت بهبود کارایی این موتورها تلاش های زیادی صورت گرفته است [۱]. از جمله این تلاش ها استفاده از روش بازگشت دود^۱ به موتور جهت کاهش آلایندگی NO_x در موتور دیزل می باشد. روش بازگشت دود با کاهش تمرکز اکسیژن در محفظه احتراق موجب کاهش دمای شعله شده و ترکیبات نیتروژن در خروجی کاهش میابد [۱]. باید به این نکته نیز توجه کرد که استفاده از روش EGR عملکرد موتور هم تحت تاثیر قرار می گیرد. از این رو در وهله اول باید تاثیر EGR بر روی عملکرد موتور دیزلی مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد [۲]. بررسی قانون دوم ترمودینامیکی در موتورهای احتراقی از جهات مختلفی دارای اهمیت است که برخی از آنان شامل این موارد میباشد:

یافتن بخشهایی از موتور که موجب اتلاف انرژی میشود، بررسی تاثیر طراحیهای مختلف موتور روی هدر رفت انرژی، پیشنهاد روشهایی برای کاهش اتلاف انرژی. در این پژوهش سعی بر آن شده است که توسط مشاهدات آزمایشگاهی تاثیر استفاده از سیستم بازگشت دود به موتور روی راندمان قانون دوم موتور بررسی شده و روند تغییرات انرژی نسبت به پارامترهای مختلفی از جمله میزان دود بازگشتی، دمای سیال EGR، گشتاور موتور و سرعت دورانی موتور مورد مطالعه قرار بگیرد.

روش انجام آزمایش

این آزمایش در ۲۷ مرحله، در سه دور مختلف ۱۵۰۰، ۲۰۰۰ و ۳۰۰۰ دور بر دقیقه انجام شده است. در هر دور مشخص، آزمایش با سه گشتاور مختلف ۵۰٪، ۷۵٪ و ۱۰۰٪ از حداکثر گشتاور موتور در منحنی عملکرد و با سه درصد جرمی صفر، ۱۰٪ و ۲۰٪ در صورت پذیرفته است. لازم به ذکر است در هر مرحله از انتخاب گشتاور دبی جرمی پاشش سوخت به موتور تنظیم شده و تارسیدن

² Gate Valve

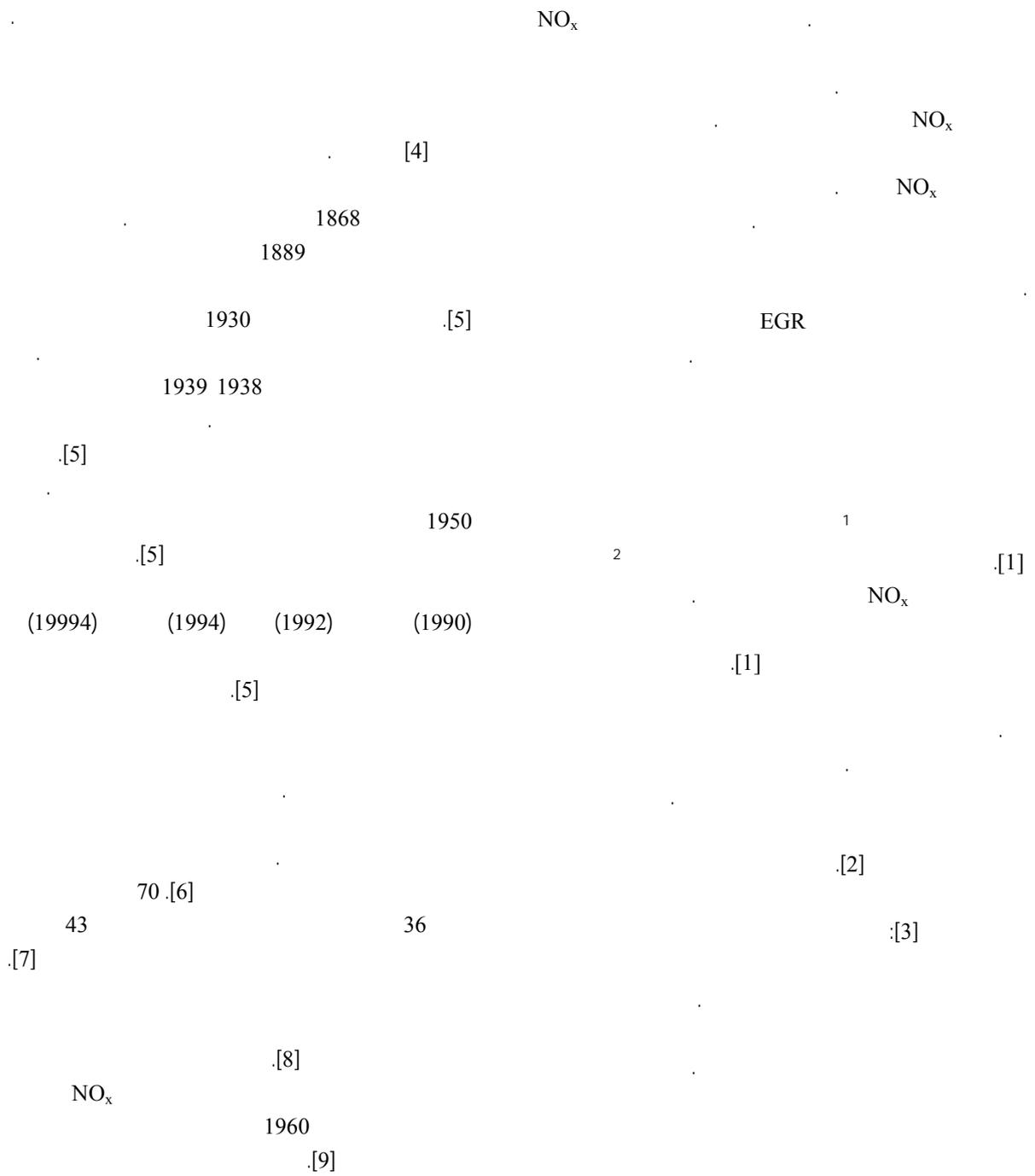
¹ EGR (Exhaust Gas Recirculation)

EGR

محمد ابراهیم فیض
دانشجوی کارشناسی - دانشگاه فردوسی مشهد
ebi_12704@yahoo.com

امیر جوهرچی
دانشجوی کارشناسی ارشد - دانشگاه فردوسی مشهد
ajoharchi@gmail.com

محسن قاضی خانی
دانشیار - دانشگاه فردوسی مشهد
m_ghazikhani@yahoo.com



¹ Effectiveness
² EGR (Exhaust Gas Recirculation)

ICICE-6-1221

مدل: پرکینز 4/108 دیزل سرعت ماکزیمم 4500 rpm
 قطر سیلندر: 79/8 میلی متر ماکزیمم قدرت: 28 کیلووات
 کورس پیستون: 88/9 میلی متر نسبت تراکم 1:22
 حجم جاروب شده: 1760 سی سی

DDX rpm 7500 112
 500 5000
 15

3

()

50

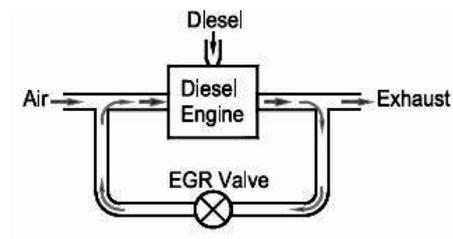
1

1

Lit/min	1	()
mmHg	5	()
mm	1	
°C	0/01	
	0/1	
%	1	
mmHg	1	()
N/m	1	
rpm	0/1	
°C	2	
°C	5	
°C	5	

[1]

1



:1

1950

NO_x

[10]

EGR

[11]

EGR [12]

EGR [13]

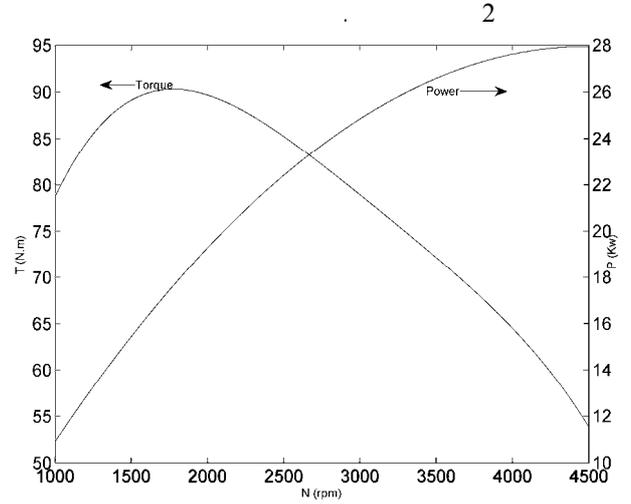
[14]

EGR

[15]

EGR

EGR [16]



شکل 2: نمودار تجربی مشخصه موتور دیزل

$$\varepsilon = \frac{A_{exh} + W_{br}}{A_{fuel} + A_{air}} \quad (2)$$

$$W_{br} = T(N.m) \times \omega(rad/s) \quad (3)$$

$$A_{exh} = \dot{m}_{exh} \times b_{exh} \quad (4)$$

$$\dot{m}_{exh} = \dot{m}_f + \dot{m}_{air} \quad (5)$$

2

$$\dot{m}_a = 0.00001232D^2 \sqrt{\frac{H_0 P_a}{T_a}} \quad (6)$$

[18]

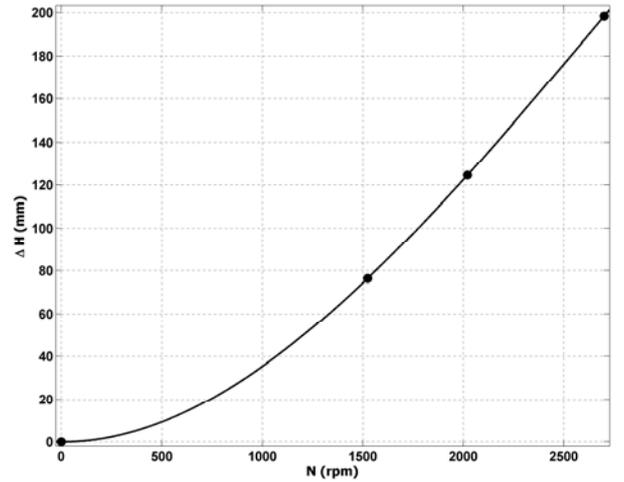
$$b_{exh} = (h_{exh} - h_0) - T_0 \left(s_{exh}^T - s_o^T - R \ln \frac{P_0}{P_{exh}} \right) \quad (7)$$

[18]

$$A_{air} = \dot{m}_{air} \times b_{air} \quad (8)$$

$$b_{air} = (h_{air} - h_0) - T_0 (s_{air} - s_0) \quad (9)$$

(3) Δh



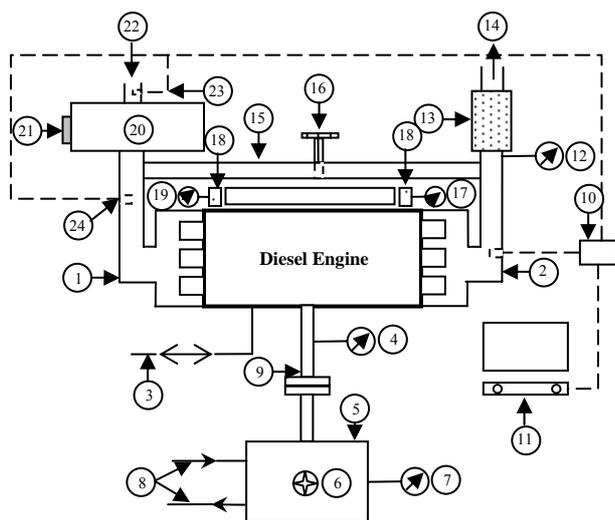
3

$$\Delta h = -5.56 \times 10^{-9} N^3 + 4.208 \times 10^{-5} N^2 + 0.0004N - 4.02 \times 10^{-6} \quad (1)$$

MATLAB

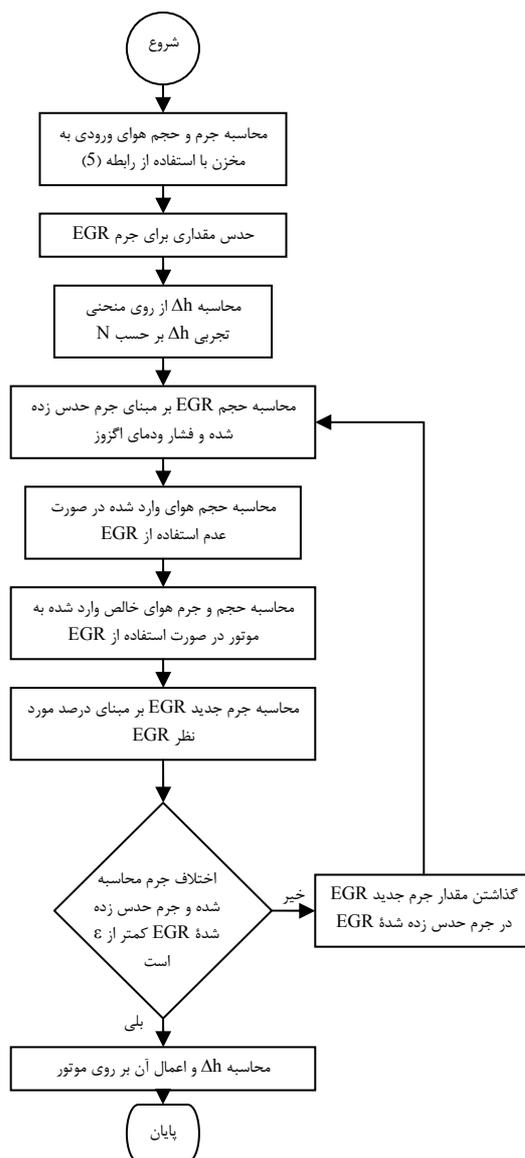
Δh

4



- | | |
|---|--|
| 1- مانیفولد هوا | 16- شیر بازخورانی گازهای |
| 2- مانیفولد دود | اگزوز |
| 3- لوله‌های رفت و برگشتی سوخت | 17- دماسنج آب ورودی به رادیاتور |
| 4- سنسور دورسنج | 18- دبی سنج |
| 5- دینامومتر | 19- دماسنج آب خروجی از رادیاتور |
| 6- محور بارگذاری دینامومتر | 20- مخزن هوا |
| 7- نشان دهنده گشتاور دینامومتر | 21- اریفیس |
| 8- لوله‌های ورود و خروج آب به دینامومتر | 22- هوای محیط وردی به مخزن هوا |
| 9- گاردان | 23- ترموکوپل اندازه‌گیری دمای هوای ورودی به مخزن هوا |
| 10- برد اینترفیس | 24- ترموکوپل اندازه‌گیری دمای هوای ورودی به موتور (پس از اختلاط با گازهای اگزوز) |
| 11- کامپیوتر | بازخورانی شده) |
| 12- فشارسنج گازهای اگزوز | |
| 13- منبع اگزوز (صدا خفه‌کن) | |
| 14- خروجی اگزوز به محیط | |
| 15- لوله بازخورانی گازهای | |

شکل 5: بستر آزمون اگزوز



شکل 4: الگوریتم محاسبه درصد جرمی گازهای بازخورانی شده

[18].

$$a_{fch} = LHV \left[1.0401 + 0.01728 \frac{y}{z} + 0.0432 \frac{p}{z} \right] \quad (12)$$

$$+ 0.2196 \frac{q}{z} \left(1 - 2.0628 \frac{y}{z} \right)$$

() :[23]

$$a_{fch} = LHV \left(1.04224 + 0.011925 \frac{y}{z} - \frac{0.042}{z} \right) \quad (13)$$

مشخصات سوخت مورد استفاده بدین شرح است:

- | | |
|--------------------|------------------------|
| نوع سوخت: | دیزل سبک |
| وزن ملوکولی: | 170 |
| فرمول شیمیایی: | $C_nH_{1.8n} (l)$ |
| چگالی: | 0.84 gr/cm^3 |
| گرمای ویژه: | 2.2 KJ/Kg. K |
| ارزش حرارتی پایین: | 43.2 MJ/Kg |

[19]

$$A_f = \dot{m}_f (b_f + a_{chf}) \quad (10)$$

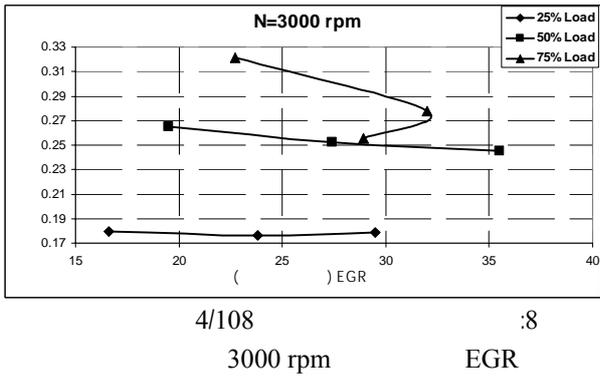
:[18]

$$b_f = C_f (T_f - T_0) - C_f L_n \left(\frac{T_f}{T_0} \right) \quad (11)$$

[22]

Styrylska Szargut

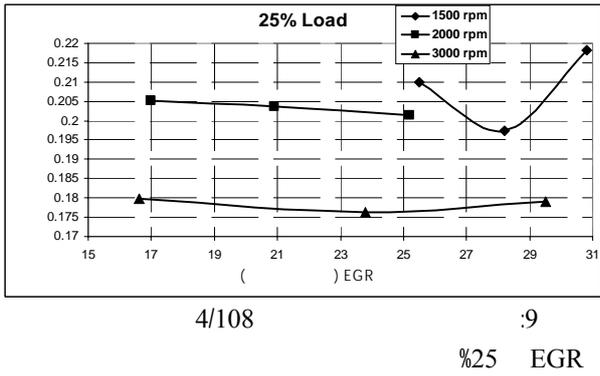
$C_2H_4O_pS_q$



: [24]

$$C_f = \frac{P_{s,d}}{P_m - P_{v,m}} \left(\frac{T_m}{T_s} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (14)$$

: [24]

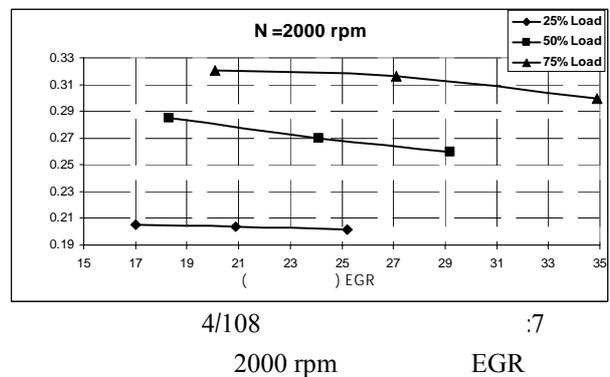
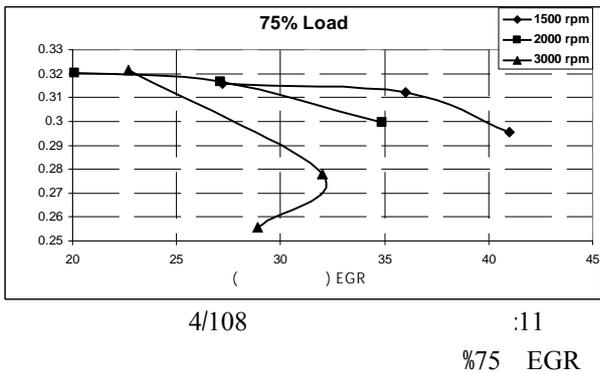
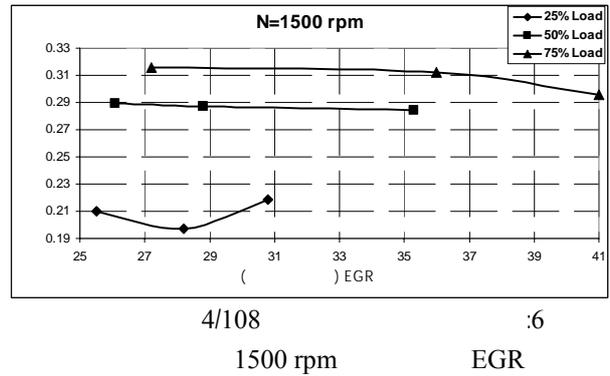
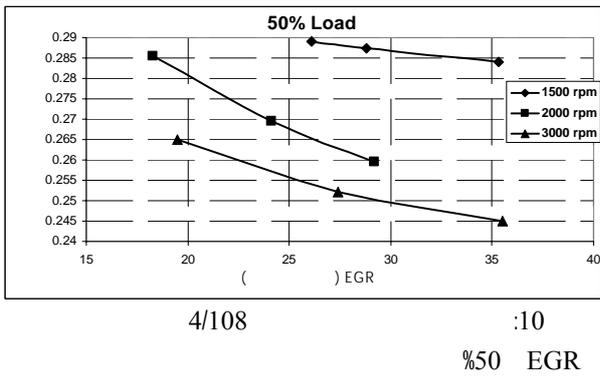


:2

Dry air pressure	Water vapour pressure	Temperature
736.6 mmHg 29.00 inHg	9.65 mmHg 0.38 inHg	29.4°C 85°F

بررسی و تحلیل نتایج

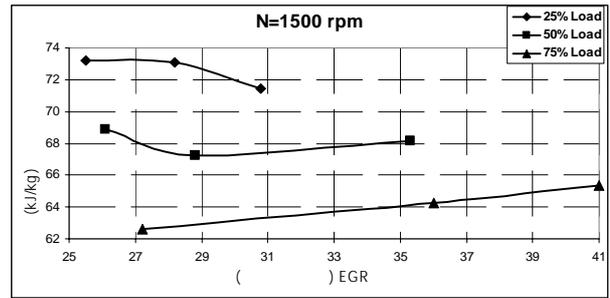
3000 2000 1500
75 50 25



12 6
%25 1500 rpm)

EGR

TDC



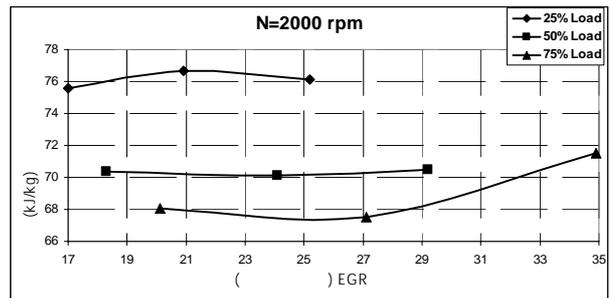
EGR

:12

1500rpm

EGR

EGR



EGR

:13

2000rpm

W
A
b
h
s
 \dot{m}

نرخ کار
آگزژی
آگزژی جریان
آنتالپی
آنتروپی
دبی جرمی

P
T

فشار
دما

ϵ

راندمان قانون دوم

C

گرمای ویژه

H

ارتفاع آب در اریفیس

ω

سرعت دورانی

زیر نویس ها

br

ترمزی

out

خروجی

in

ورودی

f

سوخت

ch

شیمیایی

exh

آگزوز

0

محیط

A

هوا

S

استاندارد

D

هوای خشک

m

شرایط محیطی

11 6

EGR

14 13 12

EGR

EGR

[16] L.M. Das, R. Mathur "Exhaust gas recirculation for No_x control in a multicylinder hydrogen-supplemented S.I. engine" International Journal of Hydrogen Energy , Vol. 18, pp. 1013-1018, 1993.

[17] PLINT Air Consumption measurement Model TE40 User Manual

[18] K. Wark "Advanced thermodynamics for Engineers, McGraw Hill Inc, 1995.

[19] Flynn PF, Hoag KL, Kamel MM, Primus R.J., "A new perspective on diesel engine evaluation based on second law analysis" SAE paper no. 840032. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers Inc; 1984.

[20] Szargut J, Styrylska T. "Angenährte bestimmung der exergie von brennstoffen" Brennst-Wärme-Kraft 1964;16:589-96.

[21] Rodriguez L. "Calculation of available-energy quantities. In: Gaggioli RA, editor. Thermodynamics: second law analysis". Washington, DC: American Chemical Society Symposium; p. 39-59, 1980.

[22] Stepanov Vs. "Chemical energies and exergies of fuels" Energy, Vol. 20:235-42, 1995.

[23] Moran MJ. "Availability analysis: a guide to efficient energy use" New Jersey: Prentice-Hall; 1982.

[24] Heywood JB. Internal combustion engine fundamentals. New York: McGraw-Hill; 1988

v

بخار آب

بالانویسها

T

مولفه گرمایی

:

[1]- Ming Zheng, Graham T. Reader, J. Gary Hawley, "Diesel engine exhaust gas recirculation- a review on advanced and novel concepts", Energy conversion & Management, 45 (2004) 883-900

[2] Moran MJ, Shapiro HN. Fundamentals of engineering thermodynamics. New York: Wiley; 2000.

[3] C.D. Rakopoulos , E.G. Giakoumis, "Second-law analyses applied to internal combustion engines operation" Progress in Energy and Combustion Science, Vol. 32, pp. 2-47, 2006.

[4] Caton JA. "A review of investigations using the second law of thermodynamics to study internal-combustion engines" SAE paper no. 2000-01-1081. Warrendale, PA: Society of Automotive Engineers Inc; 2000.

[5] Kotas, T.J. "The exergy analysis of thermal plants" Kreiger publishing company Florida, 1995.

[6] Arthur C.Stern, "Air pollution" Vol. 5, Air quality management, Third edited, Academic Press inc.

[7] Degobert, "Automobiles and pollution" Edition Technip paris, France. 1995.

[8] Stoker, H.S., Seoger, S.L. "Environment chemistry: air and water pollution" Scott, foresman and company Glenview, Illinois. 1972.

[9] Ladomatos, N., Abdelhalim, S.M. and Zhao, H. "Effect of exhaust gas recirculation temperature on diesel engine combustion and emissions" Journal of Automobile Engineering. Vol. 212, 1998.

[10] Rosen M.A. "Clarifying thermodynamics efficiencies and losses via exergy" Exergy an international journal, Vol. 2, 3-5, 2002

[11] D.T. Hountalas, G.C. Mavropoulos, K.B. Binder. "Effect of exhaust gas recirculation (EGR) temperature for various EGR rates on heavy duty DI diesel engine performance and emissions" Energy, Vol. 33, pp. 272-283, 2008.

[12] Alain Maiboom, Xavier Tauzia, Jean-François Hétet, "Experimental study of various effects of exhaust gas recirculation (EGR) on combustion and emissions of an automotive direct injection diesel engine" Energy, Vol. 13, pp. 22-34, 2008.

[13] S. Aldajah, O.O. Ajayi, G.R. Fenske, I.L. Goldblatt, "Effect of exhaust gas recirculation (EGR) contamination of diesel engine oil on wear" 16th International Conference on Wear of Materials , 2007.

[14] Selim, M. Y. E., "Effect of exhaust gas recirculation on some combustion characteristics of dual fuel engine" Energy Conversion and Management, Vol. 44, pp. 709-723, 2003.

[15] O. Angrill, H. Geitlinger, T. Streibel, R. Suntz, H. Bockhorn, "Influence of exhaust gas recirculation on soot formation in diffusion flames ; Symposium (International) on Combustion, Vol. 28, pp. 2643-2649, 2000.