

بررسی تأثیر تغییر رفتار سامانه خنک کاری موتور 457-LA بر عملکرد آن

لطف الله سوادکوهی*

استادیار پژوهشکده مکانیک، سازمان پژوهش‌های علمی و صنعتی ایران
savadkohi@irost.org

* نویسنده مسئول/تاریخ دریافت: ۸۸/۴/۱۰ تاریخ پذیرش نهایی: ۸۸/۱۱/۱۴

چکیده

در این تحقیق تأثیر تغییر رفتار سامانه خنک کاری موتور گازوئیلی 457-LA با بهره گیری از امکانات پژوهشی تهیه شده بر روی بستر آزمون، مجهز به لگام ترمز^۱ ادی کارنت 400W بررسی شده است. برداشت غیر تخصصی از هنجار گرمائی موتور موجب شده که در بازار مصرف تصور بر این است، که با کاهش دمای آب خنک کننده در گردش موتور، می توان به عملکرد بهینه و طول عمر آن افزود. مطالعات نظری و آزمون‌های تجربی انجام شده در این پژوهش نشان می دهد که هرگونه دست کاری در سامانه خنک کاری، به ویژه کاهش دمای آب خنک کننده، موجب افزایش تنش های مکانیکی ناشی از تغییر روا داشت های مجاز در شرایط زیر بار موتور گشته، و همچنین با افزایش میزان مصرف سوخت و آلایندگی، زمینه های حالت های پس سوز و تنش های حرارتی و خوردگی در سامانه تخلیه را پیش خواهد آورد. در نتایج تجربی این تحقیق، کاهش توان و گشتاور اندازه گیری شده در حالت کاهش دمای آب خنک کننده، به شکل معنی دار مشاهده شده است. در مقابل با افزایش محدود دمای آب در گردش در صورت بهره گیری از سوخت گازوئیلی، استاندارد و بهینه، می توان به شاخصه های برتری از توان، گشتاور، مصرف سوخت و آلایندگی دست یافت.

های گرمائی اتلاف شده از طریق آب و روغن و دود و کار مؤثر دریافتی از محور موتور را منفی در نظر می گیرد.

موتور 457-LA که در تحقیق حاضر بر روی بستر آزمون به تجهیزات تنظیم حرارت اتلاف شده از طریق آب و روغن تجهیز گردیده، موتوری است ۶ استوانه گازوئیلی با پاشش مستقیم با قطر استوانه $b = 128 \text{ mm}$ و طول مسیر سمبه^۲ $S = 150 \text{ mm}$ و نسبت تراکم $\epsilon = 17.25:1$ ، که مطالعات انجام شده بر روی موتور تک استوانه، از دیدگاه موازنه انرژی برای موتور 457-LA به عنوان شاهد در نظر گرفته می شود. براین اساس معادلات موازنه انرژی بر مبنای اندازه گیری های انجام شده در میزان جریان و دمای سیال آب و روغن بدین شرح است.

$$Q_{\text{water}}^{\circ} = (mc_p)_{\text{water}} (T_3 - T_4) \quad (1)$$

$$Q_{\text{oil}}^{\circ} = (mc_p)_{\text{oil}} (T_1 - T_2) \quad (2)$$

1 - Dynamometer
2 - Cylinder
3 - Piston

کلیدواژه ها: بازده تنفسی، مبدل حرارتی، کوبش گازوئیلی، شار گرمایی، تنش حرارتی، مبدل واکنش گر

۱- مقدمه

■ نخست لازم است مطالعات انجام شده منطبق با موضوع تحقیق را [۱ و ۲] بر روی یک موتور تک استوانه^۲ با تزریق مستقیم با قطر استوانه 146 mm و طول مسیر سمبه $S = 152/4 \text{ mm}$ و نسبت تراکم بررسی کنیم.

در این تحقیق با طراحی بستر آزمون شکل (۱) مقادیر انتقال حرارت و اتلاف انرژی از سامانه خنک کننده و مدار آب و روغن و مجموعه مجرای دود و هوای ورودی همراه با اندازه گیری کار مؤثر خروجی از محور موتور اندازه گیری و با محاسبات ساده، موازنه انرژی در موتور استخراج گردیده است.

در تحلیل معادلات موازنه انرژی [۸] گرمای دریافتی از محیط و خارج شده به محیط تحت عنوان Q_{amb} و دمای ورودی از طریق هوا و سوخت ورودی را مثبت و انرژی

$$Q^{\circ}_{in} = (m^{\circ}h)_{air} + (m^{\circ}h)_{fuel} - m^{\circ}_{ex}h_{ex}(T_{amb}) \quad (8)$$

در جدول (۱) نتایج حاصل از موازنه انرژی [۶] برای موتور تک‌استوانه دیزل تزریق مستقیم اصلی ارائه شده است. آزمون در شرایط استاندارد محیط $T=23^{\circ}C$ و $P=1/0.1$ bar اجرا شده است و کلیه مقادیر متعلق به نرخ انرژی براساس پارامتر Q°_{in} مرتب شده است. برای محاسبه اتلاف حرارت از معادله زیر استفاده شده است.

$$Q^{\circ}_{loss} = Q^{\circ}_{water} + Q^{\circ}_{oil} + Q^{\circ}_{ex} + W_{friction} \quad (9)$$

$W_{friction}$ ، کار تلف شده از طریق اصطکاک اجزاء موتور با حرکت نسبی می‌باشد. در جدول شماره (۱) در دور میانی ۱۸۰۰ rpm و ۲۷۰۰ rpm که متعلق به دور گشتاور بیشینه و توان بیشینه در شرایط تمام بار است میزان اتلاف انرژی در موتور و کار دریافتی از محور آمده است. کل انرژی ورودی به موتور از طریق سوخت و هوا در احتراق کامل ۱۰۰ درصد فرض شده است. نمودار حاصل از این تحقیق به روشنی تحت عنوان موازنه انرژی در موتور ترسیم شده است. برای موتور گازوئیلی با پاشش مستقیم میزان انرژی گرمایی مفید برای تبدیل به کار مکانیکی یا همان بازده مؤثر در هر استوانه حدوداً ۳۰٪-۲۰٪ خواهد بود.

جدول ۱ موازنه انرژی در موتور دیزل تزریق مستقیم در شرایط بار کامل در دورهای اسمی

N (rpm)	$Q^{\circ}_{exhaust}$ (%)	$Q^{\circ}_{coolant}$ (%)	$Q^{\circ}_{Radiation}$ (%)	w°_{shaft} (%)
۱۸۰۰	۳۰	۳۰	۱۰	۳۰
۲۷۰۰	۳۲	۲۸	۱۲	۲۸

شرایط آزمون ثابت نگهداشتن دمای آب خنک‌کننده خروجی از موتور در محدوده $10^{\circ}C$ و دمای محیط $30^{\circ}C$ می‌باشد. در این شرایط میزان تلفات انرژی و انرژی مفید که در جدول (۱) آمده است بازده بهینه موتور گازوئیلی چهار زمانه پاشش مستقیم را نشان می‌دهد.

در شکل شماره (۲) میزان تلفات انرژی گرمایی از طریق مجرای دود حدود ۳۰ تا ۳۲ درصد و از طریق آب خنک‌کننده ۲۸ تا ۳۰ درصد و تلفات انرژی گرمایی از طریق تشعشع بین ۱۰ تا ۱۲ درصد خواهد شد. نکته اصلی این نمودار تبادل درصدهائی از انرژی بین مراجع تلف کننده است که نمایانگر حساسیت مسئله و محدودیت های موجود در افزایش و یا کاهش هر یک از منابع اتلاف است. میزان و درصد انرژیهای سرگردان بین سه منبع اصلی اتلاف، بسته به تقویت یا تضعیف هر بخش احتمال گریز به بخش دیگر را خواهد داشت. این نکته مهم مورد مطالعه در تحقیق شاهد بر روی موتور تک‌استوانه گازوئیلی در آزمونهای تجربی انجام شده بر روی موتور 457-LA نیز حاکم است که جزئیات آن متعاقباً ارائه خواهد شد. موارد A تا G بدین شرح است.

- A: انرژی موجود در گازهای باقیمانده در استوانه از هر چرخه به چرخه بعد
- B: انرژی جذب شده توسط مخلوط تازه از دیوارها و محفظه موتور
- C: انرژی انتقالی از حاصل احتراق به سامانه خنک‌کننده
- D: انرژی حرارتی ایجاد شده ناشی از اصطکاک اجزاء
- E: انرژی تلف شده از تشعشع مجرای دود
- F: انرژی اتلافی از تشعشع سامانه خنک‌کننده
- G: انرژی تشعشعی از بدنه موتور

با اعمال قانون اول ترمودینامیک روی مجموعه موتور و با در نظر گرفتن اتلاف حرارت به هوای محیط

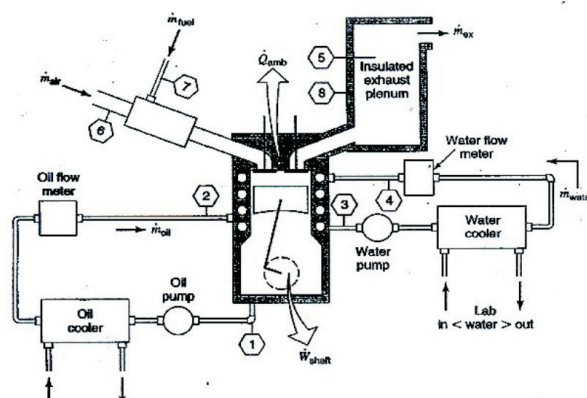
$$\left\{ \begin{aligned} Q^{\circ}_{amb} &= (m^{\circ}h)_{air} + (m^{\circ}h)_{fuel} - (m^{\circ}h)_{ex} \quad (3) \\ -Q^{\circ}_{water} - Q^{\circ}_{oil} - W^{\circ}_{shaft} \end{aligned} \right.$$

شار جرمی گازهای خروجی از مجموعه مجرای دود براساس مقادیر شار جرمی هوا و سوخت ورودی به سامانه تغذیه مشخص می‌گردد و از معادله (۴) محاسبه می‌شود.

$$m^{\circ}_{ex} = m^{\circ}_{air} + m^{\circ}_{fuel} \quad (4)$$

مقادیر آنتالپی متعلق به گازهای مجرای دود [۳] هوای ورودی و سوخت، براساس دماهای اندازه‌گیری شده T_7 و T_8 بدست آمده است، کیفیت مخلوط گازهای خروجی بر اساس رقت (نسبت هوا به سوخت) مخلوط ورودی به‌صورت نظری قابل محاسبه است.

نکته قابل توجه این است که دمای T_5 در واقع دمای متوسط گازهای خروجی می‌باشد که بدین منظور باید محفظه عایق‌بندی شده‌ای را در چندراهه خروجی تعبیه کرد. مسئله دیگر این است که باید با اندازه‌گیری دمای دیواره لوله تخلیه دود، انتقال انرژی تابش تعیین شود.



شکل ۱ بستر آزمون موازنه انرژی در موتور [۴]

دمای میانگین با معادله (۵) محاسبه شده است.

$$T_{ex} = T_5 + \frac{\epsilon\sigma}{h} (T_5^4 - T_8^4) \quad (5)$$

که در آن ϵ جزء خواص دمانگار است، σ ثابت استفان-بولتزمن و h ضریب هدایت حرارت می‌باشند. با مشخص شدن دمای متوسط گازهای خروجی و اعمال معادله موازنه انرژی، بیشترین مقدار اتلاف حرارت از طریق گازهای مجرای دود مشخص می‌شود:

$$Q^{\circ}_{ex} = m^{\circ}_{ex} [h_{ex}(T_{ex}) - h_{ex}(T_{amb})] \quad (6)$$

موازنه انرژی گرمایی ورودی و خروجی از موتور به محیط به شرح زیر می‌باشد.

$$Q^{\circ}_{amb} = Q^{\circ}_{in} - Q^{\circ}_{ex} - Q^{\circ}_{water} - Q^{\circ}_{oil} - W^{\circ}_{shaft} \quad (7)$$

که در آن با در نظر گرفتن بخشی از انرژی تشعشعی اگزوز به محیط میزان Q°_{in} محاسبه می‌شود و مقدار انرژی گرمایی ورودی به موتور نیز در نظر گرفته شده است:

الکترومغناطیسی و سامانه پایش و اندازه گیری گشتاور و موقعیت کشش در پیچه تغذیه می باشد. نظر به عمومی بودن این تجهیزات در شکل (۳) اجزاء پایشی هنجار گرمایی موتور شامل مبدل های حرارتی مدار آب خنک کننده و مدار روغن موتور که کارکرد اصلی را در این تحقیق به عهده دارند ارائه می شود. توان گرمایی مبدل خنک کننده مدار آب موتور و پایش دمای آن از مصرف سوخت بیشینه موتور از جدول شماره (۲) که معادل

$$Q_{H.E} = \frac{1.3 \times m_{fuel}^o \cdot H_i \cdot \zeta_{Q_{water}}}{60} \quad (10)$$

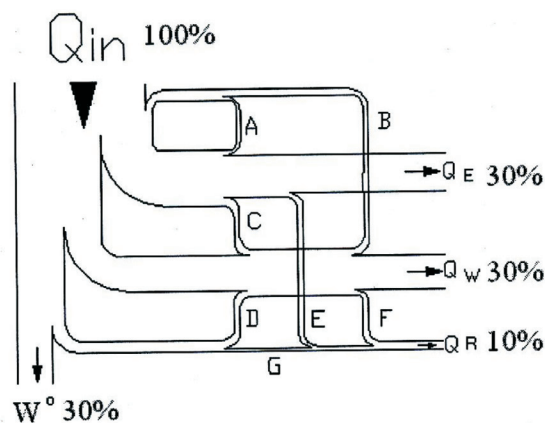
در معادله (۱۰) به ترتیب m جرم سوخت بیشینه مصرفی موتور LA-457 و H_i ارزش حرارتی پایینی گازوئیل معادل 9000 kCal/kg و $\zeta_{Q_{water}}$ درصد انرژی خروجی از طریق آب خنک کننده حدود ۳۰ درصد یا $1/3$ و ضریب اطمینان 0.3 می باشد. از این معادله، محدوده طراحی توان مبدل ها را برای این موتور تعیین نمودیم که به عنوان مثال برای مدار آب 2410 کیلوکالری بر دقیقه بدست می آید. مبدل حرارتی مدار آب خنک کننده موتور بر این مبنای طراحی و ساخته شد. طبق مطالعات انجام شده مبدل حرارتی در روغن تنظیم سیت می تواند معادل ۲۰ درصد مبدل حرارتی مدار آب طراحی گردد، یعنی برای مدار روغن موتور مبدلی به توان انتقال حرارت 520 کیلوکالری بر دقیقه طراحی گردید. پس از ساخت مبدل ها و نصب شیرالات برقی فرمان پذیر خودکار مجهز به مدار پایش (Actuator Valve) و حسگرهای دما، سنسجس دما انجام شد که در شکل (۲) توضیح اجزای تشکیل دهنده آن آمده است.

۴- آزمون موتور LA-457 در بارهای جزئی و هنجار گرمایی مختلف

پس از آزمون موتور LA-457 در شرایط تمام بار برای دستیابی به توان بیشینه، گشتاور و مصرف سوخت که طبق استاندارد ISO3046 انجام و در جدول شماره ۲ آورده شده و با مشخصات اصلی موتور مقایسه گردیده است، برای بررسی اثرات افزایش و کاهش دمای آب موتور بر عملکرد آن شرایط ضریب بار 70% که عملاً بنا بر کاربری موتور ضریب بار مستمر مداوم و یا بیشترین زمان کارکرد می باشد این تحقیق شکل گرفته است. نخست آزمون کامل موتور با استخراج منحنی های مشخصه شامل تغییرات توان و گشتاور و مصرف بر ساعت سوخت و هوا و مصرف ویژه با تثبیت دمای آب موتور در 100°C ، 120°C و 80°C و روغن در 70°C انجام شد و نتایج حاصل از عملکرد موتور در این سه حالت، مقایسه و تحلیل شد.

همزمان با تثبیت شرایط عملکرد موتور در ضریب بار 70% درصد نسبت به تغییرات دور موتور میزان آلایندهی سه گاز اصلی آلاینده شامل منواکسید کربن CO و هیدروکربن های نسوخته HC و اکسیدهای ازت اندازه گیری و برای سه حالت از دمای آب موتور با هم مقایسه گردید.

در جدول شماره (۳) عوامل عملکردی موتور شامل توان و گشتاور و مصرف ویژه سوخت و ضریب اضافه هوا همراه با میزان گازهای آلاینده موتور آورده شده است. در نمودار شماره ۲ منحنی های تغییرات متغیرهای اصلی موتور برای سه حالت از دمای آب خروجی از موتور ترسیم و بدین شرح تحلیل می گردد.



شکل ۲ توازن انرژی در موتور احتراق داخلی گازوئیلی پایش مستقیم [۶ و ۱]

۲- روش تحقیق

با آزمایش و ارزیابی موتور LA-457 در شرایط بار کامل بر روی بستر آزمون W400 مجهز به لگام ترمز ادی کارنت طبق استاندارد ISO3046 مشخصات عملکردی این موتور شامل توان، گشتاور، مصرف سوخت و مصرف هوا استخراج و با داده های اصلی موتور مقایسه می گردد. در خلال آزمایش دمای آب خنک کننده موتور در حدود 100°C و دمای روغن موتور در حدود 100°C نگهداشته شده است. ضریب بار اعمال شده برای استخراج جدول ۲ معادل 100% می باشد. در این تحقیق با بهره گیری از بستر آزمون مجهز به لگام ترمز ادی کارنت با قابلیت سنسجس متغیرهای ورودی و خروجی موتور و سنسجس آلاینده ها در حالت بار ثابت و دور متغیر منحنی های مشخصه موتور برای سه گام از دمای مدار آب خنک کننده موتور اندازه گیری و استخراج گردید.

هدف از این آزمون، تثبیت موتور در شرایط گشتاور بیشینه و توان بیشینه است تا میزان مصرف هوا و سوخت موتور به حداکثر لازم برسد و در این شرایط با ثابت نگهداشتن دمای روغن محفظه لنگ در حدود 70°C دمای آب خنک کننده را به دلخواه تثبیت می کنیم و اثر 20°C درجه ای افزایش یا کاهش هنجار گرمایی آب خنک کننده را بر عملکرد موتور بررسی می کنیم.

۳- آماده سازی بستر آزمون مجهز به لگام ترمز W400 به مبدل های حرارتی آب و روغن برای پایش هنجار گرمایی موتور LA-457

تجهیزات آزمایشگاهی موتور بکار گرفته شده برای این تحقیق شامل لگام ترمز ادی کارنت با توان 400 kW و دور 6000 rpm با قابلیت اجرای انواع مختلف آزمون موتور طبق استاندارد ISO3046 می باشد. تجهیزات اندازه گیری شامل مخزن آرامش و دستگاه سنسجس مصرف هوای موتور به روش سیم داغ (Hot wire)، دستگاه اندازه گیری جرمی مصرف سوخت و مجموعه دمانگار ۱۲ مجرای پایش دما و دورسنج

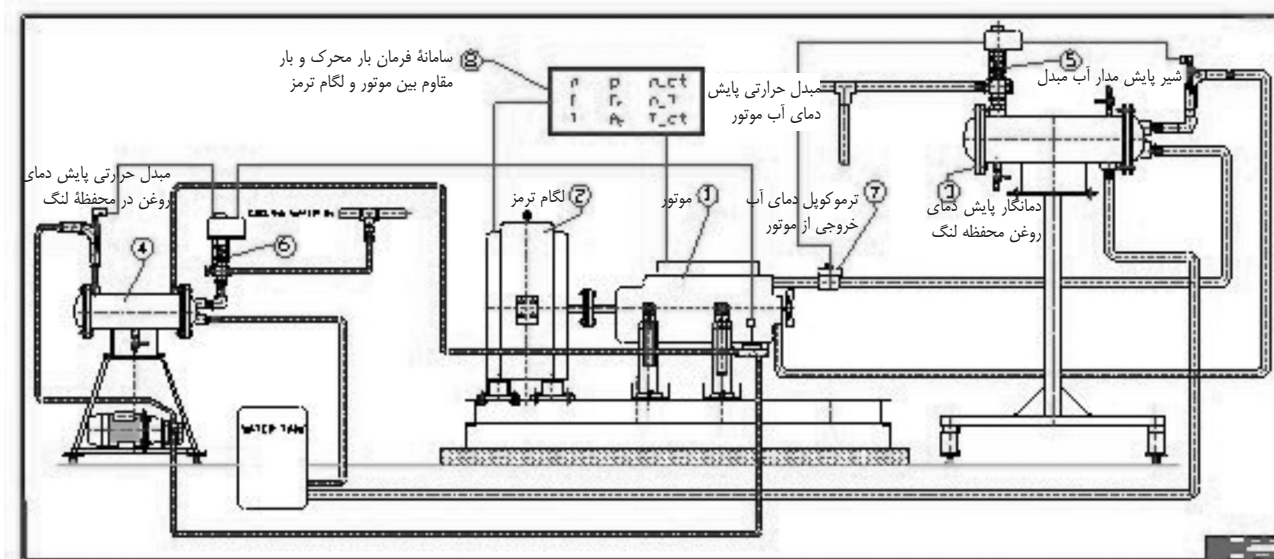
جدول ۲ مشخصات اصلی موتور LA-457 در بار کامل با سوخت گازوئیل استاندارد EN590 سال ۲۰۰۰

فشار پایش سوخت bar	مصرف هوا kg/h	مصرف سوخت گازوئیل kg/h	گشتاور بیشینه Nm	فشار متوسط مؤثر BMEP (bar)	توان بیشینه kW	نسبت تراکم	حجم جابجایی L	تعداد استوانه
۱۸۰۰	۱۳۷۰-۷۳۱	۴۴-۲۸,۱	۱۱۰۰ rpm در ۲۰۰۰	۲۱	۳۱۶ در ۲۰۰۰ rpm	۱۷,۲۵:۱	۱۲	۶

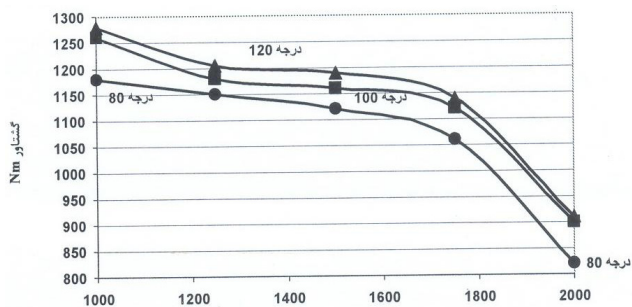
1 - Control

جدول ۳ عوامل عملکردی موتور LA-۴۵۷ در ضریب بار ۷۰٪ با تثبیت سه حالت دمای آب موتور

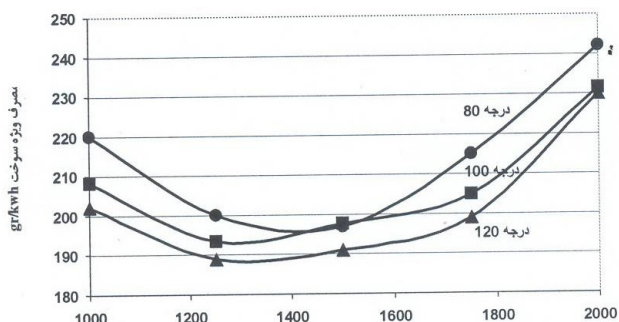
ردیف	دور موتور rpm	دمای آب موتور °C Tw	گشتاور Nm	توان kW	مصرف سوخت kg/h	مصرف هوا kg/h	مصرف ویژه g/kWh	دمای دود te °C	CO ppm	HC ppm	NOx ppm
۱	۱۰۰۰	۸۰	۱۱۸۰	۱۲۹	۲۸,۴	۶۲۵	۲۲۰	۳۳۰	۱۱۰	۱۲۰	۴۵
		۱۰۰	۱۲۶۰	۱۳۲	۲۷,۵	۶۱۷	۲۰۸,۳	۴۲۰	۱۲۰	۸۰	۶۰
		۱۲۰	۱۲۸۰	۱۳۸	۲۷,۸	۶۰۸	۲۰۲	۴۶۰	۱۰۰	۷۰	۱۲۰
۲	۱۲۵۰	۸۰	۱۱۵۰	۱۴۰	۲۸	۷۹۹	۲۰۰	۳۳۰	۲۲۰	۱۳۵	۴۸
		۱۰۰	۱۱۸۰	۱۵۵	۳۰	۷۹۰	۱۹۳,۵	۴۳۰	۳۰۰	۹۰	۸۰
		۱۲۰	۱۲۰,۵	۱۶۸	۳۱,۸	۷۸۰	۱۸۹	۴۸۰	۲۸۰	۷۵	۱۶۰
۳	۱۵۰۰	۸۰	۱۱۲۰	۱۷۰	۳۳,۵	۱۱۰۰	۱۹۷	۳۵۰	۳۰۰	۱۳۰	۴۲
		۱۰۰	۱۱۶۰	۱۸۳	۳۶	۱۰۸۵	۱۹۶,۷	۴۳۵	۳۲۰	۸۵	۸۰
		۱۲۰	۱۱۹۰	۱۹۵	۳۷,۲	۱۰۲۰	۱۹۱	۴۶۰	۳۰۰	۷۰	۱۶۰
۴	۱۷۵۰	۸۰	۱۰۶۰	۱۹۸	۴۲,۶	۱۳۲۰	۲۱۵	۴۰۰	۲۸۰	۱۳۰	۶۰
		۱۰۰	۱۱۲۰	۲۰۵	۴۲	۱۲۹۰	۲۰۴,۸	۴۴۰	۲۹۰	۸۲	۷۰
		۱۲۰	۱۱۴۰	۲۲۰	۴۳,۷	۱۱۸۰	۱۹۹	۴۶۰	۲۹۰	۷۰	۱۷۰
۵	۲۰۰۰	۸۰	۸۲۰	۱۸۵	۴۴,۷	۱۴۰۵	۲۴۲	۴۰۰	۲۶۰	۱۴۰	۶۵
		۱۰۰	۹۰۰	۱۹۰	۴۴	۱۳۷۸	۲۳۱,۵	۴۵۰	۲۵۰	۸۵	۹۰
		۱۲۰	۹۱۰	۱۹۴	۴۴,۶	۱۳۲۰	۲۳۰	۳۲۰	۱۱۰	۱۲۰	۴۵



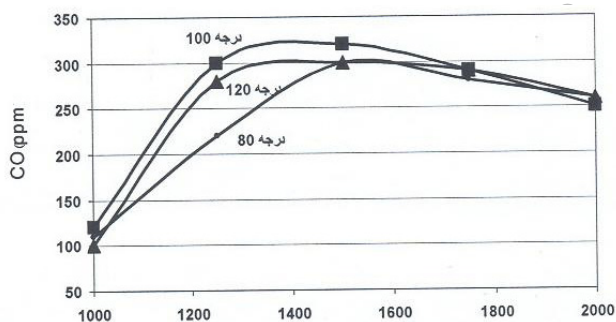
شکل ۳ بستر آزمون مجهز به لگام ترمز ۴۰۰ W و مبدل‌های حرارتی مدار آب و روغن موتور گازوتیلی LA-457



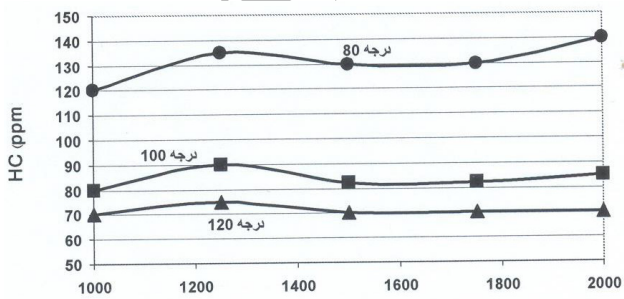
شکل ۵ منحنی تغییرات گشتاور موتور در ضریب بار ۷۰٪ برای دماهای مختلف آب موتور



شکل ۶ منحنی تغییرات مصرف ویژه سوخت موتور در ضریب بار ۷۰٪ برای دماهای مختلف آب موتور



شکل ۷ منحنی تغییرات آلایندگی منواکسید کربن موتور در دماهای مختلف آب موتور



شکل ۸ منحنی تغییرات آلایندگی هیدرو کربن موتور در دماهای مختلف آب موتور

اگر دمای ۱۰۰°C آب خنک کننده را که طراحی موتور توصیه می نماید بنا قرار دهیم، با کاهش دمای آب خنک کننده به میزان ۲۰°C یعنی تثبیت در ۸۰°C ملاحظه میشود که موتور دچار افت توان و گشتاور حدود ۲ الی ۵ درصد شده است، از طرفی مصرف سوخت بالا رفته و مصرف ویژه سوخت نیز افزایش می یابد، میزان افزایش مصرف ویژه سوخت SFC در حدود ۳ الی ۷ درصد شده است و میزان هیدروکربن های نسوخته در دود افزایش ۱۰ تا ۱۲ درصدی دارد و در مقابل اکسیدهای ازت کاهش ۱۵ الی ۲۰ درصدی دارد و میزان منواکسید کربن تغییر زیادی ندارد.

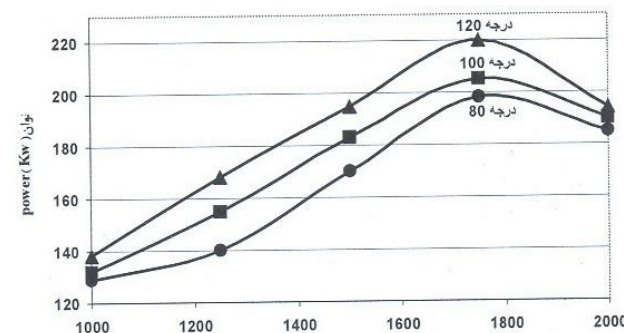
منحنی های مشخصه موتور در شکل های شماره (۴) الی (۹) استخراج شده از جدول آزمون شماره (۳) حاوی سه منحنی است که به ترتیب دمای آب ۸۰°C دایره ● و ۱۰۰°C مربع ■ و ۱۲۰°C مثلث ▲ نشان داده شده است.

در شکل (۴) منحنی های تغییرات توان موتور در بار جزئی ۷۰ درصد به ازاء تغییرات دمای آب خنک کننده در سه حالت ۸۰، ۱۰۰، و ۱۲۰ درجه سانتیگراد به نمایش گذاشته شده است. به طور میانگین میزان تغییرات توان با کاهش و افزایش دمای خنک کننده نسبت مستقیم دارد و به میزان ۲ تا ۳ درصد کاهش یا افزایش می یابد.

در شکل (۵) منحنی های تغییرات گشتاور موتور در بار جزئی ۷۰ درصد نشان می دهد که به ازاء ۱۰ درجه کاهش و یا افزایش دما در گردش موتور شاهد تغییرات ۲ تا ۳ درصدی گشتاور خروجی موتور هستیم که این تفاوت در دوره های میانی مشهودتر است. در شکل (۶) منحنی های تغییرات مصرف ویژه سوخت نسبت به تغییرات ۱۰ درجه سانتیگرادی دمای آب خنک کننده موتور بخصوص در محدوده دورهای کند و تند موتور با افزایش یا کاهش ۴ درصدی همراه خواهد بود.

در شکل (۷) میزان تغییرات منواکسید کربن نسبت به تغییر آب خنک کننده موتور نمایانگر عدم تغییر قابل ملاحظه در دوره های تند و کاهش میزان این آلایندگی در دوره های کند به ازای کاهش دمای آب خنک کننده می باشد.

در شکل (۸) میزان تغییرات هیدروکربن های نسوخته در سه حالت ۸۰، ۱۰۰، و ۱۲۰ درجه آب خنک کننده موتور نشانگر افزایش چشمگیر میزان این آلایندگی در حالت ۸۰ درجه سانتیگراد آب خنک کننده در کلیه دورها می باشد. در صورت افزایش درجه حرارت آب خنک کننده به ۱۲۰ درجه سانتیگراد، میزان این آلایندگی تا ۳۰ درصد کاهش می یابد. در شکل (۹) میزان تغییرات اکسیدهای ازت با افزایش دمای موتور افزایش چشمگیر پیدا می کند و با کاهش دمای موتور به میزان ۲۵ درصد کاهش می یابد.



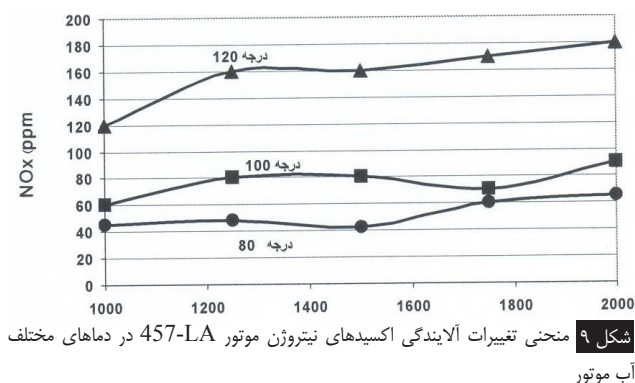
شکل ۹ منحنی تغییرات توان موتور در ضریب بار ۷۰٪ برای دماهای مختلف آب خنک کننده موتور

۶- نمادها و نشانه ها

جرم هوای ورودی به موتور	m_{air}°
جرم گازهای دود	m_{ex}°
جرم سوخت مصرفی	m_{fuel}°
گرمای ویژه در فشار ثابت	C_p
کار خروجی از محور موتور	W_{shaft}°
انرژی گرمائی هدر رفته	Q_{loss}°
فشار متوسط مؤثر	BMEP
ارزش حرارتی پایین سوخت	H_i
ضریب درصد انرژی خروجی از طریق آب	$\xi_{Q_{water}}$
منواکسید کربن	CO
هیدروکربن های نسوخته	HC
اکسیدهای ازت	NOx
مصرف ویژه سوخت	SFC
دور بردقیقه	rpm
ضریب ثابت دماسنج	ε
ثابت استغان بولتزمن	σ
ضریب انتقال حرارت	h
دما	T
انرژی گرمائی از محیط و به محیط	Qamb
انرژی گرمائی تلف شده از طریق روغن	QOil
انرژی گرمائی تلف شده از طریق آب خنک کننده	Qwater

Reference:

- [1]- White Hausa & Ryder j. Internal Combustion Engine Handbook 5th Edition 1998.
- [2]- Heywood, J. Internal Combustion Engine Fundamentals. MC Graw Hill New York 1988.
- [3]- K hair, M.K. "Progress in Diesel Engine Emissions Control" Journal of Engineering for Gas Turbine and Power No. 114 (1992)
- [4]- International Standard ISO 3046 I-V 1987
- [5]- Berthold G. Diesel Engine Design and Manufacturing. Bucarest 1998.
- [6]- BOSCH Automotive Handbook 5th Edition.
- [7]- Bosch Diesel Engine Management, 4th Edition.
- [8]- Engine Testing and control TNO-Delft.
- [9]- Wide, J. "Experience with Emphasis on HD Diesel Emission Standards", SAE No.88.657. TNO.



۵- نتیجه گیری

نتایج تجربی نشان می‌دهد که با کاهش اتلاف حرارتی در مجموعه خنک‌کن، تمام انرژی ذخیره شده در این بخش به کار مفید تبدیل نمی‌شود و لزوماً منجر به افزایش بازده کلی موتور نمی‌شود. دلایل مختلفی برای تأیید این نتیجه‌گیری وجود دارد. چون موتورهای احتراق داخلی براساس چرخه ترمودینامیکی کار می‌کنند، درصد تبدیل انرژی گرمایی تولید شده در مرحله احتراق در قانون دوم ترمودینامیک محدود شده است، به همین علت در صورت کاهش بخش گرمایی تلف شده در مجموعه خنک‌کننده در موتوری مثل 457-LA انرژی گرمائی به گازهای دود منتقل می‌شود. یعنی آن بخش از حرارت که قبلاً مجموعه خنک‌کن به بیرون منتقل می‌کرد، اینک جریان گاز دود از موتور خارج می‌کند. چون میزان نفوذ حرارت حاصل از احتراق تنها چندمیلی‌متر است، فرآیند انتقال حرارت از مجموعه خنک‌کن در طول کلیه مراحل چرخه ترمودینامیکی پایدار است. این درحالی است که کار مفید تنها در طول مرحله انبساط حاصل می‌شود و در نتیجه امکان تبدیل انرژی مجموعه خنک‌کن در سایر مراحل کاری موتور به کار مفید وجود ندارد. در پایان ذکر این نکته ضروری به نظر می‌رسد که با افزایش مقاومت حرارتی دیواره استوانه، دمای آن افزایش می‌یابد، دمای گرمتر دیواره در موتور گازوئیلی موجب افزایش لقی مجاز بین استوانه و سمبه و کوبش دامن پیستون در استوانه می‌شود و لذا برای کاهش دمای آب خنک‌کننده محدودیت وجود دارد، ولی از نظر اقتصادی و زیست محیطی افزایش دمای سامانه خنک‌کننده به دلیل کاهش مصرف سوخت و کاهش میزان هیدروکربن ها و دوده همراه با افزایش توان و گشتاور توجیه پذیر می‌شود. در مورد موتور 457-LA این‌گونه نتیجه‌گیری می‌شود که پیشنهاد تقویت سامانه خنک‌کننده مدار آب به دلیل شرایط اقلیمی و در نتیجه کاهش دمای مدار آب خنک‌کننده توجیه فنی و اقتصادی ندارد بلکه در صورت بهینه شدن گازوئیل تولیدی ایران در سطح استاندارد EN557 سال ۲۰۰۰ اروپا می‌توان شاهد افزایش ۵ تا ۱۰ درصدی دمای مدار آب خنک‌کننده، کاهش مصرف سوخت، افزایش توان و گشتاور و کاهش آلاینده‌های HC و CO بود.