ISME

ارزیابی عملکرد سیستم خنک‌کاری موتور احتراق داخلی دیزل

عیوض اکبریان[1]
کارشناس ارشد

سید مهدی لشکرپور[2]
دکترا

سید اسماعیل رضوی[3]
دانشیار

عملکرد بهینه موتور زمانی اتفاق می‌افتد که دمای موتور در حالت بهینه خود، ثابت نگه داشته شود. سیستم خنک‌کاری دمای موتور را تا دمای بهینه رسانده و سپس آن را ثابت نگاه می‌دارد. با انتخاب صحیح رادیاتور، عملکرد سیستم خنک-کاری و به موازات آن عملکرد موتور بهبود می‌یابد. برای انتخاب رادیاتور مناسب باید محاسبات انتقال گرما انجام شده و سپس اقدام به طراحی و ساخت نمود. ولی در انتخاب رادیاتور مناسب ازبین رادیاتورهای موجود می‌بایست تست‌های عملکردی بر روی رادیاتور نصب شده بر محصول (موتور ژنراتور، پمپ، تراکتور، کامیون، کمباین و ...) باید انجام گیرد. با توجه به اینکه تست رادیاتور ممکن است در زمان‌ها و در شرایط دمای هوای متفاوت صورت گیرد، باید روشی برای ارزیابی در شرایط مختلف ارائه گردد تا بتوان با دقت بالا عملکرد رادیاتور در سیستم خنک‌کاری را ارزیابی کرد. در این مقاله با استفاده از کارهای انجام شده در گذشته همچنین با استفاده از تست‌های انجام شده بر روی رادیاتور موتور ژنراتور، روشی معرفی گردید که بتوان به وسیله آن رادیاتور و سیستم خنک‌کاری موتور را ارزیابی نمود.

واژه‌های راهنما : رادیاتور، موتور احتراق داخلی، تست عملکردی، سیستم خنک‌کاری، بیشینه توان، بیشینه گشتاور، موتور دیزل

۱- مقدمه

در موتورهای احتراق داخلی سوخت مداوماً به درون سیلندرها پاشیده شده و احتراق صورت می‌گیرد . در نتیجه احتراق، انرژی زیادی حاصل می‌شود که بخشی از آن به کار مفید تبدیل شده و بخش دیگر به شکل گرمای مازاد تلف می‌شود. در یک موتور دیزل نوعی، ٪۳۰-٪۳۵ انرژی سوخت به کارمفید تبدیل شده ، ٪۳۰-٪۳۵ از طریق اگزوز خارج می‌شود ٪۲۷ - ٪۳۳ از طریق سیستم خنک‌کاری دفع می‌گردد و بقیه

[1] نویسنده مسئول، دانش آموخته کارشناسی ارشد مکانیک ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تبریز ayvaz.akbarian@gmail.com
[2] دکترای مکانیک تبدیل انرژی، دانشگاه علوم و تحقیقات تهران lashkarpour@gmail.com
[3] دانشیار، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه تبریز razavi@tabrizu.ac.ir

انرژی سوخت به طریق تابش و اصطکاک تلف می‌شود. انرژی گرمایی جذب شده توسط مایع خنک‌کاری می‌بایست از طریق رادیاتور به هوای بیرون منتقل شود [۴و۷و۱۱].
محاسبات نشان می‌دهند که رادیاتور نقش عمده‌ای در کنترل دمای موتور ایفا می‌کند. طراحی و یا انتخاب صحیح رادیاتور می‌تواند مانع از داغ کردن موتور در شرایط کار بحرانی (بیشینه توان و بیشینه گشتاور) شود[۷].
Oliet و همکاران تحقیقاتی برای طراحی و ارزیابی رادیاتورها تحت شرایط کنترل شده آزمایشگاهی صورت گرفته و مدل‌های ریاضی نیز پیشنهاد شده است[۵].
در این مورد کیس و لندن کارهای کلاسیک را برروی انواع رادیاتورهای معمول انجام داده‌اند. مدل‌سازی‌های عددی نیز با استفاده از رایانه به وجود آمده‌اند که بر مبنای محاسبات ε-NTU و LMTD صورت گرفته است [۳].
Gollin و همکاران به صورت تجربی عملکرد ۵ نوع رادیاتور را با ۵ نوع مایع خنک کننده در صنایع خودروسازی مورد بررسی قرار دادند و نتایج حاصل را جهت انتخاب مناسب و بهینه رادیاتور، برای کاربردهای مختلف ارائه دادند[۱۰].
Oliet و همکاران مطالعه پارامتری روی رادیاتور اتومبیل تحت شرایط مختلف کاری از قبیل دمای محیط، نوع مایع خنک‌کننده، سرعت سیال‌ها، آرایش پره‌ها و... را انجام دادند و در نهایت منحنی عملکردی رادیاتور و منحنی میزان انتقال حرارت را در شرایط مختلف ارائه دادند که با روش‌های معمول محاسبات انتقال حرارت از قبیل LMTD و ε-NTU مطابقت قابل قبولی داشت [۵].
Chen و همکاران به صورت تجربی یک نوع رادیاتور نمونه را بررسی کردند و معادله بازگشتی برای انتقال حرارت، افت فشارمایع خنک‌کاری و افت فشار هوا را ارائه کردند[۹].
Ganga و همکاران عملکرد رادیاتور یک موتور نوعی دیزل را انجام دادند و با روش‌های انتقال حرارت و برنامه کامپیوتری، رادیاتور مناسبی برای موتور مذکور پیشنهاد کردند [۶].
اردکانی و همکاران عملکرد دو نوع رادیاتور در یک خودرو نوعی را با یک سیم داغ بررسی نمودند و پس از استخراج منحنی مشخصه عملکرد پروانه و منحنی مقاومت سیستم رادیاتور و اندازه‌گیری آهنگ انتقال گرما از رادیاتور، رادیاتور مطلوب را برای آن کاربرد معرفی کردند [۱].
در این مقاله هدف این است که با انجام محاسبات مربوطه و اجرای تست‌های عملکردی بر روی رادیاتورهای مختلف، روشی ارائه گردد تا بتوان رادیاتور بهینه را برای کاربرد مورد نظر انتخاب نمود.

۲- مواد و روش‌ها

نقاط بحرانی برای کارکرد موتورها شامل حالت‌های گشتاور بیشینه و توان بیشینه می‌باشند زیرا در حالت توان بیشینه ، موتور بیشترین مصرف سوخت را داشته و در نتیجه انتقال حرارت بیشینه اتفاق می‌افتد. در حالت گشتاور بیشینه ، سرعت پمپ آب و پروانه رادیاتور کم می‌باشد. در نتیجه می‌توان ادعا کرد که اگر سیستم خنک‌کاری موتوری در این دو حالت نتیجه مطلوب را ارائه دهد، در حالت‌های دیگر نیز عملکرد مطلوب را خواهد داشت[۸].

برای ارزیابی سیستم خنک‌کاری سیستم‌های محرکه مانند تراکتور، کمباین، خودرو، کامیون و ژنراتور به دینامومتر وصل شده و موتور در حالت گاز کامل کار خواهد کرد. سپس توسط دینامومتر به موتور بار ترمزی اعمال می‌شود. دور موتور با میزان بار اعمال شده به موتور کنترل میگردد. با تنظیم سرعت موتور توسط دینامومتر، می‌توان حالت گشتاور بیشینه و یا توان بشینه را به دست آورد. توان بیشینه و گشتاور بیشینه به کمک دینامومترقابل اندازه‌گیری بوده و دینامومترقابلیت تنظیم موتوردر حالت‌های فوق را خواهد داشت [۲]. دینامومتر مورد استفاده در تست‌های تجربی از نوع هیدرولیکی (Froude Engineering Limited ، دقت در میزان گشتاور ۰/۱ N.m ، دقت در کنترل سرعت: ۱ rpm) بود.

شکل۱– بیرون اتاقک با ابزار کنترل دینامومتر

حسگرهای دما در ورودی و خروجی رادیاتور، کانال روغن نصب گردید و یک حسگر، دمای هوای محیط را اندازه گرفت. این حسگرها ترموکوپل از نو ع K (TCG3, Chauvin Arnoux) بودند که اطلاعات آنها در هر یک دقیقه توسط دستگاه دیتالاگر (نوع: Grant Eltek 1000 Series, Squirrel Meter- 12 Thermocouple 3 channel voltage-current , ، دقت: ۰/۱ °C) به صورت همزمان ثبت می‌شد. این اطلاعات به صورت دمای قسمت‌های مختلف با واحد درجه سانتی‌گراد، به کمک یک رایانه قابل دسترسی و مطالعه بود.

شکل۲– دیتالاگر برای ثبت دماهای نقاط مختلف

جدول ۱- مشخصات موتورهای مورد آزمایش

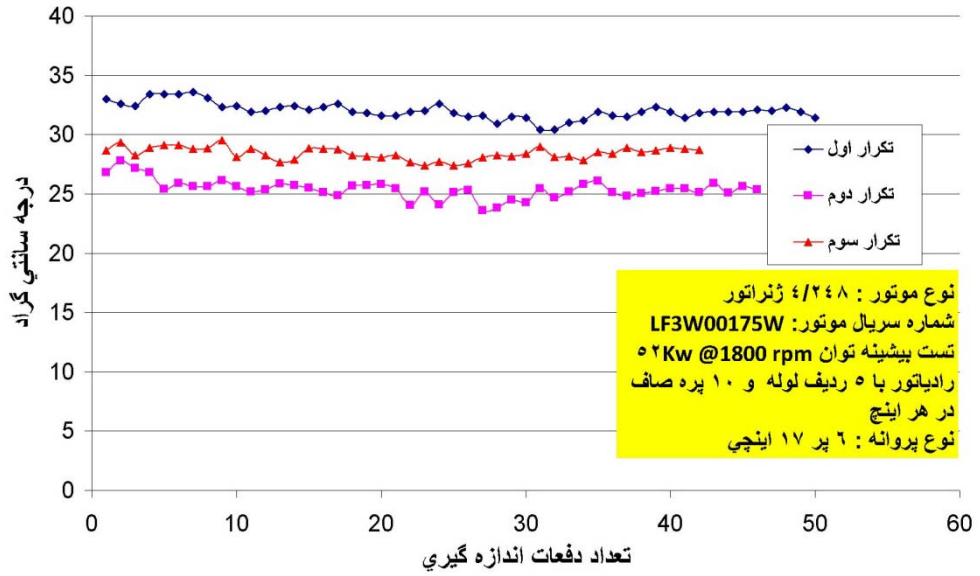
مشخصات	نوع موتور	
	۴/۲۴۸	۱۰۰۶/۶
کاربرد	ژنراتور	ژنراتور
تعداد سیلندر	۴	۶
قطر سیلندر	۱۰۱mm (۳/۹۷۵in)	۱۰۰mm (۳/۹۳۷in)
کورس پیستون	۱۲۷mm (۵ in)	۱۲۷mm (۵ in)
حجم موتور	۴/۰۶۳۹lit	۵/۹۸۵lit
نوع تنفس	طبیعی	طبیعی
نسبت تراکم	۱۶/۱	۱۶/۵ /۱
توان بیشینه	۵۲kW @ ۱۸۰۰rpm	۶۰kW @ ۱۵۰۰rpm
گشتاور بیشینه	۲۹۰N.m@۱۴۰۰rpm	۳۸۰N.m@۱۴۰۰rpm

موتورها به همراه رادیاتور نصب شده بر روی آن، در اتاقک تست به دینامومتر وصل شدند. هر دو موتور در یک اتاقک تست شدند. حسگرهای دما در ورودی رادیاتور، خروجی رادیاتور، کانال روغن نصب شدند و توسط یک حسگر، دمای هوای محیط اندازه‌گیری شد. موتورها در دو حالت بیشینه توان و بیشینه کشتاور مورد آزمون قرار گرفتند و دمای نقاط هر ۳ دقیقه یک بار توسط دیتا لاگر ثبت گردید. تست در هر مرحله تا جایی ادامه یافت که دمای خروجی آب موتور (ورودی رادیاتور) تثبیت شد. کلیه تست‌ها در سه تکرار انجام شد. جدول شماره (۲) مشخصات رادیاتورها را نشان می‌دهد.

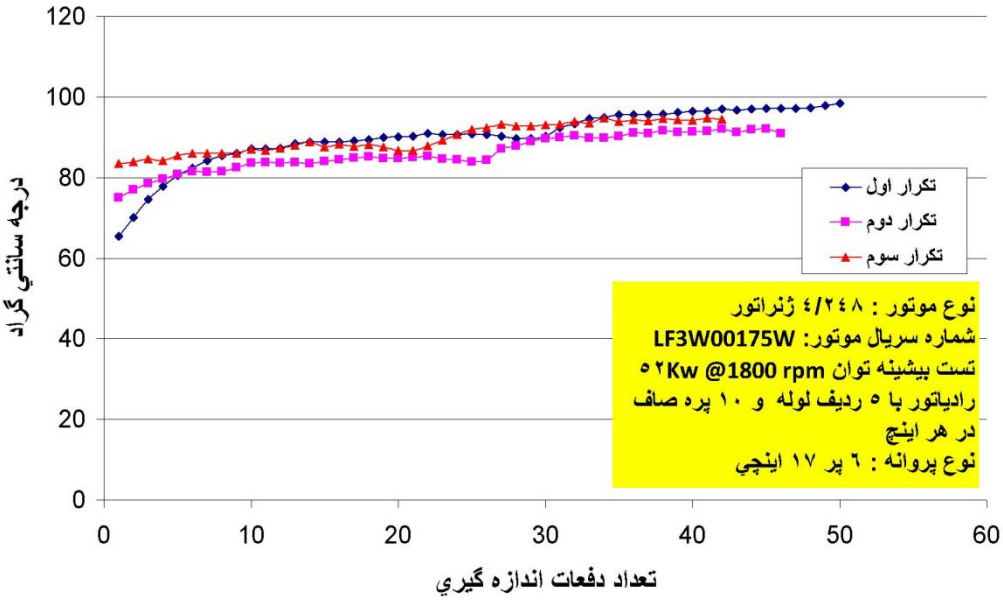
جدول۲- مشخصات رادیاتورهای نصب شده

مشخصات	نوع موتور	
	۴/۲۴۸	۱۰۰۶/۶
طول × عرض × ضخامت	۵۷۵×۶۰۰×۶۰mm	۶۵۰×۶۰۰×۷۰mm
تعداد لوله در هر ردیف	۴۷	۵۶
تعداد ردیف لوله	۵	۳
تعداد پره در هر اینچ	۱۰	۸
نوع پره	صاف	صاف
نوع پروانه	۶ پر ۱۷ اینچی	۶ پر ۲۰ اینچی

برای جلوگیری از ایجاد خطا در ثبت داده‌ها توسط دیتالاگر، ترموستات موتور با یک عدد ترموستات همیشه باز تعویض گردید تا باز و بسته شدن ترموستات باعث ثبت اطلاعات نامتناسب نگردد.

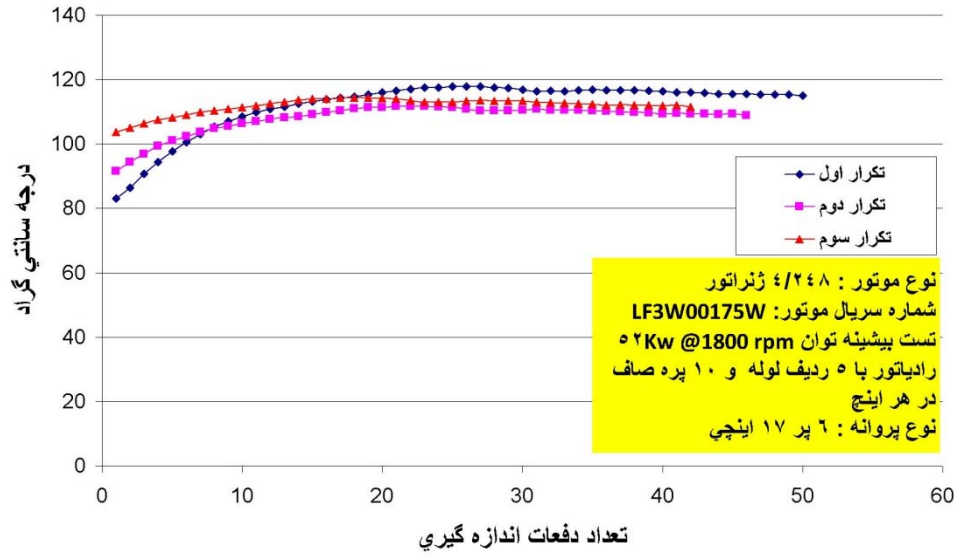


شکل ۳– دمای هوا (در تست موتور ۴/۲۴۸ ژنراتور)



شکل ۴– دمای مایع خنک‌کاری در خروجی موتور (در تست موتور ۴/۲۴۸ ژنراتور)

تست‌ها بر روی موتور ۴/۲۴۸ و ۱۰۰۶/۶ ساخت شرکت موتورسازان ،تراکتورسازی ایران، با کاربرد موتور ژنراتور در دو حالت توان بیشینه و گشتاور بیشینه و در سه حالت مختلف از دمای محیط انجام گرفتند. جدول (۱) مشخصات موتورها را نشان می‌دهد.



شکل ۵– دمای روغن (در تست موتور ۴/۲۴۸ ژنراتور)

شکل‌های (۳ و ۴ و ۵) یک نتیجه کلی را در بر دارد و می‌توان بیان کرد که با افزایش دمـای محـیط، دمـای مایع خنک‌کاری در خروجی موتور و همچنین دمای روغن موتور نیز افزایش خواهد یافت. به عنوان مثال بعد از تثبیت دماهای مایع خنک‌کاری در خروجی موتور و روغن موتـور، بـا افـزایش دمـای محـیط از ۲۶°C بـه ۲۹°C دمای مایع خنک‌کاری و روغن موتور نیز به ترتیب از ۹۱°C بـه ۹۴°C و ۱۰۵°C بـه ۱۰۸°C افـزایش یافته است.

در مورد موتور ۱۰۰۶/۶ ژنراتور نیز این نتایج تکرار شدند که در شکل‌های ضمیمه گزارش شداند.

با این حساب می‌توان بیان کرد که بعد از تثبیت دماها، اختلاف دمای بین مایع خنک‌کاری در خروجی موتور و هوای محیط و همچنین اختلاف دمای مابین روغن موتور و هوای محیط، تقریباً یک عدد ثابتی می‌باشد.

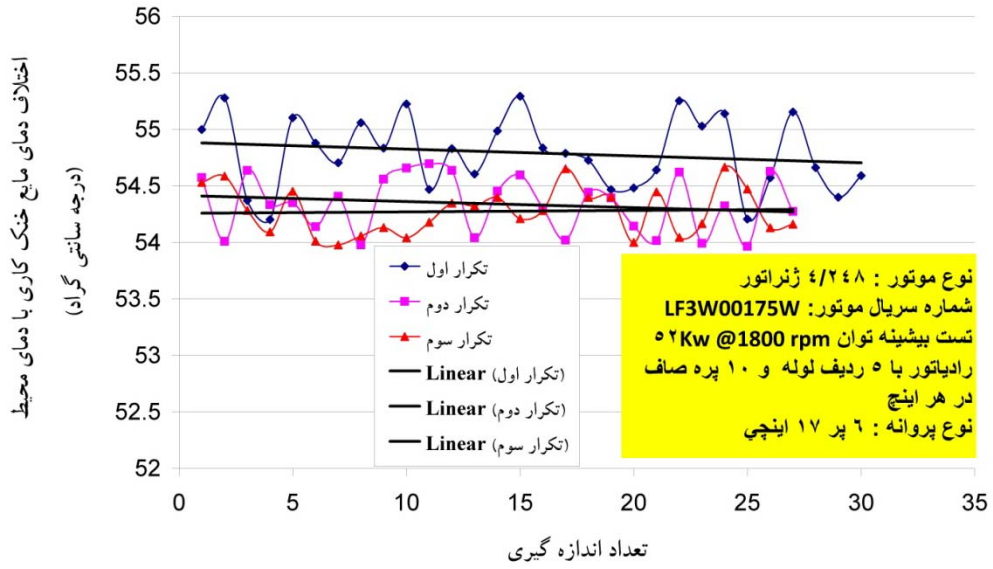
$$ROA = Constant \qquad (۱)$$

که در آن ROA اختلاف دمای بین مایع خنک‌کاری و یا روغن موتور با هوا می‌باشد.

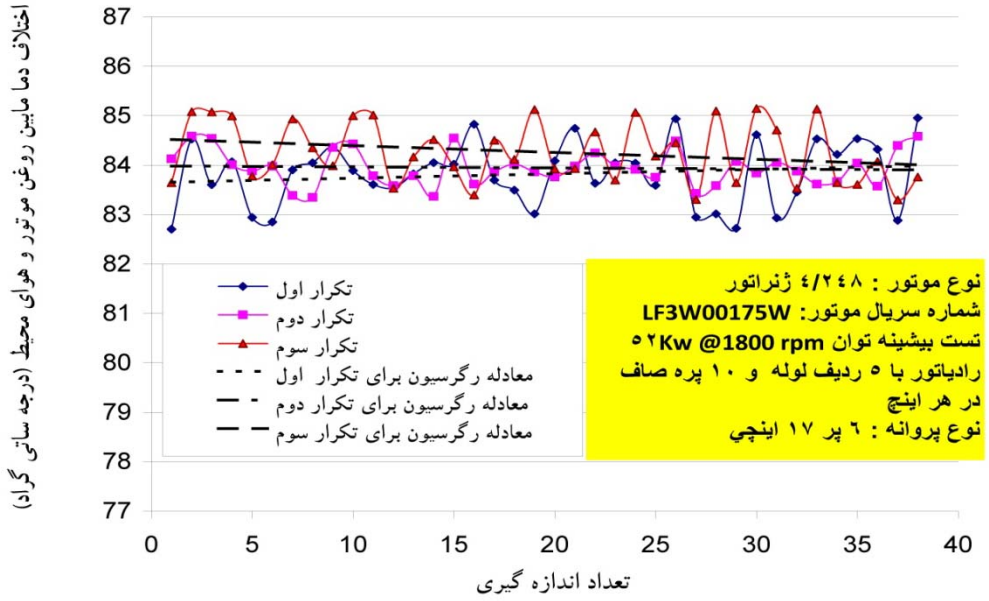
رابطه شماره (۱) را می‌توان در شکل (۶) نیز مشاهده نمود. در این شـکل، نمـودار، نشـان‌دهنـده اخـتلاف دمای بین مایع خنک‌کاری و روغن با هوای محیط (ROA) پس از تثبیت دماهـا در مرحلـه آزمـون گشـتاور بیشینه است.

۳ - بحث و بررسی نتایج

بعد از انجام تست‌های خنک‌کاری مربوطه اطلاعات ذخیره شده در دیتالاگر توسط یک رایانه و با اسـتفاده از برنامه Microsoft Excel تحلیل شد که در شکل‌های (۳ و ۴ و۵) و همچنین شکل‌های ضـمیمه نشـان داده شده‌اند .



شکل ۶ – اختلاف دمای مایع خنک‌کاری با دمای محیط



شکل ۷– اختلاف دمای روغن با دمای محیط

در شکل شماره (۶) با توجه به رگرسیون انجام شده مشاهده می‌شود که منحنی نمودار به به سمت یک عدد ثابت میل می‌کند و می‌توان رابطه شماره (۱) را با دقت خوبی در محاسبات بعدی اعمال نمود. به عبارتی با توجه به رگرسیون‌های انجام شده می‌توان از قسمت متغیر معادله با دقت خوبی صرف نظر کرد. در این حالت بیشترین خطا در حدود ۰/۷٪ می‌باشد که در کارهای تجربی و مهندسی مقدار قابل قبولی می‌باشد. برای اختلاف دمای بین مایع خنک‌کاری و هوا، که در شکل شماره (۶) نشان داده شده است، معادله رگرسیون‌ها به صورت رابطه‌های (۲) و (۳) و (۴) می‌باشد.

$$y_1 = -0/006x + 54/81 \cong 54/8 \qquad (2)$$

$$y\ ۲= ۰/۰۱۳x + ۵۴/۲۳ \cong ۵۴/۲ \quad (۳)$$

$$y۳ = -۰/۰۰۱۱x + ۵۴/۳۰ \cong ۵۴/۳ \quad (۴)$$

همچنین معادله رگرسیون‌ها برای اختلاف دمای بین روغن موتور و هوای محیط، که در شکل شماره (۶) نشان داده شده است، در رابطه‌های (۵) و (۶) و (۷) داده شده‌اند.

$$y\ ۱= ۰/۰۰۹x + ۸۳/۷۴ \cong ۸۳/۷ \quad (۵)$$

$$y۲ = -۰/۰۰۲۱x + ۸۳/۹۸ \cong ۸۳/۹ \quad (۶)$$

$$y۳ = -۰/۰۰۳۹x + ۸۴/۲۳ \cong ۸۴/۲ \quad (۷)$$

در رابطه‌های شماره (۲) تا (۷) y۱ بیانگر معادله منحنی رگرسیون برای تکرار اول و y۲ بیانگر معادله منحنی رگرسیون برای تکرار دوم و y۳ بیانگر معادله منحنی رگرسیون برای تکرار سوم می‌باشند و متغیر X نشان-دهنده تعداد دفعات اندازه‌گیری می‌باشد.

این نتایج در مورد موتور ۱۰۰۶/۶ نیز به دست آمد که در بخش ضمیمه آورده شده است.

با توجه به تحقیقات انجام شده توسط Oilet و همکاران[۵] و Ganga و همکاران[۶]، افزایش دمای محیط باعث افزایش دمای مایع خنک‌کننده در خروجی رادیاتور و کاهش میزان حرات منتقل شده از رادیاتور به محیط خواهد شد و در نتیجه دمای مایع خنک‌کننده در خروجی موتور افزایش خواهد یافت. در تحقیقات انجام شده این تغییرات به صورت خطی اعلام شده‌اند. نتایج به دست آمده در تست‌های انجام شده نیز مطابق با یافته‌های این محققین ارزیابی شد.

با توجه به نتایج حاصله می‌توان بیان کرد که عملکرد و میزان انتقال حرارت سیستم خنک‌کاری در شرایط یکسان رادیاتور، واترپمپ، پروانه تابعی از دمای محیط و دمای آب خروجی از موتور می‌باشد.

$$ACT = f(Tamb , Tout) \quad (۸)$$

که در آن:

ACT : بیشینه دمای محیط مورد قبول برای کار موتور

T_{amb} : دمای محیط

T_{out} : دمای خروجی مایع خنک‌کننده از موتور

معمولاً سازندگان موتور بیشینه دمایی را برای کارکرد موتور در نظر می‌گیرند که تا آن دما، صدمه‌ای به اجزاء موتور وارد نشود. این دما به طراحی قطعات موتور بستگی داشته و برای هر موتور و هر سازنده موتور متفاوت است[۸]. پس می‌توان نوشت:

$$ACT = f(T_{amb} , T_{out} , T_m) \quad (۹)$$

که در آن T_m بیشنه دمای قابل قبول برای مایع خنک‌کننده می‌باشد که بتوسط سازنده موتور اعلام می‌شود.

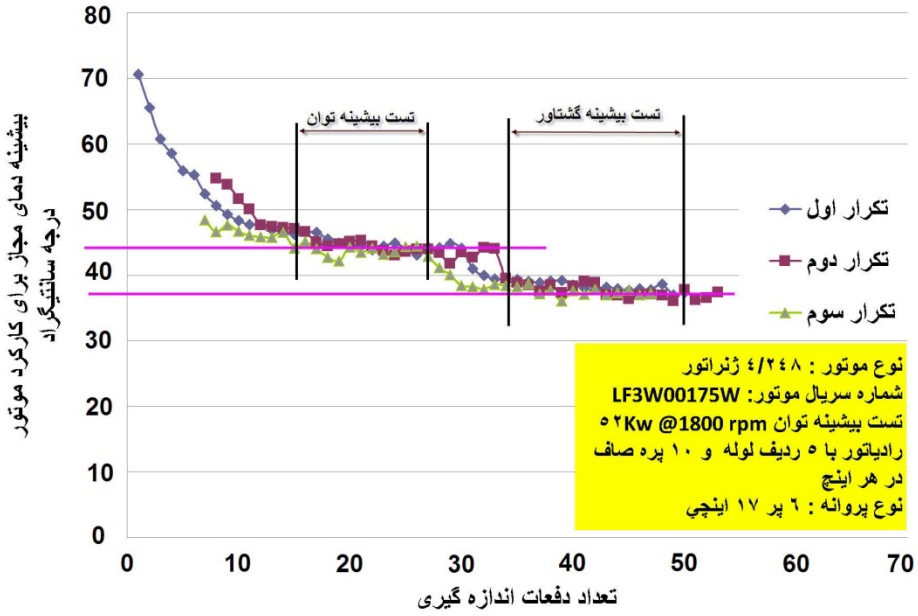
با توجه به تست‌های انجام شده و بررسی نتایج آن، که در شکل‌های (۶ و ۷) آورده شده است، مشاهده گردید که با افزایش دمای محیط، دمای مایع خنک‌کاری در خروجی موتور نیز با رابطه مسقیم با آن افزایش خواهد یافت. معادله رگرسیون انجام شده برای اختلاف دمای مایع خنک‌کاری و دمای روغن با دمای محیط دارای دو جمله می باشد که با دقت بالایی می توان از جمله دارای ضریب صرف نظر کرد.

بنابراین با توجه به خطی بودن رابطه اختلاف دمای بین مایع خنک کاری و روغن با محیط، برای بیشینه دمای محیط مورد قبول برای کار موتور می‌توان نوشت:

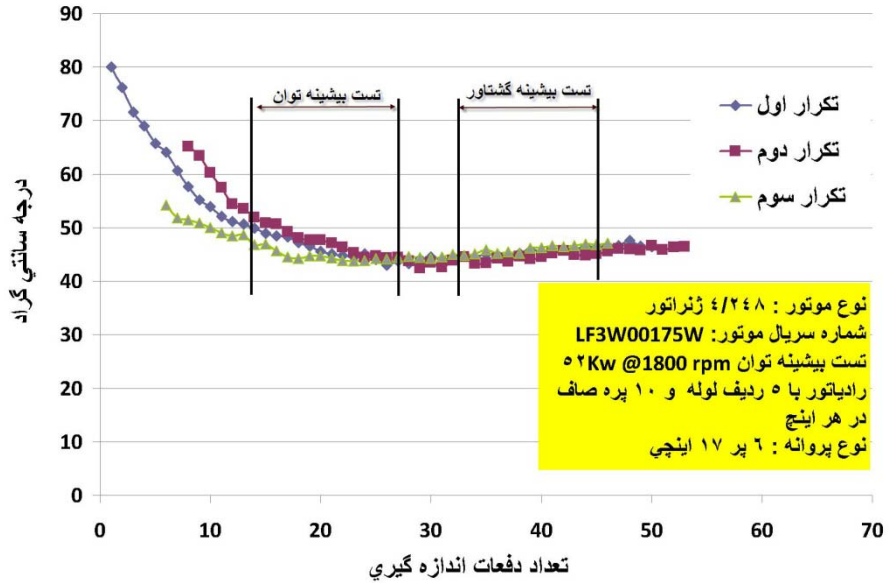
$$ACT = T_m - (T_{out} - T_{amb}) \quad (۱۰)$$

با توجه به نتایج تست موتورها در حالت‌های مختلف با سیستم خنک‌کاری یکسان برای موتور مذکور، با استفاده از رابطه (۱۰)، نتایج به صورت شکل‌های (۸ و ۹) نشان داده می‌شوند. با توجه به استعلام صورت گرفته از شرکت موتورسازان بیشنه دمای قابل قبول برای مایع خنک‌کننده (T_m) برای موتور مورد تست ۱۰۳°C می‌باشد. به عبارتی برای موتور مذکور می‌توان نوشت:

$$ACT = 103 - (T_{out} - T_{amb}) \quad (۱۱)$$



شکل۸ – بیشینه دمای مجاز برای کارکرد موتور (مایع خنک کاری)



شکل ۹– بیشینه دمای مجاز برای کارکرد موتور (روغن)

همانطور که در شکل‌های (۸ و ۹) مشخص است، تغییر شرایط محیطی تست رادیاتور و سیستم خنک‌کاری، تاثیر قابل توجهی بر روی نتیجه تست ندارد و می‌توان صحت رابطه (۱۰) را جهت استفاده در کاربردهای مختلف موتورتحت شرایط مختلف دمای محیط، تائید نمود. با توجه رابطه شماره (۱۱) درمورد موتور ۴/۲۴۸ ژنراتور تست شده بیشینه دمای محیط مورد قبول برای کار موتور (ACT) در حدود $^{\circ}C$ ۳۹ ارزیابی گردید.

۴- نتیجه‌گیری

۱- با توجه به نتایج و تحلیلیل آزمون‌ها، مشخص گردید با افزایش دمای محیط، دمای خروجی آب موتور نیز تقریباً به همان میزان افزایش می‌یابد و می‌توان آن را در یک رابطه خطی مستقیم نشان داد.

۲- با توجه به اینکه برای هر نوع موتوری، بیشینه دمای خروجی آب وجود دارد، بیشینه دمای مجاز محیط برای کارکرد موتور وابسته به آن خواهد بود.

۳- با توجه به نتایج آزمون‌ها، بیشینه دمای مجاز برای کارکرد موتور به صورت رابطه شماره (۱۰) بیان می‌شود.

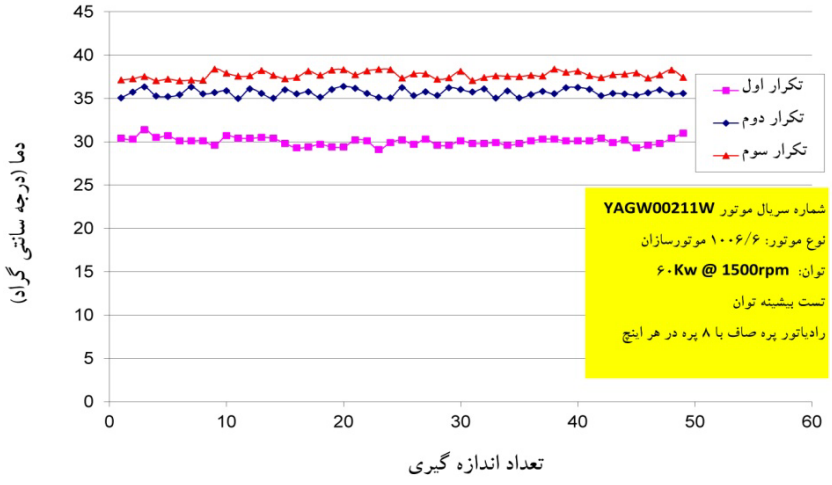
۴- با توجه به نتایج حاصله از آزمون‌ها و رابطه شماره (۱۰) ، بیشینه دمای محیط مجاز کارکرد برای موتور ۴/۲۴۸ در حدود $^{\circ}C$ ۳۹ و برای موتور ۱۰۰۶/۶ در حدود $^{\circ}C$ ۵۳ ارزیابی گردید.

سپاسگزاری

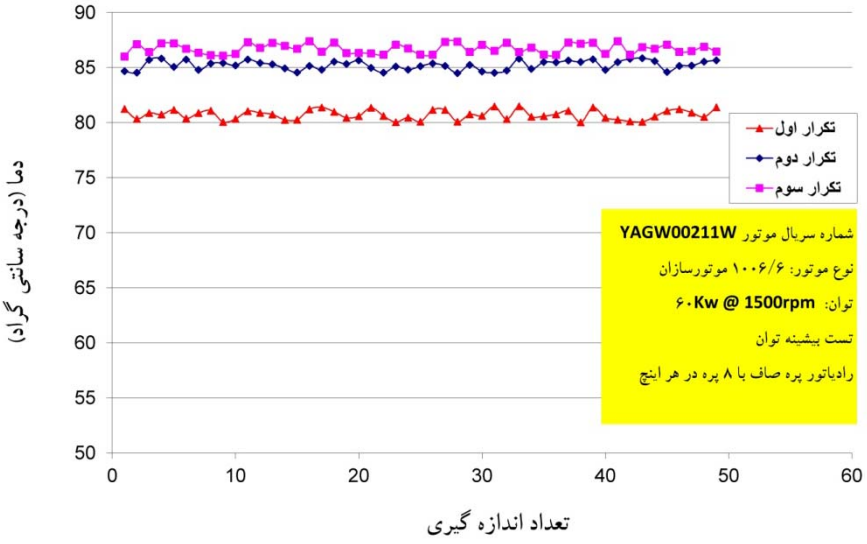
بدین وسیله از همکاری مسئولین شرکت موتورسازان (شرکت تراکتورسازی ایران) جهت تهیه ابزار اندازه-گیری و تست موتور کمال تشکر را دارد.

۵- پیوستها

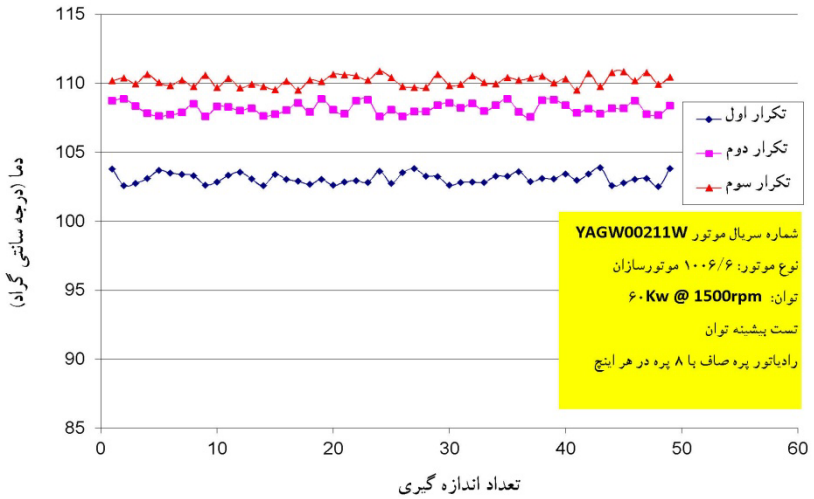
نتایج حاصل از تست‌های خنک‌کاری برای موتور ۱۰۰۶/۶ که در سه تکرار در دماهای مختلف محیط انجام شده است.



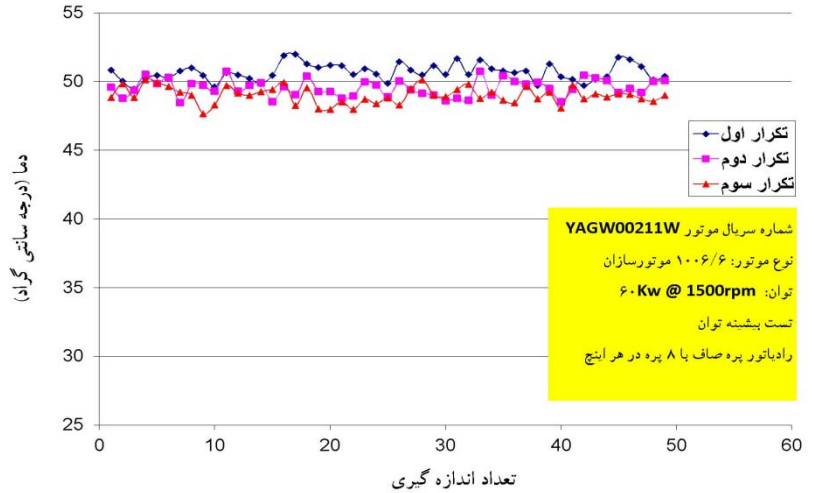
شکل ۱۰- دمای هوای محیط



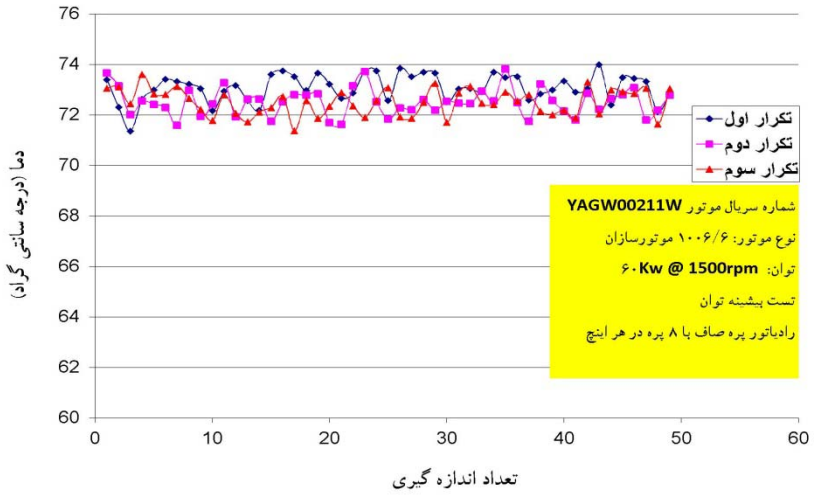
شکل ۱۱- دمای مایع خنک‌کاری در خروجی موتور



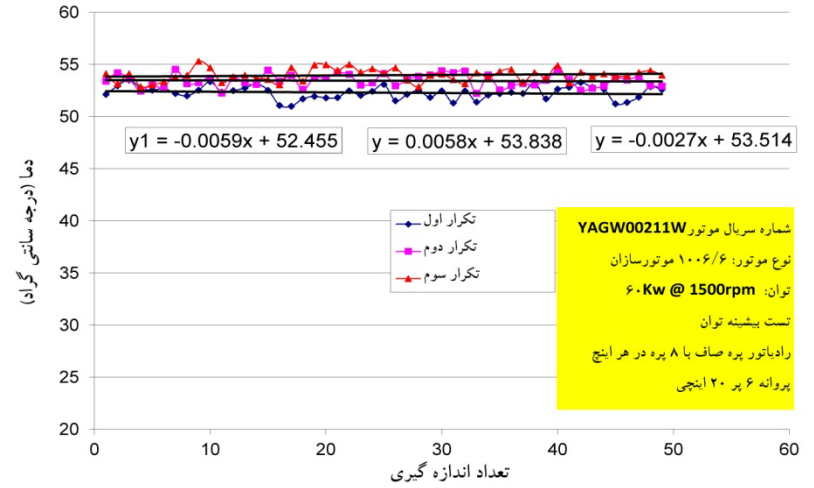
شکل ۱۲- دمای روغن



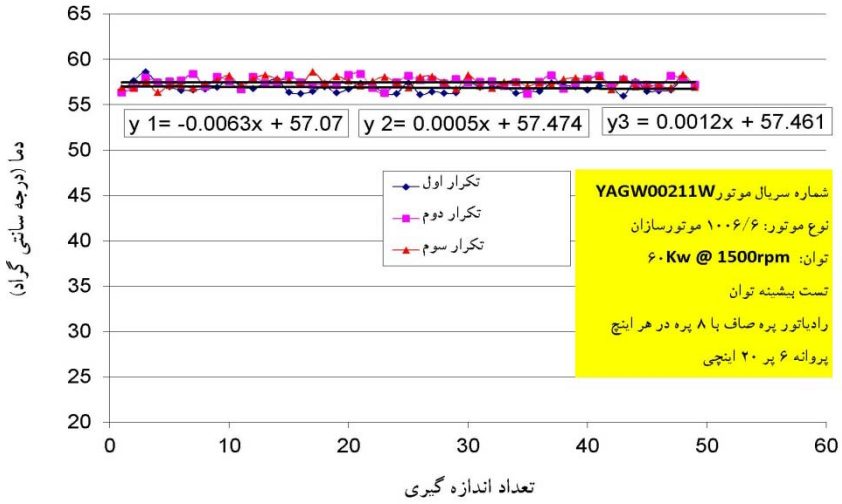
شکل ۱۳- اختلاف دمای مابین مایع خنک‌کاری در خروجی موتور و هوای محیط $ROA_{cooling}$



شکل ۱۴- اختلاف دمای میان روغن و هوای محیط ROA_{oil}



شکل ۱۵ - بیشینه دمای محیط مورد قبول برای کار موتور (برای مایع خنک‌کننده) $ACT_{coolant}$



شکل ۱۶- بیشینه دمای محیط مورد قبول برای کار موتور (برای روغن) ACT_{oil}

با توجه به رگرسیون انجام شده در مورد بیشینه دمای محیط مورد قبول برای کار موتور (برای مایع خنک-کننده) $ACT_{cooling}$ و بیشینه دمای محیط مورد قبول برای کار موتور (برای روغن) ACT_{oil} مشاهده گردید که بعد از تثبیت دماهای مورد اندازه گیری (مایع خنک‌کاری و روغن) معادله رگرسیون با دقت بالایی به سمت یک عدد ثابت میل می‌کند. با نتایج بدست آمده برای دو موتور متفاوت در شرایط دمای هوای مختلف، می‌توان رابطه شماره (۱۰) را جهت تست سیستم خنک‌کاری انواع موتورها در شرایط دمای محیط مختلف به کار برد.

در شکل‌های شماره (۱۵) و (۱۶)، y_1 بیانگر معادله منحنی رگرسیون برای تکرار اول و y_2 بیانگر معادله منحنی رگرسیون برای تکرار دوم و y_3 بیانگر معادله منحنی رگرسیون برای تکرار سوم می‌باشد.

مراجع

[۱] اردکانی، محمد علی. انوری، آذر. محب، ابراهیمی،" بررسی تجربی عملکرد رادیاتور در سیستم خنک-کاری موتور یک خودرو با استفاده از سرعت سنج سیم داغ" ، مجله دانشکده فنی دانشکده تبریز، جلد ۳۵، شماره ۲،(۱۳۸۷).

[۲] پیروز پناه، وهاب. محمدی کوشا، اسداله، تست موتورهای احتراق داخلی (ترجمه)، انتشارات دانشگاه تبریز، ص۳-۳۵ ، (۱۳۷۴).

[3] Kays, W. M., and London, A. L., "*Compact Heat Exchangers*", pp. 15-42, McGraw-Hill, New York, (1998).

[4] Heywood, John. B., "*Internal Combustion Engine Fundamentals*", pp. 161-197, McGraw-Hill, New York, (1988).

[5] Oliet, C., Oliva, A., Castro, J., and Pe´rez-Segarra, C.D., "*Parametric Studies on Automotive Radiators*", pp. 2033–2043, Elsevier, New York, (2007).

[6] Ganga Charyulu, D., and Gajendra Singh Sharma, J.K., "*Performance Evaluation of a Radiator in a Diesel Engine –a Case Study*", pp. 625-639, Pergamon, London, (1998).

[7] Ellinger, E.H., "*Automechanics*", Fourth Edition, pp. 185-201, Prenticehall, New York, (1988).

[8] Georing, C.A., and Alan, C.H., "*Engine and Tractor Power*", Fourth Edition, American Society of Agricultural Engineers, (ASAE), pp. 279-289, California, USA, (2004).

[9] Chen, J.A., Wang, D.F., and Zheng, L.Z., "Experimental Study of Operating Performance of a Tube and Fin Radiator for Vehicles", Journal of Automobile Engineering, Vol. 205, pp. 911–918, (2001).

[10] Gollin, M., and Bjork, D., "Comparative Performance of Ethylene Glycol/Water and Propylene Glycol/Water Coolants in Automobile Radiators", SAE Technical Paper Series SP-1175, 960372, pp. 115–123, (1996).

[11] Pulkrabek, W., "*Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*", pp. 312-344, Prentice Hall, New York, (2003).

فهرست نمادهای انگلیسی

ROA : اختلاف دمای بین مایع خنک‌کاری و یا روغن موتور با هوا

ACT : بیشینه دمای محیط مورد قبول برای کار موتور

T_{amb} : دمای محیط

T_{out} : دمای خروجی مایع خنک‌کننده از موتور

T_m: بیشنه دمای قابل قبول برای مایع خنک‌کننده (که توسط سازنده موتور تعیین می شود)

Abstract

When the engine coolant temperature held on optimum point, optimum performance of engine can be achieved. Cooling system cause the engine coolant temperature to rise up quickly and then hold it in constant position. With appropriate selection of radiator, cooling system performance improves. To selection a suitable radiator for a cooling system we should perform computations based on heat transfer equations. For selection of suitable radiator among of available radiators in shops, radiator performance test should be done (cooling system evaluation perform on final production such as tractor, combine, vehicle, genset,…). Considering that radiator test may be done with different conditions of air temperature, a method should be introduced. In this paper, with experimental test results and other discussions a method is introduced to test and evaluate radiator performance in a typical cooling system.