فصل پنجم

محاسبات حرارتی موتور

هدف‌های رفتاری : از فراگیر انتظار می‌رود که در پایان این فصل بتواند :
۱ــ مراحل تبدیل انرژی را تعریف کند.
۲ــ محاسبه‌ی کلّ حرارت حاصل از احتراق را انجام دهد.
۳ــ مقدار گرمای مفید و تلف شده را محاسبه کند.
۴ــ قدرت مکانیکی از طریق گرمای مفید را حساب کند.
۵ــ حجم آب مورد نیاز سیستم خنک کننده را تعیین کند.
۶ــ سوخت مصرفی موتور را محاسبه کند.
۷ــ سوخت ویژه را اندازه‌گیری کند.
۸ ــ مصرف سوخت به ازای یکصدکیلومتر مسافت پیموده شده را مشخص کند.

۵ ــ محاسبات حرارتی موتور

۱ــ ۵ ــ مراحل تبدیل انرژی در موتور

به طور کلی دستگاه مبدّل انرژی ، دستگاهی است که انرژی را از یک شکل به شکل دیگری تبدیل نماید. برای مثال، «اتو برقی» دستگاهی است که انرژی الکتریکی را به انرژی گرمایی تبدیل می‌کند و «دینام اتومبیل» دستگاهی است که انرژی مکانیکی را به‌انرژی الکتریکی تبدیل می‌نماید.

موتور دستگاهی است که در کارهای مکانیکی برای تبدیل نوعی انرژی به نوع دیگر، طرّاحی شده است.

در موتورهای احتراق داخلی (درون سوز)، قبل از این‌که انرژی شیمیایی موجود در سوخت، به صورت انرژی مکانیکی ظاهر شود، چندین مرحله‌ی مختلف طی می‌شود .

با ایجاد جرقه در سوخت متراکم شده و اکسیداسیون آن، گرمای زیادی تولید می‌گردد. بخشی از این گرما (Q_e) باعث انبساط گازهای به‌دست آمده از احتراق شده ،درفضای بسته‌ی سیلندر، فشار زیادی به‌وجود می‌آورد، این فشار بر سطح پیستون اثر کرده، حرکت خطّی تولید می‌کند که پس از انتقال به میل‌لنگ، باعث ایجاد نیروی محیطی و نهایتاً گشتاور و توان تئوری مکانیکی موتور می‌شود، بخش کمی از این توان صرف گرداندن دینام، پمپ آب، میل بادامک و... شده و بقیّه‌ی آن به صورت توان مفید موتور (P_e) در اختیار سیستم انتقال قدرت قرار می‌گیرد.

جدول (۱ــ۵) ، این مراحل را به صورت ساده نشان می‌دهد.

جدول ۱ــ ۵ مراحل تغییر شکل انرژی

تبدیل انرژی شیمیایی موجود در سوخت به گرما (Q)
گرمای مفید (Q_e) به فشار زیاد روی پیستون
فشار پیستون به حرکت خطی در پیستون
حرکت خطی و حرکت آونگی شاتون
حرکت آونگی شاتون به نیروی محیطی میل‌لنگ
نیروی محیط میل‌لنگ به گشتاور موتور (M)
تولید توان خروجی موتور

۲ــ ۵ ــ محاسبه‌ی کلّ حرارت حاصل از احتراق

هم‌چنان که گفته شد در اثر احتراق سوخت ، حرارت زیادی در سیلندر تولید می‌شودکه با انبساط مولکول‌های محصولات احتراق، فشار زیادی در سطح پیستون تولید می‌کند. هر چه حرارت

حاصل از احتراق بیش‌تر باشد، مقدار توان تولید شده در موتور بیش‌تر خواهد بود. کلّ حرارت حاصل از احتراق، به دو عامل وزنِ سوخت مصرف شده و ارزش حرارتی سوخت بستگی دارد و از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد.

$m = V \not{\rho}$ $\qquad$ $Q = m \times CV$

$$\boxed{Q = V \not{\rho} \not{\times} \quad CV} \qquad (۵_۱)$$

در این رابطه :

Q = کلّ گرمای حاصل از احتراق kj/hr ؛

m = دبی جرمی kg/hr [۱] ؛

CV = ارزش حرارتی سوخت kj/kg (CALORIFIC VALUE) ؛

V = دبی حجمی m^3/hr ؛

ρ = جرم حجمی (kg/m^3) .

«ارزش حرارتی سوخت» مقدار حرارت تولید شده در اثر احتراق یک واحد از جرم یا حجم سوخت است که مقدار آن برای چند نوع سوخت به همراه بعضی از مشخّصات دیگر آن‌ها، در جدول (۲_ ۵) نشان داده شده است.

مثال (۱) : موتوری در ساعت (۱۲ kg) سوخت را با ارزش حرارتی (۴۲۰۰۰ kj/kg) مصرف می‌کند ؛ کلّ گرمای حاصل از احتراق چند (kj/hr) است؟

$m = ۱۲ \ kg/hr$

$CV = ۴۲۰۰۰ \ kj/kg$

$Q = ? \ kj/hr$

پاسخ:

$Q = m \times CV$

$Q = ۱۲ \times ۴۲۰۰۰ = ۵۰۴۰۰۰ \ kj/hr$

۱_ دبی عبارت است از مقدار جرم یا حجم و یا وزن سیالی که در واحد زمان از یک مقطع عبور می‌نماید.

جدول ۲ــ۵ ــ مشخّصات بعضی از انواع سوخت‌ها

ماده	چگالی نسبی	درصد عناصر تشکیل‌دهنده	نقطه‌ی جوش °C در فشار متعارفی	ارزش حرارتی kj/kg	درجه‌ی اشتعال °C در فشار متعارفی
بنزین معمولی	۰/۷۵ ــ ۰/۷۲	۱۴ H و ۸۶ C	۲۱۰ ــ ۲۵	۴۳۵۰۰	≈ ۲۲۰
بنزین مخصوص	۰/۷۸ ــ ۰/۷۳	۱۴ H و ۸۶ C	۲۱۰ ــ ۲۵	۴۲۷۰۰	≈ ۲۲۰
بنزین هواپیما	۰/۷۲	۱۵ H و ۸۵ C	۱۸۰ــ۴۰	۴۳۱۰۰ ــ ۴۱۹۰۰	≈ ۴۰۰
گازوئیل	۰/۸۵ ــ ۰/۸۱	۱۳ H و ۸۶ C	۳۶۰ ــ ۱۵۰	۴۴۴۰۰ــ۴۰۶۰۰	≈ ۲۲۰
ایزواکتان	۰/۶۹	۱۶ H و ۸۴ C	۹۹	۴۴۶۰۰	۴۱۰
تولوئن	۰/۸۷	۹ H و ۹۱ C	۱۱۰	۴۰۶۰۰	۵۳۰
اتر	۰/۷۲	۲۲ O و ۱۴ H و ۶۴ C	۳۵	۳۴۳۰۰	۱۷۰
آستون	۰/۷۹	۲۸ O و ۱۰ H و ۶۲ C	۵۶	۲۸۵۰۰	۵۴۰
اتانول	۰/۷۹	۳۵ O و ۱۳ H و ۵۲ C	۷۸	۲۶۸۰۰	۴۲۰
متانول	۰/۷۹	۵۰ O و ۱۲ H و ۳۸ C	۶۵	۱۹۷۰۰	۴۵۰

مأخذ : Automotive Hand Book صفحه ۲۱۶ از انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر

مثال (۲) : کلّ گرمای حاصل از احتراق (۳۵lit) سوخت با ارزش حرارتی (۱۰۰۰۰ kcal/kg) و جرم حجمی (۰/۷۵ gr/cm^3) چند کیلو ژول است ؟

$V = ۳۵$ lit

$CV = ۱۰۰۰۰$ kcal/kg

$\rho = ۰/۷۵$ gr/cm^3

$Q = ?$ kj

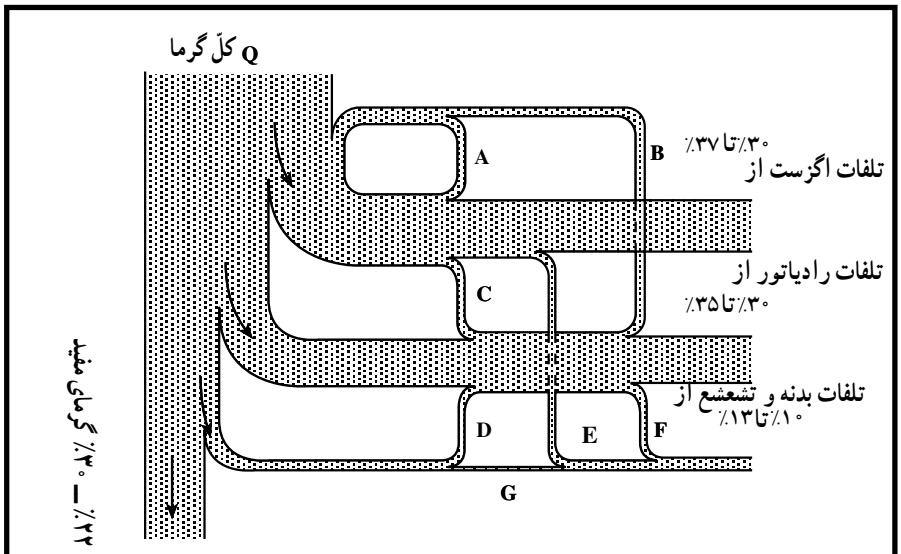
پاسخ :

$Q = V \rho \times CV = ۳۵ \times ۰/۷۵ \times ۱۰۰۰۰ = ۲۶۲۵۰۰$ kcal

$Q = ۲۶۲۵۰۰ \times ۴/۲ = ۱۱۰۲۵۰۰$ kj

۳ــ ۵ ــ محاسبه‌ی مقدار گرمای مفید و تلف شده

هم‌چنان که گفته شد از کلّ گرمای حاصل از احتراق سوخت در درون محفظه‌ی احتراق موتورهای درون‌سوز (احتراق‌داخلی)، معمولاً ۲۲ تا ۳۰ درصد آن تبدیل به کار مکانیکی شده، باعث ایجاد حرکت دورانی میل لنگ می‌گردد . این مقدار گرما را «گرمای مفید موتور» می‌نامند، و بقیّه‌ی گرمای حاصل از احتراق ــ که در شکل (۱ــ۵) نشان داده شده است ــ به هوای آزاد منتقل شده، یا به عبارت دیگر تلف می‌گردد.



شکل ۱ــ۵ ــ توزیع گرمای حاصل از احتراق

بازده گرمای مفید حاصل از احتراق (η_e): گرمای حاصل از احتراق که به کار مکانیکی تبدیل می‌شود، حدوداً (۲۲ تا ۳۰) درصد است.

درصد تلفات تبادل حرارتی بدنه‌ی موتور (η_a): درصد انتقال گرما به هوای آزاد که از طریق انتشار گرما توسط بدنه و قطعات موتور مانند، سیلندر، سرسیلندر، کارتل و غیره صورت می‌گیرد بین (۱۰ تا ۱۳) درصد است.

درصد تلفات حرارتی اگزوز (η_{ex}): درصد انتقال گرما به هوای آزاد که از طریق گازهای خروجی اگزوز انجام می‌گیرد، بین ۳۰ تا ۳۷ درصد است.

درصد تلفات حرارتی در رادیاتور (η_w): درصد انتقال گرما به هوای آزاد که از طریق سیستم خنک کننده موتور صورت می‌پذیرد، حدود (۳۰ تا ۳۵) درصد است.

به‌طوری که اگر : $\eta_e + \eta_w + \eta_{ex} + \eta_a = ۱۰۰$ باشد :

سؤال: آیا در تمام موتورهای احتراق داخلی اتلاف گرما به همین طریق است؟

برای محاسبه‌ی گرمای مفید و یا تلف شده‌ی هریک از راه‌های یاد شده، کافی است که مقدار کلّ گرمای حاصل از احتراق را محاسبه نموده، آن را در ضریب یا درصد گرمای مورد نظر ضرب کنند. به عنوان مثال، مقدار گرمای مفید برابر است با :

$$Q_e = Q.\eta_e = m \times CV \times \eta_e = V \times \rho \times CV \times \eta_e \qquad (۵ــ۲)$$

و یا گرمای تلف شده توسّط سیستم خنک کننده، برابر است با :

$$Q_w = Q.\eta_w = \dot{m} \times CV \times \eta_w = \dot{V} \times \rho \times CV \times \eta_w \qquad (۵ــ۳)$$

مثال (۳) : کلّ حرارت حاصل از احتراق در یک موتور بنزین (۴۲۰,۰۰۰ kj/hr) است. اگر بازده حرارتی مفید موتور (۲۸٪) و درصد اتلاف حرارت از طریق انتشار در هوا (۱۰٪) و از طریق اگزوز (۳۳٪) باشد، مقدار گرمای مفید و تلف شده را از راه‌های دیگر به‌دست آورید.

پاسخ :

$\eta_e = ٪۲۸$

$Q = ۴۲۰,۰۰۰ \ kj/hr$

$\eta_a = ٪۱۰$

$\eta_{ex} = ٪۳۳$

$Q_e = ? \ \ kj/hr$

$Q_a = ? \ \ kj/hr$

$Q_{ex} = ?\ \ kj/hr$

$Q_w = ?\ \ kj/hr$

$Q_e = Q \times \eta_{\ e} = ۴۲۰۰۰۰ \times ۰/۲۸ = ۱۱۷۶۰۰\ \ kj/hr$

$Q_a = Q \times \eta_{\ a} = ۴۲۰۰۰۰ \times ۰/۱۰ = ۴۲۰۰۰\ \ kj/hr$

$Q_{ex} = Q \times \eta_{\ ex} = ۴۲۰۰۰۰ \times ۰/۳۳ = ۱۳۸۶۰۰\ \ kj/hr$

$Q_w = Q - (Q_e + Q_{ex} + Q_a) = ۴۲۰۰۰۰ - (۱۱۷۶۰۰ + ۱۳۸۶۰۰ + ۴۲۰۰۰) =$

$Q_w = ۴۲۰۰۰۰ - ۲۹۸۲۰۰ = ۱۲۱۸۰۰\ \ kj/hr$

۴ــ ۵ــ محاسبه‌ی توان مکانیکی از طریق گرمای مفید

با در نظر گرفتن مطالب گذشته، می‌دانیم که گرمای مفید حاصل از احتراق به توان مکانیکی تبدیل می‌شود. با توجه به این که $1kW = ۳۶۰۰ kj/hr$ است، می‌توان نتیجه گرفت :

$$Q_e = ۳۶۰۰ P_i \Rightarrow P_i = \frac{Q_e}{۳۶۰۰}$$

$$\boxed{Q_e = m \times CV \times \eta_{\ e}} \Rightarrow \boxed{P_i = \frac{m \times CV \times \eta_{\ e}}{۳۶۰۰}} \qquad (۵ _ ۴)$$

در رابطه‌ی فوق :

P_i = توان مکانیکی تئوری موتور برحسب kW ؛

m = سوخت مصرفی موتور برحسب kg/hr ؛

CV = ارزش حرارتی سوخت برحسب kj/kg ؛

$\eta_{\ e}$ = بازده حرارتی مفید موتور است.

مثال (۴) : مولّدی با توان بازده (۶۸ kW) و بازده الکتریکی (٪۸۵) به وسیله‌ی موتور دیزلی با کارایی حرارتی مفید (٪۳۰) به حرکت درمی‌آید. اگر سوخت بنزین معمولی و جرم حجمی آن ($۰/۸۵ gr/cm^۳$) و کارایی مکانیکی موتور (٪۹۱) باشد، مطلوب است که :

ــ توان بازده موتور برحسب kW حساب شود.

ــ مصرف سوخت موتور در یک ساعت برحسب لیتر محاسبه شود.

$P_{eG} = ۶۸\ \ kW$

$\eta_G = ٪۸۵$

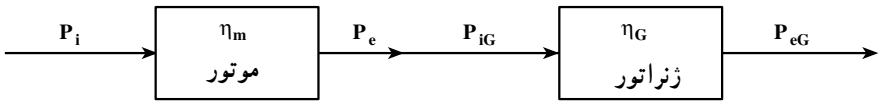
$\eta_e = ٪۳۰$

$CV = ۴۳۵۰۰ \ kj/kg$

$\rho = ۰/۸۵ \ gr/cm^۳$

$\eta_m = ٪۹۱$ $\qquad Pe = ?KW \quad , \quad V = ?lit/hr$

پاسخ:



$$P_{iG} = \frac{P_{eG}}{\eta_G} = \frac{۶۸}{۰/۸۵} = ۸۰ kW$$

$$P_{em} = P_{iG} = ۸۰ kW$$

$$P_{im} = \frac{m \times CV \times \eta_e}{۳۶۰۰} \Rightarrow m = \frac{P_i \times ۳۶۰۰}{CV \times \eta_e}$$

$$P_{im} = \frac{P_e}{\eta_m} = \frac{۸۰}{۰/۹۱} = ۸۷/۹ \ kW$$

$$\dot{m} = \frac{۸۷/۹ \times ۳۶۰۰}{۴۳۵۰۰ \times ۰/۳۰} = ۲۴/۲۵ \ kg/hr$$

$$m = V \times \rho \Rightarrow \quad V = \frac{m}{\rho} = \frac{۲۴/۲۵}{۰/۸۵} = ۲۸/۵ \ lit/hr$$

مثال (۵) : یک مولّد الکتریکی با توان بازده (۵۰ kW) و کارایی (٪۸۰) توسط یک موتور درون سوز که ارزش حرارتی سوخت آن (۱۰۰۰۰ kcal/kg) و جرم‌حجمی آن ($۰/۷۵ \ gr/cm^۳$) است کار می‌کند .اگر قیمت هر لیتر سوخت موتور ۴۰۰ ریال باشد و در هر ساعت ۴۰۰۰ ریال مزدکارگر و استهلاک موتور در نظر گرفته شود، تعیین کنید که :

الف ــ توان مفید موتور محرّک چند kW خواهد بود؟

ب ــ اگر کارایی مکانیکی موتور ٪۹۰ باشد، مصرف سوخت موتور برحسب lit/hr چه قدر است؟

ج ــ اگر بازده حرارتی موتور ٪۲۶ باشد، قیمت هر کیلووات ساعت برق مولّد به ریال را حساب کنید.

$P_{eG} = ۵۰ \ kW$

$\eta_G = ٪۸۰$

$CV = ۱۰۰۰۰ \ kcal/kg$

$\rho = ۰/۷۵ \ gr/cm^۳$

$C_۱ = ۵۰ \ \text{ریال} \ /lit$

$C_۲ = ۴۰۰۰ \ \text{ریال} \ /hr$

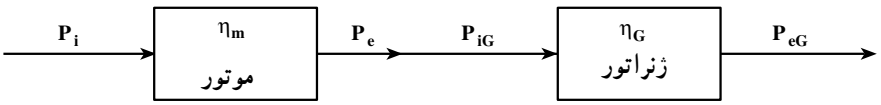
$P_e = ? \ kW$

$V = ? \ lit/h$

$\eta_m = ٪۹۰$

$C = ? \ \text{ریال} \ /kW-hr$

$\eta_e = ٪۲۶$



$$P_{iG} = \frac{P_{eG}}{\eta_G} = \frac{۵۰}{۰/۸} = ۶۲/۵ \ kW$$

$$P_e = P_{iG} = ۶۲/۵ \ kW$$

$$P_{im} = \frac{V \rho \times CV \times \eta_e}{۳۶۰۰} \Rightarrow V = \frac{P_i \times ۳۶۰۰}{V \rho \eta_e}$$

$$P_{im} = \frac{P_e}{\eta_m} = \frac{۶۲/۵}{٪۹۰} = ۶۹/۴ \ kW$$

$$V = \frac{۶۹/۴ \times ۳۶۰۰}{۰/۷۵ \times (۱۰۰۰۰ \times ۴/۲) \times ۰/۲۶} = ۳۰/۵ \ lit/h$$

$$C = \frac{V \times C_۱ + C_۲}{P_{eG}} = \frac{۳۰/۵ \times ۴۰۰ + ۴۰۰۰}{۵۰} = ۳۲۴ \ \text{ریال} \ /kW-hr$$

۵ ــ ۵ ــ محاسبه‌ی حجم آب مورد نیاز سیستم خنک کننده

برای محاسبه‌ی حجم آب مورد نیاز سیستم خنک کننده که در موتور خودروها همان حجم آب موتور و رادیاتور و لوله‌های رابط است و نیز برای محاسبه‌ی میزان تغییر درجه‌ی حرارت آب در اثر

انتقال گرما به آن ، از فرمول زیر استفاده می‌کنیم.

در این رابطه : (۵ ــ ۵) $\boxed{Q_W = m_W \times C_P \times \Delta t}$

Q_W = مقدار گرمای منتقل شده به آب kj/hr ؛

m_W = دبی جرم آب kg/hr ؛

C_p = گرمای ویژه‌ی آب در فشار ثابت $kj/kg.^\circ C$ ؛

Δt = اختلاف دمای ورودی و خروجی آب به رادیاتور ؛

$\Delta t = t_2 - t_1$

t_2 = درجه‌ی حرارت آب خروجی از موتور به رادیاتور $^\circ C$ ؛

t_1 = درجه‌ی حرارت آب خروجی از رادیاتور به موتور $^\circ C$ ؛

با توجه به فرمول یاد شده حجم آب موجود در موتور و رادیاتور را می‌توان به روش زیر به‌دست آورد .

$$m_W = V_W \times \rho \Rightarrow \quad V_W = \frac{m_W}{\rho}$$

از طرفی می‌دانیم :

$$m_W = \frac{Q_W}{C_P \times \Delta t} \Rightarrow V_W = \frac{Q_W}{\rho \times C_P \times \Delta t}$$

در این روابط : (۶ــ۵)

$$V_W = n \times V \Rightarrow \boxed{V = \frac{Q_W}{n \times \rho \times C_P \times \Delta t}}$$

m_W = دبی جرم آب مورد نیاز برای انتقال گرمای $(kg/hr)Q_W$ ؛

V_W = دبی حجم آب مورد نیاز برای انتقال گرمای $Q_W(m^3/hr)$ ؛

V = حجم آب موجود در سیستم خنک‌کننده (m^3) ؛

n = تعداد دوری که آب درون موتور رادیاتور گردش می‌کند تا گرمای «Q_W» را جذب کند ؛

ρ = جرم حجمی آب است که در سیستم بین‌المللی برابر با $(۱۰۰۰ \frac{kg}{m^3})$ است و معادل با یک‌گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد.

$$۱۰۰۰ \frac{kg}{m^3} = ۱ \frac{gr}{cm^3}$$

مثال (۶) : موتوری با دور ثابت در ساعت (۸) کیلوگرم بنزین با ارزش حرارتی (۴۲۰۰) کیلوژول بر نیوتن مصرف می‌کند. اگر (۳۳٪) از کلّ گرمای حاصل از احتراق از طریق آب خنک کننده به هوا منتقل شود، مطلوب است که :

ـ کلّ گرمای حاصل از احتراق برحسب kj/hr محاسبه شود.

ـ مقدار گرمای منتقل شده به هوا از طریق آب خنک کننده برحسب kj/h حساب شود.

$m = ۸۰ \ \ kg/hr$

$CV = ۴۲۰۰ \ \ kj/N$

$\eta_W = ٪۳۳$

$Q = ? \ \ kj/hr$

$Q_W = ? \ \ kj/hr$

$Q = m \times CV = ۸۰ \times ۴۲۰۰ = ۳۳۶۰۰۰ \ \ kj/hr$

$Q_W = Q \times \eta_W = ۳۳۶۰۰۰ \times ٪۳۳ = ۱۱۰۸۸۰ kj/hr$

مثال (۷) : موتوری در هر ساعت ۱۰ لیتر سوخت با جرم حجمی ($۰/۷۴ \ \ gr/cm^۳$) مصرف می‌کند. اگر ارزش حرارتی سوخت مصرفی ($۱۰۴۰۰ \ \ kcal/kg$) و حجم آب موتور و رادیاتور ($۸ lit$) و درصد انتقال حرارت به آب (۳۳٪) باشد، مطلوب است که :

ـ اگر پمپ آب در هر ساعت ۱۵۰ دور آب را بچرخاند. مقدار اختلاف درجه‌ی حرارت آب موتور و رادیاتور برحسب درجه‌ی سانتی‌گراد را حساب کنید.

$V = ۱۰ \ \ lit/hr$

$\rho = ۰/۷۴ \ \ gr/cm^۳$

$CV = ۱۰۴۰۰ \ \ kcal/kg$

$v = ۸ \ \ lit$

$\eta_W = ٪۳۳$

$\Delta t = ? \ \ ^\circ C$

$n = ۱۵۰$ دور در ساعت

پاسخ:

$$Q_W = m_W \times C_P \times \Delta T \Rightarrow \Delta T = \frac{Q_W}{m_W \times C_P}$$

$Q_W = m \times CV \times \eta_W = V \times \rho \times CV \times \eta_W$

$Q_W = ۱۰ \times ۰/۷۴ \times ۱۰۴۰۰ \times ۰/۳۳ = ۲۵۳۹۶/۸ \ \ kcal/hr$

$$m_W = V_W \rho = n \times v \rho = ۱۵۰ \times ۸ \times ۱ = ۱۲۰۰ \ kg/hr$$

$$\Delta t = \frac{۲۵۳۹۶/۸}{۱۲۰۰ \times ۱} = ۲۱/۲ \ ^\circ C$$

۶ــ ۵ ــ محاسبه‌ی حجم سوخت مصرفی موتور

برای محاسبه‌ی حجم سوخت مصرفی موتور به‌راحتی و با استفاده از رابطه‌ی موجود میان حجم، دبی جرمی، جرم حجمی و روابط قبلی، می‌توان به صورت زیر عمل نمود :

$$V = \frac{m}{\rho}$$

$$P_i = \frac{Q_e}{۳۶۰۰} = \frac{m \times CV \times \eta_e}{۳۶۰۰} \Rightarrow m = \frac{P_i \times ۳۶۰۰}{CV \times \eta_e}$$

$$\boxed{V = \frac{P_i \times ۳۶۰۰}{\rho \times CV \times \eta_e}}$$

و در نتیجه : (۵ــ۷)

مثال (۸): اگر توان مفید موتوری (۵۰kW) و کارایی حرارتی (٪۲۷) و بازده مکانیکی (٪۹۰) باشد و سوخت مصرفی این موتور بنزین مخصوص با جرم‌حجمی ($۰/۷۵ gr/cm^۳$) درنظر گرفته شود، حجم سوخت مصرفی این موتور درساعت چند لیتر است؟

$$P_e = ۵۰ kW$$

$$\eta_e = ٪۲۷$$

$$\eta_m = ٪۹۰$$

$$CV = ۴۲۷۰۰ \ kj/kg$$

$$\rho = ۰/۷۵ \ gr/cm^۳$$

$$V = ? \ lit/h$$

پاسخ :

$$V = \frac{۳۶۰۰ \times P_i}{\rho \times CV \times \eta_e}$$

$$P_i = \frac{P_e}{\eta_m} = \frac{۵۰}{۰/۹} = ۵۵/۵ \ kW$$

$$V = \frac{۳۶۰۰ \times ۵۵/۵}{۰/۷۵ \times ۴۲۷۰۰ \times ۰/۲۷} = ۲۳/۱ \ lit/hr$$

۷ــ ۵ ــ محاسبه‌ی مصرف ویژه‌ی سوخت

یکی از عوامل مشخّصه‌ی موتورهای درون سوز، میزان مصرف ویژه‌ی سوخت موتور است. زیرا ممکن است یک موتور، نسبت به موتور دیگر، سوخت کم‌تری در هر ساعت مصرف نماید امّا در مقابل آن توان کم‌تری نیز تولید کند. بنابراین، تنها کم‌تر بودن مصرف سوخت موتور در یک ساعت نمی‌تواند تعیین کننده‌ی بهتر و یا بدتر بودن یک موتور باشد. در این گونه موارد برای تعیین این‌که از میان چند موتور کدام یک بهتر است، میزان مصرف ویژه‌ی سوخت موتورها را اندازه‌گیری و با هم مقایسه می‌نمایند. هر موتوری که مصرف ویژه‌ی سوخت کم‌تری داشته باشد، بهتر است.

مصرف ویژه‌ی سوخت، به میزان مصرف سوخت موتور در برابر تولید یک واحد توان ، در واحدزمان می‌گویند و معمولاً برحسب کیلوگرم بر کیلووات ساعت (kg/kW.hr) اندازه‌گیری شده، با علامت (b_e) نشان داده می‌شود. با توجّه به تعریف فوق مصرف ویژه‌ی سوخت از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید.

$$b_e = \frac{m}{P_e} \qquad (۵ _ ۸)$$

در این رابطه :

b_e = میزان مصرف kg/hr.kW ؛

مثال (۹) : موتوری با توان مفید (۶۰ kW) در هر ساعت (۱۲) لیتر سوخت با جرم حجمی (۰/۷۵ kg/lit) مصرف می‌کند . مصرف ویژه‌ی سوخت این موتور چند kg/kW – hr و gr/kW – hr است ؟

$P_e = ۶۰ \quad kW$

$V = ۱۲ \quad lit/hr$

$\rho = ۰/۷۵ \quad gr/cm^۳$

$b_e = ? \quad kg/kW.hr$

پاسخ:

$m = V \times \rho = ۱۲ \times ۰/۷۵ = ۹ \quad kg/hr$

$b_e = \frac{m}{P_e} = \frac{۹}{۶۰} = ۰/۱۵ \quad kg/kW.hr$

$۰/۱۵ \times ۱۰۰۰ = ۱۵۰ \quad gr/kW.hr$

۸ ــ ۵ ــ محاسبه‌ی مصرف سوخت به ازای یک‌صد کیلومتر

یکی دیگر از عوامل مشخّصه‌ی موتورها، میزان مصرف سوخت موتور به ازای یک‌صدکیلومتر مسافت پیموده شده است. این میزان مصرف سوخت که به طور متوسط محاسبه می‌گردد،از رابطه‌ی زیر به‌دست‌می‌آید.

$$C = \frac{k \times ۱۰۰}{L} \quad (۵ــ۹)$$

در این رابطه :

C = مقدار مصرف سوخت در یک‌صدکیلومتر برحسب لیتر[۱] ؛

k = کلّ سوخت مصرف شده (لیتر) ؛

L = مسافت طی شده (کیلومتر).

مثال (۱۰): فاصله‌ی تهران تا اصفهان (۴۸۰ km) است. اگر یک اتومبیل در طی این مسافت (۵۲/۸ lit) سوخت مصرف کرده باشد، مصرف سوخت آن به ازای یک‌صدکیلومتر چند لیتر است؟

$L = ۴۸۰ \quad km$

$k = ۵۲/۸ \quad lit$

$C = ? \quad lit/۱۰۰km$

پاسخ :

$$C = \frac{k \times ۱۰۰}{L} = \frac{۵۲/۸ \times ۱۰۰}{۴۸۰} = ۱۱ \quad lit/۱۰۰km$$

مثال (۱۱) : برای تعیین سوخت مصرفی یک موتور که توان مفید آن (۴۰ kW) است، این موتور را به مدّت (۲۵) ثانیه روی دستگاه آزمایش قرار داده، ($۱۲۰ cm^۳$) سوخت با جرم مخصوص ($۰/۷۵ gr/cm^۳$) مصرف می‌نماید. مصرف ویژه‌ی سوخت این موتور چند ($kg/kW-hr$) است؟

$P_e = ۴۰ \quad kW$

$t = ۲۵$ ثانیه

$b = ۱۲۰ \quad cm^۳$

۱ــ Consumption

$\rho = ۰/۷۵ \quad gr/cm^۳$

$b_e = ? \quad kg/kW.hr$

$$\text{مصرف سوخت برحسب } gr/hr = \frac{\text{وزن مخصوص سوخت } (gr/cm^۳) \times \text{حجم سوخت مصرفی در «t» ثانیه برحسب } (cm^۳) \times ۳۶۰۰ \text{ sec/hr}}{\text{زمان اندازه‌گیری شده برحسب ثانیه}}$$

$$m = \frac{b \rho \times \quad ۳۶۰۰}{t} = \frac{۱۲۰(cm^۳) \times ۰/۷۵(gr/cm^۳) \times ۳۶۰۰}{۲۵ \quad sec} = ۱۲۹۶۰ \quad gr/hr$$

$$b_e = \frac{m}{P_e} = \frac{۱۲۹۶۰}{۴۰} = ۳۲۴ \quad gr/kW.hr$$

$$b_e = ۳۲۴ \div ۱۰۰۰ = ۰/۳۲۴ \quad kg/kW.hr$$

مثال (۱۲): پمپ آب یک موتور دیزل با دور ثابت در ساعت، (۱۳) لیتر آب موتور و رادیاتور را (۲۶۰) مرتبه به گردش در می‌آورد. اگر کاهش درجه‌ی حرارت آب در رادیاتور ($۲۲ \ ^\circ C$) و ارزش حرارتی سوخت $۸۷۸۰ kcal/lit$ با جرم حجمی ($۰/۸۶ kg/lit$) و کلّ حرارت حاصل از احتراق در موتور ($۲۲۹۵۰۰ kcal/hr$) باشد، تعیین کنید که:

الف ــ درصد انتقال حرارت به آب موتور چه قدر است؟

ب ــ اگر بازده‌ی حرارتی موتور (۲۶٪) و کارایی مکانیکی موتور (۸۰٪) باشد. مصرف ویژه‌ی سوخت موتور برحسب ($gr/kW.hr$) چه قدر است؟

$v = ۱۳ \quad lit$

$n = ۲۶۰$ چرخش آب در ساعت

$\Delta t = ۲۲ \quad ^\circ C$

$CV = ۸۷۸۰ \quad kcal/lit$

$\rho = ۰/۸۶ \quad kg/lit$

$Q = ۲۲۹۵۰۰ \quad kcal/h$

$\eta_W = ?$

$b_e = ? \quad gr/kW.hr$

$\eta_e = ٪۲۶$

$\eta_m = ٪۸۰$

$$\eta_W = \frac{Q_W}{Q} \qquad Q_W = m \times C_P \times \Delta t$$

$$m_W = V_W \times \rho = n \times v \times \rho = ۲۶۰ \times ۱۳ \times ۱ = ۳۳۸۰ \quad kg/hr$$

$$Q_W = ۳۳۸۰ \times ۱ \times ۲۲ = ۷۴۳۶۰ \quad kcal/hr$$

$$\eta_W = \frac{۷۴۳۶۰}{۲۲۹۵۰۰} = ۰/۳۲۴ \Rightarrow \eta_W = ٪۳۲/۴$$

$$b_e = \frac{m}{P_e} \qquad Q = m \times CV$$

چون ارزش حرارتی برحسب واحد(kcal/lit) داده شده است، بنابراین :

$$Q = V \times CV \Rightarrow V = \frac{Q}{CV} = \frac{۲۲۹۵۰۰}{۸۷۸۰} = ۲۶/۱ \quad lit/hr$$

$$m = V \times \rho = ۲۶/۱ \times ۰/۸۶ = ۲۲/۴ \quad kg/hr$$

$$Q_e = ۳۶۰۰ \times P_i \qquad Q_e = Q \times \eta_e \times ۴/۲$$

$$P_i = \frac{Q \times \eta_e \times ۴/۲}{۳۶۰۰} = \frac{۲۲۹۵۰۰ \times ۰/۲۶ \times ۴/۲}{۳۶۰۰} = ۶۹/۶ \quad kW$$

$$P_e = P_i \times \eta_m = ۶۹/۶ \times ۰/۸۰ = ۵۵/۶۸ kW$$

$$b_e = \frac{m}{P_e} = \frac{۲۲/۴}{۵۵/۶۸} = ۰/۴۰۲ kg/kW.h = ۴۰۲ gr/kW.h$$

مثال (۱۳): در یک موتور بنزینی از کلّ حرارت حاصل از احتراق در سرسیلندر (٪۳۵) معادل (۳۲۴۴۵ kcal/hr) از طریق اگزوز به خارج و (۲۹۶۶۴ kcal/hr) به آب داده می‌شود. اگر ارزش حرارتی سوخت (۱۰۳۰۰ kcal/kg) و وزن مخصوص سوخت ($۰/۷۵ gr/cm^۳$) و بازده حرارتی موتور (٪۲۶) و کارایی مکانیکی آن (٪۹۰) باشد، تعیین کنید که :

الف ــ سوخت مصرفی موتور برحسب lit/hr چه قدر است؟

ب ــ درصد حرارت منتقل شده به آب چه قدر است؟

ج ــ سوخت ویژه‌ی موتور چند gr/kW.hr است؟

د ــ افت انرژی حرارتی که به صورت دیگر از بین رفته است چند kj/hr است؟

$$\eta_{ex} = ٪۳۵$$

$$Q_{ex} = ۳۲۴۴۵ \quad kcal/hr$$

$Q_w = ۲۹۶۶۴$ kcal/hr

$CV = ۱۰۳۰۰$ kcal/kg

$\rho = ۰/۷۵$ gr/cm^۳

$\eta_e = ٪۲۶$

$\eta_m = ٪۹۰$

$V = ?$ lit/hr

$\eta_w = ?$

$b_e = ?$ gr/kW.hr

$Q_a = ?$ kj/hr

پاسخ :

$$Q_{ex} = V \times \rho \times CV \times \eta_{ex} \Rightarrow V = \frac{Q_{ex}}{\rho \times CV \times \eta_{ex}}$$

$$V = \frac{۳۲۴۴۵}{۰/۷۵ \times ۱۰۳۰۰ \times ۰/۳۵} = ۱۲ \quad \text{lit/hr}$$

$$\eta_w = \frac{Q_w}{V \times \rho \times CV} = \frac{۲۹۶۶۴}{۱۲ \times ۰/۷۵ \times ۱۰۳۰۰} = ۰/۳۲ \Rightarrow \eta_w = ٪۳۲$$

$$b_e = \frac{m}{P_e} = \frac{V \times \rho}{P_e}$$

$$P_i = \frac{V \times \rho \times CV \times \eta_e}{۳۶۰۰} = \frac{۱۲ \times ۰/۷۵ \times (۱۰۳۰۰ \times ۴/۲) \times ۰/۲۶}{۳۶۰۰} = ۲۸/۱ \quad kW$$

$$P_e = P_i \times \eta_m = ۲۸/۱ \times ۰/۹ = ۲۵/۳ \quad kW$$

$$b_e = \frac{۱۲ \times ۰/۷۵ \times ۱۰۰۰}{۲۵/۳} = ۳۵۵/۷ \quad gr/kW.hr$$

$$Q_a = Q \times \eta_a$$

$$Q = V \times \rho \times CV = ۱۲ \times ۰/۷۵ \times ۱۰۳۰۰ = ۹۲۷۰۰ \quad kcal/hr$$

$$\eta_a = ۱ - (\eta_w + \eta_{ex} + \eta_e) = ۱ - (۰/۳۲ + ۰/۳۵ + ۰/۲۶) = ۰/۰۷$$

$$Q_a = (۹۲۷۰۰ \times ۴/۲) \times ۰/۰۷ = ۲۷۲۵۳/۸ \quad kj/hr$$

مثال (۱۴): موتور چهار سیلندر چهار زمانه‌ای با دور ثابت (۳۶۰۰ RPM) دارای مصرف سوخت (۱۲) لیتر در ساعت با جرم حجمی ($۰/۷۵ gr/cm^۳$) و ارزش حرارتی ($۴۲۰۰ kj/N$) است. اگر (٪۲۵) از کلّ انرژی حرارتی مفید واقع گردد و در این حالت فشار متوسط احتراق روی

پیستون (۱۰bar) باشد، تعیین کنید که :

الف ــ انرژی حرارتی مفید برحسب kj/hr چه قدر است؟

ب ــ اگرکورس پیستون ۱۰۰ میلی‌متر باشد، نیروی متوسط احتراق چند N است؟

ج ــ قطر دهانه‌ی سیلندر چند cm است؟

$k = ۴$

$n = ۳۶۰۰ \quad RPM$

$V = ۱۲ \quad lit/hr$

$\rho = ۰/۷۵ \quad gr/cm^۳$

$CV = ۴۲۰۰ \quad kj/N = ۴۲۰۰ \quad kj/kg$

$\eta_e = ٪۲۵$

$P_m = ۱۰bar$

$Q_e = ? \quad kg/hr$

$F_m = ? \quad N$

$S = ۱۰۰ \quad mm$

$D = ? \quad cm$

$Q_e = V \rho \times CV \times \eta_e = ۱۲ \times ۰/۷۵ \times ۴۲۰۰۰ \times ۰/۲۵ = ۹۴۵۰۰ \quad kj/hr$

برای محاسبه‌ی نیروی متوسط احتراق که به هر پیستون اثر می‌نماید، به ترتیب زیر عمل می‌کنیم :

ابتدا تعداد جرقه‌ای که در موتور در یک ساعت زده می‌شود، محاسبه می‌کنیم.

تعداد جرقه در ساعت $N = \frac{n \times k \times ۶۰}{۲} = \frac{۳۶۰۰ \times ۴ \times ۶۰}{۲} = ۴۳۲۰۰۰$

از حاصل تقسیم انرژی حرارتی مفید در یک ساعت بر تعداد جرقه در یک ساعت، مقدار انرژی حرارتی مفید در اثر یک جرقه به‌دست می‌آید.

$Q_{e_۱} = \frac{Q_e}{N} = \frac{۹۴۵۰۰}{۴۳۲۰۰۰} = ۰/۲۱۸ \quad kj$

این مقدار انرژی تبدیل به کار مکانیکی می‌شود و چون ($۱kj = ۱۰۰۰ \quad N.m$) است، بنابراین کار مکانیکی انجام شده در اثر یک جرقه برابر است با :

$$W = ۰/۲۱۸ \times ۱۰۰۰ = ۲۱۸ \ N.m$$

نیروی متوسط احتراق $$W = F_m \times S \ \Rightarrow \ F_m = \frac{W}{S} = \frac{۲۱۸ \times ۱۰۰۰}{۱۰۰} = ۲۱۸۰ \ N$$

سطح پیستون $$F_m = A \times P_m \ \Rightarrow \ A = \frac{F}{P_m} = \frac{۲۱۸۰}{۱۰ \times ۱۰} = ۲۱/۸ \ cm^۲$$

قطر پیستون $$A = \frac{D^۲ \times \pi}{۴} \ \Rightarrow \ D = \sqrt{\frac{۴ \times A}{\pi}} = \sqrt{\frac{۴ \times ۲۱/۸}{۳/۱۴}} = ۵/۳ \ cm$$

تمرین

مسأله‌ی(۱): یک وانت با توان مفید (۱۲۰kW) دارای سوخت مصرفی (۲۶/۷) کیلوگرم در ساعت است. مصرف ویژه‌ی سوخت موتور را برحسب (gr/kW.hr) حساب کنید.

جواب) ۲۲۲/۵ gr/kW.hr

مسأله‌ی (۲) : توان مفید موتوری که با سرعت (۱۲۰ km/hr) حرکت می‌کند kW(۴۰) و کارایی مکانیکی آن (۹۰٪) و سوخت آن تولوئن و بازده حرارتی آن (۲۵٪) است. مطلوب است که : سوخت اتومبیل در هرصد کیلومتر برحسب لیتر محاسبه شود.

جواب) C = ۱۵ lit/۱۰۰ km

مسأله‌ی (۳) : موتوری با توان مفید (۶۰kW) دارای مصرف سوخت ویژه‌ی (۱۵۰gr/kW.hr) با ارزش گرمایی(۴۲۰۰۰kj/kg) است . اگر افت درجه‌ی حرارت، توسط رادیاتور (۲۰) درجه کلوین و گنجایش آب موتور و رادیاتور (۸lit) باشد و (۳۰٪) از کل حرارت حاصل از احتراق به آب انتقال داده شود ، مطلوب است که :

الف ــ حرارت منتقل شده به آب برحسب kj/hr محاسبه شود.

ب ــ مقدار آب عبور داده شده از رادیاتور برحسب lit/min حساب شود.

ج ــ تعداد دوری که آب موتور و رادیاتور در هر دقیقه به‌گردش در می‌آید.

الف) ۱۱۳۴۰۰kj/hr ب) ۲۲/۵ lit/min ج) ۲/۸RPM

مسأله‌ی (۴) : یک موتور چهار زمانه‌ی چهار سیلندر با دور ثابت (۳۰۰۰ RPM) در هرساعت (۱۵) لیتر سوخت مصرف می‌کند . اگر سوخت بنزین مخصوص و جرم حجمی سوخت آن (۰/۷۵kg/lit) و کارایی حرارتی (۲۵٪) و فشار متوسط احتراق روی پیستون (۱۰bar) باشد، تعیین کنید که :

الف ــ انرژی حرارتی مفید چند kj/h است؟

ب ــ نیروی متوسط احتراق چند N است؟

ج ــ در صورتی که دور پیستون (۹۰mm) باشد، قطر دهانه‌ی سیلندر چند cm است؟

الف) ۱۲۰۰۹۳/۷۵kj/hr ب) ۳۷۰۶/۵۹N ج) $D\Delta = ۶/۸۷$ cm

مسأله‌ی (۵) : موتوری در زمان (۲۰) ثانیه در یک دور ثابت ($۷۰cm^۳$) سوخت با وزن مخصوص ($۰/۷۳gr/cm^۳$) مصرف می‌کند . اگر در این حالت توان مفید موتور (۴۰kW) و (۳۵٪) از کلّ حرارتی که از طریق اگزوز به خارج می‌رود برابر با (۱۳۸۴۳۰kj/hr) باشد ، مطلوب است که :

الف ــ مصرف سوخت موتور برحسب lit/hr محاسبه شود.

ب ــ مصرف ویژه‌ی سوخت موتور برحسب gr/kW.hr به‌دست آید.

ج ــ کل حرارت حاصل از احتراق برحسب kj/hr حساب شود.

الف) ۱۲/۶lit/hr ب) ۲۳۰gr/kW.hr ج) ۳۹۵۵۱۴kj/hr

مسأله‌ی (۶) : موتوری با توان مفید (۷۰ kW) در دور ثابت دارای مصرف ویژه‌ی سوخت (۲۸۰gr/kW.hr) با ارزش حرارتی (۴۲۰۰۰kj/kgf) است، اگر درصد حرارت انتقالی به آب (۳۵٪) و تقلیل درجه‌ی حرارت آب توسط رادیاتور ($۱۵^\circ k$) و گنجایش آب موتور و رادیاتور (۱۰/۵) لیتر باشد، مطلوب است که :

الف ــ حرارت انتقال داده شده به آب برحسب kj/hr حساب شود.

ب ــ مقدار آب ارسالی توسط پمپ برحسب lit/hr محاسبه گردد.

ج ــ تعداد دوری‌که پمپ، حجم آب موتور و رادیاتور را در دقیقه می‌گرداند، تعیین شود.

الف) ۲۸۸۱۲۰kj/hr ب) ۴۵۷۳lit/hr ج) ۷/۲RPM

مسأله‌ی (۷) : یک موتور دیزل با سرعت ثابت (۸۰km/hr) در هرصد کیلومتر مسافت (۲۵lit) سوخت با وزن ($۰/۷۲gr/cm^۳$) مصرف می‌کند. اگر ارزش حرارتی سوخت (۴۲۳۰۰kj/kg) و کارایی گرمایی(۲۸٪) و بازده مکانیکی آن (۹۲٪) باشد ، تعیین کنید که :

الف ــ سوخت موتور برحسب lit/hr چه قدر است؟

ب ــ توان بازده موتور برحسب kW چه اندازه است؟

الف) ۲۰lit/hr ب) ۴۳/۵۸kW

مسأله‌ی (۸): مولّدی با توان بازده (۶۸kW) و کارایی (۸۵٪) به وسیله‌ی موتوری با بازده حرارتی (۳۰٪) و کارایی مکانیکی (۸۸٪) به حرکت در می‌آید. اگر ارزش حرارتی سوخت (۴۲۳۰۰kj/kg) و وزن مخصوص ($۰/۸۵gr/cm^۳$) باشد. مطلوب است که :

الف ــ توان بازده موتور برحسب kW حساب شود.

ب ــ سوختی که در (۲۵) ثانیه مصرف می‌کند برحسب cm^3 حساب شود.

ج ــ مصرف ویژه‌ی سوخت موتور برحسب gr/kW.hr محاسبه گردد.

الف) ۸۰kW ب) ۲۱۰/۴cm^3 ج) ۳۲۱/۹gr/kW.hr

مسأله‌ی (۹) : مصرف سوخت یک موتور بنزینی که یک مولّد الکتریکی را به‌حرکت درمـی‌آورد (۱۳kg/hr) با ارزش حـرارتی (۷۶۵۰kcal/lit) و وزن مخصوص (۰/۷۱ gr/cm^3) است. اگر کارایی حرارتی موتور (۲۸٪) و بازده مکانیکی آن (۹۰٪) و بازده مولّد (۸۰٪) باشد، به‌سؤالات زیر جواب دهید :

الف ــ کلّ انرژی تلف شده از طریق آب، اگزوز و انتشار در هوا چندkj/hr است؟

ب ــ اگر برق مولّد برای روشنایی به کار رود، چه تعداد لامپ (۱۰۰) واتی را می‌تواند روشن نماید؟

ج ــ اتلاف انرژی مولد برحسبkj/hr را محاسبه کنید.

الف) ۴۲۳۵۷۳kj/hr ب) تعداد لامپ ۳۳۰ ج) ۲۹۶۲۸kj/hr

مسأله‌ی (۱۰) : گشتاور موتوری در دور ثابت (۱۷۹۰) در دقیقه (۲۲۰N.m) است. اگر بازده مفید موتور (۲۶٪) و ارزش حرارتی سوخت (۴۶۲۰۰kj/kg) و جرم حجمی (۰/۷۵ gr/cm^3) و کارایی مکانیکی موتور (۹۰٪) باشد، تعیین کنید که :

الف ــ حرارت مفید موتور برحسب kj/hr چه‌قدر است؟

ب ــ مصرف ویژه‌ی سوخت موتور چند gr/kW.hr است؟

ج ــ سوخت مصرفی در ساعت چند لیتر است؟

د ــ اتلاف حرارت در موتور چند kj/hr است؟

الف) ۱۶۴۹۵۲kj/hr ب) ۳۳۳/۱gr/kW.hr ج) ۱۸/۳lit/hr

د) ۴۶۹۴۷۸kj/hr

مسأله‌ی (۱۱) : موتور چهار زمانه‌ی شش سیلندری با دور ثابت (۲۸۰۰RPM) دارای مصرف سوخت (۲۴lit/hr) با ارزش حرارتی (۸۵۰۰kcal/lit) است. اگر بازده حرارتی موتور (۲۸٪) باشد. تعیین کنید که :

الف ــ درصورتی که بازده مکانیکی موتور (۹۰٪) باشد، گشتاور موتور چند kg.m است؟

ب ــ اگر اتومبیلی با سرعت ثابت (۸۰km/hr) حرکت کند، سوخت مصرفی در یک‌صد کیلومتر چند لیتر است ؟

ج ـ کار یک پیستون برحسب kg.m چگونه است؟

الف) ۲۰/۸۸m.kg　　ب) ۳۰lit/۱۰۰ km　　ج) ۴۳/۶kg.m