

محاسبات حرارتی موتور

هدف‌های رفتاری : از فراگیر انتظار می‌رود که در پایان این فصل بتواند :

- ۱- مراحل تبدیل انرژی را تعریف کند.
- ۲- محاسبه‌ی کل حرارت حاصل از احتراق را انجام دهد.
- ۳- مقدار گرمای مفید و تلف شده را محاسبه کند.
- ۴- قدرت مکانیکی از طریق گرمای مفید را حساب کند.
- ۵- حجم آب مورد نیاز سیستم خنک کننده را تعیین کند.
- ۶- سوخت مصرفی موتور را محاسبه کند.
- ۷- سوخت ویژه را اندازه‌گیری کند.
- ۸- مصرف سوخت به ازای یکصد کیلومتر مسافت پیموده شده را مشخص کند.

۵- محاسبات حرارتی موتور

۱-۵- مراحل تبدیل انرژی در موتور

به طور کلی دستگاه مبدل 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 به انرژی الکتریکی تبدیل می‌نماید. موتور دستگاهی است که در کارهای مکانیکی برای تبدیل نوعی انرژی به نوع دیگر، طراحی شده است.

در موتورهای احتراق داخلی (درون سوز)، قبل از این که 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، در فضای بسته‌ی سیلندر، فشار زیادی به‌وجود می‌آورد، این فشار بر سطح پیستون اثر کرده، حرکت خطی 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 بقیه‌ی آن به صورت توان مفید موتور (P_e) در اختیار سیستم انتقال قدرت قرار می‌گیرد. جدول (۵-۱)، این مراحل را به صورت ساده نشان می‌دهد.

جدول ۱-۵ 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

۲-۵- محاسبه‌ی کل حرارت حاصل از احتراق

هم‌چنان که گفته شد در اثر احتراق سوخت، حرارت زیادی در سیلندر تولید می‌شود که 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 وزن سوخت مصرف شده و ارزش حرارتی سوخت بستگی دارد و از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد.

$$m = V \rho$$

$$Q = m \times CV$$

$$Q = V \rho \times CV \quad (5-1)$$

در این رابطه :

$$Q = \text{کلّ گرمای حاصل از احتراق } \text{kJ/hr} ;$$

$$m = \text{دبی جرمی } \text{kg/hr} ;$$

$$CV = \text{ارزش حرارتی سوخت } \text{kJ/kg (CALORIFIC VALUE)} ;$$

$$V = \text{دبی حجمی } \text{m}^3 / \text{hr} ;$$

$$\rho = \text{جرم حجمی } (\text{kg/m}^3) .$$

«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 مشخصات دیگر آن‌ها، در جدول (۵-۲) 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؟

$$m = 12 \text{ kg/hr}$$

$$CV = 42000 \text{ kJ/kg}$$

$$Q = ? \text{ kJ/hr}$$

پاسخ:

$$Q = m \times CV$$

$$Q = 12 \times 42000 = 504000 \text{ kJ/hr}$$

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

جدول ۲-۵ - مشخصات بعضی از انواع سوخت‌ها

ماده	چگالی نسبی	درصد عناصر تشکیل دهنده	نقطه جوش °C در فشار متعارفی	ارزش حرارتی kJ/kg	درجه‌ی اشتعال °C در فشار متعارفی
بنزین معمولی	۰/۷۵ - ۰/۷۲	۸۶ C و ۱۴ H	۲۱ - ۲۵ °	۴۳۵۰۰	≈ ۲۲ °
بنزین مخصوص	۰/۷۸ - ۰/۷۳	۸۶ C و ۱۴ H	۲۱ - ۲۵ °	۴۲۷۰۰	≈ ۲۲ °
بنزین هواپیما	۰/۷۲	۸۵ C و ۱۵ H	۱۸ - ۴ °	۴۳۱۰۰ - ۴۱۹۰۰	≈ ۴۰ °
گازوئیل	۰/۸۵ - ۰/۸۱	۸۶ C و ۱۳ H	۳۶ - ۱۵ °	۴۴۴۰۰ - ۴۰۶۰۰	≈ ۲۲ °
ایزواکتان	۰/۶۹	۸۴ C و ۱۶ H	۹۹	۴۴۶۰۰	۴۱ °
تولوتن	۰/۸۷	۹۱ C و ۹ H	۱۱ °	۴۰۶۰۰	۵۳ °
اتر	۰/۷۲	۶۴ C و ۱۴ H و ۲۲ O	۳۵	۳۳۳۰۰	۱۷ °
آستون	۰/۷۹	۶۲ C و ۱۰ H و ۲۸ O	۵۶	۲۸۵۰۰	۵۴ °
اتانول	۰/۷۹	۵۲ C و ۱۳ H و ۳۵ O	۷۸	۲۶۸۰۰	۴۲ °
متانول	۰/۷۹	۳۸ C و ۱۲ H و ۵۰ O	۶۵	۱۹۷۰۰	۴۵ °

منابع : 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^۳) چند کیلو ژول است؟

$$V = ۳۵ \text{ lit}$$

$$CV = ۱۰۰۰۰ \text{ kcal/kg}$$

$$\rho = ۰/۷۵ \text{ gr/cm}^۳$$

$$Q = ? \text{ kj}$$

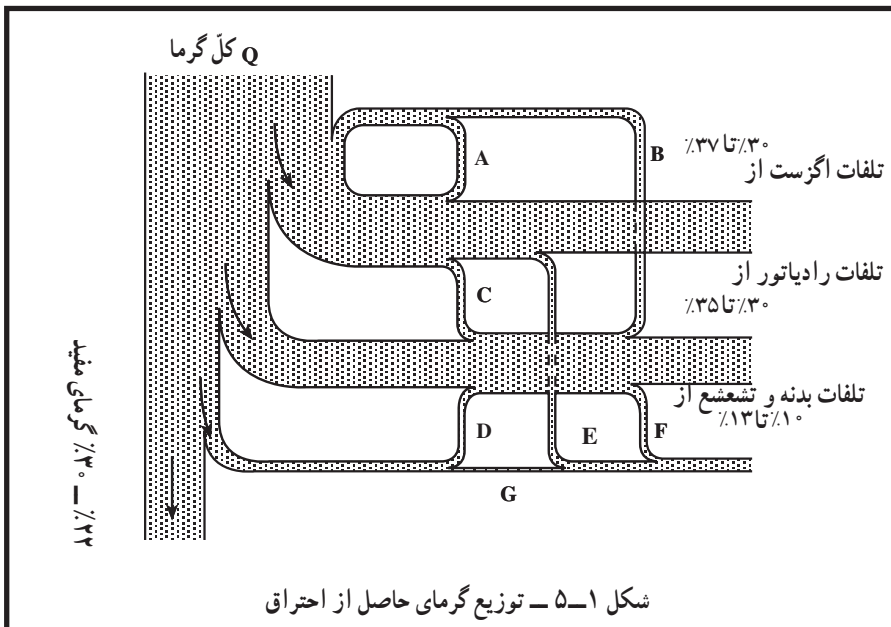
پاسخ:

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

$$Q = ۲۶۲۵۰۰ \times ۴/۲ = ۱۱۰۲۵۰۰ \text{ kj}$$

۳-۵ - محاسبه‌ی مقدار گرمای مفید و تلف شده

هم‌چنان که گفته شد از کلّ گرمای حاصل از احتراق سوخت در درون محفظه‌ی احتراق موتورهای درون‌سوز (احتراق داخلی)، 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 بقیه‌ی گرمای حاصل از احتراق - که در شکل (۱-۵) نشان داده شده است - به هوای آزاد منتقل شده، یا به عبارت دیگر تلف می‌گردد.



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.

به طوری که اگر: $\eta_e + \eta_w + \eta_{ex} + \eta_a = 100\%$ 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 کل 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:

$$Q_e = Q \cdot \eta_e = \dot{m} \times CV \cdot \eta_e = \dot{V} \times CV \cdot \eta_e \quad (5-2)$$

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

$$Q_w = Q \cdot \eta_w = \dot{m} \times CV \cdot \eta_w = \dot{V} \times CV \cdot \eta_w \quad (5-3)$$

مثال (۳): کل حرارت حاصل از احتراق در یک موتور بنزین ($420,000 \text{ kJ/hr}$) 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 به دست آورید.

پاسخ: $\eta_e = 28\%$

$$Q = 420,000 \text{ kJ/hr}$$

$$\eta_a = 10\%$$

$$\eta_{ex} = 33\%$$

$$Q_e = ? \text{ kJ/hr}$$

$$Q_a = ? \text{ kJ/hr}$$

$$Q_{ex} = ? \text{ kJ/hr}$$

$$Q_w = ? \text{ kJ/hr}$$

$$Q_e = Q \eta_e = 420000 \times 0.28 = 117600 \text{ kJ/hr}$$

$$Q_a = Q \eta_a = 420000 \times 0.10 = 42000 \text{ kJ/hr}$$

$$Q_{ex} = Q \eta_{ex} = 420000 \times 0.33 = 138600 \text{ kJ/hr}$$

$$Q_w = Q - (Q_e + Q_{ex} + Q_a) = 420000 - (117600 + 138600 + 42000) =$$

$$Q_w = 420000 - 298200 = 121800 \text{ kJ/hr}$$

۴-۵- 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 $1 \text{ kW} = 3600 \text{ kJ/hr}$ است، می‌توان نتیجه گرفت :

$$Q_e = 3600 P_i \Rightarrow P_i = \frac{Q_e}{3600}$$

$$\boxed{Q_e = m \times CV \eta_e} \Rightarrow \boxed{P_i = \frac{m \times CV \eta_e}{3600}} \quad (4-5)$$

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 ؛

η_e = بازده حرارتی مفید موتور است.

مثال (۴) : مولدی با توان بازده (68 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

(0.85 gr/cm^3) و کارایی مکانیکی موتور (۹۱٪) باشد، مطلوب است که :

- توان بازده موتور برحسب kW حساب شود.

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

$$P_{eG} = 68 \text{ kW}$$

$$\eta_G = 85\%$$

$$\eta_e = 30\%$$

$$CV = 43500 \text{ kJ/kg}$$

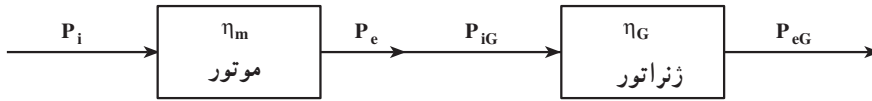
$$\rho = 0.85 \text{ gr/cm}^3$$

$$\eta_m = 91\%$$

$$P_e = ? \text{ kW}$$

$$V = ? \text{ lit/hr}$$

پاسخ:



$$P_{iG} = \frac{P_{eG}}{\eta_G} = \frac{68}{0.85} = 80 \text{ kW}$$

$$P_{em} = P_{iG} = 80 \text{ kW}$$

$$P_{im} = \frac{m \times CV \times \eta_e}{3600} \Rightarrow m = \frac{P_i \times 3600}{CV \times \eta_e}$$

$$P_{im} = \frac{P_e}{\eta_m} = \frac{80}{0.91} = 87.9 \text{ kW}$$

$$m = \frac{87.9 \times 3600}{43500 \times 0.3} = 24.25 \text{ kg/hr}$$

$$m = V \times \rho \Rightarrow V = \frac{m}{\rho} = \frac{24.25}{0.85} = 28.5 \text{ lit/hr}$$

مثال (۵): یک مولد الکتریکی با توان بازده (۵۰ kW) و کارایی (۸۰٪) توسط یک موتور درون سوز که ارزش حرارتی سوخت آن (۱۰۰۰۰ kcal/kg) و جرم حجمی آن (۰.۷۵ gr/cm^۳) است کار می کند. 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- توان مفید موتور محرک چند kW خواهد بود؟

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

است؟

ج- اگر بازده حرارتی موتور ۲۶٪ باشد، قیمت هر کیلووات ساعت برق مولد به ریال را حساب

کنید.

$$P_{eG} = 50 \text{ kW}$$

$$\eta_G = \%80$$

$$CV = 10000 \text{ kcal/kg}$$

$$\rho = 0.75 \text{ gr/cm}^3$$

$$C_1 = 50 \text{ ریال /lit}$$

$$C_2 = 4000 \text{ ریال /hr}$$

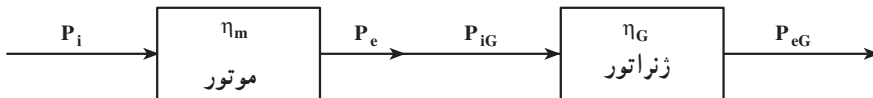
$$P_e = ? \text{ kW}$$

$$V = ? \text{ lit/h}$$

$$\eta_m = \%90$$

$$C = ? \text{ ریال /kW-hr}$$

$$\eta_e = \%26$$



$$P_{iG} = \frac{P_{eG}}{\eta_G} = \frac{50}{0.8} = 62.5 \text{ kW}$$

$$P_e = P_{iG} = 62.5 \text{ kW}$$

$$P_{im} = \frac{V \times CV \times \eta_e}{3600} \Rightarrow V = \frac{P_i \times 3600}{V \times \eta_e}$$

$$P_{im} = \frac{P_e}{\eta_m} = \frac{62.5}{0.9} = 69.4 \text{ kW}$$

$$V = \frac{69.4 \times 3600}{0.75 \times (10000 \times 4/2) \times 0.26} = 30.5 \text{ lit/h}$$

$$C = \frac{V \times C_1 + C_2}{P_{eG}} = \frac{30.5 \times 4000 + 4000}{50} = 324 \text{ ریال /kW-hr}$$

۵-۵ - 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 می کنیم.

$$Q_W = m_W \times C_P \Delta t \quad (5-5) \quad \text{در این رابطه:}$$

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

m_W = دبی جرم آب kg/hr ؛

C_P = گرمای ویژه ی آب در فشار ثابت $\text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$ ؛

Δt = اختلاف دمای ورودی و خروجی آب به رادیاتور ؛

$$\Delta t = t_2 - t_1$$

t_2 = درجه ی حرارت آب خروجی از موتور به رادیاتور $^\circ\text{C}$ ؛

t_1 = درجه ی حرارت آب خروجی از رادیاتور به موتور $^\circ\text{C}$ ؛

با توجه به فرمول یاد شده حجم آب موجود در موتور و رادیاتور را می توان به روش زیر به دست

آورد .

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

$$m_W = \frac{Q_W}{C_P \Delta t} \Rightarrow V_W = \frac{Q_W}{\rho C_P \Delta t} \quad \text{از ظرفی می دانیم:}$$

$$V_W = n \times V \Rightarrow V = \frac{Q_W}{n \rho C_P \Delta t} \quad (5-6) \quad \text{در این روابط:}$$

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

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

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

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

ρ = جرم حجمی آب است که در سیستم بین المللی برابر با $(1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3})$ است و معادل با

$$1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 1 \frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \quad \text{یک گرم بر سانتی متر مکعب می باشد.}$$

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

– کل گرمای حاصل از احتراق برحسب kJ/hr محاسبه شود.

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

$$m = 80 \text{ kg/hr}$$

$$CV = 42000 \text{ kJ/N}$$

$$\eta_w = 33\%$$

$$Q = ? \text{ kJ/hr}$$

$$Q_w = ? \text{ kJ/hr}$$

$$Q = m \times CV = 80 \times 42000 = 3360000 \text{ kJ/hr}$$

$$Q_w = Q \times \eta_w = 3360000 \times 33\% = 1108800 \text{ kJ/hr}$$

مثال (۷): موتوری در هر ساعت ۱۰ لیتر سوخت با جرم حجمی (0.74 gr/cm^3) مصرف می‌کند. اگر ارزش حرارتی سوخت مصرفی (10400 kcal/kg) و حجم آب موتور و رادیاتور (۸ lit) و درصد انتقال حرارت به آب (۳۳٪) باشد، مطلوب است که:

– اگر پمپ آب در هر ساعت ۱۵ دور آب را بچرخاند. مقدار اختلاف درجه‌ی حرارت آب موتور و رادیاتور برحسب درجه‌ی سانتی‌گراد را حساب کنید.

$$V = 10 \text{ lit/hr}$$

$$\rho = 0.74 \text{ gr/cm}^3$$

$$CV = 10400 \text{ kcal/kg}$$

$$v = 8 \text{ lit}$$

$$\eta_w = 33\%$$

$$\Delta t = ? \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$n = 15 \text{ دور در ساعت}$$

$$Q_w = m_w \times C_p \times \Delta T \Rightarrow T = \frac{Q_w}{m_w \times C_p}$$

پاسخ:

$$Q_w = m \times CV \times \eta_w = V \times \rho \times CV \times \eta_w$$

$$Q_w = 10 \times 0.74 \times 10400 \times 33\% = 25396.8 \text{ kcal/hr}$$

$$m_w = V_w \rho = n \times v \rho = 150 \times 8 \times 1 = 1200 \text{ kg/hr}$$

$$\Delta t = \frac{25396/8}{1200 \times 1} = 21/2 \text{ } ^\circ\text{C}$$

۵-۶ - محاسبه‌ی حجم سوخت مصرفی موتور

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

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

$$P_i = \frac{Q_e}{3600} = \frac{m \times CV \eta_e}{3600} \Rightarrow m = \frac{P_i \times 3600}{CV \eta_e}$$

$$V = \frac{P_i \times 3600}{\rho \times CV \eta_e}$$

و در نتیجه : (۵-۷)

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

$$P_e = 50 \text{ kW}$$

$$\eta_e = 27\%$$

$$\eta_m = 90\%$$

$$CV = 42700 \text{ kJ/kg}$$

$$\rho = 0/75 \text{ gr/cm}^3$$

$$V = ? \text{ lit/h}$$

پاسخ :

$$V = \frac{3600 \times P_i}{\rho \times CV \eta_e}$$

$$P_i = \frac{P_e}{\eta_m} = \frac{50}{0/9} = 55/5 \text{ kW}$$

$$V = \frac{3600 \times 55/5}{0/75 \times 42700 \times 0/27} = 23/1 \text{ lit/hr}$$

۷-۵ — محاسبه‌ی مصرف ویژه‌ی سوخت

یکی از عوامل مشخصه‌ی 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 اما در مقابل آن توان کم‌تری نیز تولید کند. بنابراین، تنها کم‌تر بودن مصرف سوخت موتور در یک ساعت نمی‌تواند تعیین‌کننده‌ی 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 واحد زمان می‌گویند و معمولاً برحسب کیلوگرم بر کیلووات ساعت (kg/kW.hr) اندازه‌گیری شده، با علامت (b_e) نشان داده می‌شود. با توجه به تعریف فوق مصرف ویژه‌ی سوخت از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$b_e = \frac{m}{P_e} \quad (۸ - ۵)$$

در این رابطه :

b_e = میزان مصرف kg/hr.kW ;

مثال (۹) : موتوری با توان مفید (60 kW) در هر ساعت (۱۲) لیتر سوخت با جرم حجمی (0.75 kg/lit) مصرف می‌کند. مصرف ویژه‌ی سوخت این موتور چند kg/kW-hr و gr/kW-hr است ؟

$$P_e = 60 \text{ kW}$$

$$V = 12 \text{ lit/hr}$$

$$\rho = 0.75 \text{ gr/cm}^3$$

$$b_e = ? \text{ kg/kW.hr}$$

پاسخ:

$$m = V \rho = 12 \times 0.75 = 9 \text{ kg/hr}$$

$$b_e = \frac{m}{P_e} = \frac{9}{60} = 0.15 \text{ kg/kW.hr}$$

$$0.15 \times 1000 = 150 \text{ gr/kW.hr}$$

۸ - ۵ - محاسبه‌ی مصرف سوخت به ازای یک صد کیلومتر

یکی دیگر از عوامل مشخصه‌ی موتورها، میزان مصرف سوخت موتور به ازای یک صد کیلومتر مسافت پیموده شده است. این میزان مصرف سوخت که به طور متوسط محاسبه می‌گردد، از رابطه‌ی زیر به دست می‌آید.

$$C = \frac{k \times 100}{L} \quad (9-5)$$

در این رابطه :

C = مقدار مصرف سوخت در یک صد کیلومتر بر حسب لیتر^۱؛

k = کل 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 یک صد کیلومتر چند لیتر است؟

$$L = 480 \text{ km}$$

$$k = 52/8 \text{ lit}$$

$$C = ? \text{ lit}/100 \text{ km}$$

پاسخ :

$$C = \frac{k \times 100}{L} = \frac{52/8 \times 100}{480} = 11 \text{ lit}/100 \text{ km}$$

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

$$P_e = 40 \text{ kW}$$

$$t = 25 \text{ ثانیه}$$

$$b = 120 \text{ cm}^3$$

$$\rho = 0.75 \text{ gr/cm}^3$$

$$b_e = ? \text{ kg/kW.hr}$$

وزن مخصوص سوخت $\times (\text{gr/cm}^3)$ حجم سوخت مصرفی در «t» ثانیه برحسب (cm^3)
 $\times 3600 \text{ sec/hr}$

$$\text{مصرف سوخت برحسب} = \frac{\text{وزن اندازه گیری شده برحسب ثانیه}}{\text{gr/hr}}$$

$$m = \frac{b_e \times 3600}{t} = \frac{120 (\text{cm}^3) \times 0.75 (\text{gr/cm}^3) \times 3600}{25 \text{ sec}} = 12960 \text{ gr/hr}$$

$$b_e = \frac{m}{P_e} = \frac{12960}{40} = 324 \text{ gr/kW.hr}$$

$$b_e = 324 \div 1000 = 0.324 \text{ kg/kW.hr}$$

مثال (۱۲): پمپ آب یک موتور دیزل با دور ثابت در ساعت، (۱۳) لیتر آب موتور و رادیاتور را (۲۶) مرتبه به گردش در می آورد. اگر کاهش درجه ی حرارت آب در رادیاتور (22°C) و ارزش حرارتی سوخت 8780 kcal/lit با جرم حجمی (0.86 kg/lit) و کل حرارت حاصل از احتراق در موتور (229500 kcal/hr) باشد، تعیین کنید که:

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

ب - اگر بازدهی حرارتی موتور (۲۶٪) و کارایی مکانیکی موتور (۸۰٪) باشد. مصرف ویژه ی

سوخت موتور برحسب (gr/kW.hr) چه قدر است؟

$$v = 13 \text{ lit}$$

$$n = 26 \text{ چرخش آب در ساعت}$$

$$\Delta t = 22^\circ \text{C}$$

$$CV = 8780 \text{ kcal/lit}$$

$$\rho = 0.86 \text{ kg/lit}$$

$$Q = 229500 \text{ kcal/h}$$

$$\eta_w = ?$$

$$b_e = ? \text{ gr/kW.hr}$$

$$\eta_e = 26\%$$

$$\eta_m = 80\%$$

$$\eta_w = \frac{Q_w}{Q} \quad Q_w = m \times C_p \Delta t$$

$$m_w = V_w \rho = n \times v \rho = 260 \times 13 \times 1 = 3380 \text{ kg/hr}$$

$$Q_w = 3380 \times 1 \times 22 = 74360 \text{ kcal/hr}$$

$$\eta_w = \frac{74360}{229500} = 0.324 \Rightarrow \eta_w = 32.4\%$$

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

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

$$Q = V \times CV \Rightarrow V = \frac{Q}{CV} = \frac{229500}{8780} = 26.1 \text{ lit/hr}$$

$$m = V \rho = 26.1 \times 0.86 = 22.4 \text{ kg/hr}$$

$$Q_e = 2600 \times P_i \quad Q_e = Q \eta_e \times 4/2$$

$$P_i = \frac{Q \eta_e \times 4/2}{3600} = \frac{229500 \times 0.26 \times 4/2}{3600} = 69.6 \text{ kW}$$

$$P_e = P_i \eta_m = 69.6 \times 0.80 = 55.68 \text{ kW}$$

$$b_e = \frac{m}{P_e} = \frac{22.4}{55.68} = 0.402 \text{ kg/kW.h} = 40.2 \text{ gr/kW.h}$$

مثال (۱۳): در یک موتور بنزینی از کل حرارت حاصل از احتراق در سرسیلندر (۳۵٪) معادل (۳۲۴۴۵ kcal/hr) از طریق آگزوز به خارج و (۲۹۶۶۴ kcal/hr) به آب داده می شود. اگر ارزش حرارتی سوخت (۱۰۳۰۰ kcal/kg) و وزن مخصوص سوخت (۰.۷۵ gr/cm³) و بازده حرارتی موتور (۲۶٪) و کارایی مکانیکی آن (۹۰٪) باشد، تعیین کنید که :

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

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

ج - سوخت ویژه موتور چند gr/kW.hr است؟

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

$$\eta_{ex} = 35\%$$

$$Q_{ex} = 32445 \text{ kcal/hr}$$

$$Q_w = 29664 \text{ kcal/hr}$$

$$CV = 10300 \text{ kcal/kg}$$

$$\rho = 0.75 \text{ gr/cm}^3$$

$$\eta_e = 0.26$$

$$\eta_m = 0.9$$

$$V = ? \text{ lit/hr}$$

$$\eta_w = ?$$

$$b_e = ? \text{ gr/kW.hr}$$

$$Q_a = ? \text{ kj/hr}$$

پاسخ :

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

$$V = \frac{32445}{0.75 \times 10300 \times 0.35} = 12 \text{ lit/hr}$$

$$\eta_w = \frac{Q_w}{V \rho CV} = \frac{29664}{12 \times 0.75 \times 10300} = 0.32 \Rightarrow \eta_w = 0.32$$

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

$$P_i = \frac{V \rho CV \eta_e}{3600} = \frac{12 \times 0.75 \times (10300 \times 4/2) \times 0.26}{3600} = 28/1 \text{ kW}$$

$$P_e = P_i \eta_m = 28/1 \times 0.9 = 25/3 \text{ kW}$$

$$b_e = \frac{12 \times 0.75 \times 1000}{25/3} = 355/7 \text{ gr/kW.hr}$$

$$Q_a = Q \eta_a$$

$$Q = V \rho CV = 12 \times 0.75 \times 10300 = 92700 \text{ kcal/hr}$$

$$\eta_a = 1 - (\eta_w + \eta_{ex} + \eta_e) = 1 - (0.32 + 0.35 + 0.26) = 0.07$$

$$Q_a = (92700 \times 4/2) \times 0.07 = 27253/8 \text{ kj/hr}$$

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 کل انرژی حرارتی مفید واقع گردد و در این حالت فشار متوسط احتراق روی

پیستون (۱۰ bar) باشد، تعیین کنید که :

الف - انرژی حرارتی مفید بر حسب kJ/hr چه قدر است؟

ب - اگر کورس پیستون ۱۰۰ میلی متر باشد، نیروی متوسط احتراق چند N است؟

ج - قطر دهانه‌ی سیلندر چند cm است؟

$$k = 4$$

$$n = 3600 \text{ RPM}$$

$$V = 12 \text{ lit/hr}$$

$$\beta = 0.75 \text{ gr/cm}^3$$

$$CV = 4200 \text{ kJ/N} = 4200 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_e = 0.25$$

$$P_m = 10 \text{ bar}$$

$$Q_e = ? \text{ kJ/hr}$$

$$F_m = ? \text{ N}$$

$$S = 100 \text{ mm}$$

$$D = ? \text{ cm}$$

$$Q_e = V \cdot \beta \cdot CV \cdot \eta_e = 12 \times 0.75 \times 4200 \times 0.25 = 94500 \text{ kJ/hr}$$

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.

$$N = \frac{n \times k \times 60}{2} = \frac{3600 \times 4 \times 60}{2} = 432000 \quad \text{تعداد جرقه در ساعت}$$

از حاصل تقسیم انرژی حرارتی مفید در یک ساعت بر تعداد جرقه در یک ساعت، مقدار

انرژی حرارتی مفید در اثر یک جرقه به دست می‌آید.

$$Q_{e1} = \frac{Q_e}{N} = \frac{94500}{432000} = 0.218 \text{ kJ}$$

این مقدار انرژی تبدیل به کار مکانیکی می‌شود و چون (۱kJ = ۱۰۰۰ N.m) است، بنابراین

کار مکانیکی انجام شده در اثر یک جرقه برابر است با :

$$W = 0.218 \times 1000 = 218 \text{ N.m}$$

$$W = F_m \times S \Rightarrow F_m = \frac{W}{S} = \frac{218 \times 1000}{100} = 2180 \text{ N}$$

نیروی متوسط احتراق

$$F_m = A \times P_m \Rightarrow A = \frac{F}{P_m} = \frac{2180}{10 \times 10} = 21.8 \text{ cm}^2$$

سطح پیستون

$$A = \frac{D^2 \pi}{4} \Rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \times 21.8}{3.14}} = 5.3 \text{ cm}$$

قطر پیستون

تمرین

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

$$222/5 \text{ gr/kW.hr}$$

(جواب)

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

$$C = 15 \text{ lit}/100 \text{ km}$$

(جواب)

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

الف - حرارت منتقل شده به آب برحسب kJ/hr محاسبه شود.

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

ج - تعداد دوری که آب موتور و رادیاتور در هر دقیقه به گردش در می‌آید.

$$\text{الف (} 113400 \text{ kJ/hr) ب (} 22/5 \text{ lit/min) ج (} 2/8 \text{ RPM)}$$

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

الف - انرژی حرارتی مفید چند kJ/h است؟

ب - نیروی متوسط احتراق چند N است؟

ج - در صورتی که دور بیستون (90 mm) باشد، قطر دهانه‌ی سیلندر چند cm است؟

الف (۱۲۰۰۹۳/۷۵ kJ/hr (ب ۳۷۰۶/۵۹ N (ج $D\Delta = 6/87 \text{ cm}$

مسئله‌ی (۵): موتوری در زمان (۲۰) ثانیه در یک دور ثابت (70 cm^3) سوخت با وزن مخصوص ($0/73 \text{ gr/cm}^3$) مصرف می‌کند. اگر در این حالت توان مفید موتور (40 kW) و (۳۵٪) از کل حرارتی که از طریق اگزوز به خارج می‌رود برابر با (138430 kJ/hr) باشد، مطلوب است که:

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

ب - مصرف ویژه‌ی سوخت موتور برحسب gr/kW.hr به دست آید.

ج - کل حرارت حاصل از احتراق برحسب kJ/hr حساب شود.

الف (۱۲/۶ lit/hr (ب 230 gr/kW.hr (ج 395514 kJ/hr

مسئله‌ی (۶): موتوری با توان مفید (70 kW) در دور ثابت دارای مصرف ویژه‌ی سوخت (280 gr/kW.hr) با ارزش حرارتی (42000 kJ/kgf) است، اگر درصد حرارت انتقالی به آب (۳۵٪) و تقلیل درجه‌ی حرارت آب توسط رادیاتور (15°K) و گنجایش آب موتور و رادیاتور ($10/5$) لیتر باشد، مطلوب است که:

الف - حرارت انتقال داده شده به آب برحسب kJ/hr حساب شود.

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

ج - تعداد دوری که پمپ، حجم آب موتور و رادیاتور را در دقیقه می‌گرداند، تعیین شود.

الف (288120 kJ/hr (ب 4573 lit/hr (ج $7/2 \text{ RPM}$

مسئله‌ی (۷): یک موتور دیزل با سرعت ثابت (80 km/hr) در هر صد کیلومتر مسافت (۲۵ lit) سوخت با وزن ($0/72 \text{ gr/cm}^3$) مصرف می‌کند. اگر ارزش حرارتی سوخت (42300 kJ/kg) و کارایی گرمایی (۲۸٪) و بازده مکانیکی آن (۹۲٪) باشد، تعیین کنید که:

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

ب - توان بازده موتور برحسب kW چه اندازه است؟

الف (20 lit/hr (ب $43/58 \text{ kW}$

مسئله‌ی (۸): مولدی با توان بازده (68 kW) و کارایی (۸۵٪) به وسیله‌ی موتوری با بازده حرارتی (۳۰٪) و کارایی مکانیکی (۸۸٪) به حرکت در می‌آید. اگر ارزش حرارتی سوخت (42300 kJ/kg) و وزن مخصوص ($0/85 \text{ gr/cm}^3$) باشد. مطلوب است که:

الف - توان بازده موتور برحسب kW حساب شود.

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

ج - مصرف ویژه سوخت موتور برحسب gr/kW.hr محاسبه گردد.

الف (80 kW) ب ($210/4 \text{ cm}^3$) ج ($321/9 \text{ gr/kW.hr}$)

مسئله‌ی (۹): مصرف سوخت یک موتور بنزینی که یک مولد الکتریکی را به حرکت درمی‌آورد (13 kg/hr) با ارزش حرارتی (7650 kcal/lit) و وزن مخصوص (0.71 gr/cm^3) است. اگر کارایی حرارتی موتور (۲۸٪) و بازده مکانیکی آن (۹۰٪) و بازده مولد (۸۰٪) باشد، به سوالات زیر جواب دهید:

الف - کل انرژی تلف شده از طریق آب، انگروز و انتشار در هوا چند kJ/hr است؟

ب - اگر برق مولد برای روشنایی به کار رود، چه تعداد لامپ (100) وات را می‌تواند روشن

نماید؟

ج - اتلاف انرژی مولد برحسب kJ/hr را محاسبه کنید.

الف (423573 kJ/hr) ب (تعداد لامپ 330) ج (29628 kJ/hr)

مسئله‌ی (۱۰): گشتاور موتوری در دور ثابت (1790) در دقیقه (220 N.m) است. اگر بازده مفید موتور (۲۶٪) و ارزش حرارتی سوخت (46200 kJ/kg) و جرم حجمی (0.75 gr/cm^3) و کارایی مکانیکی موتور (۹۰٪) باشد، تعیین کنید که:

الف - حرارت مفید موتور برحسب kJ/hr چه قدر است؟

ب - مصرف ویژه سوخت موتور چند gr/kW.hr است؟

ج - سوخت مصرفی در ساعت چند لیتر است؟

د - اتلاف حرارت در موتور چند kJ/hr است؟

الف (164952 kJ/hr) ب ($333/1 \text{ gr/kW.hr}$) ج ($18/3 \text{ lit/hr}$)

د (469478 kJ/hr)

مسئله‌ی (۱۱): موتور چهار زمانه‌ی شش سیلندری با دور ثابت (2800 RPM) دارای مصرف سوخت (24 lit/hr) با ارزش حرارتی (8500 kcal/lit) است. اگر بازده حرارتی موتور (۲۸٪) باشد. تعیین کنید که:

الف - در صورتی که بازده مکانیکی موتور (۹۰٪) باشد، گشتاور موتور چند kg.m است؟

ب - اگر اتومبیلی با سرعت ثابت (80 km/hr) حرکت کند، سوخت مصرفی در یک صد کیلومتر

چند لیتر است؟

ج۔ کار یک پیستون بر حسب kg.m چگونه است؟

ج (۴۳/۶kg.m)

ب (۳۰ lit/۱۰۰ km)

الف (۲۰/۸۸ m.kg)