مقدمه :

* انواع موتورها از جهت احتراق
  ۱- احتراق داخلی (رفت و برگشتی)
  ۲- احتراق خارجی

* موتورهای احتراق داخلی (رفت و برگشتی یا reciprocating) شامل

موتورهای احتراق خارجی مزایای زیر را دارد :

۱- ماکزیمم بازده بالاتری دارد.
۲- سادگی مکانیکی.
۳- نسبت وزن به توان کمتری دارند.
٤- جمع و جور تر است.

---

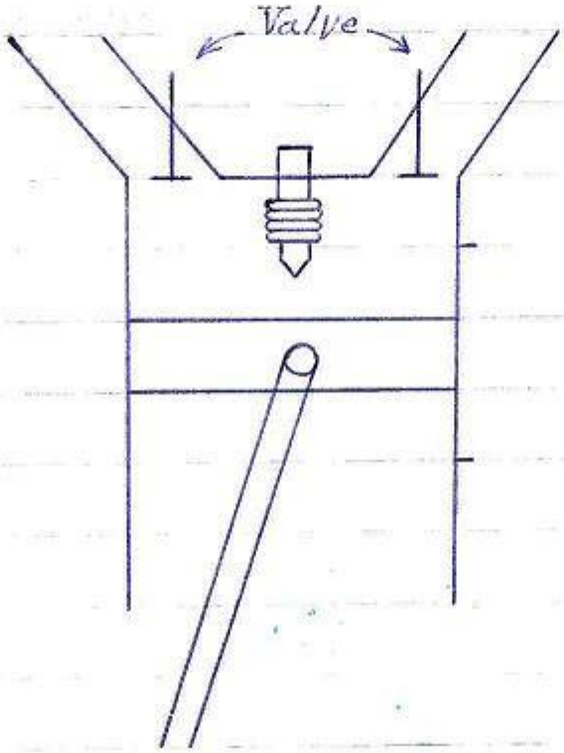
* مزایای موتورهای (برون سوز) :

۱- توان بالائی تولید می کنند.
۲- ارتعاش کمتری دارند.
۳- امکان استفاده از سوختهای متنوّع در آنها وجود دارد.

۱- موتور otto (1876) ۲ زمانه / ٤ زمانه
۲- موتور Diesel (1897) ۲ زمانه (Tow stroke) / ٤ زمانه (Four ")

۲ زمانه	٤ زمانه
تراکم	مکش
انفجار	تراکم
	انفجار
	تخلیه

* در ۲ زمانه مکش و تخلیه را یک مکانیزم جداگانه انجام می دهد (مثلاً یک کمپرسور).



مراحل موتور otto :

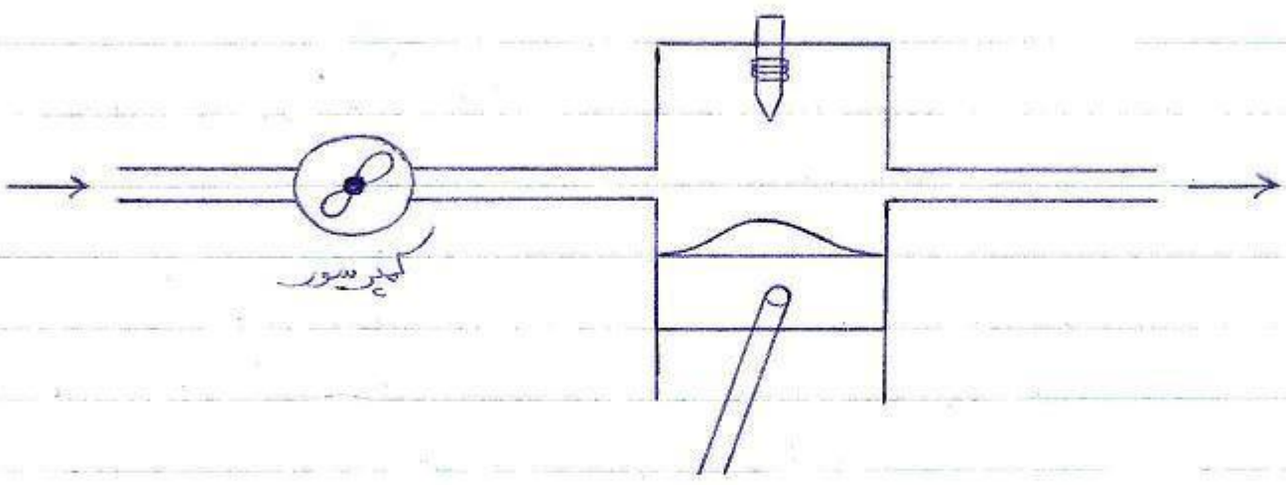
۱- مکش مخلوطی از سوخت و هوا به داخل سیلندر.
۲- تراکم مخلوط فوق تا تقریباً هم نقطه مرگ بالا.
۳- زدن جرقه توسط شمع و احتراق مخلوط و انبساط آن.
۴- تخلیه محصولات احتراق

* displacement Volume : حجم جاروب شده توسط پیستون از T.D.C تا B.D.C است.

* فضای مرده clearance Vol. : حجمی از سیلندر که در بالای T.D.C قرار گرفته و پیستون به آن وارد نمی شود.

$$V \text{ (حجم کل سیلندر)} = V_c + V_d$$

$$r \text{ (نسبت تراکم)} = \frac{V}{V_c}$$



(شکل شماتیک دو زمانه)

میل

مراحل موتور دیزل

۱ - مکش هوا داخل سیلندر

تراکم هوا

پاشش سوخت متراکم

تخلیه

روشهای گازسوز کردن موتورهای دیزل

از

اصطلاحات

۱- موتور اشتعال جرقه ای (S.I) (Spark Ignition) :
* موتوری است که اشتعال در آن توسط جرقه آغاز می شود.

۲- موتور اشتعال فشار تراکم (C.I) (" Compression) :

۳- موتور دیزل : حالت تجاری موتورهای اشتعال فشار تراکم است.

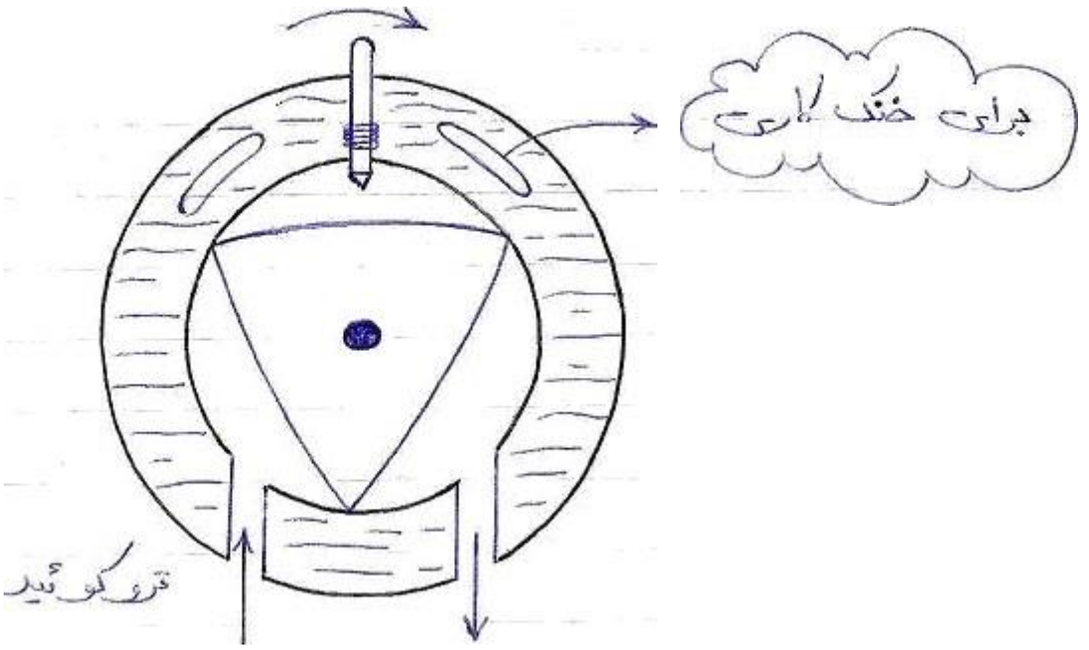
۴- موتور سوخت آمیخته (Carbureted) : موتوری است که سوخت پس از پاشش سوپاپ وارد می شود.

۵- موتور کاربوراتوری (Carburator) : سوخت توسط کاربوراتور وارد می شود.

۶- موتور پاششی (Injection) : سوخت پس از بسته شدن سوپاپ ورودی وارد می شود.

موتور وانکل : موتوری دوّار است به شکل
صفحه بعد :

T



* مزایا : ۱- سادگی ظاهری
بهتر

---

* : ۱- زشتی بخصوص از رتور تروکوئید
۲- راندمان پایین

تعاریفی در رابطه با عملکرد موتور

(در سیکلها)

* در مورد موتور احتراق داخلی : (Q_c) ارزش حرارتی سوخت (پایین)

$\dot{M}_F$ دبی سوخت

J برای یکسان شدن واحدها

$$\eta = \frac{P}{J \dot{M}_F Q_c} \rightarrow P = J \dot{M}_F Q_c \eta$$

توان موتور

انواع توان مفید از موتور:

۱- توان داخلی (اندیکه) (P_i) Indicate power

۲- توان خروجی (ترمزی) (P_b) Brake power

$$P_b = P_i - P_f$$

(P_f) توان اصطکاکی است که مثلاً در oil pump و water pump و پروانه و... تلف می شود.

راندمان خارجی (خروجی) $\eta_b = \frac{P_b}{J \dot{M}_F Q_c}$

راندمان داخلی $\eta_i = \frac{P_i}{J \dot{M}_F Q_c}$

نسبت سوخت به هوا :

جرمی (F)

مولی $(\mathring{F})$

(نسبتهای واقعی) $\left(\mathring{F} = \frac{n_F}{n_a}\right)$ $\left(F = \frac{M_F}{M_a}\right)$

---

* فرمول احتراق استوکیومتریک (با نسبت صحیح شیمیائی) برای یک هیدروکربن :

$$C_n H_m + \left(n + \frac{m}{4}\right) O_2 + 3.76 \left(n + \frac{m}{4}\right) N_2 \longrightarrow$$

$$n\,CO_2 + m/2\,H_2O + 3.76 \left(n + \frac{m}{4}\right) N_2$$

* براساس رابطه فوق یک نسبت سوخت به هوای استوکیومتریک خواهیم داشت ؛ که به آن (F_c) گویند :

$$F_c = \frac{(n \times 12 + m \times 1)}{\left[\left(n + \frac{m}{4}\right) 32 + 3.76 \left(n + \frac{m}{4}\right) 28\right]} \quad \text{(جرمی)}$$

$$\dot{F}_c = \frac{1}{4.76\,(n + m/4)} \qquad \text{(مولی)}$$

نسبت سوخت - هوای نسبی (F_r) :

$$* \quad F_R = \frac{F}{F_c}$$

$$F_R \begin{cases} > 1 & \text{مخلوط غنی} \quad \text{(Rich Mixture)} \\ = 1 & \text{استوکیومتریک} \\ < 1 & \text{مخلوط فقیر} \quad \text{(Lean Mixture)} \end{cases}$$

در موتورهای بنزینی معمولاً : $0.8 < F_R < 1.4$

در موتورهای دیزلی معمولاً : $0.6 < F_R < 1$

اندازه موتور کوچکتر ⟵ $\dot{m}_a$ کمتر

مصرف سوخت ویژه :

(S.F.C)

Specific fuel Consumption

$$S.F.C = \frac{\dot{M}_F}{P}$$

$$S.F.C = \frac{\dot{M}_F}{J \dot{M}_F Q_c \eta} = \frac{1}{J Q_c \eta} \rightarrow$$

$$S.F.C \propto \frac{1}{\eta}$$

$$i\,S.F.C = \frac{\dot{M}_F}{P_i}$$

$$b\,S.F.C = \frac{\dot{M}_F}{P_b}$$

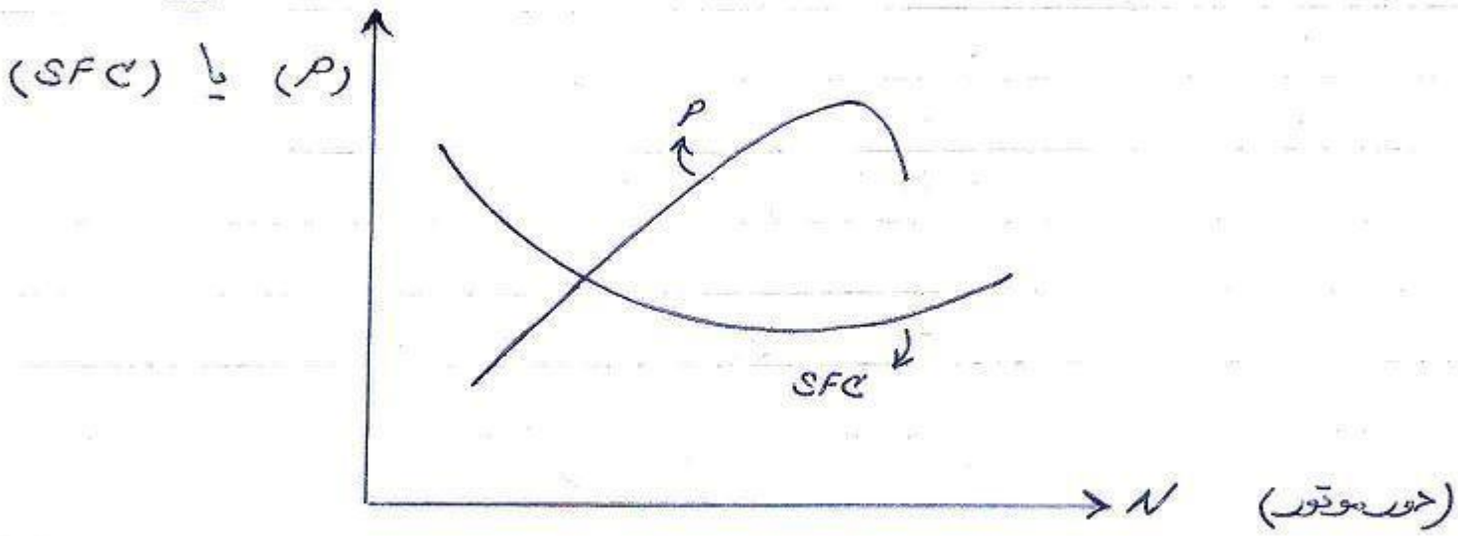
(S. a. C) مصرف هوای ویژه

(Specific air Consumption)

$$S.a.C = \frac{\dot{M}_a}{P} = \frac{\dot{M}_a}{J \dot{M}_a F Q_c \eta}$$

$$S.a.C = \frac{1}{J F Q_c \eta}$$

S.F.C = F (S.ac)



---

* اگر دبی برحسب 16 m/s باشد برای تبدیل توان به hP طرف راست را بر 550 تقسیم می کنیم و اگر دبی 16m/min باشد طرف راست را بر 33000 تقسیم می کنیم.

$$P = J \dot{M}_F Q_c \eta$$

$$SFC = \frac{\dot{M}_F}{P} = \frac{1 \times 550 \times 3600}{Q_c \cdot \eta \ (778)}$$

$$\begin{cases} SFC = \dfrac{2545}{Q_c \eta} & \dfrac{16m}{hP - hr} \\ Sac = \dfrac{2545}{F Q_c \eta} \end{cases}$$

* در ازای هر 1000^{cc} حدود 30 تا 35 اسب بخار معقول

بنزینی $0.2 \leqslant SFC \leqslant 3$

دیزلی

$\approx$

قانون اول ترمودینامیک

سیستم

$\{$ —

— $[($ ———

نرخ
سرعت

جمع کنترل (SSSF) موتور در حالت کارکرد
تقریباً همین حالت را

$$\begin{cases} W = (\text{کار محوری}) + (\text{کار جریان}) \\ W = W_s + P_2V_2 - P_1V_1 \end{cases}$$

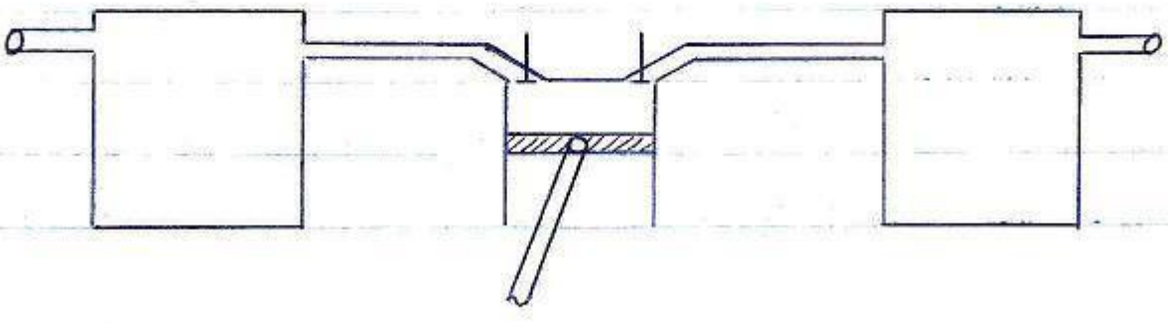
$$Q - \frac{W_s}{J} = \left[\left(E_2 + \frac{P_2V_2}{J} + \frac{u_2^2}{2g_c J} \right) - \left(E_1 + \frac{P_1V_1}{J} + \frac{u_2^2}{2g_c J} \right) \right]$$

* می دانیم که : $H = U + PV \rightarrow H = E + \frac{PV}{J}$

و انتالپی سکون عبارتست از : $H_0 = H + \frac{u^2}{2g_c J}$

$$Q - \frac{W_s}{J} = H_{02} - H_{01}$$

در موتورهای تک سیلندر برای ورودی و خروجی مخزن موج گیر (Surge Tank) قرار می دهند که حجم آن لااقل ۵۰ برابر حجم سیلندر است و جریان را یکنواخت و steady می کند. (چون در مرحله احتراق و تخلیه جریان سوخت قطع می شود). امّا در موتورهای چند سیلندر چنان لازم نیست.



مثال - در یک موتور ۶ زمانه با نسبت تراکم ۶ کار انجام یافته توسط پیستون روی گازها در طی مرحله تراکم برابر 1000 ft.lbf و کار انجام یافته توسط گازها روی پیستون روی مرحله انبساط 5000 ft.lbf است.

الف - اگر حجم سیلندر $240\ in^3$ باشد فشار مؤثر متوسط mep چقدر است؟

ب - اگر حرارت وارده در طی مرحله مکش 16 BTU باشد بازده حرارتی موتور چقدر است؟

ج - اگر تعداد سیلندرها (۹) عدد باشد و در دور 2000 rpm کارکند توان داخلی آن چقدر است؟

$$mep = \frac{W}{V_1 - V_2}$$

W ← کار خالص

V_1 ← حجم جابجا شده

$$V_1 = 240\ in^3$$

$$r = \frac{V_1}{V_2} = 6 \rightarrow V_2 = \frac{240}{6} = 40\ in^3$$

$$mep = \frac{(5000 - 1000)\ 12}{240 - 40} = 240\ psi$$

(ضریب تبدیل) 1 ft.lbf به in.lbf تبدیل می کند.

ج - $\frac{hp = \frac{W}{N/2}}{}$

$$\text{توان} = \frac{\text{کار}}{\text{زمان}} \longrightarrow \begin{cases} P = W \cdot \frac{N}{2} \\ P = imep\,(V_1 - V_2)\,\frac{N}{2} \end{cases}$$

$$P_i = 4000\,(2000) \times 9 / 2 \times 33000$$

$$P_i = 1090 \ hP$$

ب - $\eta = \frac{W}{JQ} \Rightarrow$

$$\eta = \frac{4000}{778\,(16)} = 0.32$$

سیکل هوا Air cycles :

سیکل هوا ساده ترین سیکل است . بعد از آن سیکل سوخت - هوا را بررسی می کنیم تا نهایتاً به سیکل واقعی برسیم.

تعریف - سیکل هوا مجموعه‌ای از ۴ پدیده‌ای ترمودینامیکی ایده‌آلی است که در آن سیال عامل گازی با خصوصیات هوا است. در این سیکل بجای تحول احتراق فرض می شود حرارت از بیرون به سیستم اعمال شده و در نهایت سیکل با پس دادن حرارت به بیرون تکمیل می شود.

خصوصیات هوا :

$$\begin{cases} M_a \approx 29 \\ C_p = 0.24 \quad \frac{BTU}{lbm.F^\circ} \\ C_v = 0.1715 \\ R_a = 53.3 \quad \frac{BTU}{lbm.F^\circ} \end{cases}$$

* $PV = \frac{M}{m} RT$

(انرژی داخلی) $E = M C_v (T - T_6)$

↳ دمای مبنا

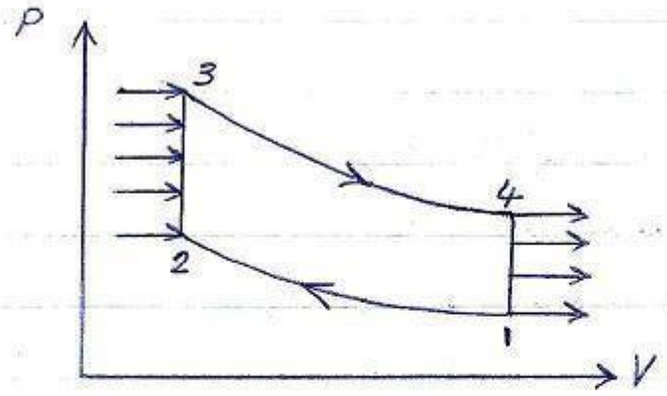
* $H = E + \frac{PV}{J} = E + \frac{RT}{mJ}$ (انتالپی)

سیکل هوای معادل :

* سیکل هوای معادل سیکل هوای ایده‌آلی است که تحولات آن مشابه تحولاتی است که در نوع مخصوصی از موتورها صورت می‌گیرد. شرایط سیکل هوای معادل عبارتند از :

۱- ترتیب تحولات در هر دو یکسان است.
۲- نسبت $r=\frac{V_{max}}{V_{min}}$ در هر دو یکسان است.
۳- لااقل در یک نقطه دارای فشار و دمای یکسان هستند.
۴- حرارت افزوده شده به سیکل معادل هوا حرارت ناشی از احتراق است.

سیکل هوای معادل otto :



۱-۲ - تراکم آدیاباتیک - بازگشت پذیر. $PV^K = cte$
۲-۳ - انتقال حرارت به سیستم حجم ثابت. $\frac{P}{T} = cte$
۳-۴ - انبساط آدیاباتیک - بازگشت پذیر.
۴-۱ - پس دادن حرارت در حجم ثابت.

قانون اوّل

$\frac{W}{J}$ =

بالمان

= $\frac{Wnet}{Q_2}$

خالص

η = N_2

η = M $T_3 - T_4)$

= ηV

= $\frac{JMC_v [(T_1 - T_2) \quad - T_4}{JMC_v (T_3}$

$\eta_{th} = 1 - \frac{T_4 \quad T_1}{T_3 - T_2}$

= (

تحول : $\frac{11}{T_2}$ ($\frac{1}{2}$

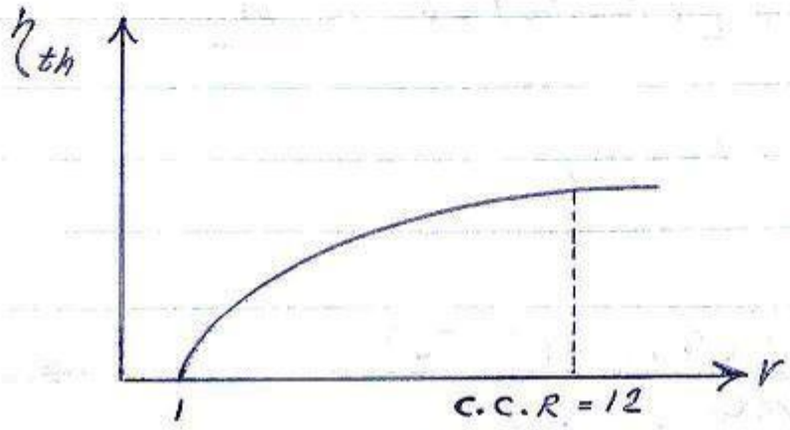
تحول : $\frac{T_4}{}$ ($\frac{1}{2}$

($\frac{14}{}$ otto (دریسیل

($\frac{14}{}$

$$\eta_{th} = 1 - \left(\frac{1}{r}\right)^{K-1}$$

* یعنی راندمان با نسبت تراکم نسبت مستقیم دارد.



* اما در عمل « زیان زدن جرقه ، نسبت سوخت - هوا ، میزان باز بودن دریچه گاز ، فشار و دمای ورودی ، رطوبت و ... » روی راندمان مؤثر است.

* در عمل نمی توان نسبت تراکم را از حدّی بالاتر برد (شیب بنزین هم نشان می دهد که بسمت یک مجانب میل می کند) و در ضمن هرچه r بالا برود فشار هم افزایش می یابد و باید اجزای موتور قوی تر شوند و موتور گران تمام می شود و در ضمن بنزین هم تا حدّی می تواند تحت فشار قرار گیرد. معمولاً r بین (12) است.

فشار مؤثر متوسط

(Mean Effective pressure)

mep

$$\frac{mep}{P_1} = \frac{Q'}{Q_1 T_1} \left[\frac{1 - (1/r)^{k-1}}{(k-1)(1 - 1/r)} \right]$$

* شکل 2-2 کتاب کار فرمولهای ترمودینامیکی را می کند.

نحوه تعیین Q' : Q' معادل حرارت ناشی از احتراق واحد جرم کل محتویات سیلندر و یا (بار سیلندر) است.

حرارت کل داده شده $= M_F Q_c = F M_a Q_c$

* با تقسیم رابطه فوق بر جرم بار سیلندر (M_c) charge مقدار Q' بدست می آید.

$$Q' = F Q_c \frac{M_a}{M_c}$$

* معمولاً : $F Q_c \approx 1280 \frac{BTU}{lbm}$

* و معمولاً : $\frac{M_a}{M_c} = \frac{P(V_1 - V_2)}{P V_1} = 1 - \frac{V_2}{V_1} = 1 - \frac{1}{r} = \frac{r-1}{r}$

$$Q' = F Q_c \frac{M_a}{M_c} = 1280 \frac{r-1}{r}$$

مسئله - به کمک شکلهای 2-2 : imep ، فشار و دمای یک سیکل هوای جمع ثابت را که دارای فشار اولیه - 20 psi ، دمای اولیه 600 °R ($F^\circ + 460 = R^\circ$) نسبت تراکم 10 و $Q' = 1280 \frac{BTU}{lbm}$ است را بیابید.

$$\begin{cases} \dfrac{Q'}{C_v T_1} = \dfrac{1280}{0.175(600)} \\ r = 10 \end{cases} \xrightarrow{2-2} \eta_{th} = 0.6$$

$$\left.\begin{array}{l} \dfrac{imep}{P_1} = 21 \\ P_1 = 20\ psi \end{array}\right\} \rightarrow$$

$$imep = 420\ psia$$

روش محاسبه‌ای :

$$\frac{P_2}{P_1} = 25 \longrightarrow P_2 = 500\ psia$$
$$\frac{P_3}{P_1} = 150 \longrightarrow P_3 = 3000\ psia$$
$$\frac{P_4}{P_1} = 6.5 \longrightarrow P_4 = 130\ psia$$

$$\frac{T_2}{T_1} = 2.55 \xrightarrow{T_1 = 600^R} T_2 = 1530\ R$$
$$\frac{T_3}{T_1} = 15 \longrightarrow T_3 = 9000\ R$$
$$\frac{T_4}{T_1} = 6 \longrightarrow T_4 = 3600\ R$$

$K = 1.4$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{K-1} \rightarrow \frac{T_2}{600} = (10)^{0.4} \rightarrow T_2 = 1507^{\circ R}$$

24

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^K \rightarrow \frac{P_2}{20} = (10)^{1.4} \rightarrow P_2 = 502.4 \text{ psia}$$

$$Q' = \frac{Q}{M} = C_v (T_3 - T_2)$$

$$1280 = 0.1715 (T_3 - 1507) \rightarrow T_3 = 8971 \text{ R}^\circ$$

$$\frac{P_3}{P_2} = \frac{T_3}{T_2} \rightarrow P_3 = (502.4)\frac{8971}{1507} = 2991 \text{ psia}$$

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{V_4}{V_3}\right)^{K-1} \rightarrow \frac{8971}{T_4} = (10)^{0.4} \rightarrow T_4 = 3571 \text{ R}^\circ$$

$$\frac{P_3}{P_4} = \left(\frac{V_4}{V_3}\right)^K \rightarrow \frac{2991}{P_4} = (10)^{1.4} \rightarrow P_4 = 11911 \text{ psia}$$

$$\eta_{th} = 1 - (1/r)^{K-1} = 1 - (1/10)^{0.4} = 0.602$$

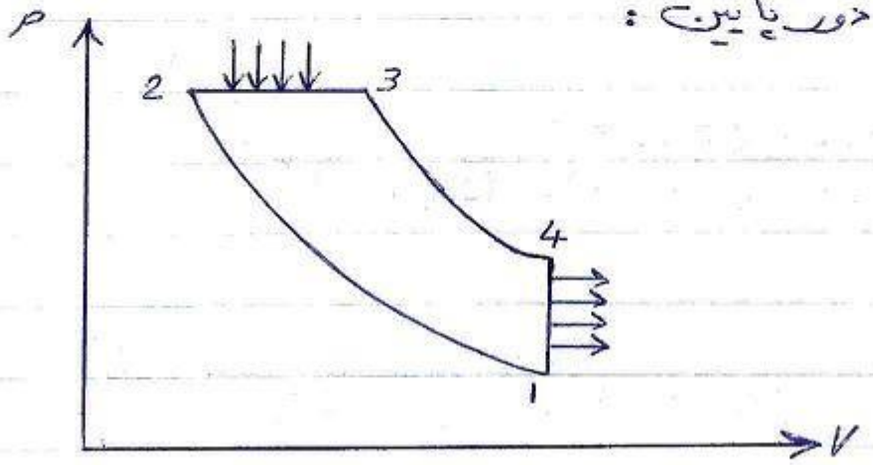
$$imep = \frac{W_{net}}{V_1 - V_2} = \frac{J Q' \eta_{th} \left(\frac{P_1 M}{R T_1}\right)}{(1 - 1/r)}$$

$$imep = \frac{778\,(1280)\,(0.602)}{(1 - 1/10)} \cdot \frac{600\,(29)}{1545\,(600)} \quad \text{(lbm)}$$

$$imep = 416 \text{ psia}$$

سیکل هوای معادل موتورهای اشتعال در اثر تراکم :

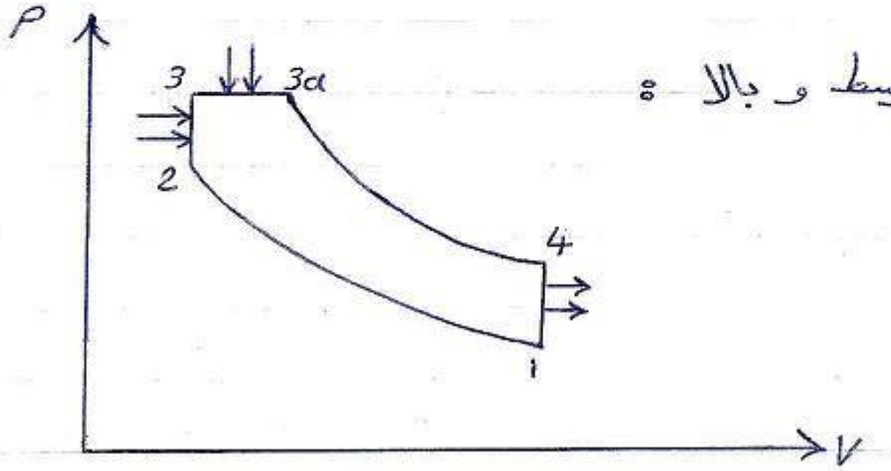
دیزلهای قدیمی دور پایین :



سیکل هوای با فشار محدود شده

Limited Pressure Air Cycle

دیزلهای دور متوسط و بالا :



راندمان سیکل با فشار محدود شده :

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_H} = \frac{Q_H - Q_L}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$

$$\eta_{th} = -\frac{M C_v (T_4 - T_1)}{M C_v (T_3 - T_2) + M C_p (T_{3a} - T_3)} + 1$$

$$\eta_{th} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{(T_3 - T_2) + K(T_{3a} - T_3)} \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{P_3}{P_2} \quad , \quad \beta = \frac{V_{3a}}{V_3}$$

$$\frac{T_3}{T_2} = \frac{P_3}{P_2} = \alpha \rightarrow T_2 = \frac{T_3}{\alpha} \quad (2)$$

$$\frac{T_{3a}}{T_3} = \frac{V_{3a}}{V_3} = \beta \rightarrow T_{3a} = \beta T_3 \quad (3)$$

$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{K-1} = \left(\frac{1}{r}\right)^{K-1} \quad (4)$$

$$\frac{T_4}{T_{3a}} = \left(\frac{V_{3a}}{V_4}\right)^{K-1} \Longrightarrow \frac{T_4}{T_{3a}} = \left(\frac{V_{3a}}{V_3} \cdot \frac{V_3}{V_4}\right)^{K-1}$$

$$\frac{T_4}{T_{3a}} = \left(\frac{\beta}{r}\right)^{K-1} \quad (5)$$

$$(2), (4) \longrightarrow T_1 = \frac{T_3}{\alpha}\left(\frac{1}{r}\right)^{K-1} \quad (6)$$

(۷) $\left(\frac{\beta}{۲}\right)^{K-1}$ $\beta^{K} T_{۳} \left(\frac{۱}{۲}\right)^{K-1}$

* با قرار دادن (۲) و (۳) و

$$\left[\frac{\alpha \beta^{K}-۱}{\alpha K (\beta-۱)}\right]$$

حالت (۱) - اگر α ۱

$$۱-(۱/۲)^{K-1} \left[\frac{\beta^{K-1}}{\quad}\right]$$

حالت خاصی (۱) - اگر $\beta = ۱$ ،

مربوط به ص ۳۶ :

$$Es = \frac{(Esa + FEs\mathfrak{f} + h\,Esv)(1-F) + F(1+F)\,Esr}{1+F+h(1-F)}$$

« انرژی داخلی محسوس واحد جرم مخلوط »

* برای ۲ نترویی واحد جرم مخلوط هم عین رابطه فوق را داریم . در جارت ا.ت ۲ نترویی و یا ۱ نتالپی واحد (مول) مخلوط را می خوانیم و لذا این مقادیر m برابر مقدار بدست آمده از فرمول Es یا Ss خواهد بود .

* برای موتور بنزینی در بهترین حالت : $\eta = 0.75\ \eta_0$

η ← واقعی ، η_0 ← ایده‌آل

* برای موتور دیزلی در بهترین حالت : $\eta = \underbrace{(0.70 - 0.85)}_{0.8}\ \eta_0$

ترمودینامیک احتراق

سیال قبل از احتراق

- (SI) : هوا شامل رطوبت + سوخت + گازهای باقی مانده
- (CI) : هوا + گازهای باقی مانده

ترکیب هوای اتمسفر

- وزنی : O_2 23% + N_2 77%
- حجمی : O_2 21% + N_2 78%
  سایر گازها 1%

چارت C-1 خواص ترمودینامیکی هوای خشک را تا دمای $2500^{\circ}R$ نشان می دهد. در این چارت :

* پایه جرمی : یک پوند مول هوای خشک

* پایه ترمودینامیکی : انرژی داخلی هوای خشک در دمای $560^{\circ}R$ برابر صفر در نظر گرفته می شود.

دما (T) : R°

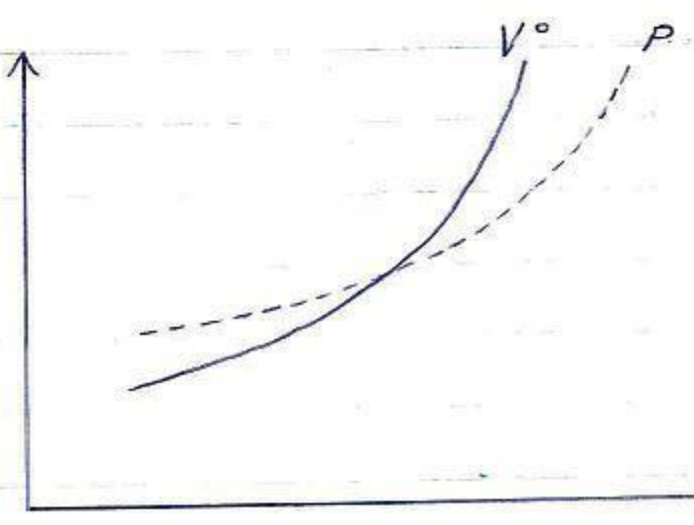
فشار (P) : $Psia$ (absolute psi مطلق)

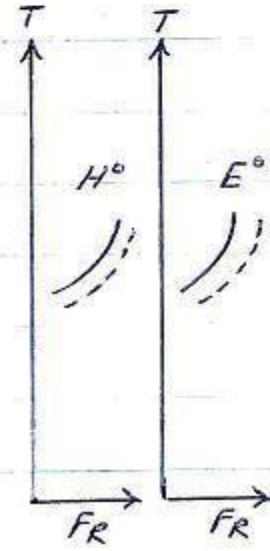
حجم مخصوص (V°) : $ft^3/lbmol$

* در این مبحث هر علامتی که نشان (°) بالای آن بود بر واحد lbmol است.

$$\text{انرژی داخلی واحد جرم } (E^{\circ}) = \int_{560}^{T} C_v^{\circ}\, dT$$

$$\text{انتالپی واحد جرم } (H^{\circ}) = E^{\circ} + \frac{PV^{\circ}}{J}$$





F : نسبت جرمی سوخت به هوای خشک

F_c : نسبت جرمی سوخت - هوای استوکیومتریک

$F_R = \frac{F}{F_c}$: نسبت سوخت - هوای نسبی

ϕ : کسر گازهای باقیمانده (نسبت جرم گازهای باقی مانده به مجموع جرم سوخت ، هوای خشک و گازهای باقیمانده) .

h : نسبت رطوبت (نسبت جرم بخار موجود به جرم هوای خشک)

---

* از منحنی های فرمز سمت راست برای یافتن انتالپی و انرژی داخلی استفاده می کنیم . برای هوای خشک ($F_R = 0$) است. منحنی های نقطه چین در این قسمت های فرمز برای پس از احتراق است یا وقتی که مخلوط سوخت و هوا داریم .

---

* سوخت معادل بنزین را اکتن (octane) می دانند C_8H_{16}

* تغییر یافته چارت را این طور در نظر می گیریم که اکتن با هوا وجود دارد.

خواص محسوس (Sensible) مخلوط سوخت - هوا :

از آنجا که قبل از احتراق انرژی سوخت آزاد نشده لذا خواص ترمو دینامیکی مخلوط برمبنای خواص مخلوط سوخت هوا در قبل از احتراق

بیان شده و به آن (خواص محسوس) گویند.

سوختها ← گازی
سوختها ← مایع

سوخت گازی

$$E_{sf} = \int_{560}^{T} C_v \, dT$$

$$H_{sf} = E_{sf} + \frac{PV}{J}$$

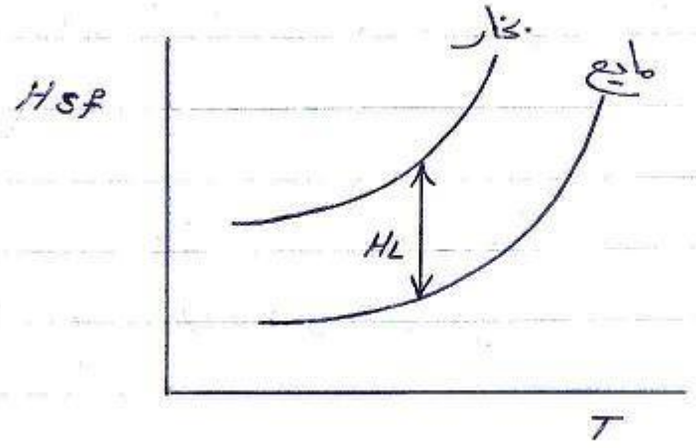
سوخت مایع

$(E_{sf})_L = E_{sf} + E_L$ ← انرژی نهان تبخیر

$(H_{sf})_L = H_{sf} + H_L$ ← انتالپی نهان تبخیر

$E_L \approx H_L$

برای (اکتن) نمودار داریم صرای :



---

* جدول ۱-۳ ص۵۴ خواص سوختها را می دهد که ما تنها با گازی و مایع آن کار داریم .

نام	فرمول	M_f جرم مولکولی	چگالی نسبی	H_L نهان تبخیر	c_p	Q' ارزش حرارتی	Q_c

بخار سوخت					
c_p	$k = c_p/c_v$	m_m	F_c	c_p	$a/\sqrt{T}$

m_m ← وزن مولکولی مخلوط سوخت هوایی استوکیومتریک

c_p مخلوط ← c_p استوکیومتریک

$a/\sqrt{T}$ ← سرعت صوت

$a = \sqrt{kRT}$ و a :

* چارت (C-1) را با اعمال تغییراتی برای مخلوط سوخت - هوا هم بکار می برند.

* خواص ترمودینامیکی مخلوط سوخت - هوا قبل از احتراق بسته به عوامل زیر است:

۱ - ترکیب سوخت
۲ - نسبت سوخت - هوا
۳ - کسر گازهای باقیمانده
۴ - مقدار رطوبت موجود

جمع کل مخلوط $M = M_a + M_f + M_r + M_v$

M_a: هوا، M_f: سوخت، M_r: گازهای باقیمانده، M_v: رطوبت

اگر:
$M_a + M_f \sim 1$
$M_r \sim f$
$M_a \sim 1 - f$
$M_f \sim F(1-f)$
$M_v \sim h(1-f)$

$M \sim 1 + F + h(1-f)$

$$F = \frac{M_f}{\underbrace{M_a + M_r + M_f}_{1}}$$

پس با توجه به نسبتهای نشان داده شده :

$$\left.\begin{aligned} M_a/M &= \frac{1-f}{1+F+h(1-f)} \\ M_F/M &= \frac{F(1-f)}{1+F+h(1-f)} \\ M_r/M &= \frac{f(1+F)}{1+F+h(1-f)} \\ M_v/M &= \frac{h(1-f)}{1+F+h(1-f)} \end{aligned}\right\} **$$

$N = N_a + N_F + N_r + N_v$ (تعداد کل مول مخلوط)

$$N = \frac{M}{m}$$

M ← جرم کل مخلوط

m ← جرم مولکولی مخلوط

$$N = \frac{M}{m} = \frac{M_a}{29} + \frac{M_F}{m_f} + \frac{M_r}{m_r} + \frac{m_v}{18}$$

m_f ← جرم مولکولی سوخت

m_r ← جرم مولکولی گازهای باقیمانده

بجای M_a و M_F و M_r و M_v از روابط (**) قرار می دهیم :

$$m = \frac{1 + F + h\,(1 - f)}{\left(\frac{1}{29} + \frac{F}{mf} + \frac{h}{18}\right)(1 - f) + \frac{f(1+F)}{m_r}}$$

* رابطه فوق جرم مولکولی مخلوط سوخت هوا را می دهد و هر چیز را که نداشته باشیم بجای آن صفر قرار می دهیم. معمولاً باید حول وحوش عدد (29) در بیاید. (28 - 32)

* صفحه 28 فرمول انرژی داخلی محسوس واحد جرم جسم ارائه شده.
* ص 53 فرمول 3-13 یک علامت (=) می خواهد.

استفاده از چارت C-1 برای مخلوط سوخت هوا قبل از احتراق

* پایه جرم - یک پوند مول مخلوط سوخت - هوا

* پایه ترمودینامیکی - انرژی داخلی مخلوط سوخت - هوا (البته سوخت گازی) در 560°R برابر صفر است.

$$\frac{E^\circ}{m} = E$$ واحد جرم

* حالت فوق برای هم خواص (ه) دار صادق است و m محاسبه شده در اینجا به درج می خورد.

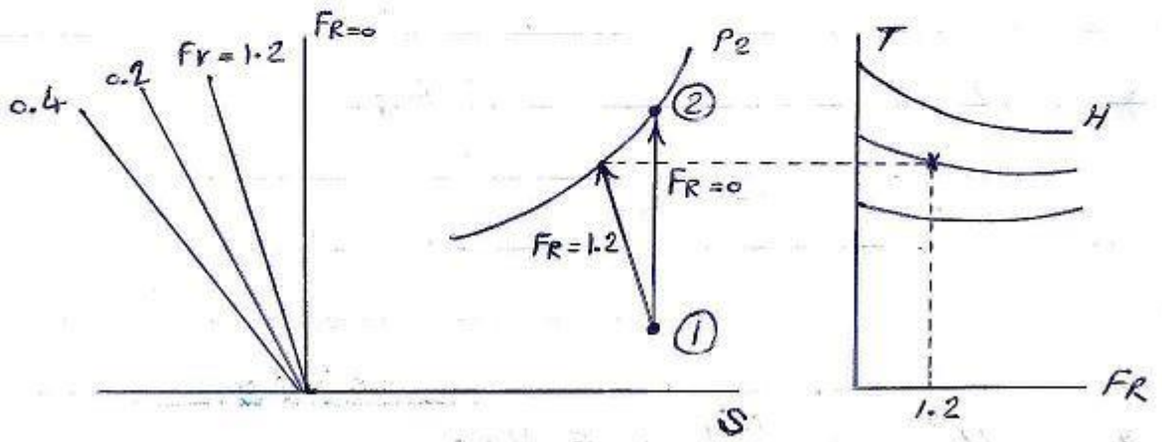
خط پر	$f = 0$
خط چین	$f = 0.05$
نقطه چین	$f = 0.1$

$F_c = 0.0678$

* اگر خط چین یا نقطه چین به خط پر نزدیک باشد از همان خط پر می خوانیم.

خطوط آنتروپی ثابت

در حالت هوا کاملاً نمودی است امّا برای مخلوط سوخت ـ هوا تحول آنتروپی ثابت به سرعت (F_r) مربوط است که در سمت چپ بعنوان جبهل کمکی ارائه شده است.



وقتی نقطه ② را با فتیع خطی به مولفات محور افقی رسم می کنیم و در (Fr) مربوط H° و E° را هم می خوانیم.

* درصورت وجود رطوبت در مخلوط می توان تاثیر آن را مثل گازهای باقیمانده در نظر گرفت در اینصورت بجای f باید از f' استفاده کرد:

$$f' = \frac{M_r + M_v}{M_a + M_f + M_r + M_v}$$

$$f' = \frac{f(1+F) + h(1-f)}{1+F+h(1-f)}$$

اختلاط سوخت - هوا :

اگر مقداری هوای خشک با سوخت مخلوط شود مقدار انتالپی و انرژی داخلی آن را از رابطه زیر بدست می آورند:

* $$E^*_{sm} = \frac{E^\circ_a}{m} + F\,E_{sf}$$

↳ انرژی داخلی $1+F$ پوند مخلوط

* $$H^*_{sm} = \frac{H^\circ_a}{m} + F\,H_{sf}$$

مثال - مخلوطی شامل اکتن با هوا و -
0.004 lb بخار آب و 0.0021 lb گاز باقیمانده در داخل سیلندری موجود است. در طول مرحله تراکم بار سیلندر تا 0.1 حجم اولیه خود متراکم می شود. با فرض اینکه مراحل مختلف یک سیکل جمع ثابت در سیلندر صورت می گیرد و با اطلاعات زیر مقادیر کار، راندمان حرارتی و فشار مؤثر متوسط را بیابید

$T_1 = 600°R$ $M_f = 112$
$P_1 = 14.7\ psi$ M_r
$q_c = 1935\ BTU/lb$
$E_c = 19180\ BTU/lb$
$F_c = 0.0678$
$F_r = 0.8$

$F = F_R \cdot F_c =$ 678)

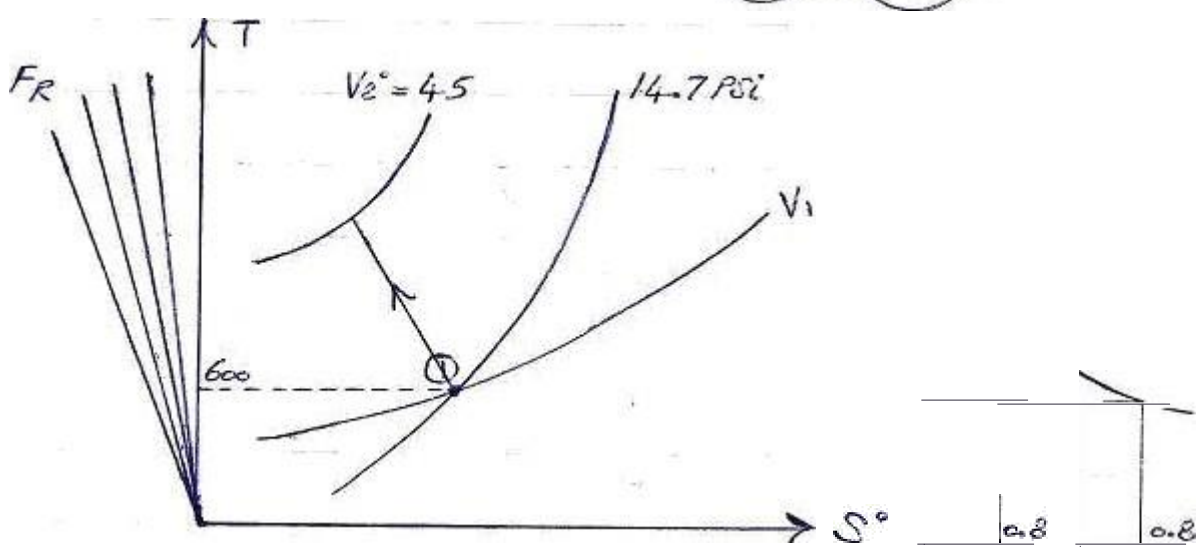
$M_f = F \cdot M_a = (0.0542)(0.095)$

$$\frac{1 + F + h(1-f)}{\left(\frac{1}{29} + \frac{F}{m_f} + \frac{h}{\quad}\right)(1-f) + 0.02\,(1.0542)}$$

* از نقطه (1) دما و فشار را داریم پس به چارت C-1 مراجعه می‌کنیم :

P_1 14.7 psi C-1

$V_1^\circ = 450\ ft^3$



① $P_1 = 14.7$ psi, $T_1 = 600\ ^\circ R$, $f' = 0.056$, $F_R = 0.8$ ⟶ $V_1^\circ = 450\ ft^3$, $H_1^\circ = 1400$ BTU, $E_1^\circ = 200$ BTU

* از نقطه ① خطی بموازات $F_R = 0.8$ رسم می کنیم تا منحنی حجم ثابت $V_2^\circ = \frac{V_1^\circ}{2}$ $\left(V_2^\circ = \frac{450}{10} = 45\right)$ را قطع کند.

② $T_2 = 1150\ ^\circ R$, $P_2 = 250$ psi, $E_2^\circ = 3400$, $H_2^\circ = 5400$

(در نقطه ② احتراق شروع شده است.)

* برای نقطه ③ که پس از احتراق است به چارت C-2 مراجعه می کنیم:

$$E_3^* = \left[\left(\frac{1+F}{m}\right) E_2^\circ + F(1-f') E_c + f'/r \right]$$

$$\varphi = \begin{cases} 1680\ (F_R - 1) & F_R > 1 \\ 0 & F_R < 1 \end{cases}$$

$$E^*_3 = \left[\frac{1.0542}{29.4} (3400) + (0.0542)(1 - 0.056)(19180) \right]$$

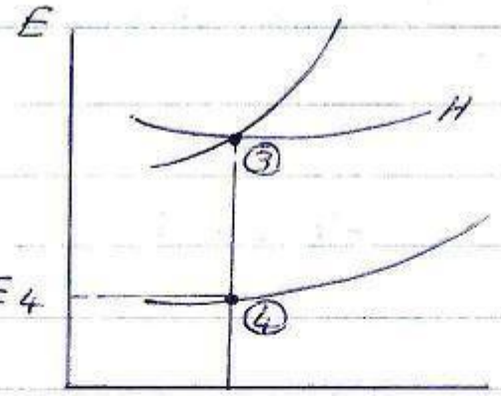
$E^*_3 = 1092$ Btu ③ انرژی داخلی نقطه

$V_3^* = V_2^* = V_2^\circ \left(\frac{1+F}{m}\right) = 45\left(\frac{1.0542}{29.4}\right)$

$V^*_3 = 1.57$ ft^3 ③ حجم نقطه

$\left\{\begin{array}{l} E^*_3 = 1092 \text{ Btu} \\ V^*_3 = 1.57 \ ft^3 \end{array}\right. \xrightarrow{C_2}$ $\left|\begin{array}{l} P_3 = 1200 \\ T_3 = 4000 \\ H^*_3 = 1400 \end{array}\right.$

* از نقطه ③ خط ثابتی رسم می کنیم تا خط حجم ثابت زیر را : $V^*_4 = V_1^* = V_1^\circ \left(\frac{1+F}{m}\right)$ قطع کند.
$V^*_4 = 15.7$ ft^3



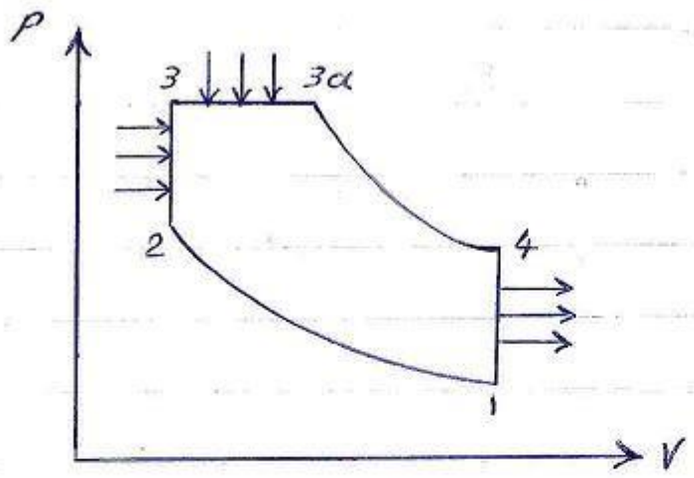
$V^*_4 = 15.7$ ft^3 $\rightarrow$ $\left|\begin{array}{l} E^*_4 = 440 \\ P_4 = 50 \text{ PSi} \\ T_4 = 2050 \\ H_4 = 600 \end{array}\right.$

$$W^* = J \left\{ (E^*_3 - E^*_4) - \left(\frac{1+F}{m}\right)(E^\circ_2 - E^\circ_i) \right\} \quad ft-lbF$$

$$mep = \frac{W^*}{(V_1^* - V_2^*)\,144} \quad psi$$

$$\eta = \frac{W^*}{J F Q_c \left[\frac{(1+F)(1-f)}{1+F+h(1-f)}\right]}$$

سیکل سوخت هوای با فشار محدود :



تحول 2-1 - تراکم مخلوط هوا و گازهای باقیمانده از حجم V_1° تا حجم $V_2^\circ = \frac{V_1^\circ}{r}$
در این مرحله از چارت 1-C استفاده می کنیم .

پاسخ : در نقطه ② سوخت بداخل سیلندر پاشیده میشود .

$$E_2^* = \left[\frac{E_2^\circ}{29} + F(1-f)(E_c + H_c) + f\varphi \right]$$

$$H_L = E_L + \frac{pV}{J}$$ جمع سوخت پاشیده شده $\rightarrow$ $E_L \approx H_L$

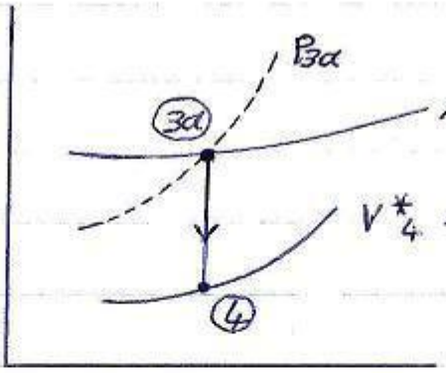
تحوّل $3\alpha - 3 - 2$ - احتراق در حجم ثابت تا فشار P_3 و سپس در فشار ثابت تا حجم $V_{3\alpha}$.

$$E_{3\alpha}^* = E_2^* = \frac{P_3 (V_{3\alpha}^* - V_2^*)}{J} \rightarrow$$

$$H_{3\alpha}^* = E_2^* + \frac{P_3 V_2^*}{J}$$

کتاب $V^\circ \perp V_{3\alpha}^*$ نوشته که غلط است.

چارت C-2



تحول $4 - 3\alpha$ - انبساط تا حجم اوّلیه $V_4^* = V_1^*$

محاسبه کار :

$$W^* = J \left[\left(E^*_{3a} + \frac{P_3 (V^*_{3a} - V^*_3)}{J} - E^*_4 \right) - \frac{1}{m} (E^\circ_2 - E^\circ_1) \right]$$

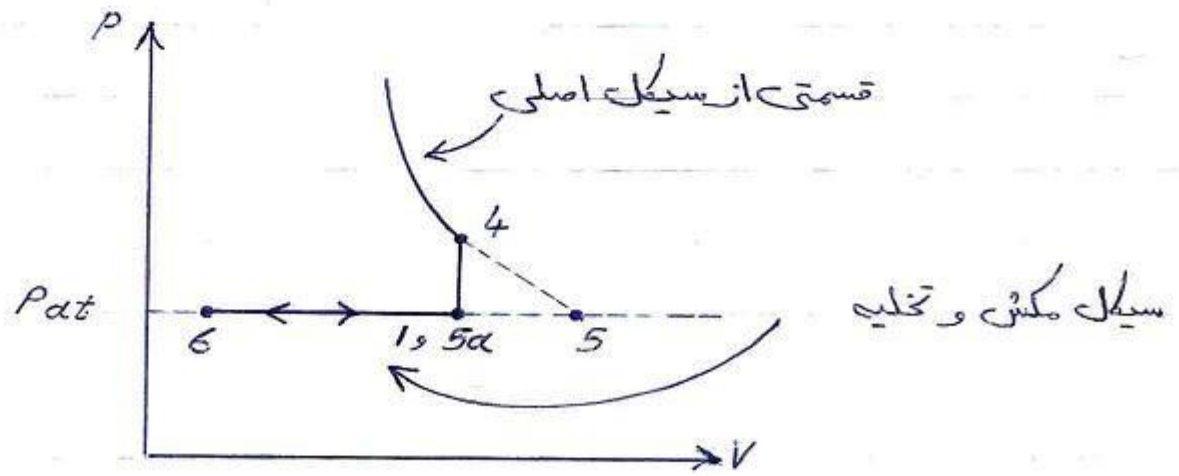
$$W^* = J \left[\left(H^*_{3a} - \frac{P_3 V^*_3}{J} - E^*_4 \right) - \frac{1}{m} (E^\circ_2 - E^\circ_1) \right]$$

* مقادیر mep و η مشابه سیکل جمع ثابت و از همان روابط درج شده در آخر مسئله قبلی محاسبه می شود.

فرآیندهای مکش و تخلیه ایده آل :

۱- حالت نرمال : $P_1 = P_a$

در این حالت فرض می شود سوپاپها درست در نقاط مرگ بالا و پایین باز و بسته می شوند :



نقطه 4 - سوپاپ دود باز (E.V.O)

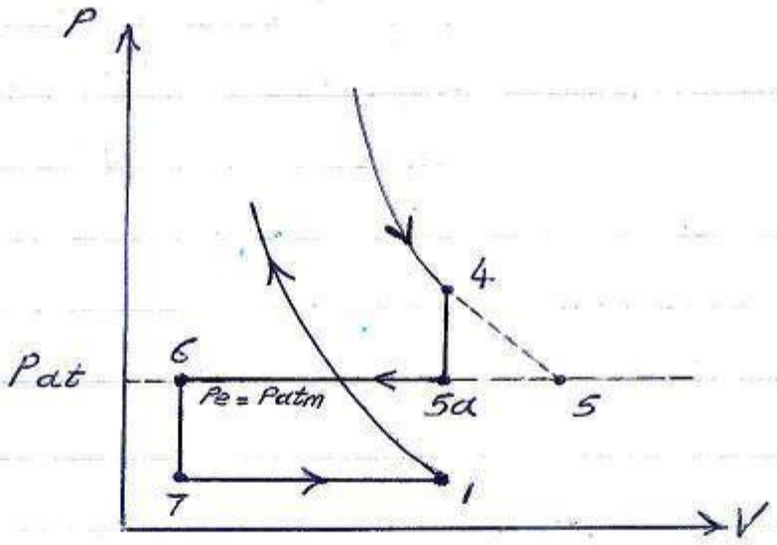
نقطه 5a - سوپاپ دود باز و فشار اتمسفریک است.

نقطه 6 - سوپاپ دود بسته میشود.
نقطه 7 - سوپاپ ورودی باز می شود.
نقطه 1 - سوپاپ ورودی بسته میشود.

---

۲ - حالت خفگی (throttled) $P_1 < P_{at}$

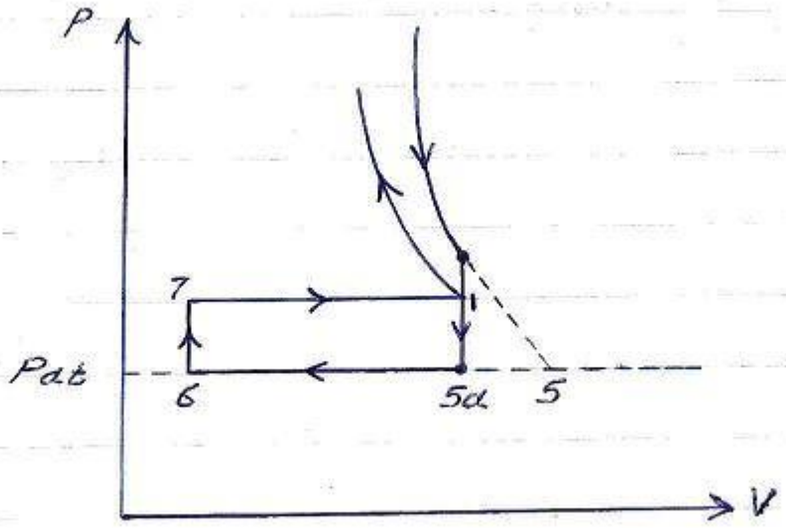
اگر دریچه گاز نیمه بسته باشد افت فشار نسبت به فشار (at) اتفاق می افتد.



---

۳ - حالت پرخوران (Supercharged) $P_1 > P_{at}$

در این حالت ابزاری مانند کمپرسور فشار هوای ورودی را افزایش می دهد و آن Pat بالاتر می برد.



مفروضات : (تحولات مکش و تخلیه)

* می‌خواهیم با تحولات مکش ایده‌آل نقطه ① را که تاحال از مفروضات بود کمی دقیق‌تر بنویسیم .

۱- کلیه تحولات Ad. است.
۲- باز و بسته شدن سوپاپها دقیقاً در نقاط مرگ بالا و پایین است.
۳- وقتی سوپاپها باز میشوند در جمع سیلندر تغییری رخ نمی‌دهد.

چگونگی در نظر گرفتن گازهای باقیمانده :

با توجه به فرض ① خواص محصولات احتراق در نقطه 5 با نقطه 6 یکسان است.

$f = \frac{M_6}{M_5}$ $\xrightarrow{P \text{ مشترک}}$ $f = \frac{V_6}{V_5}$ ← حجم سیلندر در نقطه مرگ بالا

$f = \frac{V_2}{V_5}$

چون : $V_6 = V_2$

چگونگی تعیین نقطه ① :

گازهای باقیمانده با شرایط نقطه 6 و مخلوط تازه باهم مخلوط شده و بر مبنای قانون اول برای این تحول مغیر به شرایط نقطه ① میشود می توان نوشت .

۱ - مخلوط تازه

۲ - گاز باقیمانده

$$(M_1 + M_2)\, E_{S1} = \underbrace{M_1 E_{S1}}_{\text{ب}} + \underbrace{M_2 E_{S6}}_{\text{الف}} - \frac{1}{J}\left(-P_1 V_1 + P_1 (V_1 - V_7)\right) \text{ج}$$

$-P_1 V_1$: کار جریان مخلوط تازه

$P_1 (V_1 - V_7)$: کار حرکت پیستون

چون : $P_1 = P_1$ $\quad E_{S6} = E_{S5}$

$P_e = P_6$

$V_6 = V_7 = V_2$

الف - $M_r E_{s6} = M_r H_{s6} - \frac{P_6 V_6}{J}$

$H_{s6} = H_{s5}$ و $P_6 = P_e$ و $V_6 = V_2$ $\Bigg\} \rightarrow$

$$M_r E_{s6} = M_r H_{s5} - \frac{P_e V_2}{J} \qquad (A)$$

ب - $$M_i E_{si} + \frac{1}{J} P_i V_i = M_i H_{si} \qquad (B)$$

ج $\longrightarrow$ (C)

* اگر بجای الف و ب و ج ، A و B و C را قرار دهیم و طرفین را در M_1 ضرب و بر $M_i + M_r$ تقسیم کنیم :

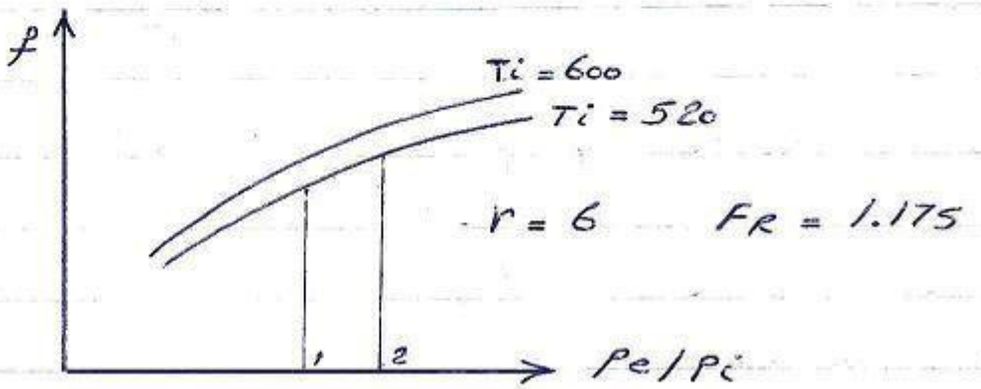
$$H_i^\circ = \frac{m_1}{m_i}(1-f) H_i^\circ + \frac{m_1}{m_r} f H_5^\circ + \frac{V_2^\circ}{J}\left[(P_i - P_e)(144)\right]$$

$$H_i^\circ = M_1/M_i\ (1-f)\ H_i^\circ + M_1/M_r\ f H_5^\circ + V_2^\circ (P_i - P_e)\frac{144}{778}$$

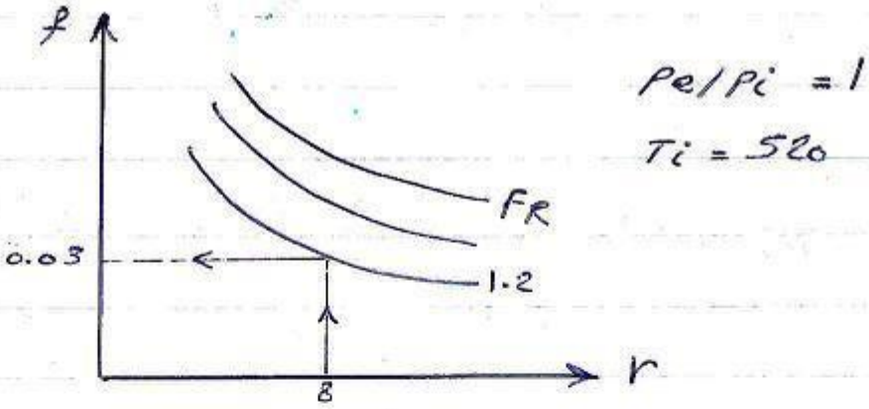
معمولاً f را حدس می زنیم و H_i° را می یابیم و محاسبات سیکل را برای یافتن نقاط او 2 و 3 و 4 و ... انجام می دهیم. اگر :
$\frac{V_e}{V_5}$ = حدس f باشد که محاسبات تمام است اما اگر نشد باید f جدیدی حدس بزنیم و محاسبات را تکرار کنیم . V_2° و H_5° را هم

حس می زنیم و در مسیر محاسبات آنها را چک می کنیم .

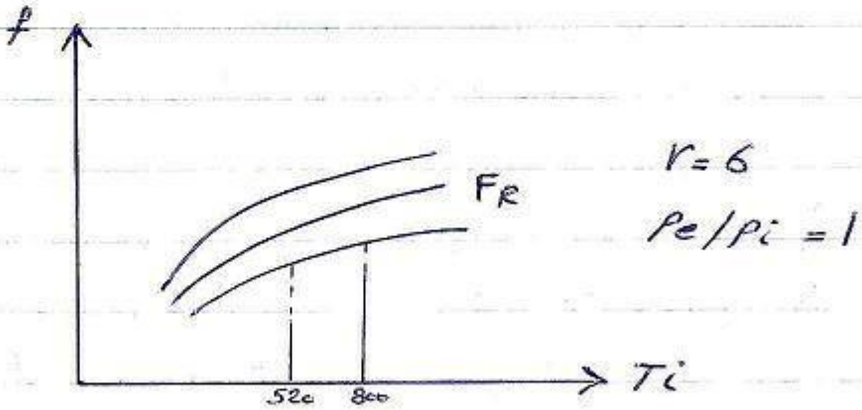
* صفحه (92) شکلهای 4.5 : چهار نمودار آخر برای تخمین f بکار می روند.



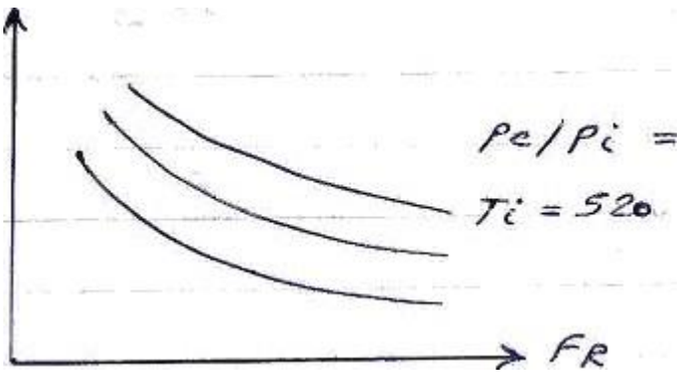
الف - ج



الف - هـ



الف - د

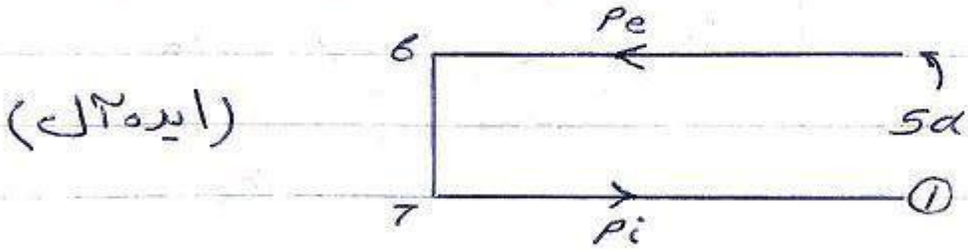


* معمولاً از یکی f را حدس می‌زنیم و سپس به کمک سایر نمودارها f بدست آمده را تصحیح می‌کنیم (بسته به این که داده‌های مسئله ما چقدر با داده‌های نمودارها تفاوت دارد.) مثلاً اگر T_i نسبت به 520 اختلاف دارد باید با نمودار (الف-د) مقدار f را در 520 و دمای مسئله می‌خوانیم و نسبت f های بدست آمده یک ضریب تصحیح به ما می‌دهد و ...

ضرایب تصحیح

شکلهای 4.6 هم برای تعیین f است امّا دست ما مانند شکلهای 4.5 باز نیست. در این نمودارها هم می‌توان برحسب F_R و r تصحیح انجام دهیم.

کار پمپاژ : کاری از پیستون است که صرف مکش یا تخلیه می شود.



کار مکش $W_i = P_i (V_1 - V_2)$

کار تخلیه $W_e = P_e (V_2 - V_1)$

کار پمپاژ $= W_p = W_i + W_e = (P_i - P_e)(V_1 - V_2)$

$$\text{MEP پمپاژ} = \frac{W_p}{V_1 - V_2} = P_i - P_e$$

مسئله - سیکل سوخت هوای با فشار محدود شده‌ای بسازید که طبق آن سوخت مایع اکتن در انتهای مرحله تراکم پاشیده می شود. شرایط معلوم عبارتند از :

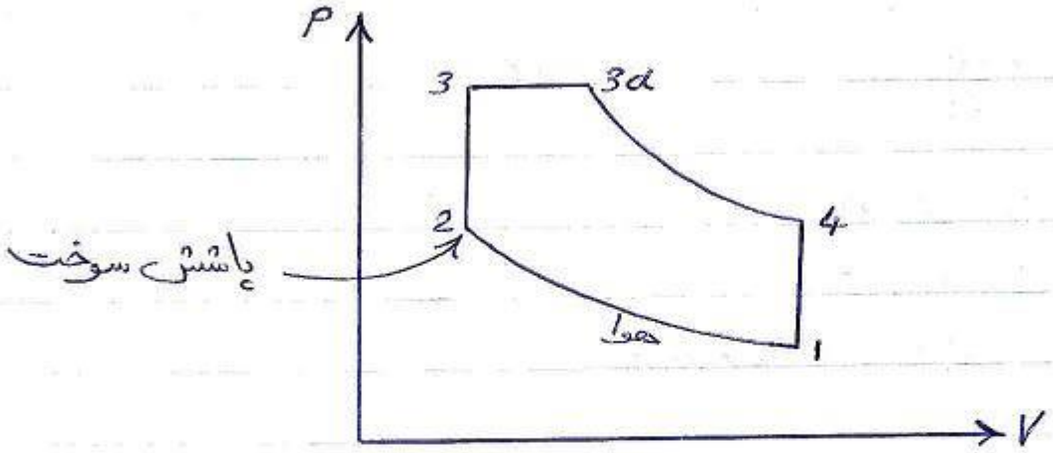
$F_R = 0.8$ ، $P_1 = 7.35\ psi$ ، $T_1 = 720°R$

، $P_f = 0.043$ ، $h = 0.04$ ، $r = 14$

$E_c = 19180 \frac{Btu}{lb}$ ، $Q_c = 19035 \frac{Btu}{lb}$ ، $\frac{P_3}{P_1} = 70$

$M_f = 112$ ، $F_c = 0.0678$ ، $H_L = -14.5 \frac{Btu}{lb}$

$M_R = 30$. مقادیر کار، MEP و بازده حرارتی را برای این سیکل بیابید.



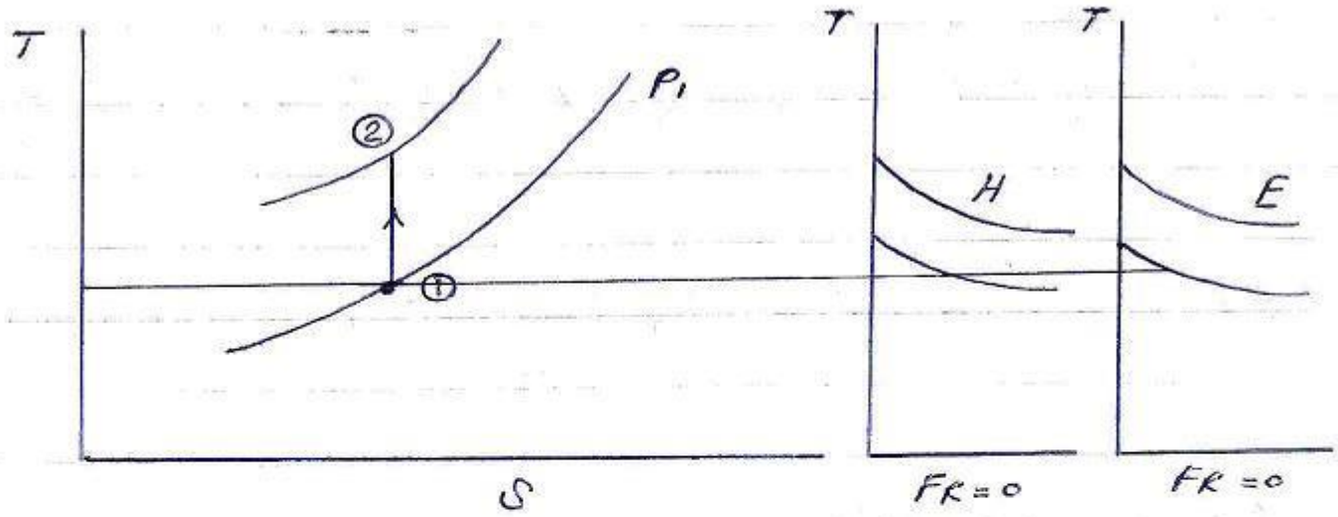
① $T_1 = 720°$, $P_1 = 7.35$ psi , $F_R = 0$ (چون در مرحله تراکم فقط هوا داریم.)

$\xrightarrow{C_1}$

$V_1° = 1080$ ft³

$H_1° = 2062.2$ Btu/lbm

$E_1° = 800$



* فرآیند 2-1 - از نقطه ① در چارت C_1 به موازات $F_R = 0$ (خط قائم) رسم می کنیم تا حجم $V_2° = V_1° / r$ را قطع کند.

$$V_2^\circ = \frac{1080}{14} = 77.1 \ ft^3$$

② |
$T_2 = 1895\ ^\circ R$
$P_2 = 265\ psi$
$E_2^\circ = 7265 \ \ Btu/lbm$
$H_2^\circ = 11040$

$$F = F_R \cdot F_c = 0.8\,(0.0678) = 0.0542$$

هوا $m = 29 \rightarrow \frac{1+F}{m} = 0.036$

$$f' = \frac{(1+F)f + h(1-f)}{1+F+h(1-f)} \qquad \frac{h = 0.04}{f = 0.043} \rightarrow f' = 0.077$$

پاسخ سوخت از نقطه ② :

$$E_2^* = \left(\frac{1+F}{m}\right) E_2^\circ + (1-f')F(E_c + H_L) + f'Q$$

Q ← $0\ (F_R<1)$

$$E_2^* = 0.036\,(7265) + (1-0.077)(0.0542)\,(19180 - 145)$$

$$E_2^* = 1235.8$$

$$V_2^* = V_2^\circ \left(\frac{1+F}{m}\right) = (77.1)(0.036) = 2.77\ ft^3$$

تحول 2 - 3 - 3a ← $\frac{P_3}{P_1} = 70$

$P_{3a} = P_3 = 70\,(7.35)$

$P_{3a} = 514.5 \quad psia$

$H_{3a}^* = E_2^* + \frac{P_3 V_2^*}{J} = 1235.8 + \frac{(514.5)(2.77)}{778}(144)$

$H_{3a}^* = 1499.6 \quad Btu/lbm$

* باداء مقادير فوق (P_{3a} و H_{3a}) از چارت C-2 :

$V_{3a}^* = 3.7 \quad ft^3$

$T_{3a} = 4765\,^\circ R$

$E_{3a}^* = 1156 \quad Btu$

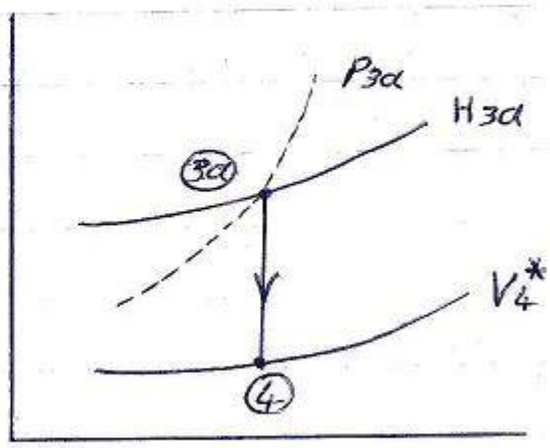
* وباربع خط قائمي از نقطه 3a تا خط جم ثابت $V_4^* = V_1^\circ \left(\frac{1+F}{m}\right)$ = 38.8 حاربع :

$T_4 = 2760\,^\circ R$

$P_4 = 26.9 \quad psi$

$E_4^* = 515.6$

$H_4^* = 716 \quad Btu/lbm$



C-2

$$* \quad \frac{W^*}{J} = H_{3a}^* - \frac{P_3 V_{3A}^*}{J}(144) - E_4^* - \frac{1}{m}(E_2^\circ - E_1^\circ)$$

$$\frac{W^*}{J} = 482 \ Btu$$

$$* \quad mep = \frac{W^*}{V_1^* - V_2^*} = \frac{482\ (778)}{(38.8 - 2.77)\ 144} = 71 \ psi$$

راندمان حرارتی :

$$\eta = \frac{W^*}{JFQ_c\left[\frac{(1+F)(1-f)}{1+F+h(1-f)}\right]}$$

$$\eta = 0.506$$

مسئله - مخلوطی شامل 1 lbm هوای تازه با $F_R = 1.15$ و $h = 0.045$ و مقداری گاز باقیمانده داخل سیلندر موجود می باشد. در طول مرحله تراکم بار سیلندر تا $\frac{1}{5}$ حجم اولیه خود متراکم می شود. با فرض اینکه مراحل مختلف یک سیکل حجم ثابت در داخل سیلندر صورت می گیرد و با مقادیر ذیل کار و mep و η را برای این سیکل بیابید :

$T_i = 780^\circ R$ مخلوط تازه

$P_1 = P_i = 10 \ psi$

$P_e = 14.7 \ psi$

$Q_c = 1935 \ Btu/lbm$ (ارزش حرارتی)

80/19

متراف

جرم سوکارلی سوخت

جرم محلول باقیمانده

نسبت سوخت هوای استکیومتریک

30

0.0

$$H_1^\circ \quad \frac{m_1}{m_i}(1-f)H^\circ_i + \frac{m_1}{m_r} f H^\circ_5 + V_2^\circ (P_i - P_e)\frac{144}{778}$$

چون صحبت رطوبت

بیرید

$$m_1 \quad \frac{1+F+h(1-f)}{\left(\frac{1}{29}+\frac{F}{m_f}+\frac{h}{18}\right)(1-f)+f\frac{(1+F)}{m_r}}$$

$$FR.Fc = \quad 678\ (1.15) \quad 0.078$$

تخمین f : د سخت (الف هـ)

$$\begin{cases} \frac{P_e}{P_i} \simeq \frac{5}{14.0} \\ T_i = 10 \\ re \quad 1.15 \end{cases} \longrightarrow$$

$$15 \longrightarrow f_1 = 0.048$$

* ضریب تصحیح به ازای P_e/P_i الف ج

$$\left(\frac{f_{1.5}}{f_1}\right)_{\frac{P_e}{P_i}} = \frac{0.06}{0.04} = 1.5$$

* ضریب تصحیح برای T_i ← (الف - ۷)

$$\left(\frac{f_{780}}{f_{520}}\right) = \frac{0.052}{0.04} = 1.3$$

f حدسی ← $f = (0.048)(1.5)(1.3) = 0.094$

→ $n = 29.8$

$n_1 \approx n_i = n_2$

* حال باید T_2 و H_5° را حدس بزنیم :

فرض | $T_5 = 2300\ ^\circ R$ $\xrightarrow{C-1}$ $H_5^\circ = 15300$
$F_R = 1.15$

- با استفاده از فرمول تجربی $f = \frac{T_1}{2500\ r}$ کتاب Rogowski :

T_1 حدسی $T_1 = (0.094)(2500)(5) = 900^\circ R$

$\xrightarrow{C-1}$ ① نقطه حدسی | T_1 حدسی = 900
$P_1 = 10\ Psi$ $\xrightarrow{C-1}$

V_i° حدس 957

i° حدس 957 $= 191.4$

(I) $\rightarrow$ $H^\circ_1 = (1-0.127)\,2835 + (0.127)(1530) + 191.4\,(10-14.7)\,\frac{144}{778}$

(H°_i به ازای حدس T_i و $FR = 1.15$ از چارت C-1)

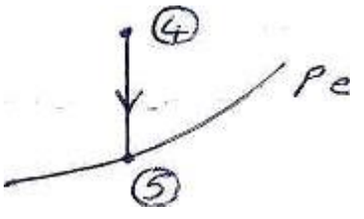
$H^\circ_1 = 4261.7$ Btu

$P_1 = 10$ psi

روش این نقطه سبات سیکل گفته شده ا می

$\rightarrow$

③ T_3 5390 $\longrightarrow$ ④ $T_4 = 414.8\,^\circ R$



امتحان f : $f = \frac{V_2^*}{V_S^*} = 0.08$

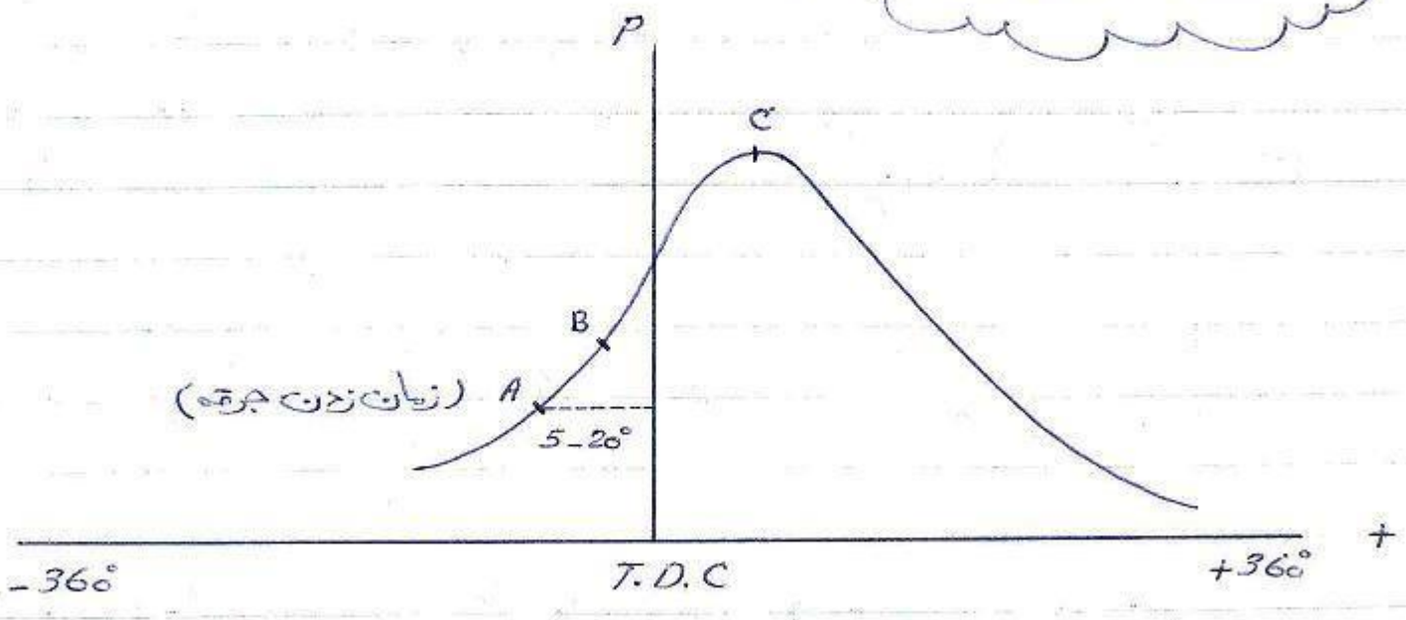
(اگر f نادرست بود باید محاسبات از ابتدا تکرار شود)

فصل 5 :

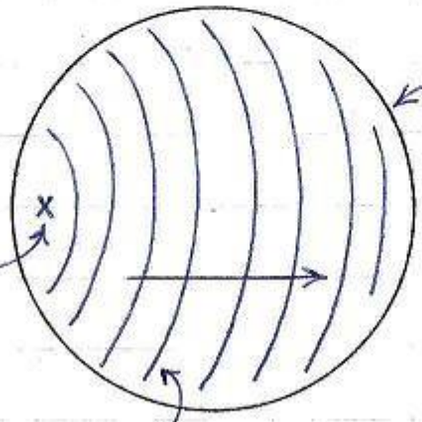
(احتراق در موتورهای SI) :

۱- کنترل شده : دارای زدن جرقه .
۲- کنترل نشده : دارای وجود یک نقطه داغ .
۳- غیر عادی

احتراق کنترل شده :



زمان AB - زمان تشکیل هسته های اشتعال



تصویر از بالای سیلندر

زمان BC - زمان حرکت جبهه شعله از هسته های اشتعال Flame Front

احتراق کنترل نشده : احتراقیست که طی آن عمل احتراق بعد از زدن جرقه و حرارت وجود یک سطح داغ یا نقطه داغ ایجاد می شود، و خود بر سه قسم است :

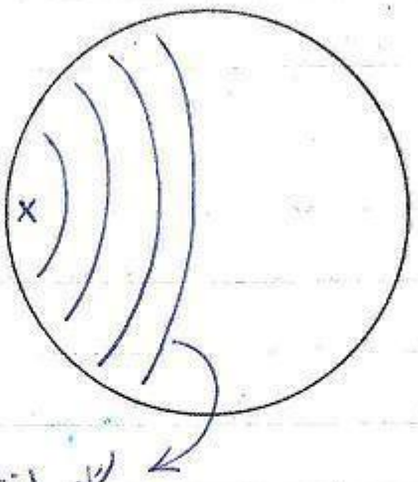
۱- Pre ignition (پیش اشتعال) : قبل از زدن جرقه حرارت سطح داغ.

۲- rumbling (غرش) : بعد از زدن جرقه حرارت سطح داغ.

۳- running on (ادامه) : حرارت وجود ذرات داغ.

احتراق غیر عادی :

خودسوزی ، کوبش (Detonation or Knock)



گاز انتهائی (end gas)

* نوعی از احتراق است که در اثر تراکم گاز انتهائی و تشعشع از جبهه شعله به آن بصورت انفجار شدید در موتور ظاهر می شود.

عوامل مؤثر در پدیده کوبش :

ضد کوبش	موثر در کوبش	اثر	عامل
	✓	افزایش	نسبت تراکم
	✓	۲ واحس	زمان جرقه
	✓	کاملاً باز	تنظیم دریچه گاز (خفگی)
✓		اندکی باز	〃 〃
✓		فقیر	قدرت مخلوط
	✓	کمی غنی	〃 〃
✓		خیلی غنی	〃 〃
✓		افزایش	سرعت موتور
	✓	افزایش	حمای هوای ورودی
✓		کاهش	خشاب 〃 〃
	✓	افزایش	حمای آب خنک کن

عوامل طراحی در حدود ساختن کوبش

جهت حرکت

هندسی اتاق احتراق

عدد (octane) مقاومت سوخت برابر
نفجار است

{ ایزو اکتان ⟶
{ هپتان نرمال ⟶

C_7H_{16} ⟶ 100

هم سوختها فرسول فوق می سنجند

⟶

$Pb_{(OH)_2}$ + OH ⟶ PbO_2 +

⟶

H_2O

R_O

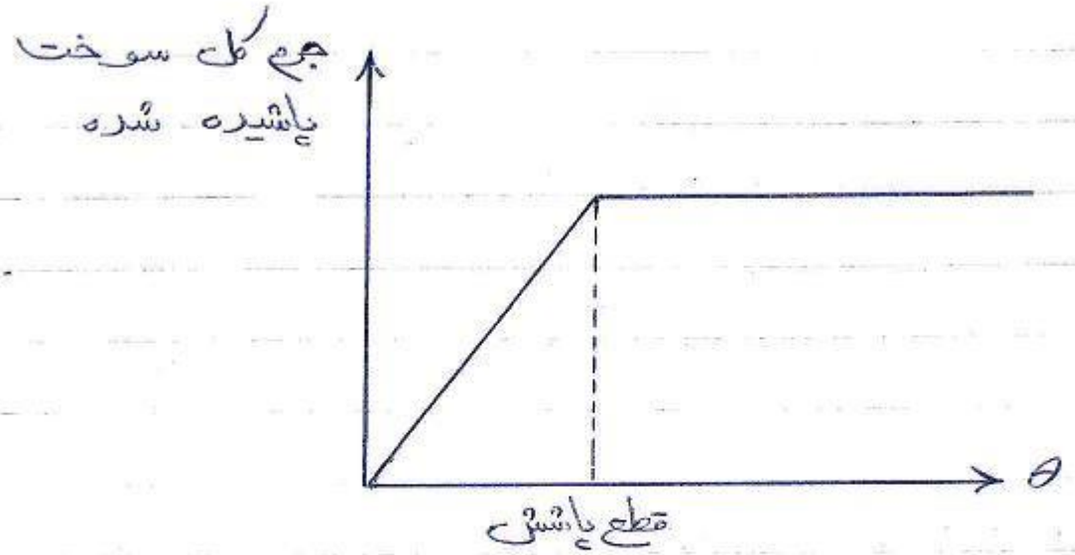
احتراق در موتورهای (CI) یا دیزلی :

* مراحل احتراق موتورهای دیزلی :

۱- پاشش سوخت بصورت قطرات ریز (پودر شده) با فشار بالا براخل سیلندر.

۲- سوخت پودر شده در تماس با هوای گرم موجود (در انتهای مرحله تراکم) گرم و تبخیر می شود.

۳- سوخت مخلوط شده باهوا ناگهان با شرت زیادی احتراق یافته - امّا پس از آن رفته رفته آهنگ احتراق کاهش می یابد.



مراحل پس از پاشش :

۱- تأخیر در اشتعال (ignition delay) : فاصله زمانی بین پاشش سوخت و شروع احتراق است.

تأخیر فیزیکی : گرم و تبخیر شدن سوخت.

تأخیر شیمیائی : واکنشها ابتدا به کندی پیش می‌روند.

$$t = \frac{0.44 \exp\left[\frac{4650}{T}\right]}{P^{1.19}}$$

mili secend (ms)

P برحسب (at.)

« رابطه Wolfer »

۲- احتراق از پیش مخلوط شده (Peremixed) : سوخت آماده شده طی مرحله تبخیر (تأخیر) ناگهان به شدت می سوزد.

[دوده کم (تشعشع کم) - NOx زیاد (سمی)]

۳- احتراق نفوذی (diffusion) : ادامه احتراق بستگی به نفوذ مولکولهای سوخت در هوا داشته و با شدت کمتری از قبل ادامه می یابد.

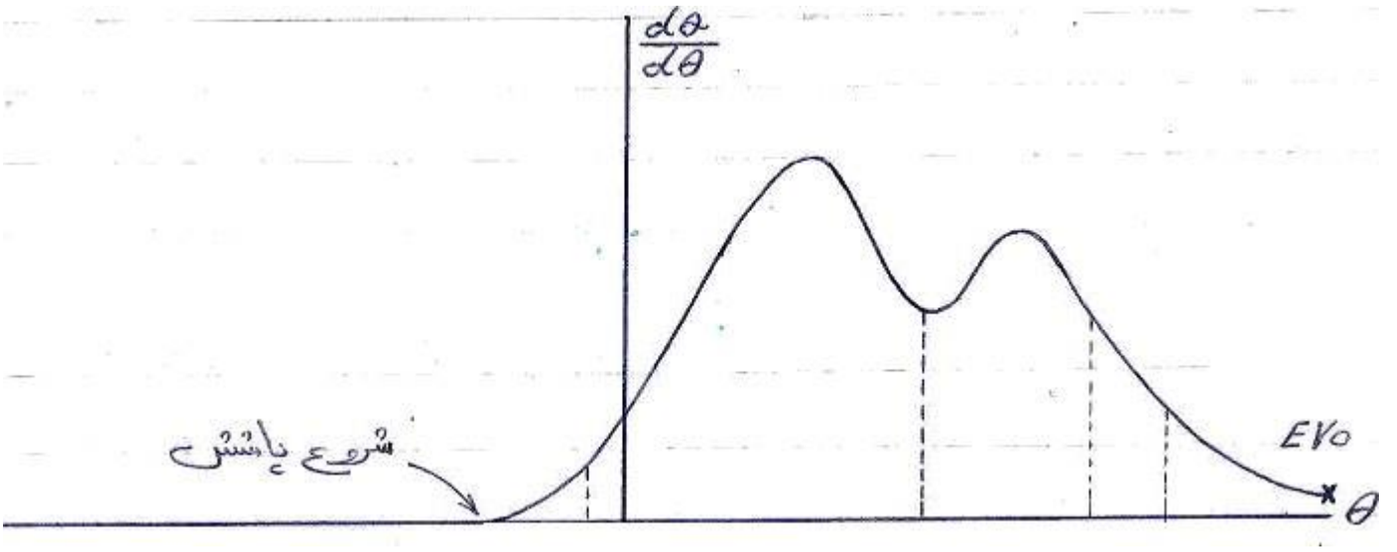
[دوده زیاد - NOx کم]

dT

- در نهایت مقدار احتراق نفوذی ۲ هنگ کنتری پیدا می کند.

حرارت نمایش

می



کوبش دیزلی

متراق یافته

راههای کاهش کوبش :

۱- کاهش زمان تأخیر ←
- افزایش نسبت تراکم
- پاشش ۲ تش زا
- سوخت با عدد ستان بالاتر
- استفاده از شمع گرم کن (glow plug)

۲- کاهش سرعت پاشش سوخت

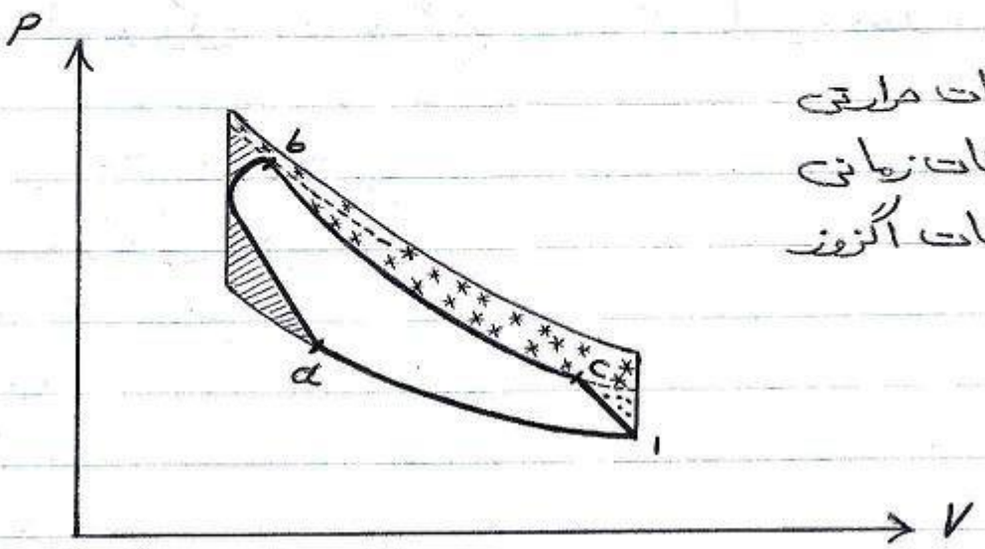
---

* برای بالابردن سرعت احتراق در موتورهای دیزل حرکتهائی در مورد سوخت یا هوا ایجاد می شود :

۱- Swirl (حرکت گردابی) : هنگام ورود هوا به سیلندر.
۲- Air Turbulence : حرکت هوا در طول مرحله تراکم.
۳- Squish : حرکت هوا در انتهای تراکم. (از محیط بطرف مرکز سیلندر).
۴- Comb. Turbule. : حرکت مخلوط سوخت هوا و محصولات در حین احتراق.

اندکی مانده تا : فصل «۶»

سیکل های واقعی :



* تلفات حرارتی
/// تلفات زمانی
::: تلفات اگزوز

b - مماس بر خط ۲ ایزنتروپیک است.

« عوامل ایجاد اختلاف بین سیکلهای واقعی و سوخت - هوا » :

۱ - leakage (نشت) (blow by سوخت نشت شده از دیافراگم)
۲ - احتراق ناقص (بیشتر در ابتدای کار موتور)
۳ - سوختن پیش رونده (progressive burning) . صفحه ۱۱۹ شکل 5-2 . یعنی کل احتراق همزمان رخ نمی دهد.
۴ - تلفات زمانی (Time Losses) منظور اتلاف کار ناشی از حرکت پیستون در حین احتراق است.
۵ - تلفات حرارتی (در حین انبساط بیشترین تاثیر را دارد).
۶ - تلفات اگزوز

انواع اندیکاتور برای دیاگرامهای P-V یا P-θ :

۱ - اندیکاتور پیستونی (وات) : دیاگرام P-V را می دهد.
۲ - اندیکاتور با فشار متعادل شده : دیاگرام P-θ را می دهد.
۳ - اندیکاتور الکترونیکی : دیاگرام P-V را می دهد.

تلفات در موتورهای دیزل :

۱ - تلفات تشت
۲ - تلفات زمانی
۳ - تلفات حرارتی
۴ - تلفات اگزوز

فصل « 6 »

ظرفیت هوایی (Air Capacity) :

$$P = J \dot{m}_a F Q_c \eta$$

(SI) باز ای F ثابت و r و تایمینگ جرقه در بهترین حالت (اطمینان MAX) توان با دبی هوای ورودی تنظیم می شود :

$$P \sim \dot{m}_a$$

CI) قوای موتور با نسبت سوخت - هوا (F) تنظیم می شود ولی بازاء بهترین حالت F و در دور، فشار و دمای ورودی ثابت در این موتورها هم :

$$P \sim M_a$$

تعاریف :

زمان مکش - زمان بین باز و بسته شدن سوپاپ ورودی.

مخلوط تازه
- SI : سوخت + هوا + بخار آب
- CI : هوا + بخار آب

گاز باقیمانده - گازهائی که از سیکل قبل باقی مانده.

بار سیلندر - کل محتویات سیلندر پس از بسته شدن سوپاپ.

راندمان حجمی = (جرم مخلوط تازه‌ای که در طی زمان مکش وارد سیلندر می‌شود) / (جرم مخلوط تازه‌ای که بتواند حجم جابجا شده توسط سیلندر را با جرم مخصوص مخلوط تازه پر کند.)

« برای چهارزمانه »

$$e_v = \frac{M_i}{\frac{N}{2} V_d \rho_i}$$

راندمان حجمی

P_i در ورودی به موتور اندازه گرفته می شود (راندمان حجمی کلی)

P_i در در پخ ورودی سیلندر اندازه گرفته می شود.

* در موتورهای عادی فرق نمی کند امّا در موتورهای سوپرشارژ باید در حالت دوّم حساب کنیم، که تنها اثر پیستون را در نظر بگیریم و اثر کمپرسور بر محاسبه راندمان حجمی اعمال نشود.

معمولاً : $\frac{\dot{M}_i}{P_i} \approx \frac{\dot{M}_a}{P_\infty}$ ⟶

$$e_v = \frac{2\dot{M}_a}{N V_d P_a}$$

A_p - سطح مقطع پیستون
S - کورس پیستون (ارتفاع بین نقاط مرگ بالا و پایین)

$(V_d = A_p S)$

(سرعت خطی پیستون) : $S = 2NS \rightarrow S = \frac{S}{2N}$

$$V_d = A_p S / 2N$$

$$e_V = \frac{2\dot{M}_a}{N\rho_a \cdot \frac{A_P S}{2N}} \longrightarrow$$

$$e_V = \frac{4\dot{M}_a}{\rho_a A_P S}$$

مخلوط تازه = هوا + سوخت + بخار آب

* از قانون دالتون :

$$P_i = P_a + P_f + P_W$$

$$N_T = N_a + N_f + N_W \quad \text{(نسبتهای مولی)}$$

$$\frac{P_a}{P_i} = \frac{N_a}{N_T} \quad \text{و} \quad \frac{P_f}{P_i} = \frac{N_f}{N_T} \quad \text{و}$$

$$\frac{P_W}{P_i} = \frac{N_W}{N_T} \longrightarrow \text{جا بگذاری}$$

$$\begin{cases} \frac{P_a}{P_i} = \frac{P_a}{P_a + P_W + P_f} \\ \frac{P_a}{P_i} = \frac{N_a}{N_a + N_W + N_f} \end{cases}$$

ولی می‌دانیم که : $N = \frac{M}{m}$

$$\frac{\rho_a}{\rho_i} = \frac{1}{1 + \frac{m_a}{m_w}\cdot\frac{M_w}{M_a} + \frac{m_a}{m_f}\cdot\frac{M_F}{M_a}}$$

h (نسبت رطوبت)

F_i (نسبت سوخت گازی وهوا)

$$\left.\begin{aligned} \frac{\rho_a}{\rho_i} &= \frac{1}{1 + 1.6\,h + \left(\frac{29}{m_f}\right) F_i} \\ \text{چون}: \quad \rho_i &= \frac{R\,T_i}{29\,P_i} \end{aligned}\right\} \longrightarrow$$

$$\rho_a = \frac{29\,P_i}{R\,T_i}\left[\frac{1}{1 + 1.6h + (29/m_f)\,F_i}\right]$$

$$\frac{\rho_a}{\rho_i} = \frac{RT_i\,/29\,P_a}{RT_i/29\,P_i} = \frac{\rho_i}{\rho_a} \longrightarrow$$

$$\rho_a = \rho_i\,\frac{\rho_i}{\rho_a}$$

* با قرار دادن مقدار (ρ_a) :

$$\rho_a = \frac{29\,P_a}{R\,T_i} = \frac{29\,P_i}{R\,T_i}\left[\frac{1}{1 + 1.6h + (29/m_f)\,F_i}\right]$$

M_f - از جدول ۱-۳

مقدار F_i - حتماً برای سوخت گازی است نه مایع

* هنگامی که رطوبت کم بوده و یا سوخت سنگین است و در مورد سوختهای مایع مقدار داخل کروشه را تقریباً (1) در نظر می گیریم :

$$P_a = \frac{29\ P_i}{R\ T_i}$$

$$e_v = \frac{4\ \dot{M}_a}{P_a\ A_p\ \Delta} \longrightarrow \dot{M}_a = \frac{e_v\ P_a\ A_p\ \Delta}{4}$$

$$P = J\ \dot{M}_a\ F\ \theta_c\ \eta \longrightarrow P = \frac{J}{4}\ e_v\ P_a\ A_p\ \Delta\ (F\theta_c\eta)$$

توان

$$J = \frac{778}{33\,000}\ hp$$

(در فرمول فوق باید تبدیل واحدها حتماً رعایت شود)

$$imep = \frac{(P/N/2)}{V_d} = \frac{2P}{N.\ V_d}$$

$$V_d = A_p.S \qquad \text{سرعت پیستون } \Delta = 2NS \longrightarrow$$

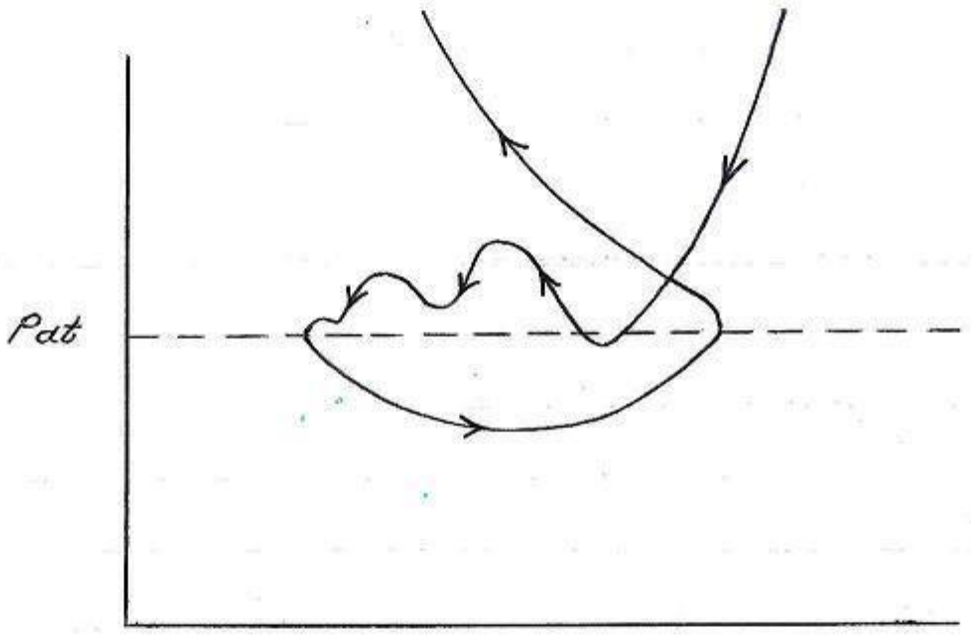
$$V_d = A_p\ \frac{\Delta}{2N} \longrightarrow imep = J\ e_v\ P_a\ (F\theta_c\eta)$$

$$J = \frac{778}{144}\ psi$$

(باید بر 144 تقسیم کرد تا psi شود)

روش تخمین (راندمان حجمی) برای یک موتور معلوم یا در حال طراحی

* در صفحه (167) دیاگرام مراحل مکش و تخلیه یک موتور ارائه شده. می‌توان از این دیاگرام برای تخمین استفاده کرد.



* صفحه 547 (رابطه 37 - پ)

* روش دیگر استفاده از متدهای آنالیز ابعادی است (ص ۱۷۶) :

نتایج آنالیز ابعادی برحسب عوامل مؤثر در راندمان حجمی نشان می دهد که :

$$e_V = \phi\left(\frac{V}{\alpha}, \frac{P_e}{P_i}, \frac{\alpha L P}{\mu g_0}, \frac{T_i C_p}{F Q_c}, \frac{T_c C_p}{F Q_c}, F, R_1, \ldots R_n\right)$$

$\frac{u}{a}$ عدد ماخ است. u سرعت Max و a سرعت صوت است.

* بین ورودی به سیلندر و داخل آن :

$A_p \cdot D = A_i \cdot u C_i$ سرعت سیال در حین ورود به سیلندر از طریق سوپاپ ورود

C_i ضریب جریان سیال در حین عبور از سوپاپ ورودی

$$u = \frac{A_p D}{A_i} = \frac{\pi/4\, b^2}{\pi D^2/4}$$

b - قطر داخلی سیلندر (bore)
D - قطر دهانه سوپاپ ورودی

$$u = \left(\frac{b}{D}\right)^2 \frac{D}{C_i}$$ (سرعت در ورود Max است)

* شاخص ماخ ورودی (inlet Mach Index) :

$$Z = \frac{u}{a} = \left(\frac{b}{D}\right)^2 \frac{D}{C_i a}$$

$\frac{\alpha L P}{\mu g}$: عدد رینولدز.

$\frac{T_i \varphi}{F \theta_c}$: اثر دمای ورودی را نشان می دهد.

$\frac{T_c \varphi}{F \theta_c}$: اثر دمای سیال خنک کن (روش خنک کاری) را بر راندمان حجمی نشان می دهد.

سوخت

برآورد ظرفیت هوا پذیری

۱ - سرعت و شرایط اتمسفریکی را بدست آورید که طی آن ظرفیت است.

جریان

$$z = \left(\frac{6}{D}\right)^2 \left(\frac{\hat{c}_i}{a}\right)$$

بدست

خروجی ست)

۳ - به ازاء مقدار انتخاب شده z راندمان جهی مبنائی (e/6) از سبی در این فصل بدست

$z < 0.5$

مانیفولد بلند

۴ - با استفاده از رابطه زیر راندمان حجمی بند (۳) را تصحیح کنید :

$$\frac{eV}{eV_6} = \sqrt{\frac{T_i}{T_{i6}}} \left(\frac{T_{c6} + 2000}{T_c + 2000} \right) K_P \cdot K_f \cdot K_{IC} \cdot K_{IP}$$

تصحیح برای دمای ورودی

تصحیح برای دمای خنک کن

- K_P - تصحیح برای $\frac{P_e}{P_i}$ (شکل ۶-۴ و ۶-۲۲)
- K_f - " " F (شکل ۶-۱۸)
- K_{IC} - " " زمان بسته شدن سوپاپ ورودی (شکل ۶-۲۳)
- K_{IP} - " " مانیفولد ورودی بلند (شکلهای ۶-۲۶ و ۶-۲۷)

مسئله - یک موتور دیزل چهار زمانه پرخوانی نشده با شرایط اولیه زیر مفروض است :

$V = 16$

$n = 8$ (تعداد سیلندر)

$b = 5''$ (قطر داخلی سیلندر)

$S = 7''$ کورس

$N = 1200\ rpm$

$F_r = 0.7$

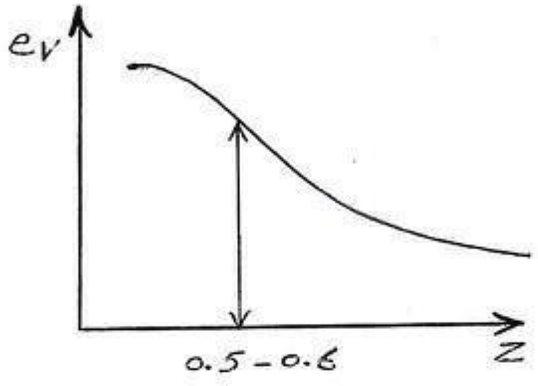
$T_i = 520^\circ K$

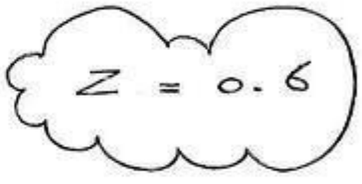
$P_i = 4.7\ psi$

$\frac{P_e}{P_i} = 1$

$T_c = 600^\circ K$ (خنک کن)

به ازای Min قطر سوپاپ ورودی مجاز اگر طول لوله مانیفولد ورودی کوتاه بوده ، زاویه بین هم افتادگی سوپاپ (زاویه تیلچی) 90° بوده و سوپاپ ورودی با 60° تغییر نسبت به نقطه مرگ پایین بسته شود بازده حجمی ، توان واقعی ، isfc و imep را بیابید.



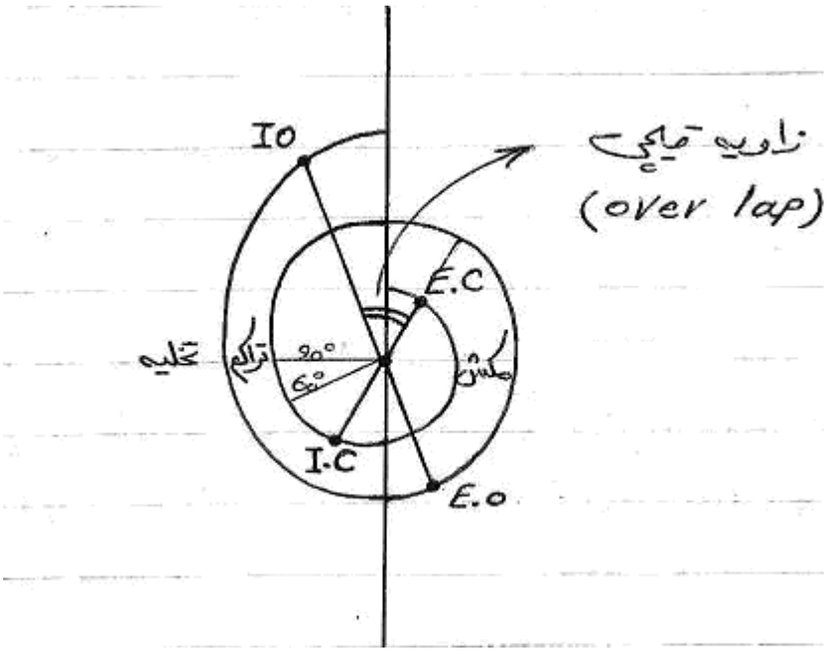


* اگر اطلاعات داده شده بود براساس $Z = \left(\frac{L}{D}\right)^2 \frac{D}{C_i \alpha}$) مقدار Z را حساب می کنیم ولی اگر نبود معمولاً در حدود 0.5 یا 0.6 در نظر می گیریم ؛ در شکلهائی مثل ۶-۱۶ باید به اطلاعات داده شده در زیر نمودار توجه کرد. همینطور در صفحه پشت آن.

این اطلاعات را (مبنا) می گویند.

- BTC - قبل از نقطه مرگ بالا
- ATC - بعد از نقطه مرگ بالا
- BBC - قبل از نقطه مرگ پایین
- ABC - بعد از نقطه مرگ پایین
- Io - زمان باز شدن سوپاپ ورودی (Inlet open)
- Bo (exhust open)

* برای یک موتور چهار زمانه :



BDC

* روی یک دایره است (360°)
* روی یک دایره است (360°)

(در موتور دوزمانه هر چهار مرحله روی یک دایره 360° است)

می کنیم

$e_{V6} = 0.83$

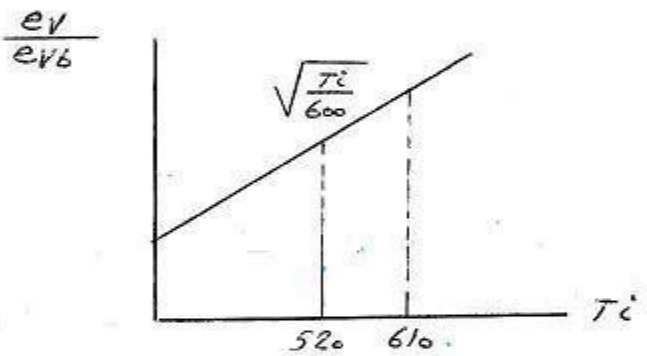
طلاعات مبنای زیرنویس منحنی

می کنیم

تصحیح برای حمای ورودی : $\sqrt{\frac{520}{610}} = 0.925$

تصحیح برای حمای خنک کن : $\frac{640 + 2000}{600 + 2000} = 1.015$

بجای فرمولها می توان از منحنیهای 6-19 و 6-20 استفاده کرد. مثلاً منحنی 6-19 دارای معادله $\sqrt{\frac{Ti}{600}}$ است لذا باید یکبار برای حمای ورودی 520° و یکبار به ازای 610° می خوانیم و برهم تقسیم می کنیم.



---

* زاویه تیغی (over lap): زاویه‌ای از میل لنگ است که طی آن هر دو سوپاپ باز هستند. این حالت لازم است تا گازهای باقیمانده خارج شوند. در موتورهای بنزینی - چون سیال ورودی مخلوط سوخت و هوا است زیاد بودن زاویه تیغی موجب تلفات سوخت می شود امّا در موتورهای دیزل اینطور نیست. در موتورهای بنزینی حداکثر 80° و در دیزل حتی تا 170° است.

* اگر زاویه تیغی کوچک باشد (10°-6°) از شکل 6-24 ضریب تصحیح (K_p) بدست می آید ولی برای زاویه تیغی بزرگ از شکل 6-22 استفاده می کنیم.

راندمان ماندگی :

$$\Lambda = \frac{\text{جرم تازه با قیمانده در سیلندر}}{\text{جرم تازه فراهم شده}} = \frac{M'a}{Ma}$$

(Λ میزان تلفات را بر اثر زاویه تیچی نشان می دهد)

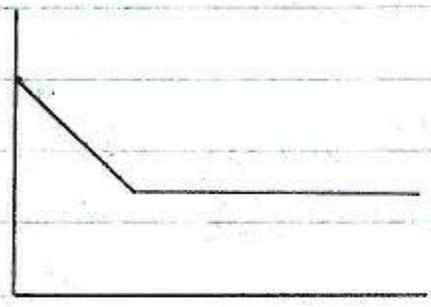
($e_{v'}$ راندمان حجمی براساس جرم باقیمانده در سیلندر است)

* در شکل ۶-۲۲ نزدیکترین (زاویه و z) را در انتخاب مختی - مناسب در نظر می گیریم ، از تکه بالای شکل ۶-۲۲ ضریب - تصحیح (K_P) را می دهد :

$\frac{P_e}{P_i} = 1$
$0.7 = 90°$
$z = 0.6$
$\xrightarrow{۶-۲۲}$ $K_P = 1.046$

$\Lambda = 1 \rightarrow e_v = e_{v'}$

(K_F) از شکل ۶-۱۸ :



* یکبار به ازای Fr مسئله می خوانیم و یکبار به ازای Fr مبنا - در زیر شکل ۶-۱۶ می خوانیم (چون پارامترهای شکل ۶-۱۶ و ۶-۱۸ متفاوت است) و حاصل را برهم تقسیم می کنیم

همواره این طور است که به ازای مبنا و صورت مسئله خوانده و برهم تقسیم می کنیم :

$$\left.\begin{matrix} F_{R6} = 1.1 \\ F_R = 0.7 \end{matrix}\right\} \rightarrow K_F = \frac{1.013}{1} = 1.013$$

---

* (K_{IC}) از شکل ۳-۶ تصحیح می شود : یکبار به ازای 60° صورت مسئله می خوانیم و یکبار به ازای 50° مبنا که زیرنویس شکل ۱۶-۶ است می خوانیم و برهم تقسیم می کنیم : (تمام شرایط Base مال شکلی است که راندمان همه را آنان بدست آورده ایم ۱۶-۶ یا ۱۳-۶)

$$K_{IC} = \frac{(e_V/e_{V6})_{60°}}{(e_V/e_{V6})_{50}}$$

$$K_{IC} = \frac{1.008}{1.005} \approx 1$$

---

* ماتیفولد ورودی کوتاه است پس : ($K_{IP} = 1$)

* اگر بلند بود از شکلهای ۲۶-۶ یا ۲۷-۶ یکبار برای شرایط مسئله و یکبار برای شرایط مبنا خوانده و برهم تقسیم کرده و (K_{IP}) را می یابیم .

** با اعمال ضرایب تصحیح در فرمول اصلی : $e_V = 0.821$

تلفات حرارتی :

۱ - تلفات حرارتی در طول تراکم و انبساط
۲ - " " از طریق آب خنک کن
۳ - " " از طریق روغن
۴ - " " ناشی از اصطکاک

---

* در سیستم انگلیسی :

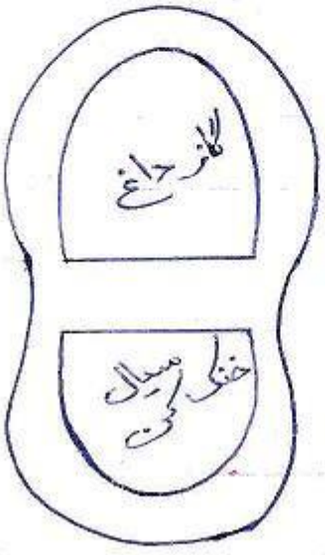
$$* Nu = C \left(\frac{G L_c}{\mu g_0} \right)^n \left(\frac{\mu c_p g_0}{k} \right)^m$$

$g_0 = 32.2 \ \frac{ft}{s^2}$

$G = \frac{\dot{m}}{A} = \rho . V$ ← « سرعت جرمی »

---

* فرض می کنیم موتور یک مبدل حرارتی است :

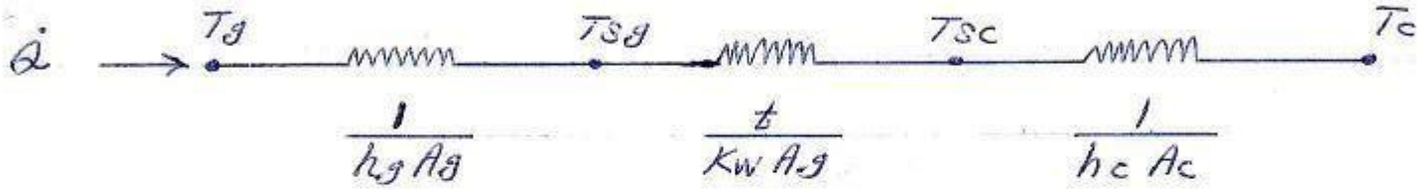


T_g دمای گاز
T_c دمای خنک کن
T_{sg} دمای سطح سمت گاز
T_{sc} دمای سطح سمت خنک کن
h_g ضریب جابجائی گاز
h_c ضریب جابجائی خنک کن

K_W - ضریب هدایت سطح
t - ضخامت سطح
A_g - سطح سمت گاز
A_c - سطح سمت خنک کن
$\dot{Q}$ - تبادل حرارت بین گاز و خنک کن

$$\dot{Q} = \frac{T_g - T_c}{\left(\frac{1}{h_g A_g} + \frac{t}{K_W A_g} + \frac{1}{h_c A_c} \right)}$$

* در مقایسه با قانون اهم ($I = \frac{\Delta V}{\sum R}$) :



1 - انتقال حرارت از واحد سطح :

$$\frac{\dot{Q}}{A_g} = h_g (T_g - T_{sg})$$

2 - دمای سطح سمت گاز :

$$\frac{T_{sg} - T_c}{T_g - T_c} = \frac{\frac{t}{K_W A_g} + \frac{1}{h_c A_c}}{\frac{1}{h_g A_g} + \frac{t}{K_W A_g} + \frac{1}{h_c A_c}}$$

بصورت بدون بعد

3 - اختلاف دما در عرض سطح :

$$\frac{T_{sg} - T_{sc}}{T_g - T_c} = \frac{\frac{t}{K_w A_g}}{\frac{1}{h_g A_g} + \frac{t}{K_w A_g} + \frac{1}{h_c A_c}}$$

انتقال حرارت در موتورها :

1- مقدار قابل ملاحظه‌ای از انتقال حرارت از طریق تشعشع ناشی از شعله احتراق صورت می گیرد.

2- شدت انتقال حرارت ثابت نیست.

3- شکل هندسی سیستم متغیر است (بالا و پایین رفتن پیستون).

4- دمای گاز در نقاط مختلف فرق می کند.

5- دمای سطوح داغ و خنک کن از نقطه‌ای به نقطه دیگر متغیر است.

6- مقداری از حرارت از طریق پیستونها ایجاد می شود.

7- ضریب هدایت جدار سیلندر با توجه به ذرات ته نشین شده روی و قبل روغن فرق می کند.

8- حرارت همیشه از جای گرمتر به جای سرد تر منتقل می شود (مثلاً

درحنگام ورود مخلوط تازه حبای جدار بیشتر است و انتقال حرارت از جدار به مخلوط رخ می دهد پس از احتراق جهت انتقال - حرارت معکوس می شود).

با فرض :

- A_g - سطح سیلندر در طرف گاز
- A_c - سطح سیلندر در طرف خنک کن
- t - ضخامت سیلندر
- K_w - ضریب هدایت سیلندر
- b - قطر سیلندر بعنوان بعد مشخصه

$$\frac{hb}{K} = C Re^{n} Pr^{m} = K' Re^{n}$$

$$K' = C Pr^{m} \longrightarrow$$

$$h = \frac{K K' Re^{n}}{b}$$

* با جرا دادن :

$$h_g = \frac{(K K' Re^{n}) g}{b}$$

$$h_c = \frac{(K K' Re^{n}) c}{b} \longrightarrow$$

1- حرارت از واحد سطح :

$$\dot{Q}/A_g = \frac{\frac{K_g}{b}(T_g - T_c)}{\frac{1}{(K'Re^n)_g} + \frac{t K_g}{b K_W} + \left[\frac{A_g}{A_c}\ \frac{K_g}{(kK'Re^n)_c}\right]}$$

2- دمای سطح داغ داخلی :

$$\frac{T_{sg} - T_c}{T_g - T_c} = \frac{\frac{tK_g}{bK_W} + \frac{A_g}{A_c}\left[\frac{K_g}{(kK'Re^n)_c}\right]}{\frac{1}{(K'Re^n)_g} + \frac{tK_g}{bK_W} + \frac{A_g}{A_c}\left[\frac{K_g}{(kK'Re^n)_c}\right]}$$

3- اختلاف دما در دیواره :

$$\frac{T_{sg} - T_{sc}}{T_g - T_c} = \frac{\frac{tK_g}{bK_W}}{//}$$

الف - مقدار $\frac{\dot{Q}}{A_g}$ باید Min باشد تا راندمان Max شود.

ب - T_{sg} با توجه به جنس سیلندر و ساقه سوپاپ محدود می‌شود (با دانستن آن می‌توان جنس را انتخاب کرد).

ج - $T_{sg} - T_{sc}$ هم با توجه به تنشهای حرارتی محدود می‌شود. (اگر زیاد باشد تنش حرارتی از حد مجاز می‌گذرد)

نقاطی که بیشتر در معرض حمای بالا هستند :

۱ - سر شمع
۲ - سوپاپ دود (یا پلهای درجه اگزوز در موتورهای دو زمان) .
۳ - تاج (سر) پیستون

* آلومینیم انتقال حرارت را بیشتر می کند امّا عیوب زیر را دارد :

الف - مقاومت کمتر
ب - ضریب انبساط بیشتر
ج - سختی کمتر

* برای محاسبه انتقال حرارت در موتورها با معرفی ضریب کلی انتقال حرارت h_c از رابطه زیر می توان استفاده کرد :

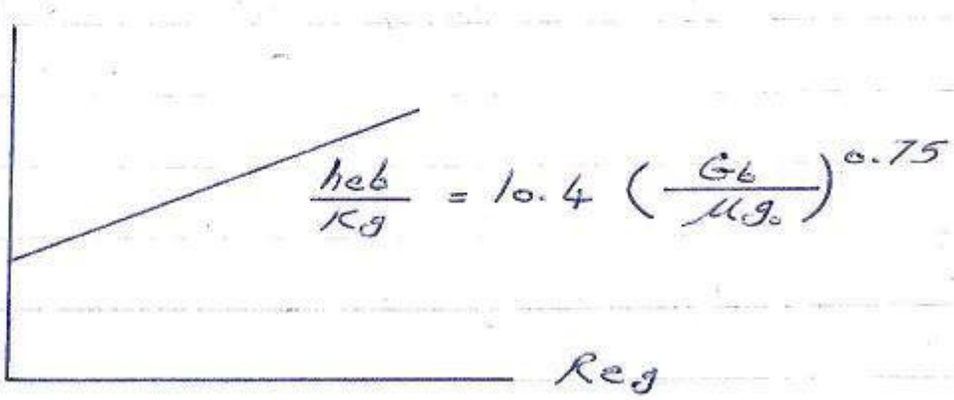
$$\dot{Q} = h_c A_p (T_g - T_c)$$

$A_p = \frac{n \pi b^2}{4}$: b - قطر سیلندر ، n - تعداد سیلندر

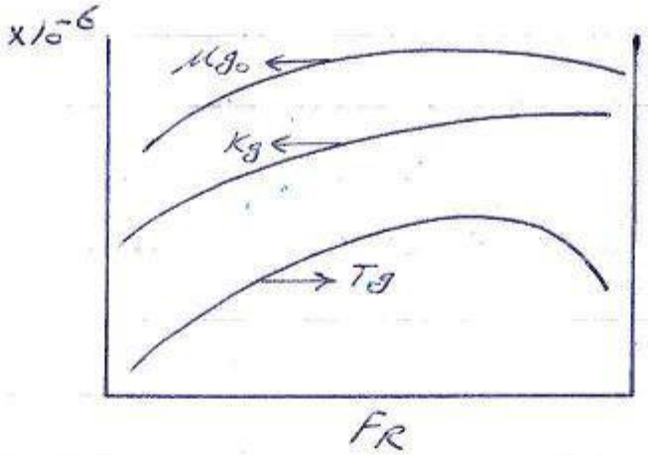
$h_c = \phi \left(\frac{G b g}{\mu g_0} \right)$: خواص همه در سمت گاز خوانده می شود .

* از معادلات 8.11 و 8.12 برای تخمین انتقال حرارت از سیلندر مورد استفاده قرار می گیرد. در استفاده از این شکل بر اساس Re سمت گاز می توان Nu را یافت (شکل 8-11).

(8 - 11)



(8 - 12)



گرمای داده شده به خنک کن + گرمای داده شده به روغن = Q_i
حرارت ناشی از اصطکاک پیستون −

* در شکل 8-12 اگر دمای ورودی $80^{\circ}F$ نباشد باید T_g تصحیح شود:

$$T_g = T_{g80} + 0.35\,(T_i - 80)$$

T_i = دمای ورودی

۱- پارامتر اتلاف حرارتی از واحد سطح :

$$\begin{cases} \frac{\dot{Q}}{A_P} = K_e \, G^{0.75} \, (T_g - T_c) \\ K_e = 10.4 \, \frac{K_g}{b} \left(\frac{b}{\mu_{g_0}} \right)^{0.75} \end{cases}$$

۲- پارامتر اتلاف حرارتی نسبت به حرارت ناشی از احتراق : $\frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_F}$

$$\dot{Q}_F = \dot{M}_F Q_c = F \dot{M}_a Q_c$$

$$(\text{سرعت جرمی}) \; G = \frac{\dot{M}_a + \dot{M}_F}{A_P} = \dot{M}_a \frac{(1+F)}{A_P}$$

$$\dot{M}_a = \frac{G A_P}{1+F}$$

$$\left(\frac{\dot{Q}_F}{A_P} = \left(\frac{F}{1+F} \right) G \right)$$

$$\frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_F} = K_e \left(\frac{1+F}{F Q_c} \right) G^{-0.25} \, (T_g - T_c)$$

۳- پارامتر نسبت اتلاف حرارتی به توان موتور : $\left(\frac{\dot{Q}}{P} \right)$

$$P = J \ddot{M} F Q_c \eta = J \dot{Q} F \eta \longrightarrow$$

$$\frac{J\dot{Q}}{P} = \frac{\dot{Q}}{\dot{Q}_F \eta}$$

مسئلهٔ قبلی - ادامه حل :

$$e_v = e_v' = 0.821$$

$$A_p = n \frac{\pi b^2}{4} = 8 \frac{\pi (\frac{5}{12})^2}{4} = 1.091 \quad ft^2$$

$$\rho_a = \frac{29 P_i}{R T_i} = \frac{29 (14.7 \times 144)}{1545 \ (520)}$$

تبدیل psi به $\frac{lb}{ft^2}$

$$\rho_a = 0.076 \quad lbm / ft^3$$

$$P_i = \frac{J}{4} A_p D \rho_a e_v' F Q_c \eta_i$$

$$\begin{cases} r = 16 \\ FR = 0.7 \end{cases} \xrightarrow{\text{فرض}} \begin{cases} \frac{P_3}{P_i} = 70 \\ \xrightarrow[\text{شکل 4.6}]{} \eta_{io} = 0.53 \end{cases}$$

روش حدس η_i :

(اگر موتور SI بود از 4.5)

معمولاً : $\eta_i = 0.85 \eta_{io} = 0.45$

$$P_i = \frac{778}{4 \times 33000} (1.021)(1400)(0.076)(0.821)\left[(0.7 \times 0.0678)\, 19.35\, (0.45)\right]$$

$$P_i = 228.08 \text{ ihp}$$

$$iSFC = \frac{2545}{Q_c \eta_i} = \frac{2545}{(19.35)(0.45)}$$

$$iSFC = 0.297 \text{ lbm / hp_hr}$$

$$imep = J P_a e_v' (.F Q_c \eta_i)$$

$$imep = \frac{778}{144} (0.076)(0.821)[\ \text{"}\ \text{"}\ ]$$

$$imep = 136.9 \text{ psi}$$

مسئله - با توجه به شرایط مسئله فوق مقدار حرارت تلف شده در این موتور را تعیین کنید.

$FR = 0.7 \xrightarrow{\text{8-12 جدول}}$

$$\begin{cases} T_{g_{80}} = 613\ ^\circ F \\ K_g = 7.6 \times 10^{-6}\ \frac{Btu}{s\text{-}ft\text{-}F^\circ} \\ \mu_{g_0} = 18.1 \times 10^{-6}\ \frac{lbm}{s} \end{cases}$$

$$\begin{cases} T_i = 520^\circ R = 60^\circ F \\ T_g = T_{g60} + 0.35\,(T_i - 80) \\ T_g = 620 + 0.35\,(60 - 80) \\ T_g = 613 \end{cases}$$

∴ T_g يحسب

$$Re = \frac{GD}{\mu_{g_0}}$$

$$G = \frac{\dot{M}_a\,(1+F)}{A_P} = \frac{\dot{M}_F\,(1+F)}{F\,(A_P)}$$

$$iSFC = \frac{\dot{M}_F}{P_i\,(3600)} \longrightarrow \dot{M}_F = 0.0188\ \frac{lbm}{s}$$

$$G = \frac{0.0188\,(1 + (0.7 \times 0.678))}{(0.7 \times 0.0678)\,(1.091)}$$

$$G = 0.38\ \frac{lbm}{s\text{-}ft^2}$$

$Re = 8748$

$\xrightarrow{\text{8-11 جدول}}$ $\frac{he\,b}{K_g} = 925o$

$$he = \frac{7.6 \times 10^{-6} \ (925^{\circ})}{5/12} = 0.169 \ \frac{Btu}{s\text{-}ft^2 \ F^{\circ}}$$

$$Q = he \, A_p \, (T_g - T_c)$$

$$Q = 0.169 \ (1.091) \ (613 - 140^{\circ}) \longrightarrow$$

$$Q = 87.21 \ Btu/s$$

اصطلاک در موتورها (تلفات موتور)

انواع تلفات در موتورها :

۱- تلفات مکانیکی - تلفات ناشی از اجزاء مکانیکی موتورها که عمدتاً مربوط می شود به اصطکاک در یاتاقانها و سیلندر . (P_m)

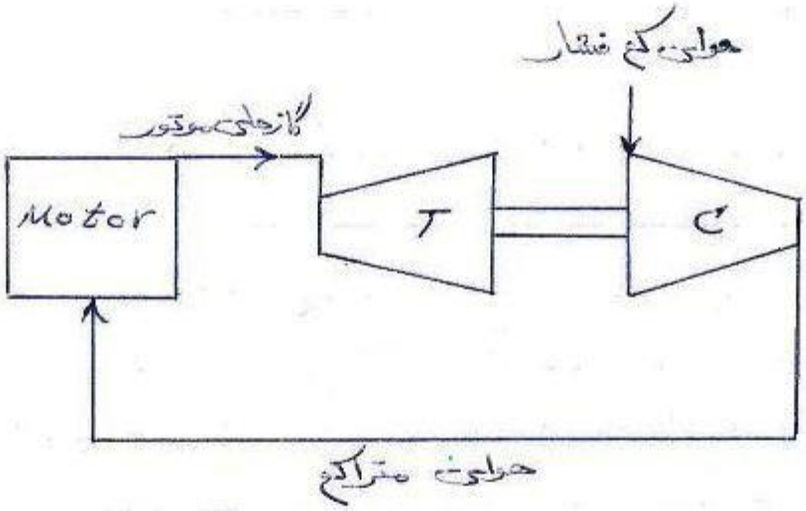
۲- تلفات پسماند - توانی از موتور که صرف مکش یا تخلیه گازها از سیلندر میشود (در موتورهای ۲ زمانه صفر است) . (P_p)

۳- تلفات کمپرسور - در موتورهای پرخوانی شده (سوپرشارژ) و موتورهای دوزمانه توانی از موتور است که صرف گرداندن کمپرسور می شود (در موتورهای ۴زمانه غیر سوپرشارژ صفر است) . (P_c)

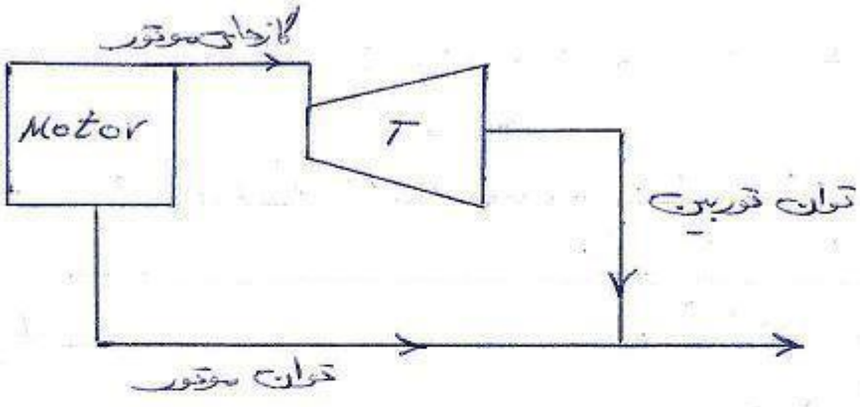
۴- تلفات فرعی (Auxiliary) - توانی از موتور که صرف گرداندن اجزاء موتور مثل پمپ آب ، پمپ روغن ، دینام ، پروانه و ... می شود. (P_a)

P_t (توان توربین) : در موتورهای توربوشارژ شده (در سوپر شارژ موتور توربین را چرخانده و توربین

کمپرسور را می گرداند و کمپرسور هوا را متراکم کرده و لذا راندمان - حجمی بالا می رود) که حالت خاصی از سوپرشارژ است گازهای خروجی موتور توربین را می چرخانند و توان توربین به توان شفت موتور اضافه می شود که این حالت را (توربوشارژ) گویند. در این - حالت توان توربین با توان موتور جمع می شود ولی در موتورهای - سوپرشارژ که توربین به کمک گازهای خروجی موتور تنها کمپرسور را - می گرداند توان توربین و کمپرسور برابر بوده و جمع آن صفر - است.



(سوپرشارژ)



(توربوشارژ)

(توان کل)

$$P_i - P_f = P_m + P_c + P_p + P_a - P_t$$

$$* \quad fmep = \frac{(2 \text{ یا } 4)\, P_f}{Ap \cdot S}$$

$$imep - bmep = fmep$$

mep ناشی از اصطکاک

$$fmep = mmep + cmep + pmep + amep - tmep$$

ناشی از اصطکاک	fmep
ناشی از تلفات مکانیکی	mmep
ناشی از تلفات کمپرسور	cmep
ناشی از تلفات پمپاژ	pmep
ناشی از تلفات فرعی	amep
توان تولید شده توسط توربین تقسیم بر حجم جابجا شده متوسط موتور.	tmep

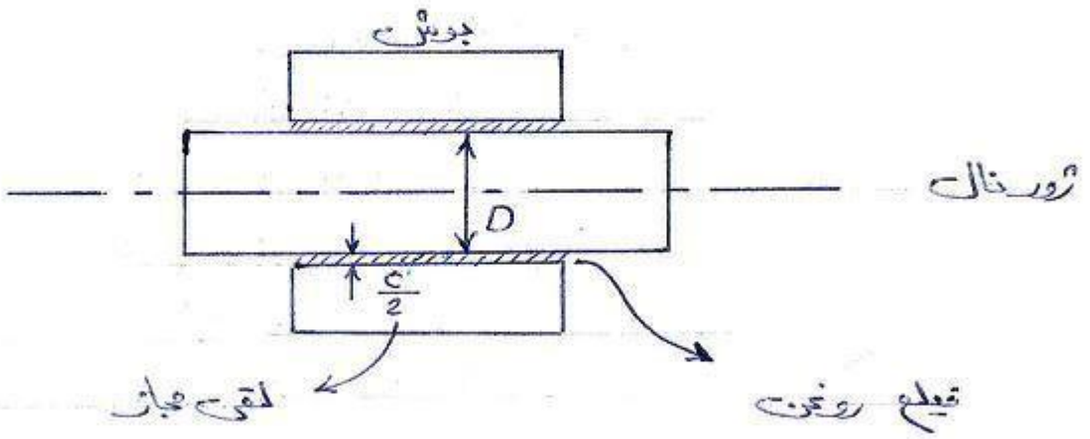
(راندمان مکانیکی) $\eta_m = \frac{P_b}{P_i} = \frac{bmep}{imep} = \frac{isfc}{bsfc}$

$\eta_m = 0$ موتور تحت بار نباشد

$\eta_m > 1$ در برخی موتورهای توربوشارژ

انواع تلفات اصطکاکی مکانیکی :

۱- تلفات هیدرو دینامیکی یا لایه سیال (Fluid Film)
۲- تلفات لایه جزئی (Partial Film)
۳- تلفات غلطکی (Rolling)
۴- تلفات خشک (Dry)



$$\frac{F}{A} = \mu \frac{du}{dy} \qquad (A = \pi D L)$$

$$\frac{F}{A} = \mu \frac{2\pi D N}{c}$$

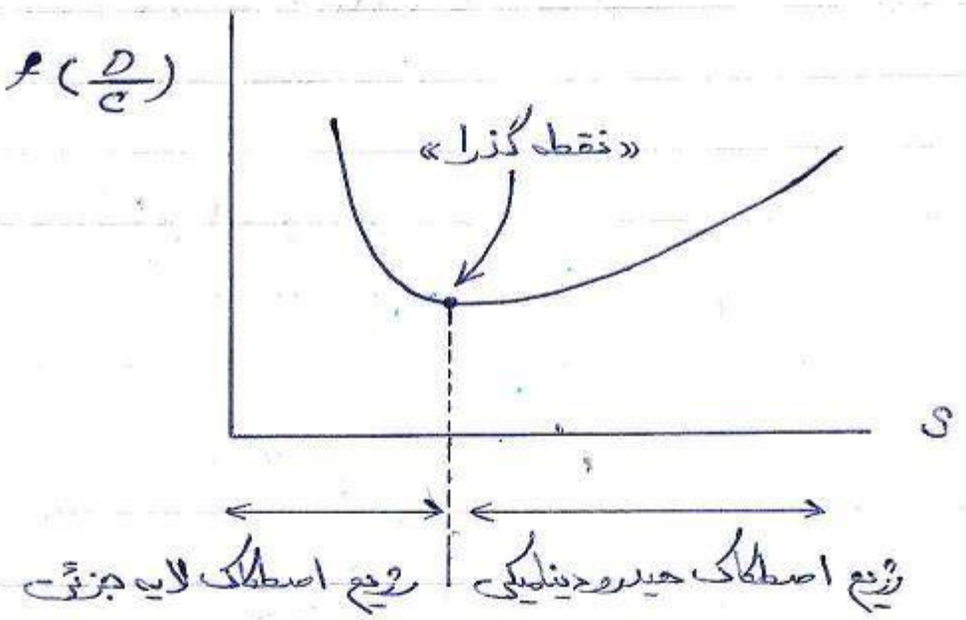
ضریب اصطکاک $= f = \frac{F}{W}$ ← بارهای بر یاتاقان

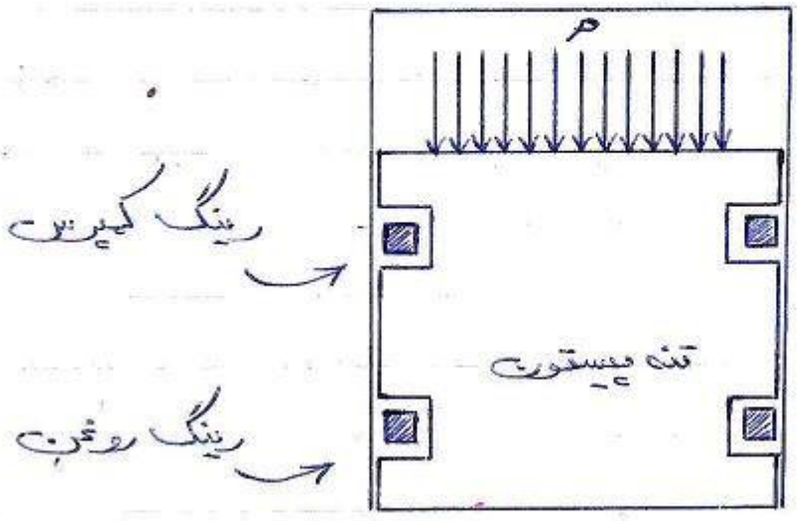
فشار $p = \frac{W}{D \cdot L}$ ← سطح تصویر شده

$$f\left(\frac{D}{c}\right) = 19.7\left[\frac{\mu N}{P}\left(\frac{D}{c}\right)^2\right]$$

معادلهٔ پتروف

$\frac{\mu N}{P}\left(\frac{D}{c}\right)^2 \leftarrow$ Sommerfield factor (عدد سامرفیلد)

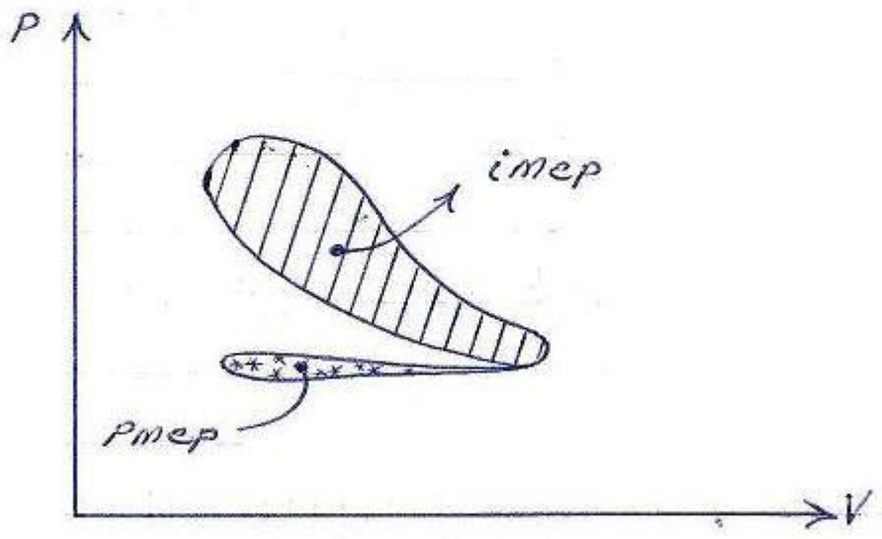




تلفات مکانیکی
- $\frac{1}{4}$ یاتاقانها
- $\frac{3}{4}$ پیستونها
  - رینگها
  - تنه

روشهای اندازه گیری تلفات :

۱- روش دیاگرام اندیکاتور :



موتور چهار زمانه پرخورانی نشده

$$imep - bmep = fmep = am/ep + Pmep + mmep$$

- imep: از دیاگرام اندیکاتور
- bmep: از دینامومتر
- fmep: از دیاگرام اندیکاتور
- am/ep: دستگاههای فرعی را در هنگام تست از موتور باز می کنند و جداگانه آنها را مکار می اندازند.
- Pmep: از دیاگرام اندیکاتور
- mmep

* لذا از فرمول فوق (mmep) محاسبه می شود.

---

۳ - آزمون موتور گردانی (Motoring test) :

پس از ایجاد شرایط کارکرد عادی موتور ناگهان جریان سوخت قطع شده و موتور توسط یک الکتروموتور گردانده میشود. توان الکتروموتور که صرف راندن موتور میشود همان تلفات موتور است. گاهی ممکن است از الکتروموتور استفاده نشود بلکه در یک موتور فرضاً ۴ سیلندر یکی از سیلندرها را از کار بیندازند و به مزیت این کار را انجام دهند و تفاوت قدرت حاصل را با قدرت کل مقایسه کنند و تلفات مکانیکی را برای هر یک از سیلندرها می یابند. اگر هم تجهیزات روی موتور باشند و آزمون فوق انجام شود (fmep) را می دهد اگر دستگاههای فرعی باز شوند $amep = 0$ می شود، اگر سر سیلندر هم برداشته شود $pmep = 0$ می شود و اگر پیستونها هم برداشته شود mep ناشی از پیستون صفر می شود لذا در مجموع روش بسیار مفیدی است.

محاسبه pmep : در حالت ایده آل :

$$\begin{cases} \text{مکش } mep = p_i \\ \text{تخلیه } mep = p_e \end{cases}$$

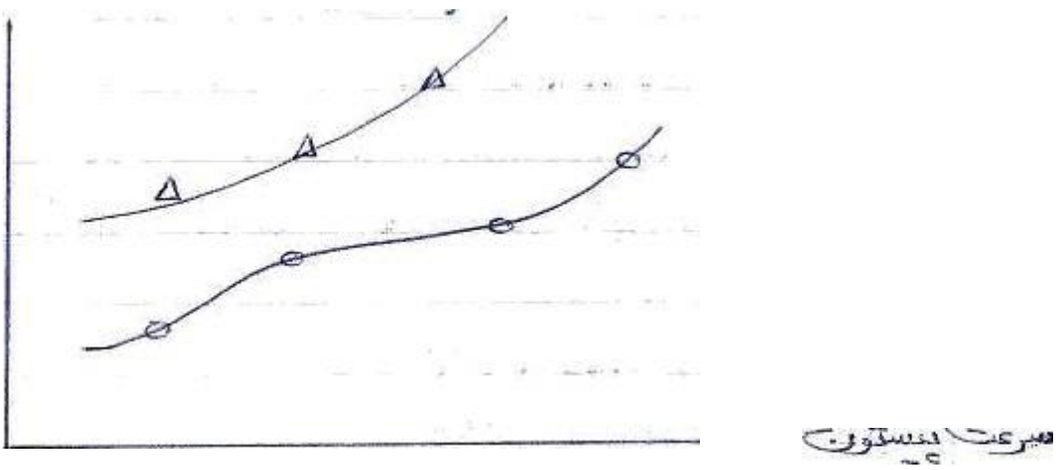
$$pmep = p_e - p_i$$

* شکلهای (9.17 و 9.18) بر اساس اصول تشابه ابعادی (α_e) بدست می

$$= \alpha_e p_e - \alpha_i p_i$$

برآورد اصطکاکی ($fmep$)

از نتایج آزمون موتور گردانی تعداد زیادی موتور برای تخمین تلفات اصطکاکی مورد استفاده قرار می گیرد. شکل (9.27) تلفات اصطکاکی موتورهای 4 زمانه و شکل (9.28) تلفات اصطکاکی



نگاه می کنیم داده های مسئله ما به کدام موتور می خورد شکلهای مربوط به آن یک مقدار وسیع می کنیم.

* نتایج فوق بر مبنای ($pe = pi$) ($imep = 100$) است و در غیر این صورت باید از رابطه زیر مقدار ($fmep$) تصحیح شود :

$$fmep = fmep_0 + \alpha (pe - pi) + \gamma (imep - 100)$$

($fmep_0$ ← شکل 9.27 و 9.28)

(α و γ ← از شکلهای 9.31)

$$\gamma = \left(\frac{De}{Di}\right)^2 \left(\frac{Ce}{Ci}\right)$$

* در موتورهای دوزمانه $\alpha = 0$ است.

مثال - باتوجه به اطلاعات مسائل قبل مطلوبست مقادیر توان ضربی و راندمان مکانیکی.

$N = 1400$ rpm
$imep = 136.9$
$pe = pi$

از شکل 9.27 ← $fmep_0 = 25.3$ psia
$N = 1400$

$pe = pi$ است امّا برای $imep$ باید تصحیح از شکل 9.31 انجام

شرح : $(y = 0.036)$

$$f_{mep} = 25.3 + 0.036(136.9 - 100) = 26.6$$

$$b_{mep} = i_{mep} - f_{mep} = 110.3 \ psia$$

$$\eta_m = \frac{b_{mep}}{i_{mep}} = \frac{110.3}{136.9} = 0.806$$

$$P_b = \eta_m \cdot P_i = (0.806)(228.08) = 183.8 \ hp$$

ترمودینامیک بعد از احتراق :

قانون اول برای تحول احتراق :

$$Q = \frac{W}{J} = \left(E + \frac{u^2}{2gJ}\right)_b - \left(E + \frac{u^2}{2gJ}\right)_u$$

b ← بعد از احتراق (burned)

u ← قبل از احتراق (unburned)

E_b - انرژی احتراق بعد از سوختن = انرژی محسوس سوخت + انرژی شیمیائی حاصل از واکنش

$E = E_{sm} + \Delta E$ انرژی بعد از واکنش

ΔE ← اختلاف انرژی نسبت به حالت پایه (شامل انرژی احتراقی سوخت و گازهای باقیمانده).

$$\Delta E = \frac{F(1-f)E_c + f\,(1+F)q}{1+F} \quad \text{(به ازای واحد جرم)} \rightarrow$$

چون : $f(1+F)q = fq + \cancel{fFq}$ ناچیز

$$\Delta E = \frac{F(1-f)E_c + fq}{1+F}$$

* q هنگامی اهمیت دارد که $F_R > 1$ باشد زیرا در این هنگام گازهای باقیمانده می توانند شامل مقادیر زیادی CO و H_2 باشند و این عناصر هنوز قابلیت این را دارند که واکنش دهند و گرما تولید کنند. در این حالت از انرژی -

گازهای باقیمانده (Q) نمی توان صرفنظر کرد:

برای (octen) در 560°R :

$$F_R \leq 1 \rightarrow \begin{cases} Q = 0 \\ Q = 1680\,(F_R - 1) \quad Btu/lbm \end{cases}$$
$$F_R > 1 \rightarrow$$

ارزش حرارتی پایین
گرمای نهان تبخیر
نسبت سوخت هوایی جرمی
" " " "
مولی

$$\begin{cases} Q_c = 1935 \quad Btu/lbm \\ H_L = E_L = -145 \quad " \\ F_c = 0.0678 \quad lbm \text{ سوخت} / lbm \text{ هوا} \\ F_c^\circ = 0.0175 \quad mol \text{ سوخت} / mol \text{ هوا} \\ E_c = 19180 \quad Btu/lbm \end{cases}$$

نمودارهای محصولات احتراق :

برای بعد از احتراق همیشه از چار تهای C_2 و C_3 و C_4 استفاده می شود.

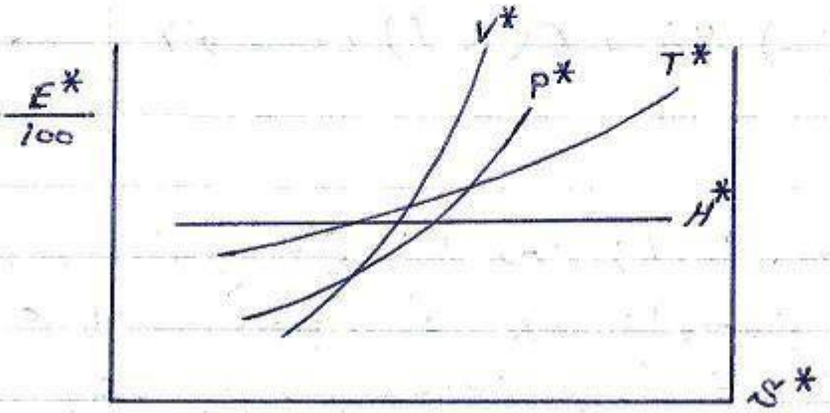
C_4 ↓ $F_R = 1.2$; C_3 ↓ $F_R = 1$; C_2 ↓ $F_R = 0.8$

« پایه جرمی » : $(1+F)$ پوند جرم محصولات احتراق

« پایه ترمودینامیکی » : انرژی داخلی محصولات احتراق شامل N_2 ، O_2 ، CO_2 و H_2O گازی در دمای 560°R صفر است.

* در چارتهای C-2 و C-3 و C-4 هر خاصیت ترمودینامیکی برحسب $(1+F)$ پوند است :

$(E^*$ و H^* و V^* و $S^*)$



* فقط منحنی H^* در چارتهای فوق تقریباً افقی است.
* چارت C-1 فقط تا دمای 2500 °R را داراست.

انتقال به چارت محصولات احتراق :

برای انتقال از نمودار قبل از احتراق به نمودار بعد از احتراق باید قانون اوّل بین قبل و بعد از احتراق نوشته شود :

$$E^* - \left(\frac{E^\circ_\alpha (1+F)}{m} + F(1-f)\,E_c + f q\right) = Q^* - \frac{W^*}{J}$$

* در تحول احتراق آدیاباتیک - بدون کار :

$$E^* - \left[\frac{1+F}{m}\,E^\circ_\alpha + F(1-f)\,E_c + f q\right] = 0$$

* در تحول احتراق آدیاباتیک - فشار ثابت :

$$Q^* = 0 \quad و \quad W^* = P(V_c^* - V_a^*) \rightarrow$$

$$H^* - \left[\left(\frac{1+F}{m}\right) H_a^\circ + F(1-f) E_c + f Q \right] = 0$$

* اگر در این فرمولها خواستیم تاثیر رطوبت (h) را منظور کنیم، باید به جای f، f' را قرار دهیم. اگر F_R مقداری غیر از 0.8، 1، 1.2 و 1.4 باشد برای بدست آوردن کمیاتی مانند E^* و ... از روی چارتها باید به چارت مربوط به نزدیکترین F_R مراجعه کرد و E^* آن را خواند و سپس تصحیح زیر را اعمال کرد :

مثال : $F_R = 0.9 \leftarrow E^* = ?$

E^* مربوط به ($F_R = 0.8$) را از روی چارت می خوانیم :

$$E^*_{0.9} = E^*_{0.8} \frac{1+F_{0.9}}{1+F_{0.8}}$$

طرز استفاده از نمودارها برای سوختهای غیر از octen

۱- نسبت سوخت - هوای مولی سوخت مورد نظر را حساب کنید (F_m)

۲- نسبت سوخت - هوای مولی اکتن به ازای ($F_R = 1$) $F_c^\circ = 0.0175$ است.

۳- نسبت سوخت هوای نسبی جدیدی به شکل زیر تعریف شده که از آن هنگام کار کردن با چارت C-1 استفاده می شود:

$$Fr = \frac{Fm}{0.0175}$$

۴- Fr بدون تصحیح بکار می رود.

۵- برای انتقال به چارت محصولات احتراق باید m و Ec و γ به همان ترتیب قبلی برای سوخت مورد نظر در نظر گرفته شوند.

۶- برای مراجعه به چارت احتراق باید به نزدیکترین Fr مراجعه کرد.

فصل چهارم

سیکلهای سوخت - هوا

* تعریف - سیکل سوخت هوا چرخه ترمودینامیکی است که ایده آل می باشد و تحولات آن مشابه تحولات نوع خصوصی از موتور جوده و سیال عامل، سیال حقیقی با مشخصات سیال مورد استفاده در آن موتور است.

* fresh air (هوای تازه): هوائی که در شروع سیکل وارد سیلندر می شود.

* Fresh fuel (سوخت تازه) : سوختی که در هر سیکل وارد سیلندر می شود.

* Fresh Mixture (مخلوط تازه) : عبارت است از :

- SI - سوخت تازه + هوای تازه
- CI - هوای تازه

* نسبت سوخت - هوا (F) : نسبت جرمی سوخت به هوای تازه

* نسبت سوخت - هوای نسبی (F_R) : نسبت سوخت - هوای موجود جرمی به نسبت سوخت - هوای استوکیومتریک جرمی است.

* کسر گازهای باقیمانده (f) : نسبت جرم گازهائی که از سیکل قبل باقی مانده‌اند به کل جرم درون سیلندر در لحظه‌ای که سوپاپها بسته هستند.

* charge (بار سیلندر) : کل محتویات سیلندر در هر لحظه به خصوص از سیکل.

« مفروضات برای ساخت سیکل سوخت - هوا » :

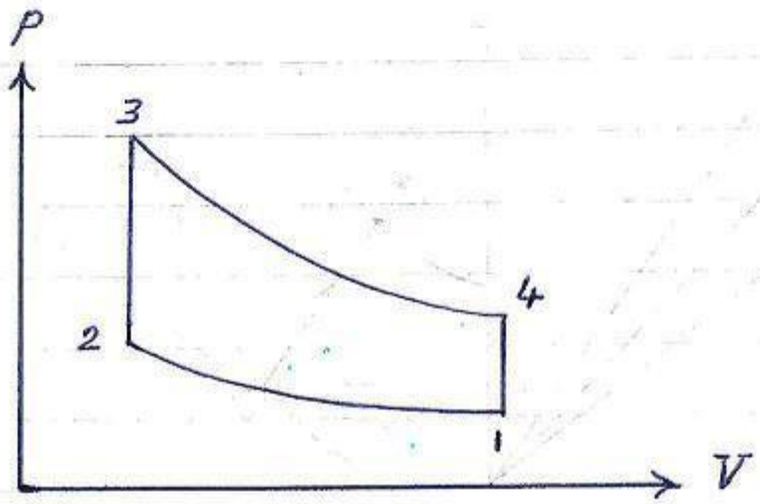
۱- قبل از احتراق هیچگونه واکنش شیمیائی صورت نمی گیرد.
۲- بعد از احتراق همواره تعادل شیمیائی برقرار است.

(D)

۳- تمامی تحولات ۲د یاباتیک است.

۴- از سرعتها صرفنظر می شود.

سیکل سوخت - هوای موتورهای اشتعال در اثر جرقه (SI)



* تحول 2-1 - تراکم Ad. - برگشت پذیر از حجم V_1° تا حجم $V_2^\circ = \frac{V_1^\circ}{r}$

چارت 1-C (r نسبت تراکم)

* تحول 3-2 - احتراق در حجم ثابت : طی این تحول باید از چارت C-1 به چارتهای احتراق مراجعه کرد :

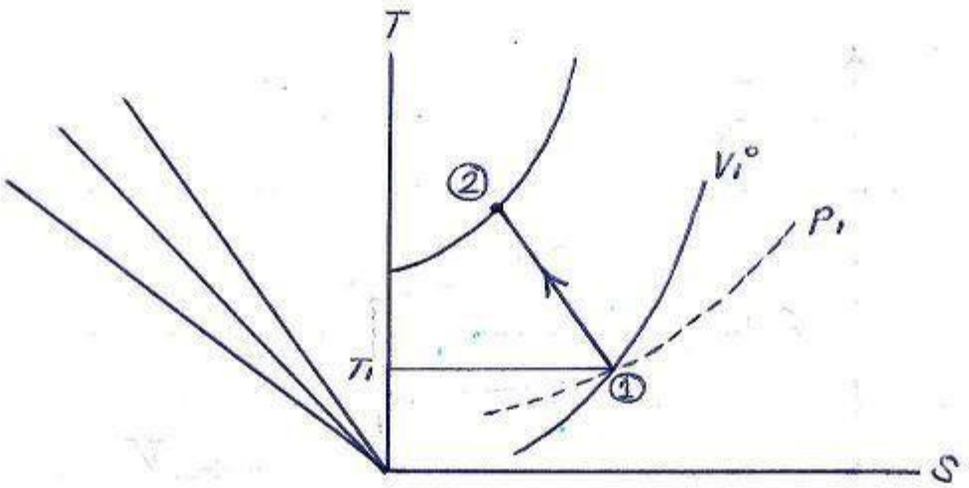
$$E^*_3 = \left(E^\circ_2 \left(\frac{1+F}{m}\right) + F(1-f)\, E_c + f Q \right)$$

(D')

$$ {}_2\dot{Q}_3^{\circ} - {}_2\dot{W}_3^{\circ} = \Delta E \rightarrow E_2 = E_3 $$

$$ V^*_3 = V_2^{\circ}\left(\frac{1+F}{m}\right) $$

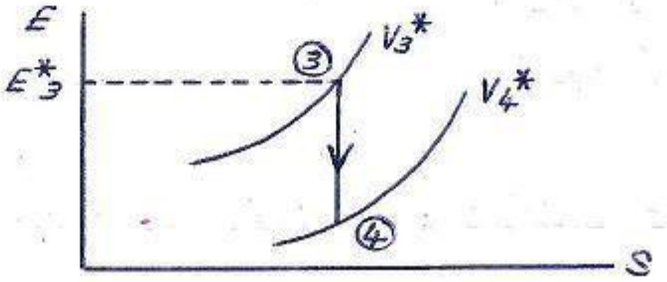
$$ V^*_4 = V_1^{\circ}\left(\frac{1+F}{m}\right) $$



(چارت C-1)

* با مقدار E_3^* و $V_3^* = V_2^{\circ}\left(\frac{1+F}{m}\right)$ به چارت اطراق مناسب انتقال یافته و سایر مقادیر را می خوانیم ؛

* تحول 3-4 - انبساط Ad. - بازگشت پذیر از حجم V_3^* تا حجم - $(V_4^* = V_3^* \cdot r)$. (چارت C-1)



(E)

$$W^* = J\left[(E_3^* - E_4^*) - \left(\frac{1+F}{m}\right)(E_2^\circ - E_1^\circ)\right]$$

: کار

$$mep = \frac{W^*}{V_1^* - V_2^*}$$

: mep

$$\eta_{th} = \frac{W^*}{J\dot{m}_F^* Q_c} \longrightarrow$$

: راندمان حرارتی

$$\eta_{th} = \frac{W^*}{J F Q_c \left[\frac{(1+F)(1-f)}{1+F+h(1-f)}\right]}$$