

جزوه آموزشی درس

موتورهای احتراق داخلی

(رشته مهندسی مکانیک با گرایش حرارت و سیالات)

گردآوری و تنظیم :

فرشاد سـرایـی

با تقدیم والاترین درودها و احترامات به استاد ارجمندم جناب آقای دکتر کورش امیر اصلانی تبریز
که مطالب مندرج در این جزوه بر گرفته از آموزش های ایشان می باشد.

درس : موتورهای احتراق داخلی
 استاد : آقای دکتر امیراصلاتی تبریز



Text : موتورهای احتراق داخلی (پاجاواک) }
 نوشته : C.F. Taylor }
 ترجمه : دکتر پیروز پناه }



مقدمه

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

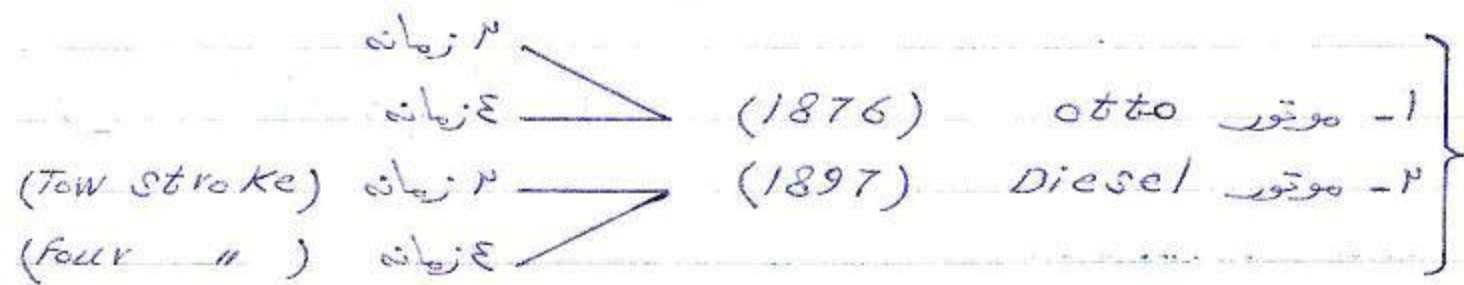
* موتورهای احتراق داخلی (دروسوز یا reciprocating) نسبت به

موتورهای احتراق خارجی مزایای زیر را دارد :

- ۱- مکانیزم بازده بالاتری دارد.
- ۲- سادگی مکانیکی ..
- ۳- نسبت وزن به توان بیشتری دارند.
- ۴- جمع و جورتر است.

* مزایای موتورهای (برون سوخت) :

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



۴ زمانه

مکش

تراکم

انفجار

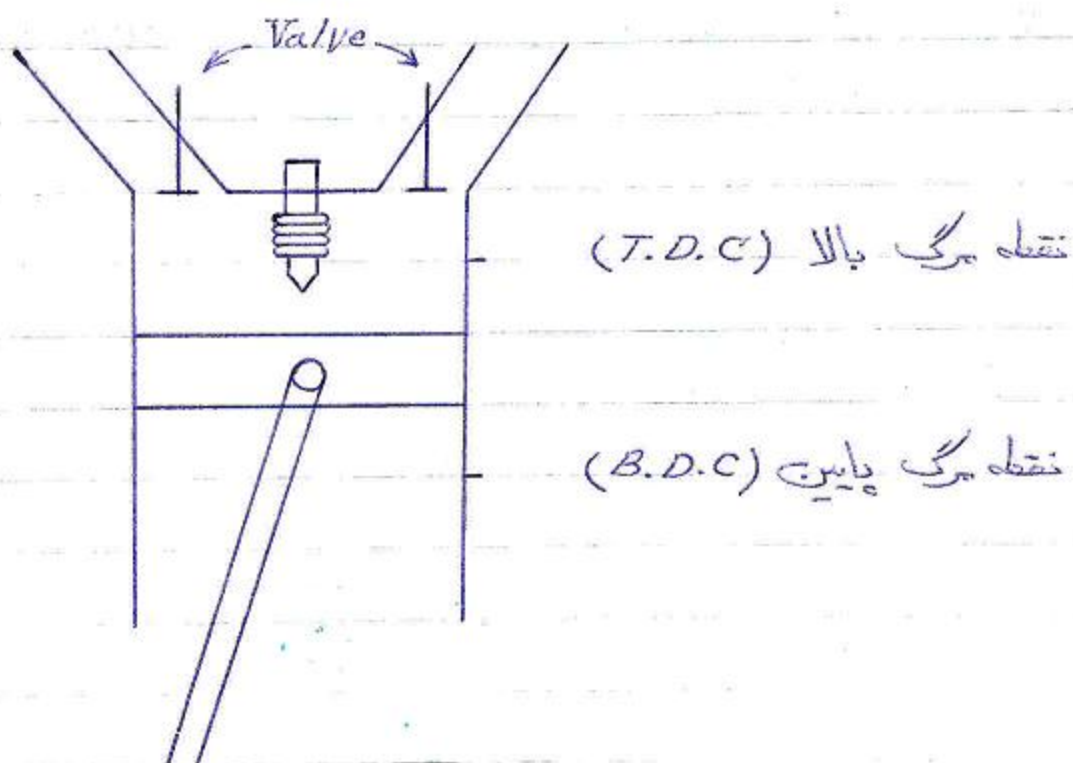
تخلیه

۲ زمانه

تراکم

انفجار

* در زمان مکش و تخلیه یک مکانیزم جداگانه انجام می دهد (مثلاً یک کپرسور).



مراحل موتور otto :

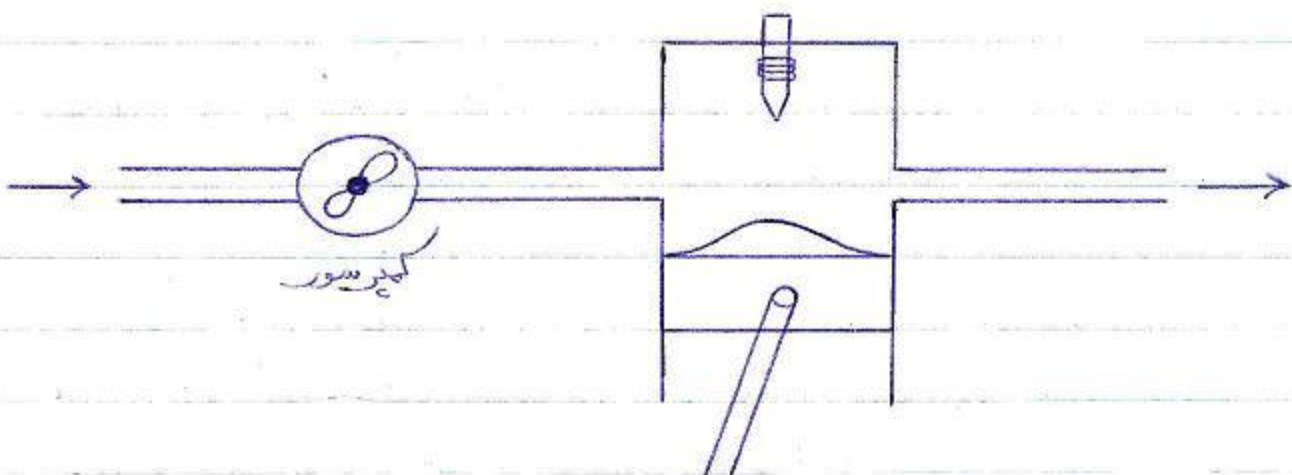
- ۱- مکش مخلوطی از سوخت و هوا به داخل سیلندر.
- ۲- تراکم مخلوط فوق تا تقریباً هج نقطه مرگ بالا.
- ۳- زدن جرقه توسط شمع و احتراق مخلوط و انبساط آن.
- ۴- تخلیه محصولات احتراق.

* Displacement Volume : حجم جابج شده توسط پیستون از B.D.C تا T.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.

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

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



(شکل هماتیک دورمانه)

چهارخانه در هر دور گردش میل لنگ یک سیکن دارد.

مراحل موتور دیزل :

- ۱- مکش هوا براخل سيلندر
- ۲- تراکم هوا
- ۳- پاشش سوخت به حوالی متراکم و اشتعال آن
- ۴- تخلیه

روشهای گازسوز کردن موتورهای دیزل :

- ۱- تبدیل آن به موتور otto
- ۲- استفاده از پاشش آتشزا (۹۰٪ گاز و ۱۰٪ گازوئیل)
(pilot Injection)
- ۳- موتور دیزل با سوخت دوگانه (۷۰٪ گازوئیل و ۱۰٪ گاز)

اصطلاحات :

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

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

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

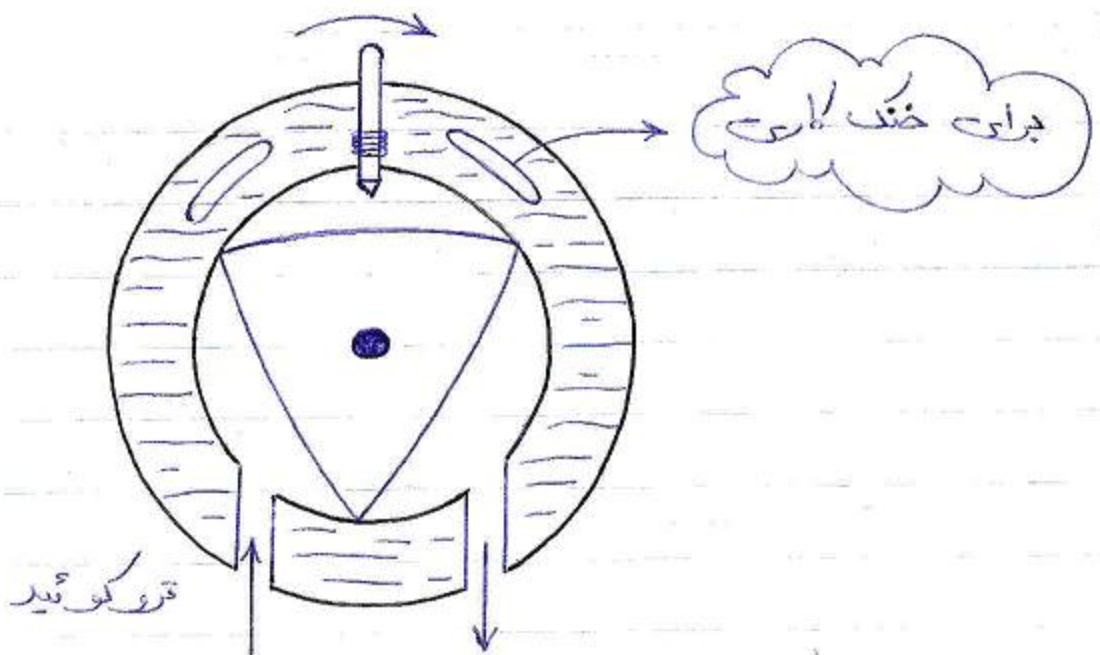
۴- موتور سوخت آمیخته (Carbureted) :
 موتوری است که سوخت پس از بارش سوزیاب وارد می شود.

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

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

موتوری در آن است به شکل صفحه بجد :





* مزایا :
 ۱- سادگی ظاهری
 ۲- بالانس بهتر

* معایب :
 ۱- نشتی بخصوص از روتورس توربین
 ۲- راندمان پایین
 ۳- آلودگی بیشتر
 ۴- خنک کاری مشکل تر

تعاریفی در رابطه با عملکرد موتور :

$\eta = \frac{W_e}{JQ}$ (در سیکلها)
 W_e - کار خالص تولید شده
 Q - حرارت داده شده
 J - بخار واحد های انگلیسی است

* در مورد موتور احتراق داخلی: (Q_c) از بین حرارت سوخت (پایین)

\dot{M}_F دبی سوخت

η برای یکسان شدن واحدها

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

→

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

توان موتور

انواع توان مفید از موتور:

Indicate power (P_i)

۱- توان داخلی (اندریکه)

Brake power (P_b)

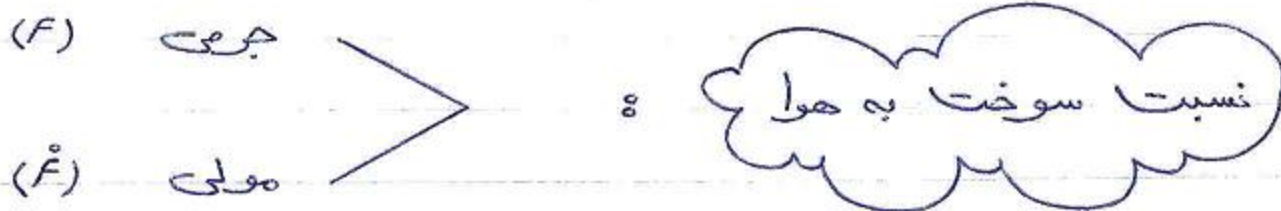
۲- توان خروجی (توربین)

$$P_b = P_i - P_f$$

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

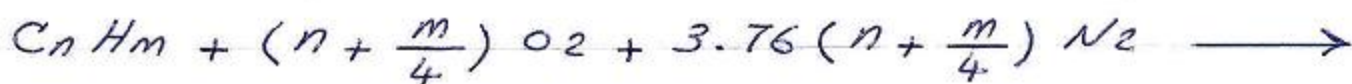
اندازه خارجی (خوبه) $\eta_o = \frac{P_b}{\dot{Q} \dot{M}_F \Delta c}$

اندازه داخلی $\eta_i = \frac{P_i}{\dot{Q} \dot{M}_F \Delta c}$



(F = $\frac{MF}{Ma}$) (نسبتهای واقعی) ($\dot{F} = \frac{nF}{na}$)

* فرمول احتراق استوکیومتری (با نسبت صحیح شیمیایی) برای یک هیدروکربن:



* بر اساس رابطه فوق یک نسبت سوخت به هوای استوکیومتری -
خواهیم داشت؛ که به آن (F_c) گویند:

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

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

نسبت سوخت - هوای نسبی (F_r) :

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

$F_R \begin{cases} > 1 \\ = 1 \\ < 1 \end{cases}$

 مخلوط غنی (Rich Mixture)
 استوکیومتریکی
 مخلوط فقیر (Lean Mixture)

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

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

\dot{m}_α کمتر \rightarrow اندازه موتور کوچکتر

(S.F.C)

مصرف سوخت ویژه :

specific fuel consumption

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

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

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

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

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

(S. a. c)

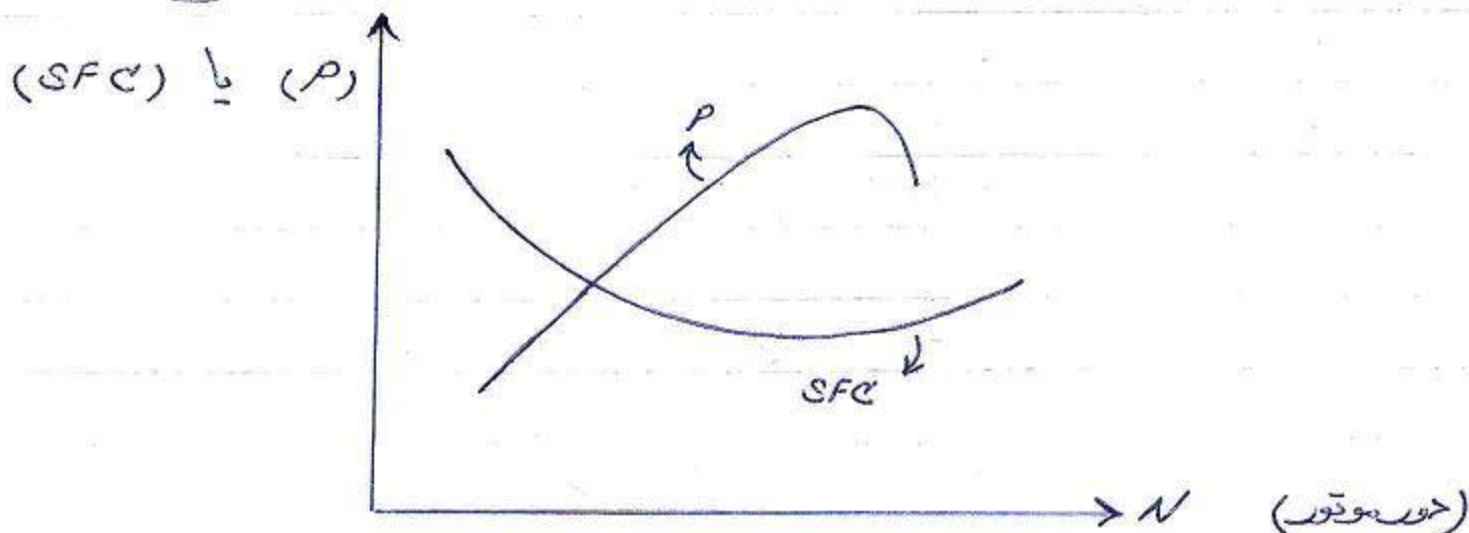
صرف هواى ويژه

(Specific air Consumption)

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

$$S.a.c = \frac{1}{J F \theta_c \eta}$$

$$S.F.C = F(S.d.c)$$



* اگر دبی بر حسب 16 m/s باشد برای تبدیل تولد به 16 m/min hp طرف راست را بر 550 تقسیم می کنیم و اگر دبی 16 m/min باشد طرف راست را بر 33000 تقسیم می کنیم.

$$P = \frac{JMF \theta c \eta}{778}$$

$$SFC = \frac{MF}{P} = \frac{1 \times 550 \times 3600}{\theta c \cdot \eta (778)}$$

$$\begin{cases} SFC = \frac{2545}{\theta c \eta} & \frac{16 \text{ m}}{hp \cdot hr} \\ Sd.c = \frac{2545}{F \theta c \eta} \end{cases}$$

* در ازای هر 1000°C حدود 30 تا 35 اسب بخار معقول است و اگر این طور نبود حتماً در واحدها اشتباه شده است.

بنزین : $0.2 \leq SFC \leq 0.3$

دیزل : $SFC \leq 0.2$

وانگل : $SFC \approx 0.5$

قانون اول ترمودینامیک :

برای سیستم -

$$\begin{cases} W = J Q \\ Q - \frac{W}{J} = U_2 - U_1 \end{cases}$$

$$Q - \frac{W}{J} = \left[\left(E_2 + \frac{U_2^2}{2g_0 J} \right) - \left(E_1 + \frac{U_1^2}{2g_0 J} \right) \right]$$

E - انرژی داخلی

U - سرعت

* برای جمع کنترل (SSSF) ؛ که موتور در حالت کارکرد عادی تقریباً همین حالت را دارد (موتور گرم شده) :

$$\begin{cases} W = (\text{کار جریانی}) + (\text{کار محوری}) \\ W = W_s + P_2 V_2 - P_1 V_1 \end{cases}$$

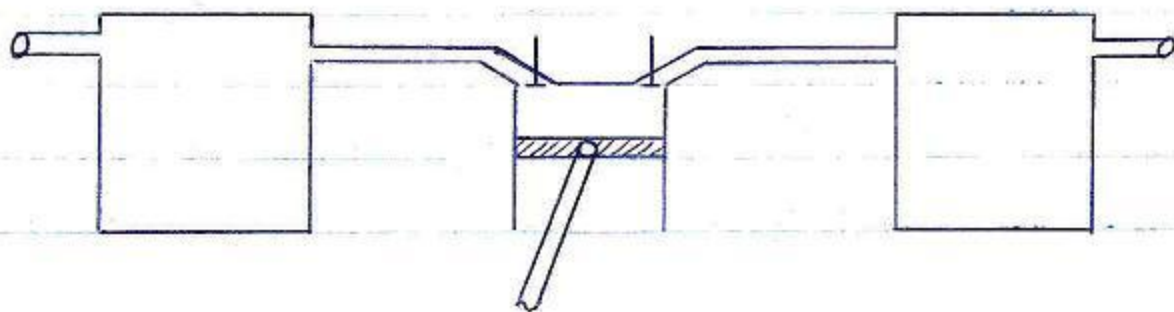
$$Q - \frac{W_s}{J} = \left[\left(E_2 + \frac{P_2 V_2}{J} + \frac{u_2^2}{2g \cdot J} \right) - \left(E_1 + \frac{P_1 V_1}{J} + \frac{u_1^2}{2g \cdot J} \right) \right]$$

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

$$H_0 = H + \frac{u^2}{2g \cdot J} \quad \text{و انتالی سیگون عبارتست از:}$$

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

در موتورهای تک سیلندر برای ورودی و خروجی مخزن موج گیر (Surge Tank) قرار می دهند که جمع آن لا اقل 5 برابر حجم سیلندر است و جریان را یکنواخت و Steady می کند. چون در مرحله احتراق و تخلیه جریان سوخت قطع می شود. اما در موتورهای چند سیلندر چندان لازم نیست.



- مثال - در یک موتور ۴ زمانه با نسبت تراکم ۶ کار انجام یافته توسط پیستون روی گازها در طی مرحله تراکم برابر $ft. 16 \times 1000$ و کار انجام یافته توسط گازهای پیستون روی مرحله انبساط $ft. 16 \times 5000$ است.
- الف - اگر حجم سیلندر 240 in^3 باشد فشار مؤثر متوسط mep چقدر است؟
- ب - اگر حرارت وارد در طی مرحله مکش 16 BTU باشد بازده حرارتی موتور چقدر است؟
- ج - اگر تعداد سیلندرها (۹) عدد باشد و در دور 2000 rpm کار کند توان داخلی آن چقدر است؟

کار خالص \rightarrow

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

\downarrow جمع جایجا شده

$$V_1 = 240 \text{ in}^3$$

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

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

(ضریب تبدیل) که $ft. 16$ را
به $in. 16$ تبدیل می کند.

$$P = \frac{W}{N/2}$$

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

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

$$P_i = 1090 \text{ kP}$$

$$\eta = \frac{W}{Q} \Rightarrow$$

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

سیکل در 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 فرآیندهای ترمودینامیکی ایده‌آلی است که در آن سیال عامل گازی با خصوصیات هوای استاندارد این سیکل بجای تحول احتراق فرض می‌شود حرارت از بیرون به سیستم اعمال شده و در نهایت سیکل با پس دادن حرارت به بیرون تکمیل می‌شود.

خصوصیات هوا :

$$\left\{ \begin{array}{l} Ma \approx 29 \\ C_p = 0.24 \quad \frac{BTU}{lbm \cdot F^\circ} \\ C_v = 0.1715 \\ R_a = 53.3 \quad \frac{BTU}{lbm \cdot F^\circ} \end{array} \right.$$

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

$$(انرژی داخلی) E = M C_v (T - T_0)$$

↓
دمای مبنا

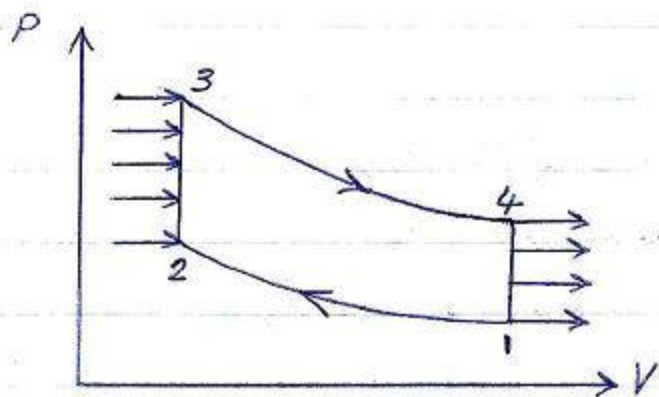
$$* H = E + \frac{PV}{J} = E + \frac{RT}{mJ} \quad (\text{انتالپی})$$

سیکل هوای معادل :

* سیکل هوای معادل سیکل هوای ایده‌آلی است که تحولات آن مشابه تحولاتی است که در نوع بخصوصی از موتور ها 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- لا اهل در یک نقطه دارای فشار و دمای یکسان هستند.
- ۴- حرارت افزوده شده به سیکل معادل هوای در هر دو از احتراق است.

سیکل هوای معادل otto :



$$PV^k = cte$$

$$\frac{P}{T} = cte$$

- 1-2 - تراکم P دایاباتیکی - بازگشت پزین.
- 2-3 - انتقال حرارت به سیستم حجم ثابت.
- 3-4 - انبساط P دایاباتیکی - بازگشت پزین.
- 4-1 - پس دادن حرارت در حجم ثابت.

$$Q - \frac{W}{J} = \Delta E$$

قانون اول

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{J ({}_2Q_3)}$$

انسان :

$$W_{net} = {}_1W_2 + {}_3W_4$$

کارخانه :

$$W_{net} = JM C_V [(T_1 - T_2) + (T_3 - T_4)]$$

$${}_1Q_2 = M C_V (T_3 - T_2)$$

$$\eta_{th} = \frac{JM C_V [(T_1 - T_2) + (T_3 - T_4)]}{JM C_V (T_3 - T_2)}$$

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

$$\eta_{th} = 1 - \frac{T_1 (T_4/T_1 - 1)}{T_2 (T_3/T_2 - 1)}$$

$$1-2 \text{ تحول} : \frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^{K-1} = \left(\frac{1}{r}\right)^{K-1}$$

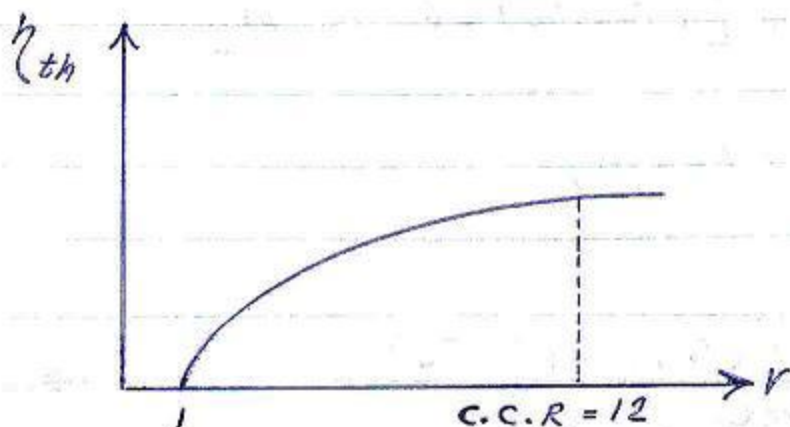
$$3-4 \text{ تحول} : \frac{T_4}{T_3} = \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{K-1} = \left(\frac{1}{r}\right)^{K-1}$$

$$\left(\frac{T_1}{T_2} = \frac{T_4}{T_3} \quad \text{در سیکل otto}\right)$$

$$\rightarrow \left(\frac{T_3}{T_2} = \frac{T_4}{T_1}\right)$$

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

* یعنی راندمان با نسبت تراکم نسبت مستقیم دارد.



* اما در عمل « زمان 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 حدی بالاتر برد (سبب منفی هم نشان می دهد که بسمت یک بجانب میل می کند) و در ضمن هر چه 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 حدی می تواند تحت فشار قرار گیرد. معمولاً r بخوانی (12) است.

فشار مؤثر متوسط (mep)

(Mean Effective pressure)

$$mep = \frac{W_{net}}{V_1 - V_2}$$

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{J_2 Q_3} \rightarrow W_{net} = J_2 Q_3 \eta_{th}$$

$$\rightarrow mep = \frac{J_2 Q_3 \eta_{th}}{V_1 \left(1 - \frac{V_2}{V_1}\right)} = \frac{J_2 Q_3 \eta_{th}}{V_1 (1 - 1/r)}$$

$$PV = \frac{M}{m} RT \rightarrow V = \frac{MRT}{PM}$$

$$mep = \frac{J_2 Q_3 \frac{P_1 m}{MRT_1} \eta_{th}}{(1 - 1/r)}$$

$$(حرارت افزوده شده به واحد جرم سیستیم) : Q' = \frac{2 Q_3}{M}$$

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

$$C_p - C_v = \frac{R}{mJ} \rightarrow C_v \left(\frac{C_p}{C_v} - 1 \right) = \frac{R}{mJ}$$

$$C_v (k-1) = \frac{R}{mJ} \rightarrow$$

M - جرم مولکولی
M - جرم

$$\frac{mep}{P_i} = \frac{Q'}{C_v T_i} \left[\frac{1 - (1/r)^{k-1}}{(k-1)(1-1/r)} \right]$$

* شکل 2-2 کتاب کار فرمولهای ترمودینامیک را می‌کند.

Q' معادل حرارت ناشی از احتراق واحد حجم کل محتویات سیلندر ویا (بارسیلندر) است.

خواه تغییر Q'

$$\text{حرارت کل داده شده} = M_f Q_c = F M_a Q_c$$

* با تقسیم رابطه فوق بر جمع بارسیلندر مقدار Q' بدست می‌آید.

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

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

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

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

مسئله - به کمک شکل های 2-2 : i_{mep} و فشار و دمای
 یک سیل هوايي جمع ثابت را که دارای فشار اولیه -
 20 PSI و دمای اولیه 600°R ($F + 460 = R^\circ$)
 نسبت تراکم 10 و $Q' = 1280 \frac{\text{BTU}}{16 \text{ m}}$ است را بیابید.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{Q'}{C_v T_1} = \frac{1280}{0.175 (600)} \\ r = 10 \end{array} \right. \xrightarrow{2-2}$$

$$\eta_{th} = 0.6$$

$$\left. \begin{array}{l} \frac{i_{mep}}{P_1} = 21 \\ P_1 = 20 \text{ PSI} \end{array} \right\} \rightarrow$$

$$i_{mep} = 420 \text{ PSId}$$

روش محاسبه ای :

$$\frac{P_2}{P_1} = 25 \rightarrow P_2 = 500 \text{ PSId}$$

$$\frac{P_3}{P_1} = 150 \rightarrow P_3 = 3000 \text{ PSId}$$

$$\frac{P_4}{P_1} = 6.5 \rightarrow P_4 = 130 \text{ PSId}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = 2.55 \quad T_1 = 600^\circ \text{R} \rightarrow T_2 = 1530 \text{ R}$$

$$\frac{T_3}{T_1} = 15 \rightarrow T_3 = 9000 \text{ R}$$

$$\frac{T_4}{T_1} = 6 \rightarrow T_4 = 3600 \text{ R}$$

$$K = 1.4$$

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

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

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

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

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

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

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

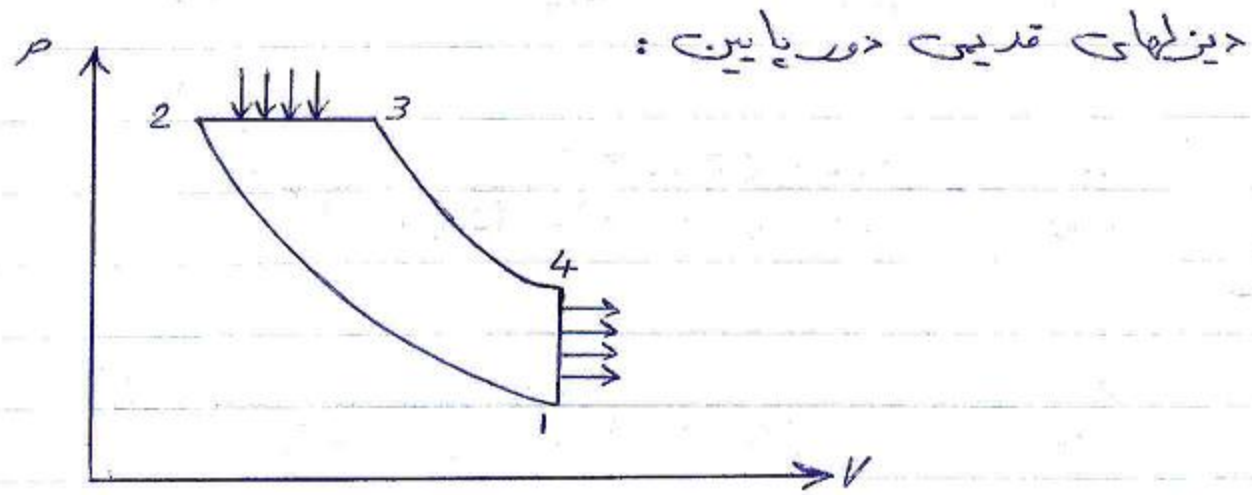
$$\eta_{th} = 1 - (1/r)^{K-1} = 1 - (1/10)^{0.4} = 0.602$$

$$imep = \frac{W_{net}}{V_1 - V_2} = \frac{J Q' \eta_{th} \left(\frac{P_M}{RT_1}\right)}{(1 - 1/r)}$$

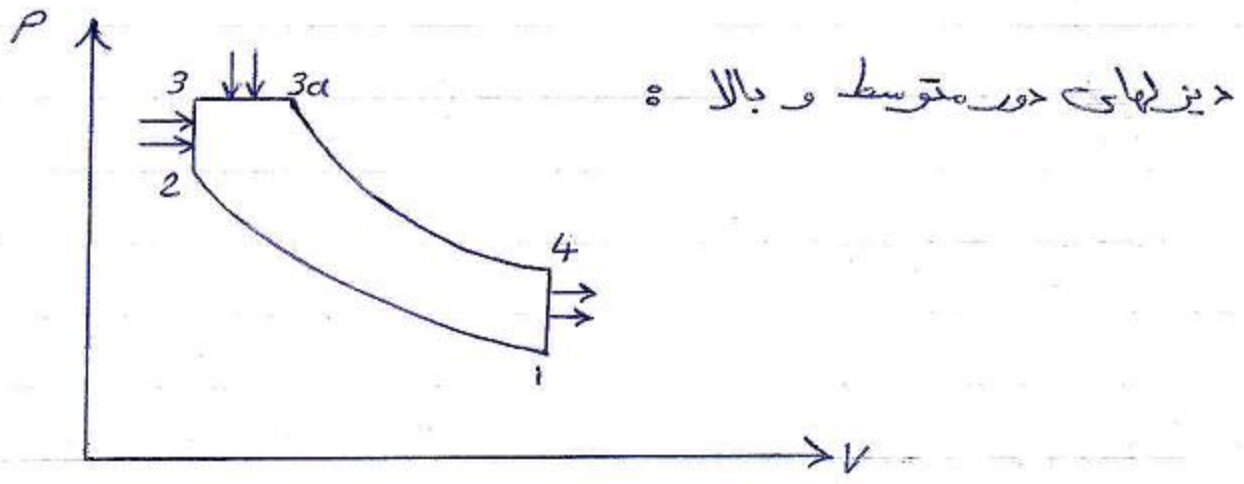
$$imep = \frac{778 (1280) (0.602)}{(1 - 1/10)} \cdot \frac{600 (29)}{154.5 (600)} \rightarrow 100 \text{ m}$$

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

سیکل هوای معادل موتورهای اشتعال در اثر تراکم :



سیکل هوای با فشار محدود شده
Limited Pressure Air cycle



راندگان سیکل با فشار محدود شده

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$(۲) \text{ و } (۵) \rightarrow T_4 = \beta T_3 \left(\frac{\beta}{r}\right)^{k-1} = \beta^k T_3 \left(\frac{1}{r}\right)^{k-1} \quad (۷)$$

* با قرار دادن مقادیر (۲) و (۳) و (۶) و (۷) در رابطه (۱) :

$$\eta_{th} = 1 - \left(\frac{1}{r}\right)^{k-1} \left[\frac{\alpha \beta^{k-1}}{(\alpha-1) + \alpha k (\beta-1)} \right]$$

حالت خاص (۱) - اگر $\alpha = 1$ باشد راندمان دینک کم دورا می دهد:

$$\eta = 1 - \left(\frac{1}{r}\right)^{k-1} \left[\frac{\beta^{k-1}}{k(\beta-1)} \right]$$

حالت خاص (۲) - اگر $\beta = 1$ باشد راندمان سیکل اتورا می دهد:



$$E_s = \frac{(E_{s\alpha} + F E_{s\beta} + h E_{s\gamma})(1-F) + F(1+F) E_{s\gamma}}{1+F+h(1-F)}$$

« انتزاع داخلی محسوس واحد جمع مخلوط »

* برای انتزاع واحد جمع مخلوط هم عین رابطه فوق را داریم. در حالت ۱-۲ انتزاع و یا ۱-۳ انتزاع واحد (موتور) مخلوط را می خوانیم و لذا این مقادیر « برابر مقدار بدست آمده از فرمول E_s یا S_s خواهد بود.

فرشاد نسراپی - مهندس پایه یک تأسیسات و مکانیک
 طراحی - نظارت - اجرا
 نظام مهندسی: ۱۷۲۷۶-۰۳-۱۵
 پروانه مهندسی: ۰۲۸۱۵-۰۳-۱۵
 شماره شهرسازی: ۰۱۲۲۲-۰۳-۱۵

جزوه آموزشی درس موتورهای احتراق داخلی **آقای دکتر کورش امیراصلانی تبریز**
 دانشگاه آزاد اسلامی واحد جنوب تهران - دانشکده فنی (۱۳۷۳)

* برای موتور بنزین در بهترین حالت : $\eta = 0.75 \eta_0$
 ↓ ↓
 واقعی 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 طوبیت + سوخت + گازهای
باقی مانده

(CI) : هوا + گازهای باقی مانده

ترکیب هوای اتمسفر

فیزی : $O_2 \ 23\% + N_2 \ 77\%$

کیمی : $O_2 \ 21\% + N_2 \ 78\%$
 1% سایر گازها

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

* پایه جرمی: یک پوند مول هوای خشک

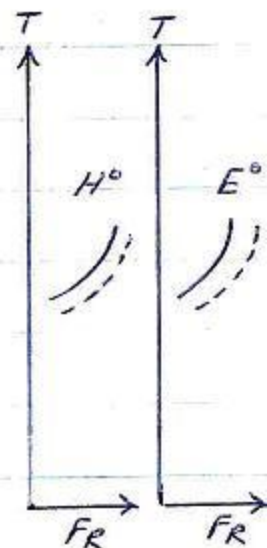
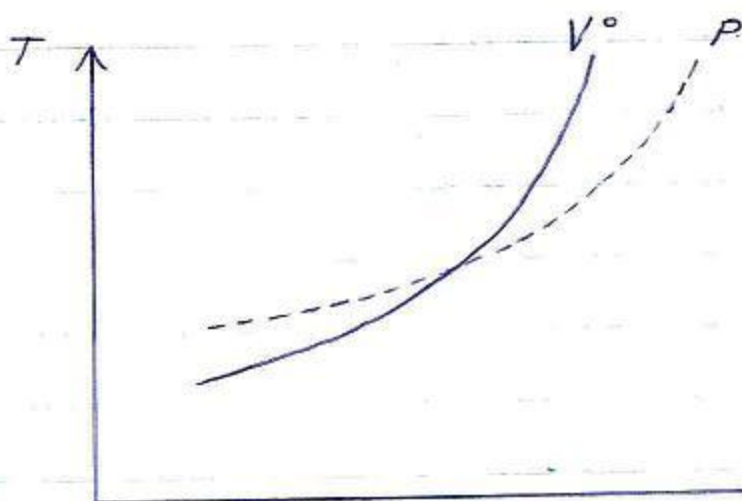
* پایه ترمودینامیکی: انرژی داخلی هوای خشک در دمای $560^{\circ}K$ برابر صفر در نظر گرفته می شود.

دما (T): R°
 فشار (P): $psia$ (مطلق absolute psi)
 حجم مخصوص (V°): $ft^3/lbmol$

* در این جداول هر علامتی که نشان (o) بالای آن بود بر واحد $16mol$ است.

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

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



F : نسبت جرم سوخت به هوای خشک
 F_c : نسبت جرم سوخت - هوای استوکیومتریکی
 $F_R = \frac{F}{F_c}$: نسبت سوخت - هوای نسبی

f : 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 مغزی‌های فرعی سمت راست برای یافتن انتقالی و انرژی داخلی استفاده می‌کنیم . برای هوای خشک $(F_R = 0)$ است . مغزی‌های نقطه چین در این قسمت‌های فرعی برای پس از احتراق است یا وقتی که مخلوط سوخت و هوا داریم .

* سوخت معادل بنزین را اکتین (octene) می‌دانند C_8H_{16}

* تغییر یافته چارت را این طور در نظر می‌گیریم که اکتین 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 بر مبنای خواص مخلوط سوخت هوا در قبل از احتراق

بیان شده و به آن (خواص محسوس) گویند.

سوخترها
گازی
مایع

سوختر گازی	$E_{sf} = \int_{560}^T c_p dT$
------------	--------------------------------

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

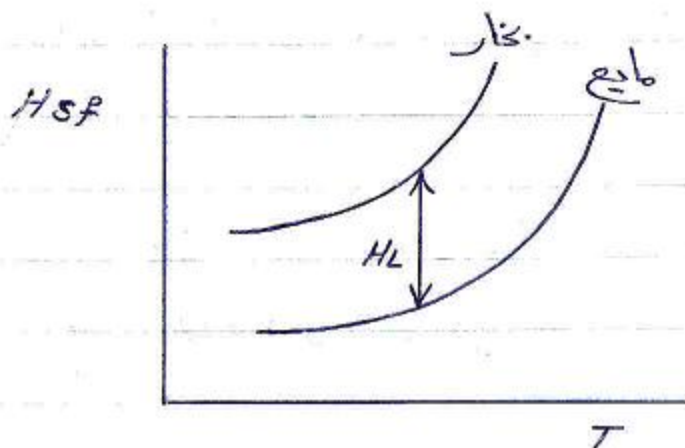
سوختر مایع	
------------	--

	$(E_{sf})_L = E_{sf} + E_L \rightarrow$ انرژی نهان تبخیر
--	----------------------------------------------------------

	$(H_{sf})_L = H_{sf} + H_L \rightarrow$ انتالی نهان تبخیر
--	-----------------------------------------------------------

$E_L \approx H_L$

برای (اکت) نمودار داریع صای :



* جدول ۱-۳۳: خواص سوختها را می دهد که ما تنها با گازی و مایع آن کار داریم.

نام	فرمول	جرم مولکولی m	چگالی نسبی	نشان تبخیر و H_L	c_p	انرژی حرارتی	
						Q'	Q_c

بخار سوخت		m_m	f_c	c_p	α/\sqrt{T}
c_p	$K = c_p/c_v$				

α : سرعت صوت و $\alpha = \sqrt{KRT}$
 وزن مولکولی مخلوط سوخت هوایی استوکیومتریک
 وزن مولکولی مخلوط سوخت هوایی استوکیومتریک

* چارت (C-1) را با اعمال تغییراتی برای ظروف سوخت - هوا جمع بکار می‌بریم.

* خواص ترمودینامیکی ظروف 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

$$M = M_a + M_f + M_r + M_v$$

/
/
/
|

هوا
سوخت
باقیمانده
گازهای
باقیمانده
رطوبت

$$\left. \begin{array}{l}
 M_a + M_f \sim 1 \text{ اگر:} \\
 M_r \sim f \\
 M_a \sim 1 - f \\
 M_f \sim F(1 - f) \\
 M_v \sim h(1 - f)
 \end{array} \right\} M \sim 1 + F + h(1 - f)$$

$$F = \frac{M_r}{M_a + M_r + M_f}$$

پس با توجه به نسبت‌های نشان داده شده :

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

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

$$\left\{ \begin{aligned} N &= \frac{M}{m} \quad \begin{array}{l} \nearrow \text{جمع کل مخلوط} \\ \searrow \text{جمع مولکول‌های مخلوط} \end{array} \\ N &= \frac{M}{m} = \frac{M_a}{29} + \frac{M_f}{m_f} + \frac{M_r}{m_r} + \frac{M_v}{18} \\ &\quad \begin{array}{l} \downarrow \text{جمع مولکول‌های سوخت} \\ \downarrow \text{جمع مولکول‌های گازهای باقیمانده} \end{array} \end{aligned} \right.$$

جای M_a و M_f و M_r و M_v از روابط (***) قرار می‌دهیم :

$$m = \frac{1 + F + h(1-f)}{\left(\frac{1}{29} + \frac{F}{m_f} + \frac{h}{18}\right)(1-f) + \frac{f(1+F)}{m_v}}$$

* رابطه فوق جمع سوکولری مخلوط سوخت هوای می دهد و هر چیز را که نداشت با شمع بجای آن صفر قرار می دهیم. معمولاً باید حول و حوش عدد (29) در بیاید. (28 - 32)

* صفح 28 فرمول انرژی داخلی محسوس و ادر جمع جسع ارائه شده.
* ص 33 فرمول 3-13 یک علامت (=) می خواهد.

استفاده از چارت 1-1 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 $560^{\circ}R$ برابر صفر است.

$$\frac{E^{\circ}}{m} = E \quad \text{واحد جمع}$$

* حالت فوق برای هر خواص (0) در صادق است و m محاسبه شده در اینجا به درج می خورد.

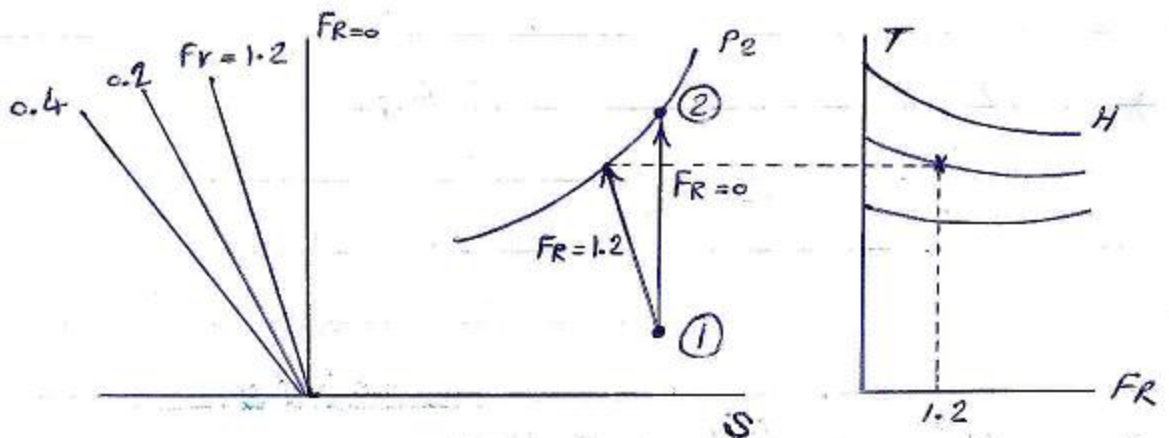
$$F_{c2} = 0.0678$$

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

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

خطوط ۲ نتروپین ثابت

در حالت هوا کاملاً عمودی است اما برای خطوط سوخت - هوا تحول ۲ نتروپین ثابت به موازات (F_R) مربوطه است که در سمت چپ بعنوان جهت گیری ارائه شده است.



وتمت نقطه ② را یافتیم خطی به موازات محور افقی رسم می کنیم
و در (Fr) مربوطه H° و E° را هم می خوانیم.

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

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

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

اختلاف سوخت - هوا :

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

$$* E_{sm}^* = \frac{E_a^\circ}{m} + F E_{sf}$$

انرژی داخلی
یونر مخلوط $1+f$

$$* H_{3m}^* = \frac{H_a^\circ}{m} + F H_{sf}$$

مثال -

مخلوط شامل سوخت اکترن با 0.095% هوا و 0.004% بخار آب و 0.002% گاز باقیمانده در داخل سیلندر موجود است. در طول مرحله تراکم بار سیلندر تا 0.1 حجم اولیه خود متراکم می شود. با فرض اینکه مراحل مختلف یک سیکل حجم ثابت در سیلندر صورت می گیرد و با اطلاعات زیر مقادیر کار، رانندگی، دما و فشار مؤثر متوسط را بیابید.

$$\left\{ \begin{array}{ll} T_1 = 600^\circ R & M_f = 112 \\ P_1 = 14.7 \text{ PSI} & M_v = 28 \\ Q_c = 19035 \text{ BTU/lb} \\ E_c = 19180 \text{ BTU/lb} \\ F_c = 0.0678 \\ F_r = 0.8 \end{array} \right.$$

$$F = F_r \cdot F_c = 0.8 (0.0678)$$

$$F = 0.0542$$

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

$$M_f = 0.0055$$

$$h = \frac{M_v}{M_d} = \frac{0.004}{0.095} = 0.042$$

$$f = \frac{M_V}{M_d + M_F + M_V} = \frac{0.002}{0.095 + 0.0055 + 0.002} \rightarrow$$

$$f = 0.02$$

$$f' = \frac{M_V + M_V'}{M_d + M_F + M_V + M_V'} = \frac{0.002 + 0.004}{0.095 + 0.0055 + 0.002 + 0.004} \rightarrow$$

$$f' = 0.056$$

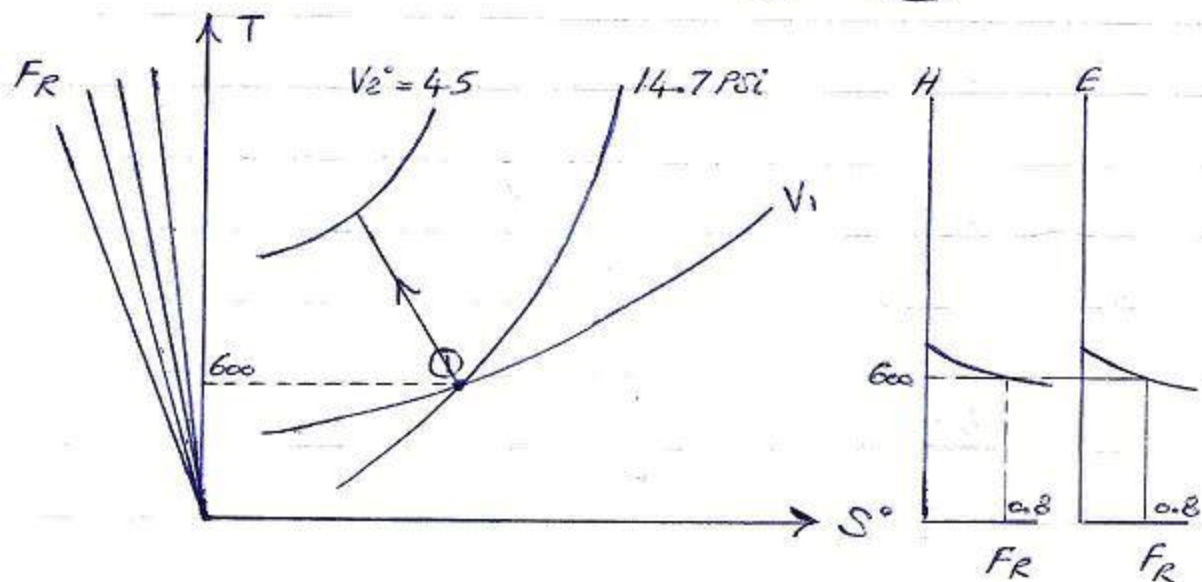
$$M = \frac{1 + F + h(1-f)}{\left(\frac{1}{29} + \frac{F}{m_f} + \frac{h}{18}\right)(1-f) + \frac{0.02(1.0542)}{28}} \rightarrow$$

$$M = 29.4$$

* از نقطه (a) دما و فشار را داریم چسب به چارت C-1 می‌رسیم :

$$\begin{cases} P_1 = 14.7 \text{ PSI} \\ T_1 = 600^\circ R \end{cases} \xrightarrow{C-1}$$

$$V_1 = 450 \text{ ft}^3$$



$$\textcircled{1} \left\{ \begin{array}{l} P_1 = 14.7 \text{ psi} \\ T_1 = 600^\circ R \\ f' = 0.056 \\ F_R = 0.8 \end{array} \right. \longrightarrow \left\{ \begin{array}{l} V_1^\circ = 450 \text{ ft}^3 \\ H_1^\circ = 1400 \text{ BTU} \\ E_1^\circ = 200 \text{ BTU} \end{array} \right.$$

* از نقطه ① خطی موازات $F_R = 0.8$ رسم می‌کنیم تا منحنی حجم ثابت را قطع کند. $V_2^\circ = \frac{V_1^\circ}{r} = \frac{450}{10} = 45$

$$\textcircled{2} \left\{ \begin{array}{l} T_2 = 1150^\circ R \\ P_2 = 250 \text{ psi} \\ E_2^\circ = 3400 \\ H_2^\circ = 5400 \end{array} \right. \quad \left(\begin{array}{l} \text{در نقطه ② احتراق شروع} \\ \text{شده است.} \end{array} \right.)$$

* برای نقطه ③ که پس از احتراق است به جارت 2-C مراجعه می‌کنیم:

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

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

$$E_3^* = \left[\frac{1.0542}{29.4} (3400) + (0.0542)(1 - 0.056) (19180) \right]$$

$E^*_3 = 10.92 \text{ Btu}$ انرژي داخلي نقطه 3

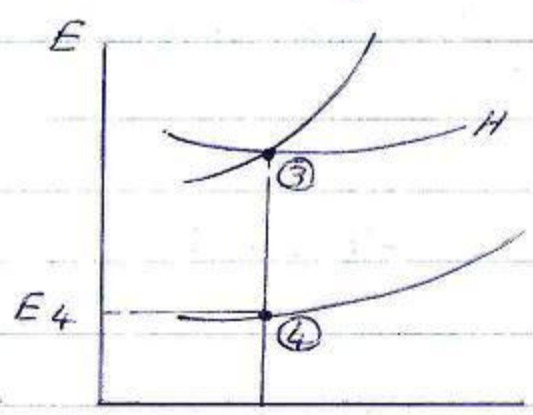
$V_3^* = V_2^* = V_2^{\circ} \left(\frac{1+F}{m} \right) = 45 \left(\frac{1.0542}{29.4} \right)$

$V_3^* = 1.57 \text{ ft}^3$ حجم نقطه 3

$\left\{ \begin{array}{l} E^*_3 = 10.92 \text{ Btu} \\ V^*_3 = 1.57 \text{ ft}^3 \end{array} \right.$	$\xrightarrow{C-2}$	$P_3 = 1200$ $T_3 = 4000$ $H^*_3 = 1400$
-------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------	------------------------------------------------

* از نقطه 3 خط قاشق رسم می کنیم تا خط حجم ثابت زیرا :

$V^*_4 = 15.7 \text{ ft}^3$ قطع کند $V^*_4 = V_1^* = V_1^{\circ} \left(\frac{1+F}{m} \right)$



$V^*_4 = 15.7 \text{ ft}^3$	\rightarrow	$E^*_4 = 440$ $P_4 = 50 \text{ PSI}$ $T_4 = 2050$ $H_4 = 600$
-----------------------------	---------------	------------------------------------------------------------------------

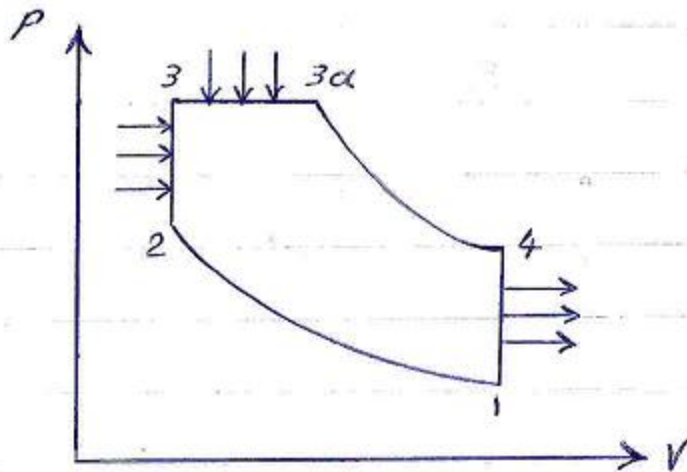
$$W^* = J \left\{ (E^*_3 - E^*_4) - \left(\frac{1+F}{m} \right) (E^*_2 - E^*_1) \right\} \quad ft-lbf$$

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

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



سیکل سوخت هوایی با فشار ورودی :



تکول ۱-۲ - تراکم مخلوط هوا و گازهای باقیمانده از حجم V_1^* تا حجم $V_2^* = \frac{V_1^*}{r}$ در این مرحله از چارت C-1 استفاده می‌کنیم.

یائس : در نقطه ② سوخت براخل سیلندر پاشیده می‌شود.

$$E_e^* = \left[\frac{E_e^0}{29} + F(1-f)(E_c + H_c) + f\psi \right]$$

$$H_L = E_L + \frac{P(V_2^*)}{J} \text{ جمع سوخت یا سبده شده} \rightarrow \text{Cloud } E_L \approx H_L$$

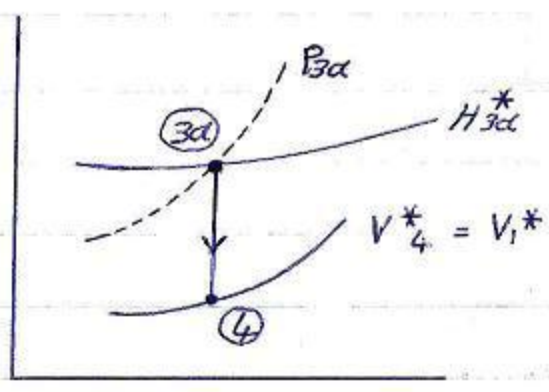
محول 3α - 3 - 2 - احتراق در جمع ثابت تا فشار P3 و سپس در فشار ثابت تا جمع V3α.

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

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

کتاب V° ⊥ V3α* نوشته که غلط است.

جارت C-2



محول 3α - 4 - انبساط تا جمع اولیه V4* = V1*

: محاسبه کار

$$W^* = J \left[\left(E_{3\alpha}^* + \frac{P_3 (V_{3\alpha}^* - V_3^*)}{J} - E_4^* \right) - \frac{1}{m} (E_2^* - E_1^*) \right]$$

$$W^* = J \left[\left(H_{3\alpha}^* - \frac{P_3 V_3^*}{J} - E_4^* \right) - \frac{1}{m} (E_2^* - E_1^*) \right]$$

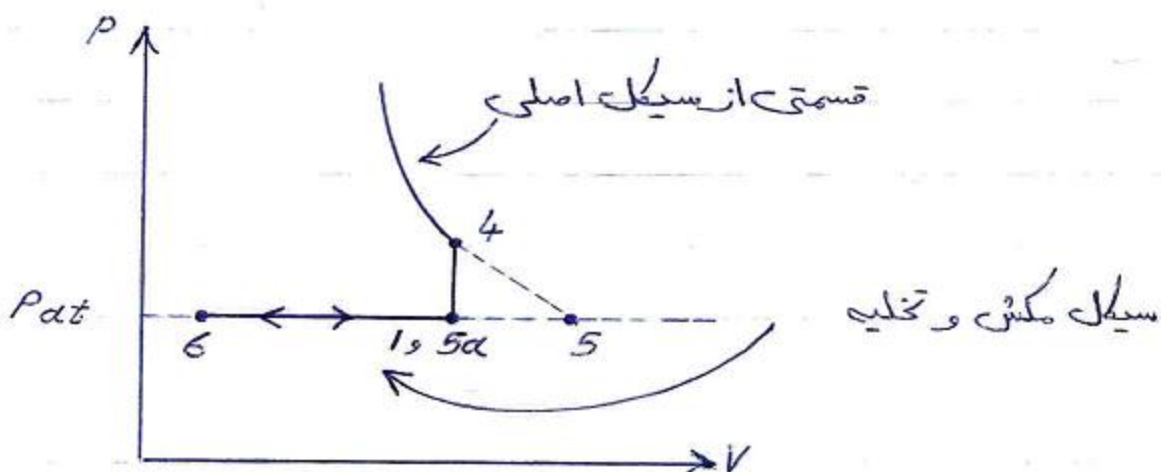
* مقادیر mep و η مشابه سیکل جمع ثابت وانرمان روابط درج شده در آخر مسئله قبلی محاسبه می شود.

فرآیندهای مکش و تخلیه ایده آل:

$$P_1 = P_a$$

۱- حالت نرمال:

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



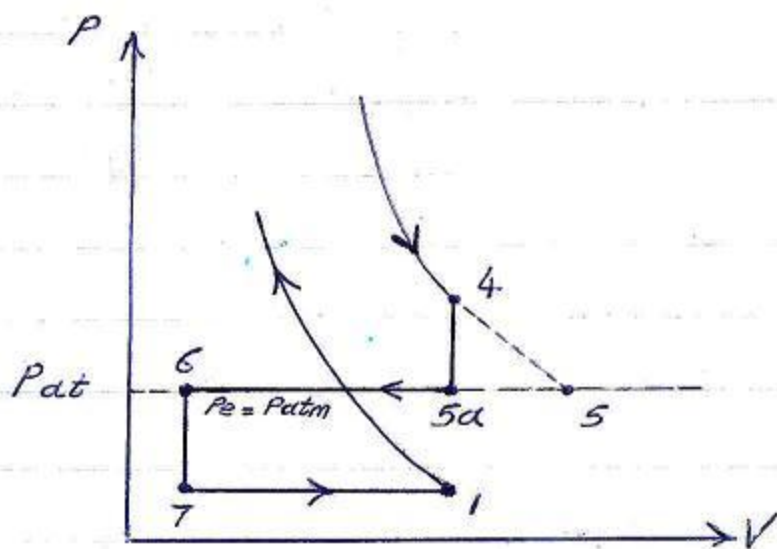
نقطه 4 - سوپاپ دود باز (E.V.O)

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

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

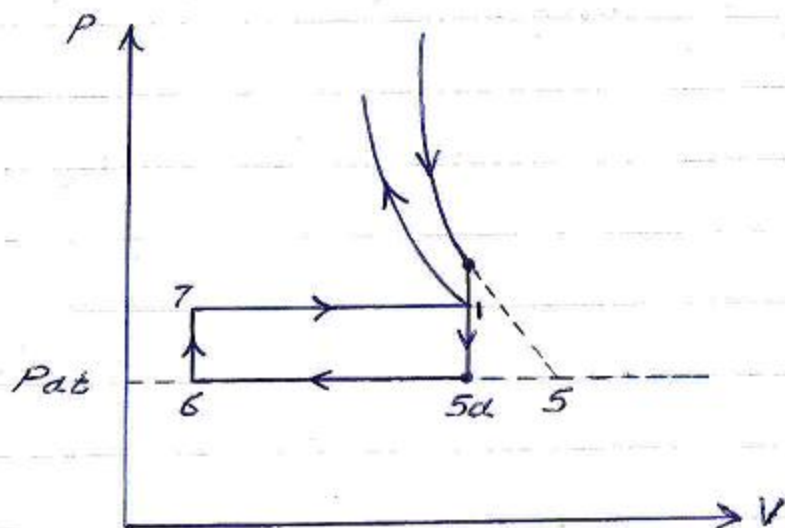
۲ - حالت خفگی $(throttled)$ $P_1 < P_{at}$

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



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

در این حالت ابزاری مانند کمپرسور فشار هوای ورودی را افزایش می دهد و آن P_{at} بالاتر می برد.



فروضات : (تحولات مکش و تخلیه)

* من خواهم با تحولات مکش ایده آل نقطه ① را که تا حال از فرضیات بود کمی دقیقتر بنویسیم .

۱- مکش تحولات $Ad.$ است .

۲- بازو بسته شدن سوپاپها دقیقاً در نقاط مرگ بالا و پایین است .

۳- وقتی سوپاپها باز میشوند در حجم سیلندر تغییری رخ نمی دهد .

چگونگی در نظر گرفتن گازهای باقیمانده :

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

$$f = \frac{M_6}{M_5} \xrightarrow{\text{شرایط } P} f = \frac{V_6}{V_5} \rightarrow \text{جمع سیلندر در نقطه برگ بالا}$$

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

$$V_6 = V_2 \quad \text{چون:}$$

جگه‌نگاری تعیین نقطه ①:

گازهای باقیمانده با شرایط نقطه ۱ و مخلوط تازه با هم مخلوط شده و بر مبنای قانون اول برای این تحول منجر به شرایط نقطه ① می‌شود می‌توان نوشت:

۱ - مخلوط تازه
۲ - گاز باقیمانده

$$(M_i + M_r) E_{S1} = \overset{\text{ب}}{M_i E_{S_i}} + \underset{\text{الف}}{M_r E_{S_6}}$$

$$\frac{1}{J} (-P_i V_i + P_i (V_1 - V_7))$$

کار حرکت پیستون ← کار جریان مخلوط تازه

$$P_i = P_1$$

$$E_{S_6} = E_{S_5}$$

چون:

$$P_e = P_6$$

$$V_6 = V_7 = V_e$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{الف - } M_r E_{S6} = M_r H_{S6} - \frac{P_6 V_6}{J} \\ H_{S6} = H_{S5} \text{ و } P_6 = P_e \text{ و } V_6 = V_e \end{array} \right\} \rightarrow$$

$$M_r E_{S6} = M_r H_{S5} - \frac{P_e V_e}{J} \quad (A)$$

$$\text{ب - } M_i E_{Si} + \frac{1}{J} P_i V_i = M_i H_{Si} \quad (B)$$

$$\text{ج } \rightarrow \quad (C)$$

* 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 :

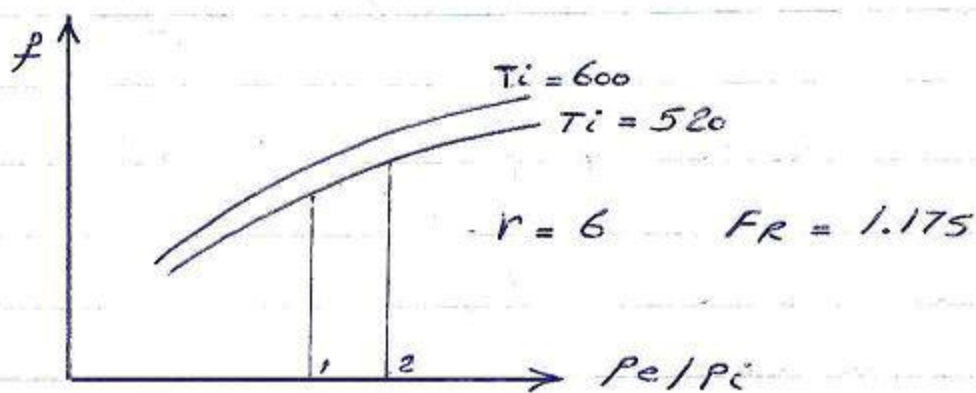
$$H_i^{\circ} = \frac{m_1}{m_i} (1-f) H_i^{\circ} + \frac{m_1}{M_r} f H_S^{\circ} + \frac{V_e^{\circ}}{J} [(P_i - P_e) (144)]$$

$$H_i^{\circ} = m_1 / m_i (1-f) H_i^{\circ} + m_1 / M_r f H_S^{\circ} + V_e^{\circ} (P_i - P_e) \frac{144}{778}$$

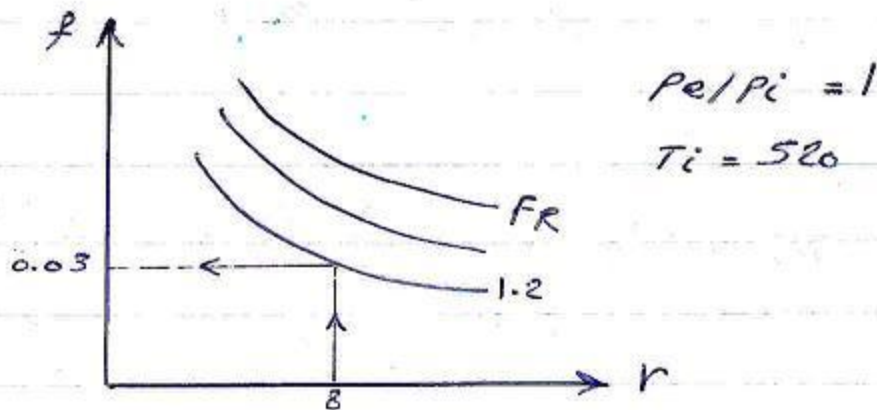
معمولاً f را حدس می زنیم و H_i° را می یابیم و محاسبات سیکل را برای یافتن نقاط 1 و 2 و 3 و 4 و ... انجام می دهیم. اگر $f = \frac{V_e}{V_s}$ حدس f باشد که محاسبات تمام است اما اگر نشد باید f جدیدی حدس بزنیم و محاسبات را تکرار کنیم. V_e° و H_S° را هم

حسب من زینع و در مسیر محاسبات ۲ هزار چک می کنیم .

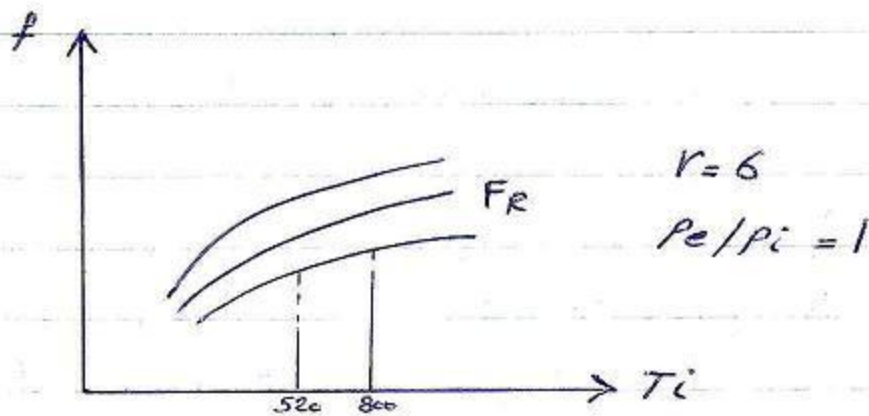
* صفحه (92) شکلای 4.5 : چهار نمودار آخر برای تخمین f بار می رود .



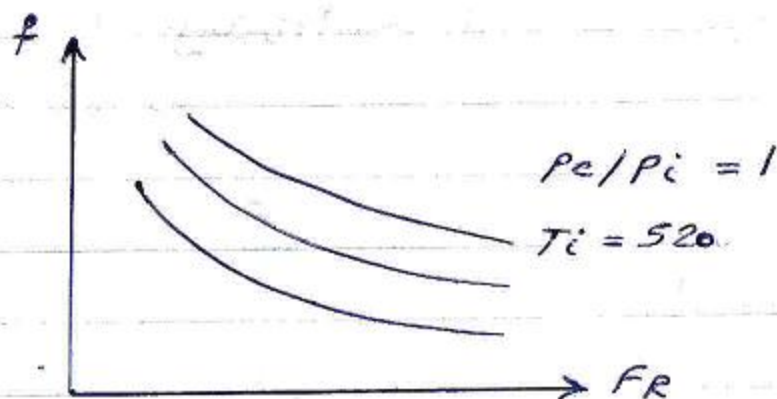
الف - ج



الف - ه



الف - د



* معمولاً از یکی f واحدی 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) مقدار f را در 520 و 520 و 800 می‌خوانیم و نسبت f های بدست آمده یک ضریب تصحیح به ما می‌دهد و ...

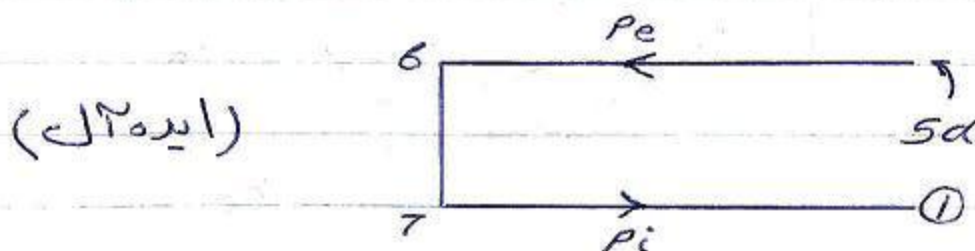
$$\text{مثال - } f = 0.03 \left(\frac{f_2}{f_1} \right)_{Pe/Pi} \left(\frac{f_{800}}{f_{520}} \right)_{T_i} = 0.08$$



ضریب تصحیح

* شکل‌های 4.6 هم برای تعیین f است اما دست ما مانند شکل‌های 4.5 باز نیست. در این نمودارها هم می‌توان بر حسب FR و r تصحیح انجام دهیم.

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



$$W_i = P_i (V_1 - V_2) \quad \text{کار مکش}$$

$$W_e = P_e (V_2 - V_1) \quad \text{کار تخلیه}$$

$$\text{کار پیچاوی} = W_p = W_i + W_e = (P_i - P_e) (V_1 - V_2)$$

$$\text{پیچاوی } mep = \frac{W_p}{V_1 - V_2} = P_i - P_e$$

مسئله - سیکل سوخت هوایی با فشار محدود شده‌ای بسازید

که طبق آن سوخت مایع اکثر در انتهای مرحله - تراکم باشد می شود. شرایط معلوم عبارتند از :

$$F_R = 0.8 \quad \epsilon \quad P_1 = 7.35 \text{ Atm} \quad \epsilon \quad T_1 = 720^\circ R$$

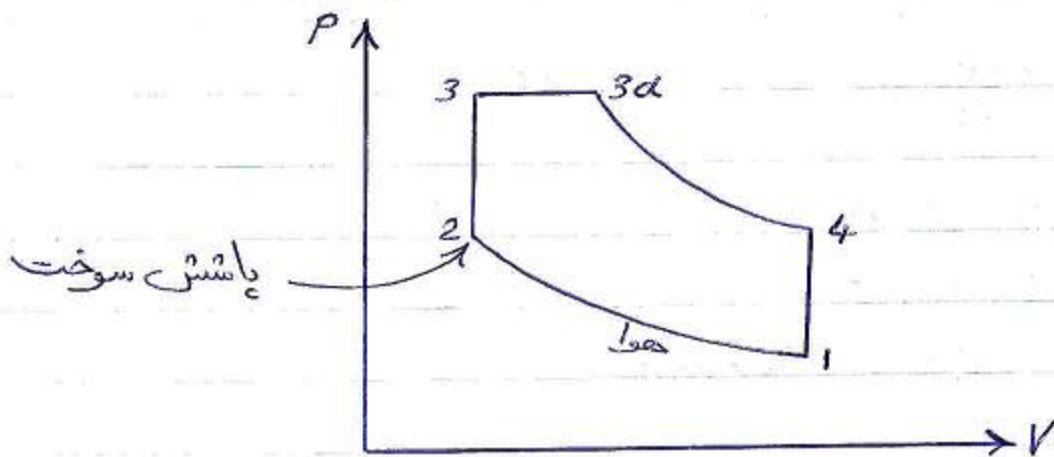
$$\epsilon \quad \beta_f = 0.043 \quad \epsilon \quad h = 0.04 \quad \epsilon \quad r = 14$$

$$E_c = 19180 \frac{\text{Btu}}{\text{lb}} \quad \epsilon \quad Q_c = 19035 \frac{\text{Btu}}{\text{lb}} \quad \epsilon \quad \frac{P_3}{P_1} = 70$$

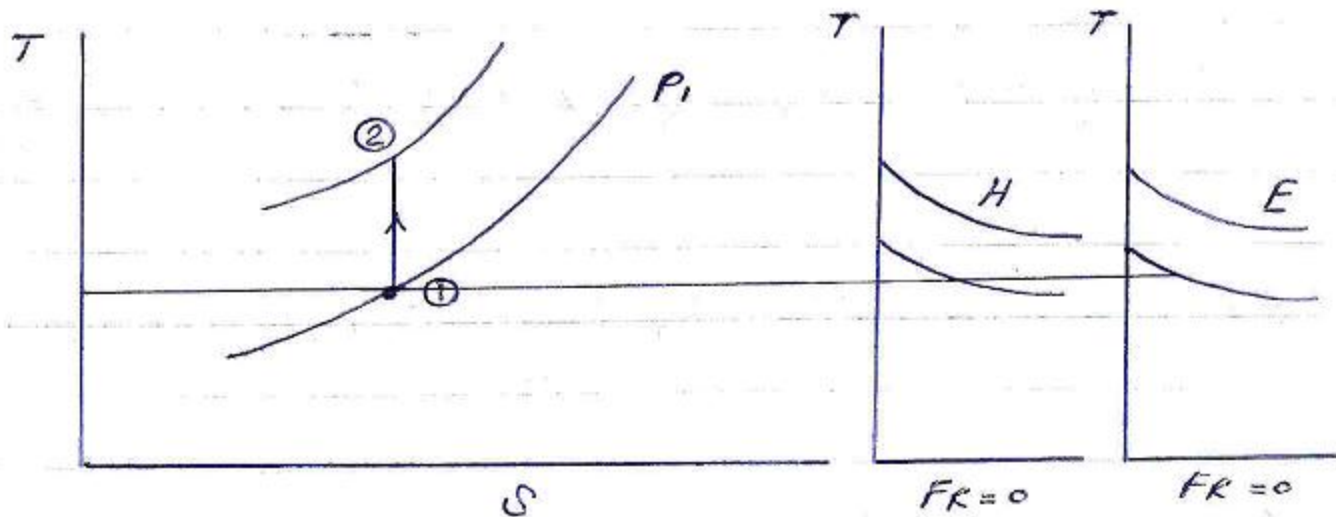
$$M_f = 112 \quad \epsilon \quad F_c = 0.0678 \quad \epsilon \quad H_L = -14.5 \frac{\text{Btu}}{\text{lb}}$$

مقادیر کار mep و بازده -

مرتبط برای این سیکل بیابید.



① $T_1 = 720^\circ$ $\xrightarrow{C-1}$ $V_1^\circ = 1080 \text{ ft}^3$
 $P_1 = 7.35 \text{ psi}$ $\left\{ \begin{array}{l} H_1^\circ = 2062.2 \text{ Btu/lbm} \\ E_1^\circ = 800 \end{array} \right.$
 $F_R = 0$ چون در مرحله تراکم فقط هوا خارج می‌شود.



* فرآیند 1-2 - از نقطه ① در حالت C-1 به موازات $F_R = 0$ (خط قائم) رسم می‌کنیم تا حجم - $V_2^\circ = V_1^\circ / r$ را قطع کند.

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

$$\textcircled{2} \begin{cases} T_2 = 1895 \text{ }^{\circ}\text{R} \\ P_2 = 265 \text{ psi} \\ E_2^{\circ} = 7265 \text{ Btu/lbm} \\ H_2^{\circ} = 11040 \end{cases}$$

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

$$\text{و} \quad m = 29 \rightarrow \frac{1+F}{m} = 0.036$$

$$f' = \frac{(1+F)f + h(1-f)}{1+F+h(1-f)} \quad \begin{matrix} h = 0.04 \\ f = 0.043 \end{matrix} \rightarrow f' = 0.077$$

یا شش سوخت از نقطه $\textcircled{2}$

$$E_2^* = \left(\frac{1+F}{m} \right) E_2^{\circ} + (1-f') F (E_c + H_L) + f' \cdot \text{ } \quad \begin{matrix} \swarrow \\ \circ (FR < 1) \end{matrix}$$

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

$$E_2^* = 1235.8$$

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

$$\frac{P_3}{P_1} = 70 \rightarrow \text{حرف 2-3-3a}$$

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

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

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

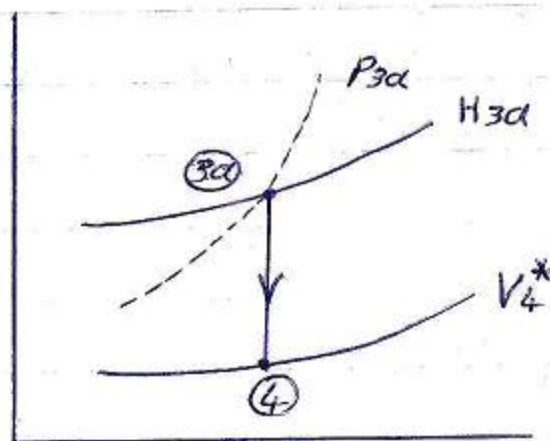
$$H_{3a}^* = 1499.6 \text{ Btu/lbm}$$

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

$$\left| \begin{array}{l} V_{3a}^* = 3.7 \text{ ft}^3 \\ T_{3a} = 4765^\circ R \\ E_{3a}^* = 1156 \text{ Btu} \end{array} \right.$$

* و با رسم خط قائم از نقطه 3a تا خط جمع ثابت $V_4^* = V_1^* \left(\frac{1+F}{m} \right) = 38.8$ داریم :

$$\left| \begin{array}{l} T_4 = 2760^\circ R \\ P_4 = 26.9 \text{ psi} \\ E_4^* = 515.6 \\ H_4^* = 716 \text{ Btu/lbm} \end{array} \right.$$



C-2

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

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

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

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

$$\eta = 0.506$$

مسئله - مخلوط شامل 16m هوای تازه با $F_R = 1.15$ و $k = 0.045$ و مقادیر گاز باقیمانده داخل سیلندر موجود می باشد. در طول مرحله تراکم بار سیلندر تا $\frac{1}{3}$ 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 کاره mep و η را برای این سیکل بیابید :

$$T_i = 780^\circ R \text{ مخلوط تازه}$$

$$P_1 = P_i = 10 \text{ psi}$$

$$P_e = 14.7 \text{ psi}$$

$$Q_c = 19035 \text{ Btu / 16m} \quad (\text{ارزش مردت})$$

$$\begin{array}{l}
 E_c = 19180 \text{ Btu/lbm} \quad \text{انرژی احتراق} \\
 m_f = 112 \quad \text{جرم سوخت} \\
 m_r = 30 \quad \text{جرم محلول باقی مانده} \\
 f_c = 0.0678 \quad \text{نسبت سوخت هوایی استکیومیتریک}
 \end{array}$$

$$H_i^\circ = \frac{m_i}{m_i} (1-f) H_i^\circ + \frac{m_i}{m_r} f H_s^\circ + V^2 (P_i - P_e) \frac{144}{778} \quad \textcircled{I}$$

* چون ماکبت رطوبت شده بجای f باید f' بجای بیاید.

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

$$F = F_R \cdot f_c = 0.0678 (1.15) = 0.078$$

→ معنی (الف - ه)

تخمین f

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{P_e}{P_i} = \frac{14.7}{10} \approx 1.5 \quad r = 5 \\ T_i = 780^\circ \quad F_R = 1.15 \end{array} \right\} \longrightarrow$$

$$\left. \begin{array}{l} F_R = 1.15 \\ r = 5 \end{array} \right\} \longrightarrow f_i = 0.048$$

* ضرب تصحیح به انالی P_e/P_i الف - ه ←

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

* ضرب تصحیح برای T_i (الف - >) ←

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

$$f = (0.048)(1.5)(1.3) = 0.094 \leftarrow \text{حاصل } f$$

$$\rightarrow m = 29.8$$

$$m_i \approx m_c = m_r$$

* حال باید T_e و H_s را حدس بزنیم :

$$\text{فرض} \left| \begin{array}{l} T_s = 2300^\circ R \\ F_R = 1.15 \end{array} \right. \xrightarrow{C-1} H_s = 15300$$

- کتاب با استفاده از فرمول تجربی Rogowski :

$$T_1 = (0.094)(2500)(5) = 900^\circ R \quad \text{حدس } T_1$$

$$\xrightarrow{C-1} \begin{array}{l} \text{نقطه ①} \\ \text{حدس} \end{array} \left| \begin{array}{l} T_1 \text{ حدس} = 900 \\ P_1 = 10 \text{ PSI} \end{array} \right. \xrightarrow{C-1}$$

$$V_1^{\circ} \text{ حرسی} = 957$$

$$V_2^{\circ} \text{ حرسی} = \frac{V_1^{\circ} \text{ حرسی}}{r} = \frac{957}{5} = 191.4$$

$$f' = \frac{f(1+f) + h(1-f)}{1+f+h(1-f)} = 0.127$$

$$\textcircled{I} \rightarrow H_i = (1-0.127) 2835 + (0.127)(15300) + 191.4(10-14.7) \frac{144}{778} \quad \uparrow$$

(H_i به ازای T_i و $Fr = 1.15$ از چارت C-1)

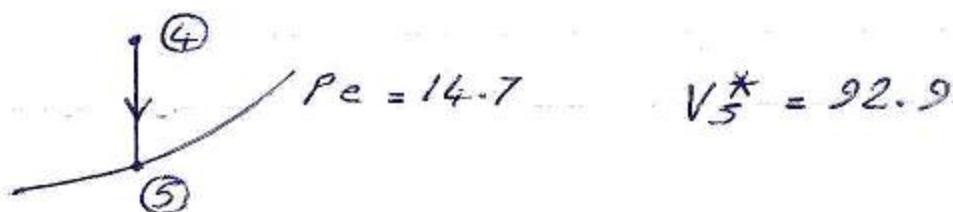
$$H_i = 4261.7 \text{ Btu}$$

$$P_1 = 10 \text{ PSI}$$

* انبارن نقطه ها سبب سبک جمع ثابت مطابق روش -
گفته شده انجام می پذیرد :

$$\textcircled{2} \left| \begin{array}{l} T_2 = 1465^{\circ}R \\ P_2 = 75 \text{ PSI} \end{array} \right. \quad V_2^{\circ} = 207 \rightarrow V_2^* = 7.67$$

$$\textcircled{3} \left| \begin{array}{l} T_3 = 5390 \\ P_3 = 292.8 \end{array} \right. \rightarrow \textcircled{4} \left| \begin{array}{l} T_4 = 4148^{\circ}R \\ P_4 = 43.3 \text{ PSI} \end{array} \right.$$



امکان f : $f = \frac{V_2^*}{V_5^*} = 0.08$

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

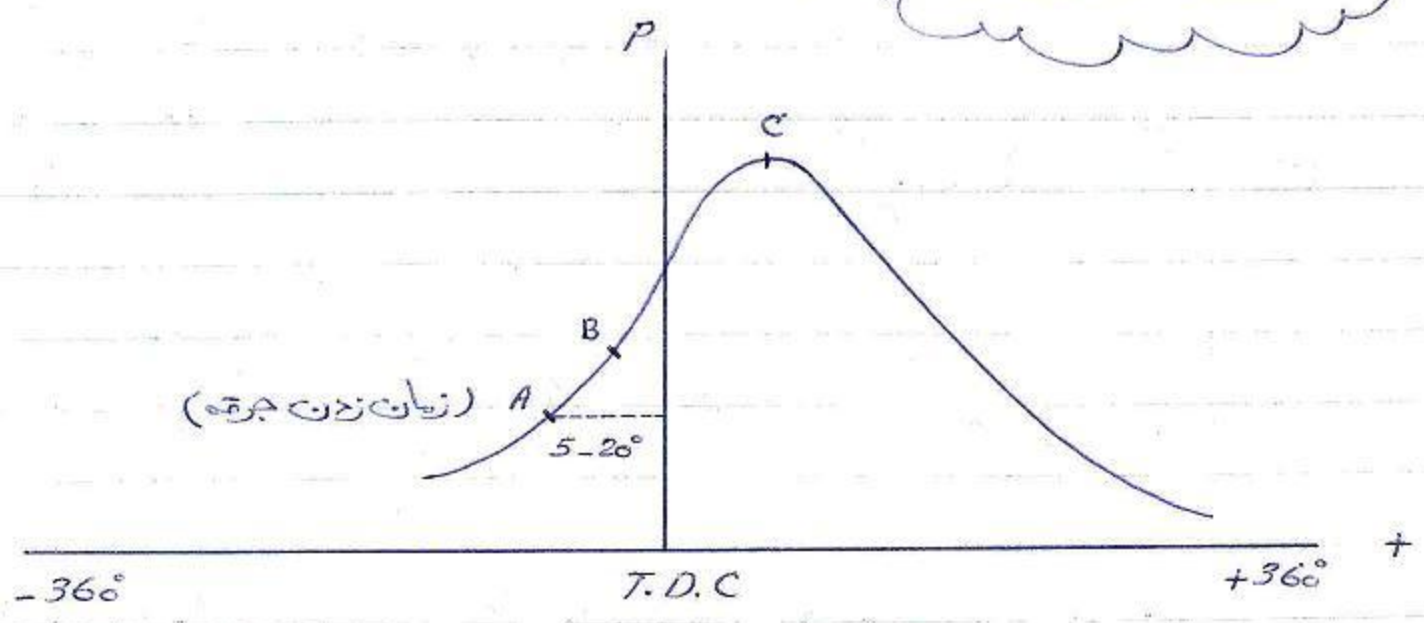


فصل 5

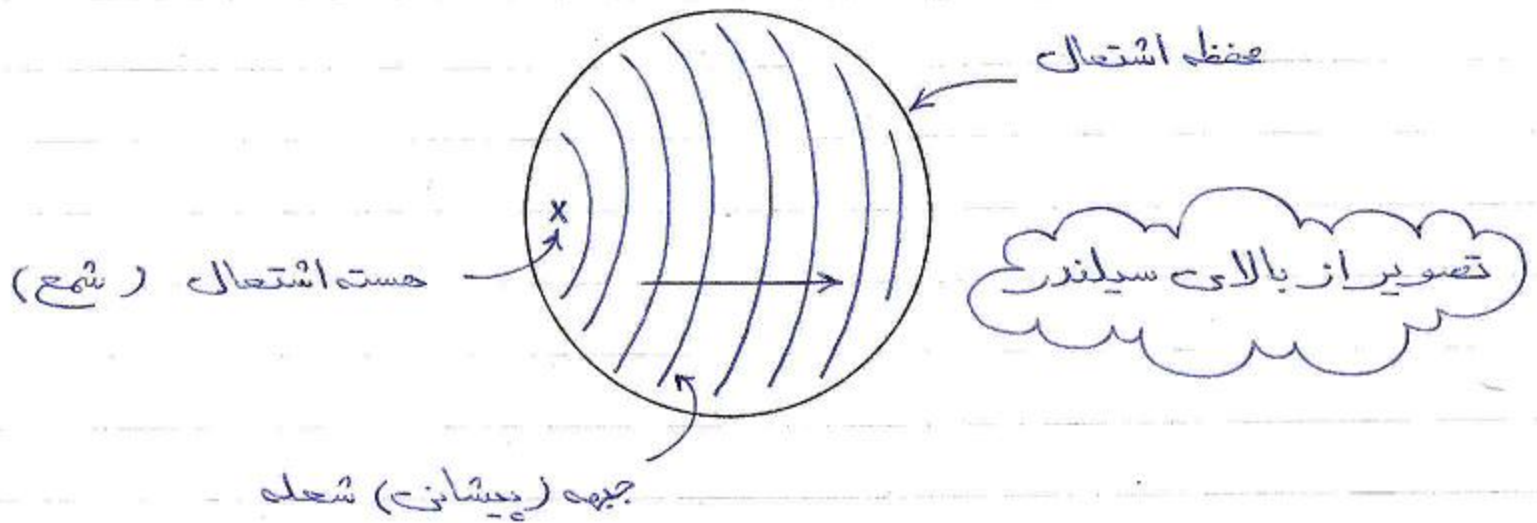
(احتراق در موتورهای SI) :

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

احتراق کنترل شده



زبان AB - زبان تشکیل هسته های اشتعال



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

احتراقیست که طی آن عمل احتراق بدون زدن جرقه و در اثر وجود یک سطح داغ یا نقطه داغ ایجاد می شود، و خود بر سه قسم است :

احتراق کنترل نشده

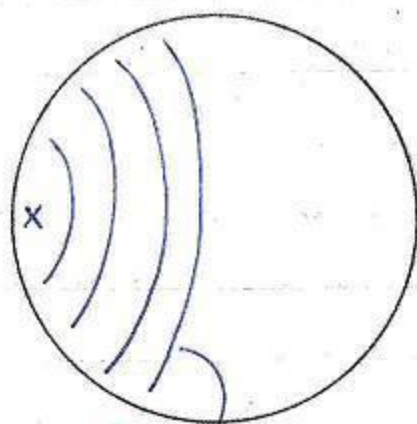
1- Pre ignition (پیش اشتعال) : قبل از زدن جرقه در اثر سطح داغ.

۲- rumbling (غرغر) : بعد از زدن جرقه در اثر سطح داغ.

۳- running on (راجه) : در اثر وجود ذرات داغ.

احتراق غیر عادی

خود سوزی و کو جیس (Detonation or Knock)



گاز انتهای (end gas)

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

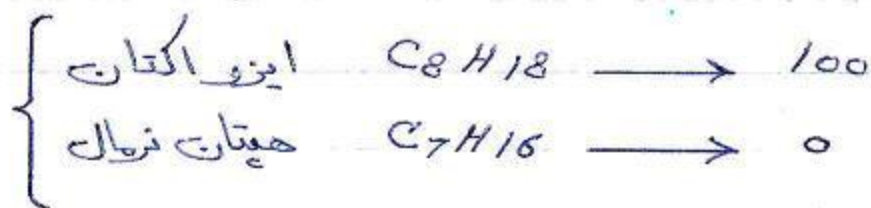
عوامل مؤثر در پدیده کو جیس

عامل	اثر	موثر در کوبش	ضد کوبش
نسبت تراکم	افزایش	✓	
زمان جرقه	آواکس	✓	
تنظیم دریچه گاز (خفگی)	کاملاً باز	✓	
" "	اندرکی باز		✓
قدرت خلوط	فقیر		✓
" "	کمی خفگی	✓	
" "	خیلی خفگی		✓
سرعت موتور	افزایش		✓
حمای هوا ورودی	افزایش	✓	
فشار " "	کاهش		✓
حمای آب خفگی کن	افزایش	✓	

عوامل طراحی در محدود ساختن کوئیشن:

- 1- شمع باید در نقطه‌ای باشد که حرارت فاصله جهت حرکت شعله در حفظه احتراق وجود داشته باشد.
- 2- سوپاپ ورود در ناحیه گاز انتهایی نباشد.
- 3- شکل هندسی اتاق احتراق.

عدد (octane) : نشان دهنده مقاومت سوخت در برابر انفجار است.



* همه سوختها را با دو فرمول فوق می‌سازند.

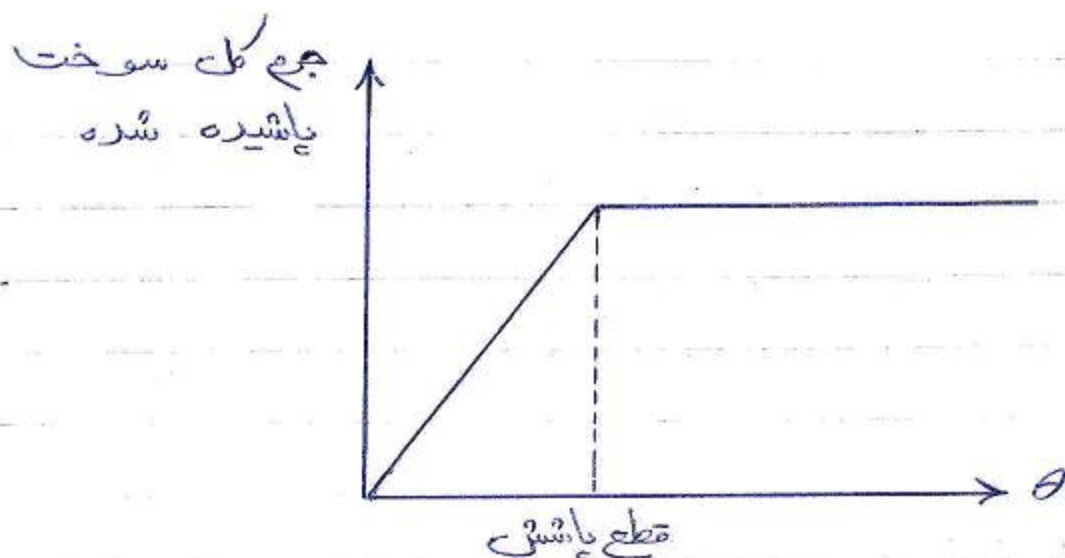


حسب (سرب) این است که وقتی در بنزین بکار می‌رود (برای افزایش عدد اکتان) خاصیت روغنکاری هم دارد چون چرب است.

احتراق در موتورهای (CI) یا دیزلی :

* مراحل احتراق موتورهای دیزلی :

- 1- پاشش سوخت بصورت قطرات ریز (پودر شده) با فشار بالا
بداخل سیلندر.
- 2- سوخت پودر شده در تماس با هوای گرم موجود در انتهای -
مرحله تراکم) گرم و تبخیر می شود.
- 3- سوخت مخلوط شده با هوا ناگهان با شدت زیادی احتراق یافته -
اما 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 شیمیایی : واکنشها ابتدا به کندی پیش می روند .

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

mili second (ms)

P بر حسب (at.)

« رابطه Wolfer »

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

[دوده کم (تسخیر کم) - NOx زیاد (سخت)]

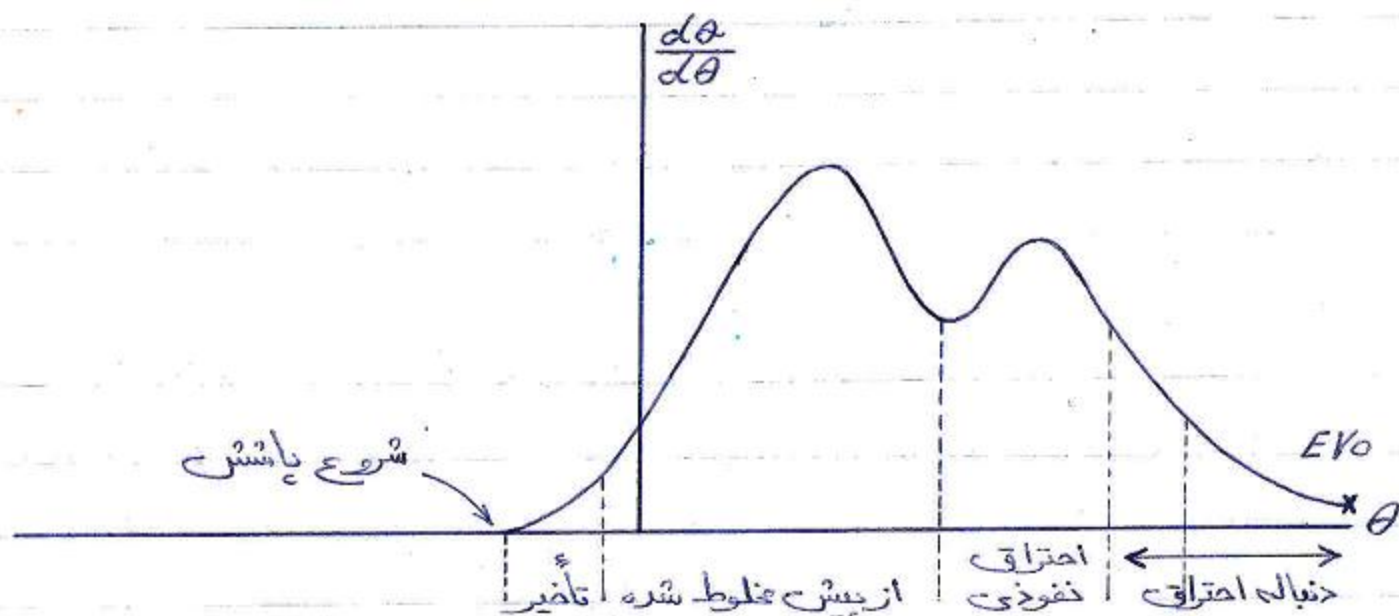
۳- احتراق نفوذی (diffusion) : ادامه احتراق بستگی به -
نفوذ مولکولهای سوخت در
هوای داشته و با شدت کمتری
از قبل ادامه می یابد .

[دوده زیاد - NOx کم]

- ۴- دنباله احتراق (tale of Comb.) : در نهایت مقدار احتراق -
 نفوذی ۲ هنگ کندتری -
 پیدا می کند.

- * چهار مرحله فوق را در « مفعی آزاد سازی حرارت » نمایش می دهند :

« Rate of heat release »



- در اثر افزایش زمان تاخیر روگام کیفیت -
 سوخت (سوخت آماده شده ممکن است -
 با سرعت بالاتر احتراق یافته و منجر به
 افزایش شدید فشار داخل سیلندر شود.

کوبش دیزلی



:

افزایش نسبت تراکم
یا شش ۲ قش را
سوخت یا عدد ستان بالاتر
استفاده از شمع گرم کن (glow plug)

۱- کاهش زمان تأخیر

۲- کاهش سرعت یا شش سوخت

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

1- Swirl (حرکت گردایی): هنگام ورود هوا به سیلندر.

2- Air Turbulence: حرکت هوا در طول مرحله تراکم.

3- Squish: حرکت هوا در انتهای تراکم. (از محیط بطرف

مرکز سیلندر).

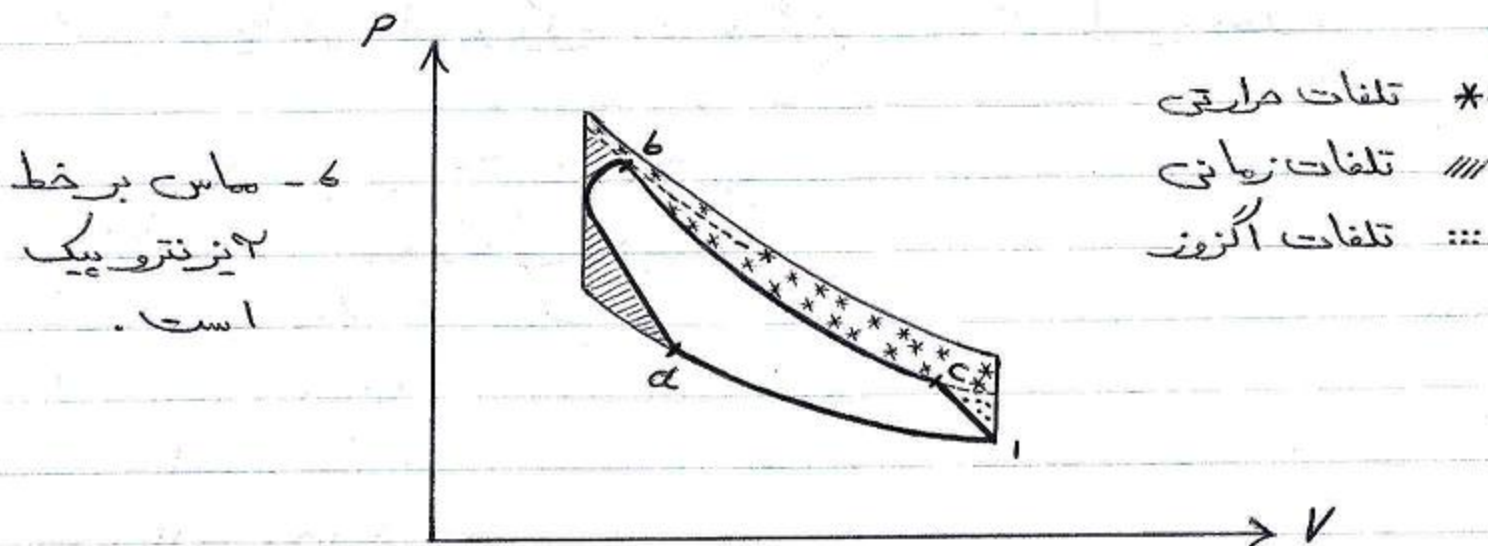
4- Comb. Turbulence: حرکت مخلوط سوخت هوا و محصولات در

حین احتراق.



اندکی مانده تا:

سیکل های واقعی :



((عوامل ایجاد اختلاف بین سیکل های واقعی و سوخت - هوا)) :

- ۱ - leakage (نشت) (blow by سوخت نشت شده از دیاگرام)
- ۲ - احتراق ناقص (بیشتر در ابتدای کار موتور)
- ۳ - سوختن پیش رونده (progressive burning) . صفحه ۱۱۹ شکل ۲-۵ . 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 دارد) .
- ۶ - تلفات انرژی

انواع اندیکاتور برای دیاگرام های P-v یا P-θ :

- ۱- اندیکاتور بیستونج (وات) : دیاگرام $P-V$ را می دهد.
- ۲- اندیکاتور با فشار متعادل شده : دیاگرام $P-\theta$ را می دهد.
- ۳- اندیکاتور الکترونیکی : دیاگرام $P-V$ را می دهد.

تلفات در موتورهای دیزل

- ۱- تلفات تست
- ۲- تلفات زمانج
- ۳- تلفات حرارتی
- ۴- تلفات اگزوز

فصل « 6 »

ظرفیت هواپذیری (Air Capacity) :

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

(SI) بازاء F ثابت و r و تا پمپج برقه در بهترین حالت (اندمان MAX) توان با دبی هوای ورودی تنظیم می شود :

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

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

$$P \sim M \alpha$$

تعاریف :

ظرف مکش - زمان بین باز بسته شدن سوپاپ ورودی .
 SI : سوخت + هوا + بخار آب
 CI : هوا + بخار آب
 مخلوط تازه

گاز باقی مانده - گاز هائی که از سیلندر قبل باقی مانده .

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

هم مخلوط تازه ای که در طی زمان مکش وارد سیلندر می شود = اندمان حجم
 (هم مخلوط تازه ای که بتواند جمع جا بجا شده توسط سیلندر را با هم
 جمع مخصوص مخلوط تازه پر کند .

$$e_v = \frac{\dot{M}_i}{\frac{N}{2} V_d P_i}$$

« برای چهار زمانه »

P_i در ورود به موتور اندازه گرفته می شود (اندازه گیری کلی)

P_i در هر چه ورودی سیلندر اندازه گرفته می شود.

اندازه گیری

* در موتورهای عادی ضریب نمی کنند اما در موتورهای سوپرشارژ باید در حالت دویم حساب کنیم که تنها اثر پیستون را در نظر بگیریم و اثر کپرسور بر محاسبه اندازه گیری اعمال نشود.

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

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

$$(V_d = A_p \dot{V})$$

A_p - سطح مقطع پیستون
 \dot{V} - کورس پیستون (ارتفاع بین نقاط مرگ بالا و پایین)

$$\text{(سرعت خطی پیستون): } \dot{V} = 2 N \dot{V} \rightarrow \dot{V} = \frac{\dot{V}}{2N}$$

$$V_d = A_p \dot{V} / 2N$$

$$e_v = \frac{2 \dot{M} \alpha}{N P_d \cdot \frac{A P D}{2 N}} \longrightarrow$$

$$e_v = \frac{4 \dot{M} \alpha}{P_d A P D}$$

مخلوط تازه = هوا + سوخت + بخار آب
 * از قانون Dalton:

$$P_i = P_d + P_f + P_w$$

$$N_T = N_d + N_f + N_w \quad (\text{نسبت های مولی})$$

$$\frac{P_d}{P_i} = \frac{N_d}{N_T} \quad , \quad \frac{P_f}{P_i} = \frac{N_f}{N_T} \quad ,$$

$$\frac{P_w}{P_i} = \frac{N_w}{N_T} \quad \xrightarrow{\text{جا گذاری}}$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{P_d}{P_i} &= \frac{P_d}{P_d + P_w + P_f} \\ \frac{P_d}{P_i} &= \frac{N_d}{N_d + N_w + N_f} \end{aligned} \right.$$

$$N = \frac{M}{m} \quad \text{مولى مع داده نبع كه}$$

$$\frac{P_d}{P_i} = \frac{1}{1 + \frac{m_d}{m_w} \left(\frac{M_w}{M_d} \right) + \frac{m_d}{m_f} \left(\frac{M_f}{M_d} \right)}$$

h (نسبت رطوبت)

F_i (نسبت سوخت گازي و هوا)

$$\frac{P_d}{P_i} = \frac{1}{1 + 1.6 h + \left(\frac{29}{m_f} \right) F_i}$$

چون : $P_i = \frac{R T_i}{29 P_i}$ } \rightarrow

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

$$\frac{P_d}{P_i} = \frac{R T_i / 29 P_d}{R T_i / 29 P_i} = \frac{P_i}{P_d} \rightarrow$$

$$P_d = P_i \frac{P_i}{P_d}$$

* يا قرار دادن مقدار (P_d) :

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

۳-۱ - از جدول

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 کورس را تقریباً (1) در نظر می گیریم :

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

$$e_v = \frac{4 \dot{M}_a}{P_a A_p D} \rightarrow \dot{M}_a = \frac{e_v P_a A_p D}{4}$$

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

توان

$$J = \frac{778}{33000} \text{ kP}$$

(در فرمول فوق باید تبدیل واحدها حتماً رعایت شود)

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

$$V_d = A_p \cdot S$$

$$D = 2NS \rightarrow$$

$$V_d = A_p \frac{D}{2N}$$

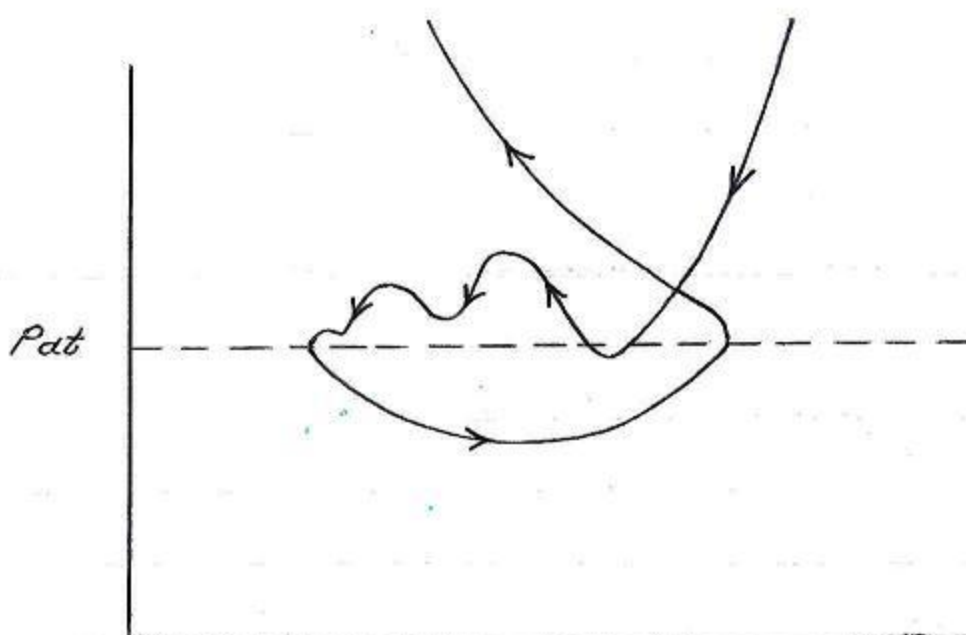
$$imep = J e_v P_a (F \theta_c \eta)$$

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

(باید بر 144 تقسیم کرد تا psi شود)

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

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



* صفحه 547 (رابطه 37-پ)

* روش دیگر استفاده از متغیر آنالیز ابعادی است (ص 176):

نتایج آنالیز ابعادی بر روی عوامل مؤثر در راندمان همچون نشان می‌دهد که:

$$e_v = \phi \left(\frac{U}{\alpha}, \frac{P_e}{P_i}, \frac{\alpha L P}{\mu B_0}, \frac{T_i C_p}{F \theta_c}, \frac{T_c C_p}{F \theta_c}, F, R_1, \dots, R_n \right)$$

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

* بین ورود به سیلندر و داخل آن :

$$A_p \cdot \Delta = A_i \cdot u \cdot C_i$$

سرعت سیال در حین ورود به سیلندر از طریق سوپاپ ورود ضرب جریان سیال در حین عبور از سوپاپ ورودی

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

b - قطر داخلی سیلندر (bore)

D - قطر دهانه سوپاپ ورودی

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

(سرعت در ورود Max است)

* شاخص ماخ ورودی (inlet Mach Index) :

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

عدد رینولدز :

$$\frac{\alpha L P}{\mu g}$$

اثر دمای ورودی نشان می دهد :

$$\frac{T_i C_p}{F \theta_c}$$

اثر دمای سیال خنک کن (روش خنک کاری) را

$$\frac{T_c C_p}{F \theta_c}$$

بر نشان می دهد.

F : نسبت سوخت - هوا
 R_1 و ... و R_n : پارامترهای طراحی



بر آورد ظرفیت هوا پذیری :

۱ - سرعت و شرایط اتمسفر یکی را بدست آورید که طرح آن ظرفیت هوا پذیری Max است.

۲ - قطر سوپاپها و ضرایب جریان را بدست آورید (اگر قبلاً تعیین نشده).

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

$$Z = 0.5 - 0.6 \rightarrow \text{ک مناسب بدست می آید}$$

(قطر دهانه سوپاپ خروجی 60% ورودی است)

۳ - به ازاء مقدار انتخاب شده Z اندمان همی مبنائش (evb) از شکل مناسبی در این فصل بدست می آید

$Z < 0.5$: شکل 6.16 (مانیفولد کوتاه)

$Z > 0.5$: شکل 6.13 (" ")

برای مانیفولد ورودی بلند : شکل 6.27

ع - با استفاده از رابطه زیر اندمان حجمی بند (۳) را تصحیح کنید:

$$\frac{e_v}{e_{v6}} = \sqrt{\frac{T_i}{T_{i6}} \left(\frac{T_{c6} + 2000}{T_c + 2000} \right) K_p \cdot K_f \cdot K_{IC} \cdot K_{IP}}$$

تصحیح برای دمای ورودی

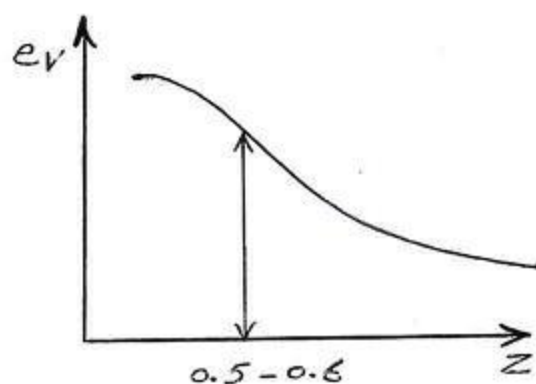
تصحیح برای دمای خنک کنی

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

مسئله - یک موتور دیزل چهار زمانه پر خورانی فشرده با شرایط اولیه زیر مفروض است:

$4.7 \text{ Psi} = P_i$	}	$16 = r$	}
$1 = \frac{P_e}{P_i}$		$8 = r$ (تعداد سیلندر)	
$600^\circ K = T_c$ (خنک کنی)	}	$5'' = b$ (قطر داخلی سیلندر)	}
		$7'' = s$ کورس	
		$1200 \text{ RPM} = N$	
		$0.7 = F_r$	
		$520^\circ K = T_i$	

به ازای Min قطر سوپاپ ورودی مجاز اگر طول لوله مانیفولد ورودی کوتاه بوده، زاویه 90° و سوپاپ ورودی با 60° تغییر نسبت به نقطه مرگ پایین بسته شود بازده η_{eff} ، توان واقعی، i_{SFC} و i_{MEP} را بیابید.

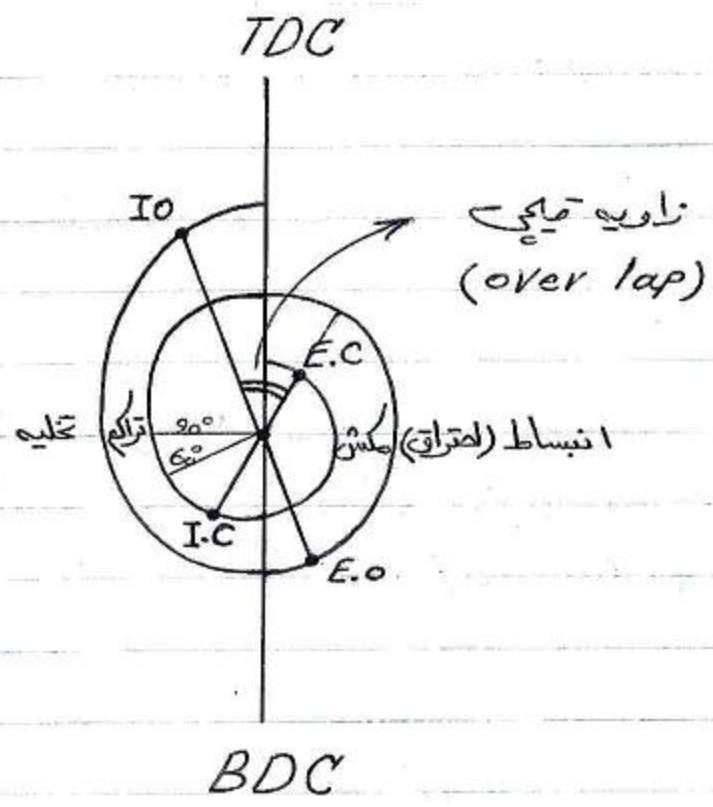


$$Z = 0.6$$

* اگر اطلاعات داده شده بود بر اساس $(Z = (\frac{k}{D})^2 \frac{D}{C_i \alpha})$ مقدار Z حساب می‌کنیم ولی اگر نبود معمولاً در حدود 0.5 یا 0.6 در نظر می‌گیریم؛ در شکلها $16-6$ باید به اطلاعات داده شده در زیر توجه کرد. همینطور در صفحه پشت آری. این اطلاعات را (مبنا) می‌گویند.

- | | | |
|--------------|------------------|--------------------------|
| | - BTC | قبل از نقطه مرگ بالا |
| | - ATC | بعد از نقطه مرگ بالا |
| | - BBC | قبل از نقطه مرگ پایین |
| | - ABC | بعد از نقطه مرگ پایین |
| (Inlet open) | - I _o | زمان باز شدن سوپاپ ورودی |
| | - B _o | (exhaust open) |

* برای یک موتور چهار زمانه :



- * مکس و تراکم روی یک دایره است (360°)
- * اختراق و تخلیه روی یک دایره است (360°)

720°

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

۲- شکل قابل استفاده ما شکل ۶-۱۳ یا ۶-۱۶ است. مثلاً از شکل ۶-۱۶ استفاده می‌کنیم و به ازای $Z=0.6$ داریم:

$$e_{V6} = 0.83$$

* براساس اطلاعات مبنای زیر نویس منحنی ۶-۱۶ تهیه می‌کنیم:

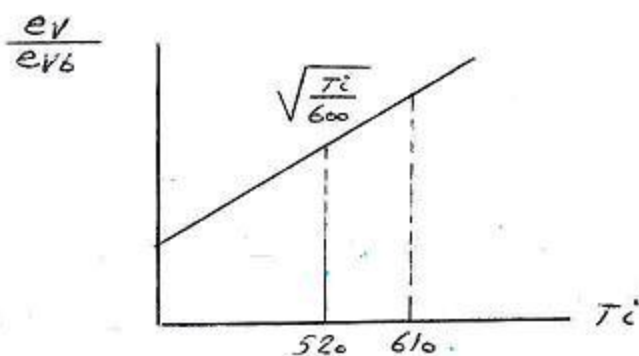
$$\sqrt{\frac{520}{610}} = 0.925$$

تقسیم برای دمای ورودی :

$$\frac{640 + 2000}{600 + 2000} = 1.015$$

تقسیم برای دمای خنک کن :

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



* **زاویه قیچی (over lap)**: زاویه ای از میل لنگ است که طی آن هر دو سویاب باز هستند. این حالت لازم است تا کوپان ایجاد شود و گازهای باقی مانده خارج شوند. در موتورهای بنزینی - چون سیال ورودی مخلوط سوخت و هوا است زیاد بودن زاویه قیچی موجب تلفات سوخت می شود اینها در موتورهای دیزل اینطور نیست. در موتورهای بنزینی حداکثر 8° و در دیزل حتی تا 17° است.

* اگر زاویه قیچی کوچک باشد ($10^\circ - 6^\circ$) از شکل ۶-۴ ضریب تقسیم (Kp) بدست می آید ولی برای زاویه قیچی بزرگ از شکل ۶-۲۳ استفاده می کنیم.

اندازه ماندگی :

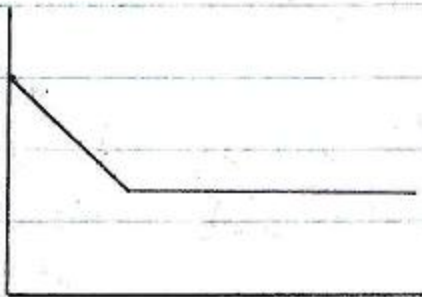
$$\pi = \frac{\text{جرم تازه با قیانه در سیلندر}}{\text{جرم تازه فراهم شده}} = \frac{M'a}{Ma}$$

(π میزان تلفات را بر اثر زاویه تصحیح نشان می دهد)

(e_v اندازه حجم بر اساس جرم با قیانه در سیلندر است)

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

$$\left. \begin{array}{l} \frac{P_e}{P_i} = 1 \\ 0.4 = 90^\circ \\ Z = 0.6 \end{array} \right\} \xrightarrow{6-22} \begin{array}{l} K_p = 1.046 \\ \pi = 1 \rightarrow e_v = e_v' \end{array}$$



(K_F) از شکل ۶-۱۱ :

- * یکبار به انالی Fr مسئله می خوانیم و یکبار به انالی Fr مینا - در زیر شکل ۶-۱۶ می خوانیم (چون پارامترهای شکل ۶-۱۶ و ۶-۱۱ متفاوت است) و حاصل را برهم تقسیم می کنیم

همواره این طور است که به ازای مینا و صورت مسئله خواننده و برهم تقسیم می‌کنیم:

$$\left. \begin{array}{l} F_{R6} = 1.1 \\ F_R = 0.7 \end{array} \right\} \rightarrow K_f = \frac{1.013}{1} = 1.013$$

* (K_{IC}) از شکل ۶-۱۳ تصحیح می‌شود: یکبار به ازای 60° صورت مسئله می‌خوانیم و یکبار به ازای 50° مینا که زیر نویس شکل ۶-۱۶ است می‌خوانیم و برهم تقسیم می‌کنیم: (تمام شرایط Base مال شکل است که اندمان شیب را از آن درست کرده ایم ۶-۱۶ یا ۶-۱۳)

$$K_{IC} = \frac{(e_v/e_{v6})_{60^\circ}}{(e_v/e_{v6})_{50^\circ}}$$

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

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

* اگر بلند بود از شکلهای ۶-۱۶ یا ۶-۱۷ یکبار برای شرایط مسئله و یکبار برای شرایط مینا خواننده و برهم تقسیم کرده و (K_{IP}) را می‌یابیم.

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

تلفات هارتنی

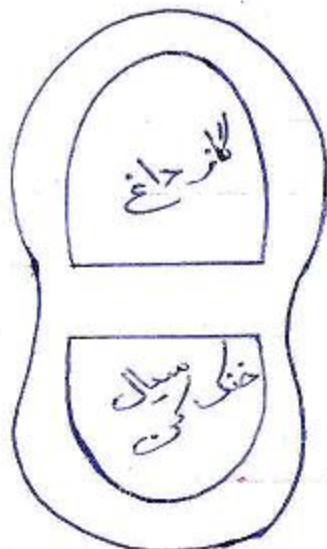
- | | |
|----------------------------------------|---|
| ۱ - تلفات هارتنی در طول تراکم و انبساط | } |
| ۲ - " " " از طریق آب خنک کن | |
| ۳ - " " " از طریق روغن | |
| ۴ - " " " ناشی از اصطکاک | |

* در سیستم انگلیسی :

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

$$\begin{cases} g_0 = 32.2 \frac{ft}{s^2} \\ G = \frac{\dot{m}}{A} = \rho \cdot V \end{cases} \quad \text{« سرعت جرمی »}$$

* فرض می‌کنیم موتور یک مبدل هارتنی است :

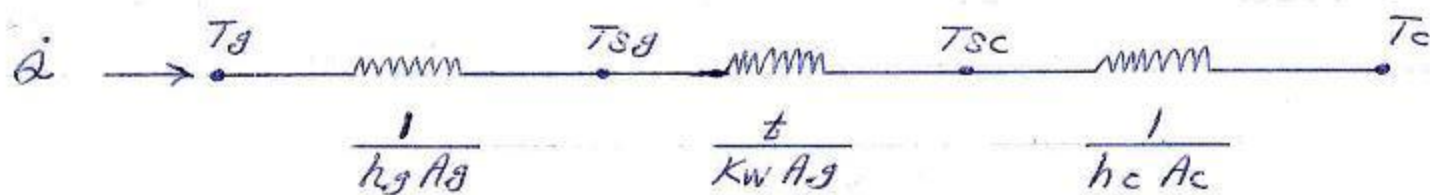


- T_g دمای گاز
- T_c دمای خنک کن
- T_{sg} دمای سطح سمت گاز
- T_{sc} دمای سطح سمت خنک کن
- h_g ضریب جابجایی گاز
- h_c ضریب جابجایی خنک کن

- K_w - ضریب هدایت سطح
- t - ضخامت سطح
- A_g - سطح سمت گاز
- A_c - سطح سمت خنک‌کن
- \dot{Q} - تبادل حرارت بین گاز و خنک‌کن

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

* 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 بهتر
بجای

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 می‌گیرد.
- 2 - شدت انتقال حرارت ثابت نیست.
- 3 - شکل هندسی سیستم متغیر است (بالا و پایین رفتن پیستون).
- 4 - دمای گاز در نقاط مختلف فرق می‌کند.
- 5 - دمای سطح داغ و خنک کن از نقطه‌ای به نقطه دیگر متغیر است.
- 6 - معادله از حرارت از طریق پیستونها ایجاد می‌شود.
- 7 - ضریب حرایت چهار سیلندر با توجه به خرابی ته نشین شده، خود و قلیع روغن فرق می‌کند.
- 8 - حرارت همیشه از جای گرمتر به جای سردتر منتقل می‌شود (مثلاً)

در هنگام ورود مخلوط تازه حاوی جبار بیشتر است و انتقال حرارت از جبار به مخلوط رقیق می دهد و پس از احتراق جهت انتقال حرارت معکوس می شود.



با فرض :

- A_g - سطح سیلندر در طرف گاز
- A_c - سطح سیلندر در طرف خاک کن
- δ - ضخامت سیلندر
- K_w - ضریب هدایت سیلندر
- b - قطر سیلندر بعنوان بعد مشخص

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

$$K' = c Pr^m \longrightarrow$$

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

$$h_g = \frac{(K K' Re^n) g}{b} \quad * \text{ با قرار دادن :}$$

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

1- حرارت از واحد سطح :

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

2- دمای سطح داغ داخلی :

$$\frac{T_{sg} - T_c}{T_g - T_c} = \frac{\frac{t K_g}{b K_w} + \frac{A_g}{A_c} \left[\frac{K_g}{(K K' Re^n)_c} \right]}{\frac{1}{(K' Re^n)_g} + \frac{t K_g}{b K_w} + \frac{A_g}{A_c} \left[\frac{K_g}{(K K' Re^n)_c} \right]}$$

3- اختلاف دما در دیوار :

$$\frac{T_{sg} - T_{sc}}{T_g - T_c} = \frac{\frac{t K_g}{b K_w}}{''}$$



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

ب - T_{sg} یا توجه به جنس سیلندر و ساقه سوپاپ محدود می شود (با دانستن آن می توان جنس را انتخاب کرد).

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

نقاطی که بیشتر در معرض دمای بالا هستند

- 1- سر شمع
- 2- سوپاپ دوحه ریا پلهای درجه انزوز در موتورهای دوزمانه
- 3- تاج رس پیستون

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

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

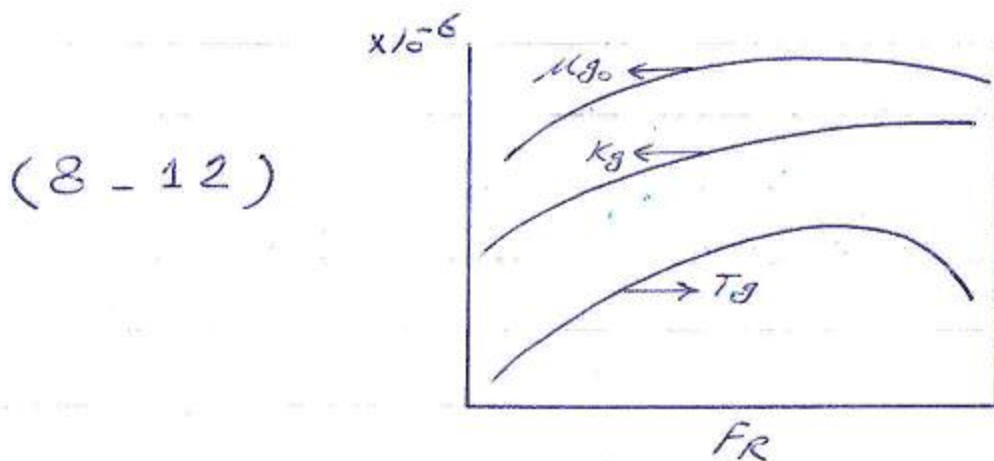
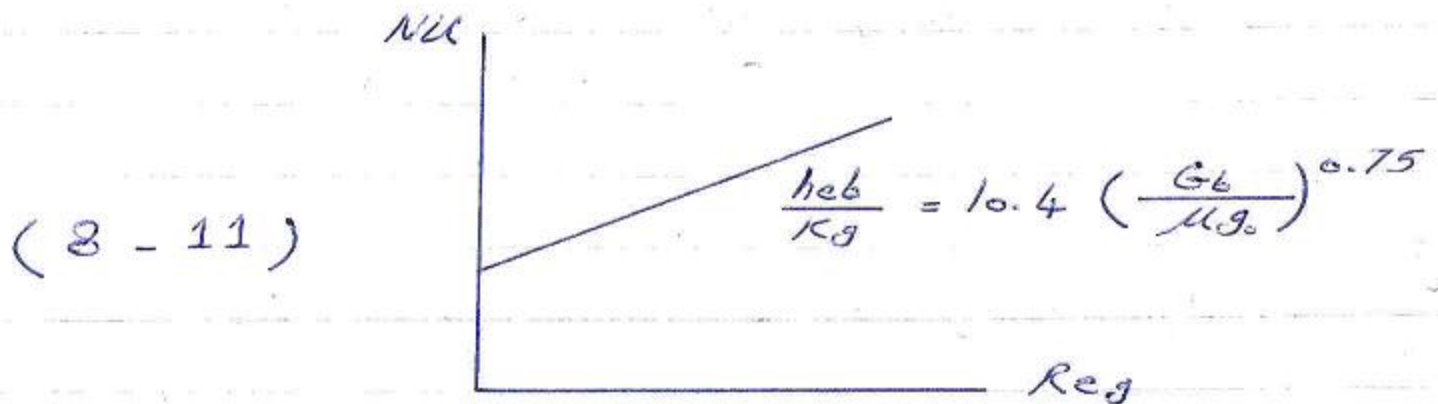


* برای محاسبه انتقال حرارت در موتورها با معرفی ضریب کلی انتقال حرارت h_c از رابطه زیر می توان استفاده کرد :

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

$$\left\{ \begin{array}{l} A_p = \frac{n \pi b^2}{4} \quad \begin{array}{l} b - \text{قطر سیلندر} \\ n - \text{تعداد سیلندر} \end{array} \\ h_c = \phi \left(\frac{G_b \sigma}{\mu g_0} \right) \quad \begin{array}{l} \text{خواص دوده در سمت} \\ \text{گاز خوانده می شود} \end{array} \end{array} \right.$$

* از معادله‌های 8.11 و 8.12 برای تخمین انتقال حرارت از سیلندر مورد استفاده قرار می‌گیرد. در استفاده از این شکل بر اساس Re سمت گاز می‌توان h یا NU (شکل 8-11) یافت.



گرمای داده شده به خنک‌کن + گرمای داده شده به روغن = Q
 حرارت ناشی از اصطکاک بیستون -

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

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

$T_i = 80$

۱- پارامتر اتلاف هارتس از واحد سطح :

$$\begin{cases} \frac{\dot{Q}}{A_p} = K_e G^{0.75} (T_g - T_c) \\ K_e = 10.4 \frac{K_g}{b} \left(\frac{b}{\mu g} \right)^{0.75} \end{cases}$$

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

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

$$G = \frac{\dot{M}_a + \dot{M}_F}{A_p} = \dot{M}_a \frac{(1+F)}{A_p} \quad (\text{سرویت جرمی})$$

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

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

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

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

$$P = \dot{J} \dot{M} F \theta_c \eta = \dot{J} \dot{\theta} F \eta \rightarrow$$

$$\frac{\dot{J} \dot{\theta}}{P} = \frac{\dot{\theta}}{\dot{\theta} F \eta}$$

مسئله قبلی - ادامه حل :

$$e_v = e_v' = 0.821$$

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

$$P_d = \frac{29 P_i}{R T_i} = \frac{29 (14.7 \times 144)}{1545 (520)} \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{تبدیل PSI به} \\ \frac{16}{\text{ft}^2} \end{array} \right.$$

$$P_d = 0.076 \text{ lbm / ft}^3$$

$$P_i = \frac{\sigma}{4} A_p D P_d e_v' F \theta_c \eta_i$$

$$\left\{ \begin{array}{l} r = 16 \\ F_R = 0.7 \end{array} \right. \xrightarrow{\text{فرق}} \left\{ \begin{array}{l} \frac{P_d}{P_i} = 70 \\ \text{شکل 4.6} \end{array} \right. \rightarrow \eta_{i0} = 0.53 \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{رویش حدس} \\ \eta_i \end{array} \right.$$

(اگر موتور SI بود از 4.5)

$$\text{موتور} : \eta_i = 0.85 \eta_{i0} = 0.45$$

$$P_i = \frac{778}{4 \times 33000} (1.021) (1400) (0.076) (0.821) [(0.7 \times 0.0678) 19035 (0.45)]$$

$$P_i = 228.08 \text{ i hp}$$

$$iSFC = \frac{2545}{20 \eta_i} = \frac{2545}{(19035) (0.45)}$$

$$iSFC = 0.297 \text{ lbm / hp-hr}$$

$$i_{mep} = \bar{P} \rho_a e_v' (F \theta_c \eta_i)$$

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

$$i_{mep} = 136.9 \text{ psi}$$

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

$$F_R = 0.7 \xrightarrow{8-12 \text{ } \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} T_{g_{80}} = 613 \text{ } ^\circ\text{F} \\ K_g = 7.6 \times 10^{-6} \frac{\text{BTU}}{\text{S-FT-F}^\circ} \\ \mu_{g_0} = 18.1 \times 10^{-6} \frac{\text{lbm}}{\text{S}} \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} T_i = 520 \text{ } ^\circ\text{R} = 60 \text{ } ^\circ\text{F} \\ T_g = T_{g_{60}} + 0.35 (T_i - 80) \\ T_g = 620 + 0.35 (60 - 80) \\ T_g = 613 \end{array} \right. \quad \therefore T_g \text{ gases}$$

$$Re = \frac{G b}{\mu_{g_0}}$$

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

$$CSFC = \frac{\dot{M}_F}{P_i (3600)} \rightarrow \dot{M}_F = 0.0188 \frac{\text{lbm}}{\text{S}}$$

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

$$G = 0.38 \frac{\text{lbm}}{\text{S-FT}^2}$$

$$Re = 8748$$

$$\xrightarrow{8-11 \text{ } \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} \quad \frac{\text{hect}}{K_g} = 9250$$

$$h_c = \frac{7.6 \times 10^{-6} (9250)}{5/12} = 0.169 \frac{\text{Btu}}{\text{s-ft}^2 \text{F}^\circ}$$

$$Q = h_c A_p (T_g - T_c)$$

$$Q = 0.169 (1.091) (613 - 140) \rightarrow$$

$$Q = 87.21 \text{ Btu/s}$$

فرشاد نسرایی - مهندس پایه یک تأسیسات و مکانیک
 طراحی - نظارت - اجرا
 نظام مهندسی: ۱۵۳۰۰-۱۷۲۷۶
 پروانه مهندسی: ۱۵۳۰۰-۰۲۸۱۵
 شماره شهرسازی: ۱۵۳-۰۱۲۲۲

جزوه آموزشی درس موتورهای احتراق داخلی **آقای دکتر کورش امیراصلانی تبریز**
 دانشگاه آزاد اسلامی واحد جنوب تهران - دانشکده فنی (۱۳۷۳)

(تلفات موتور)

اصطلاح در موتورها

انواع تلفات در موتورها :

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

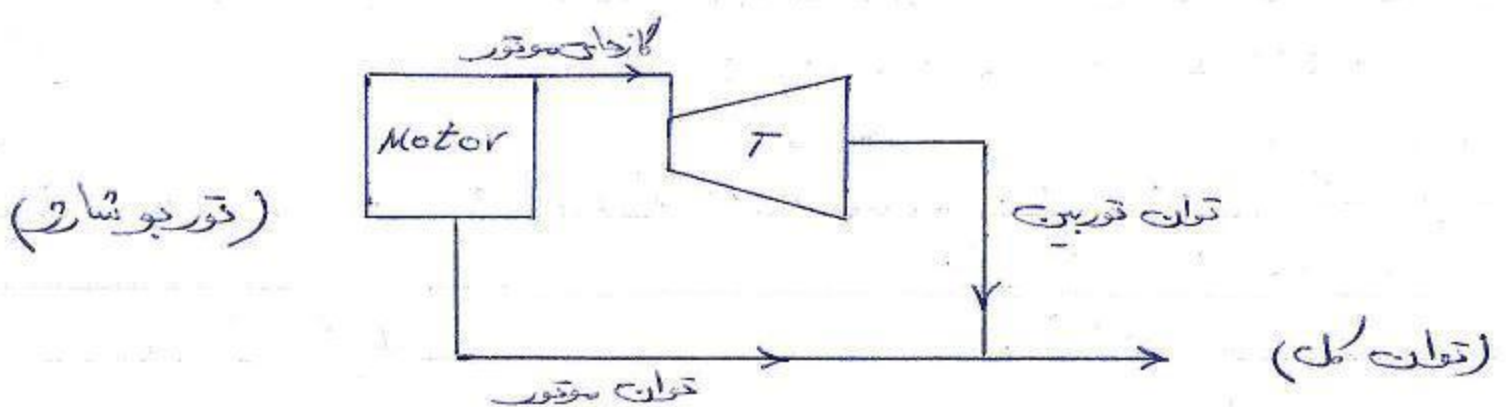
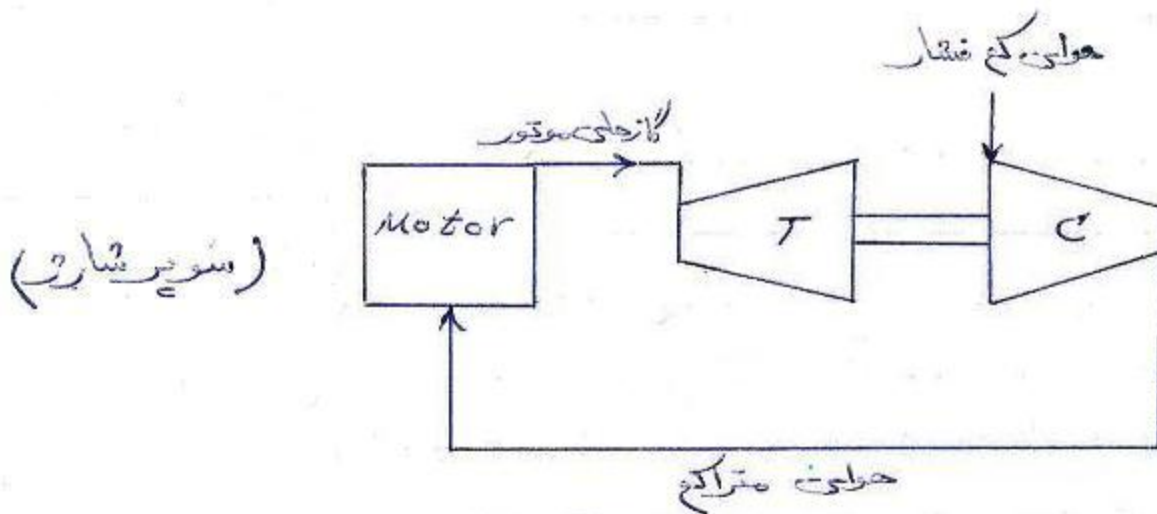
۲ - تلفات پمپاژ - توانی از موتور که صرف مکش یا تخلیه گازها از سیلندر میشود (در موتورهای ۴ زمانه صفر است) (P_p)

۳ - تلفات کپرسور - در موتورهای پر خوانی شده (سوپرشارژ) و موتورهای دو زمانه توانی از موتور است که صرف گرداندن کپرسور می شود (در موتورهای ۴ زمانه غیر سوپرشارژ صفر است) (P_c)

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

P_f (توان تبخیر) : در موتورهای توربوشارژ شده (در سوپر شارژ موتور توربین) پر خنده و توربین

کمپرسور را می‌گردد و کمپرسور هوا را متراکم کرده و لذا با اندام -
 خروجی بالا می‌رود) که حالت خاصی از سوپرساژ است گازهای فشرده
 موتور توربین را می‌پرخانند و توان توربین به توان سفت موتور
 اضافه می‌شود که این حالت را (توربو ساژ) گویند. خرابی -
 حالت توان توربین با توان موتور جمع می‌شود ولی در موتورهای -
 سوپرساژ که توربین به کمک گازهای فشرده موتور تنها کمپرسور را -
 می‌گرداند توان توربین و کمپرسور برابر بوده و جمع آن صفر -
 است.



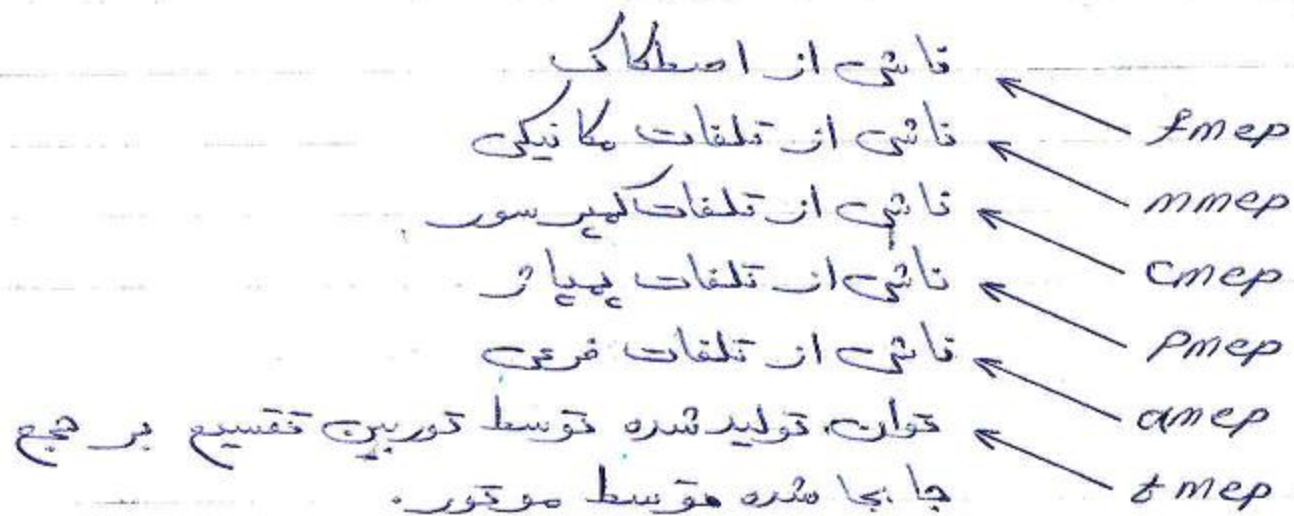
$$P_i - P_b = P_m + P_c + P_p + P_d - P_t$$

$$* \quad f_{mep} = \frac{(2 \text{ یا } 4) P_f}{A_p \cdot \Delta}$$

$$i_{mep} - b_{mep} = f_{mep}$$

↑
 mep ناشی از اصطکاک

$$f_{mep} = m_{mep} + c_{mep} + p_{mep} + d_{mep} - t_{mep}$$

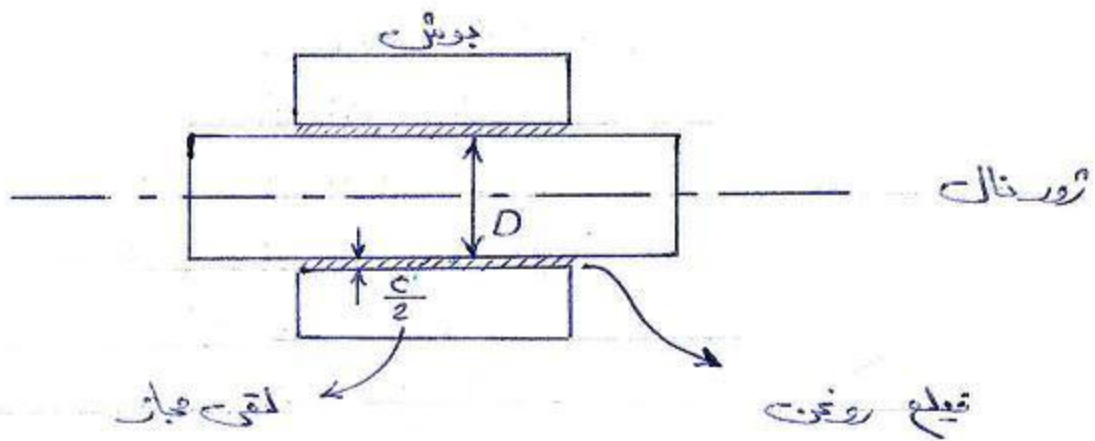


$$(راندمان مکانیکی) \quad \eta_m = \frac{P_e}{P_i} = \frac{b_{mep}}{i_{mep}} = \frac{i_{sfc}}{b_{sfc}}$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \eta_m = 0 \quad \text{موتور تحت بار نباشد} \\ \eta_m > 1 \quad \text{در برخی موتورهای توربوشارژر} \end{array} \right.$$

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)



$$\frac{F}{A} = \mu \frac{dv}{dy} \quad (A = \pi DL)$$

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

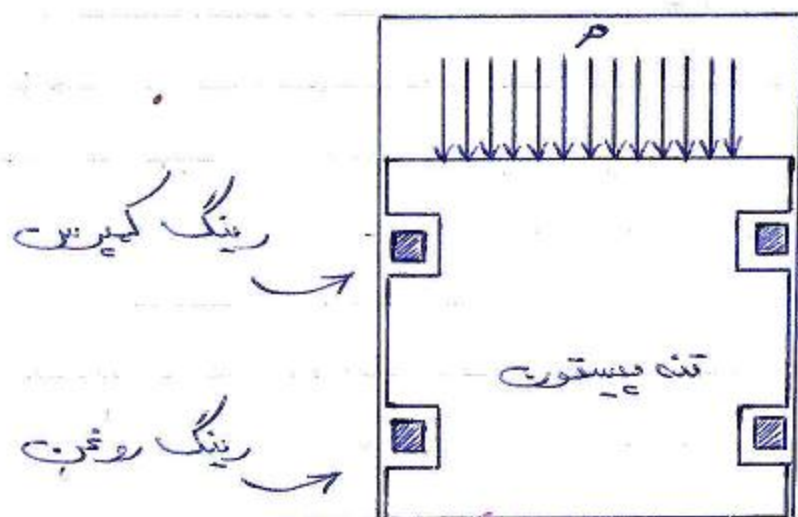
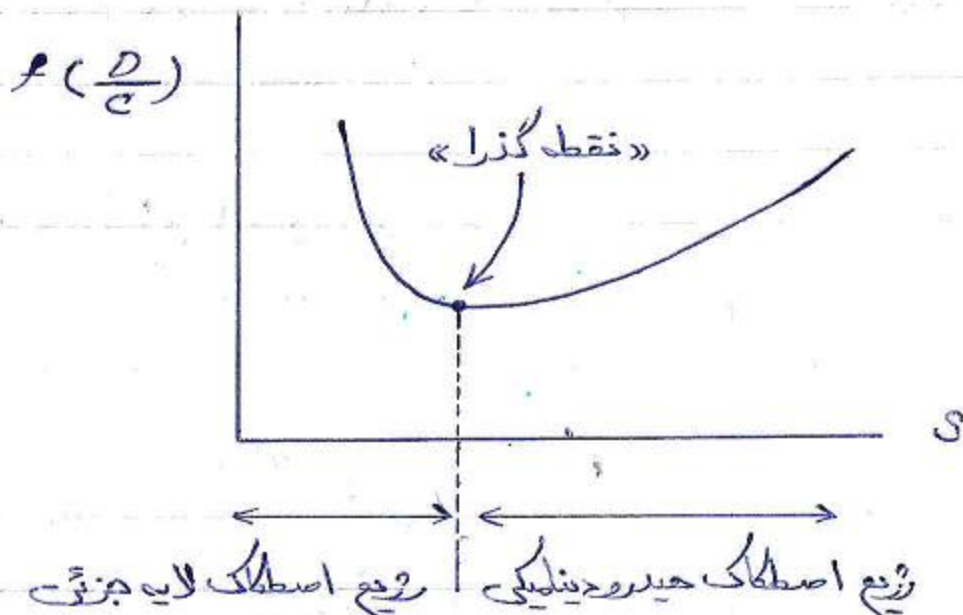
$$\text{بار واحد بر یاتاقان} = f = \frac{F}{W} = \text{ضریب اصطکاک}$$

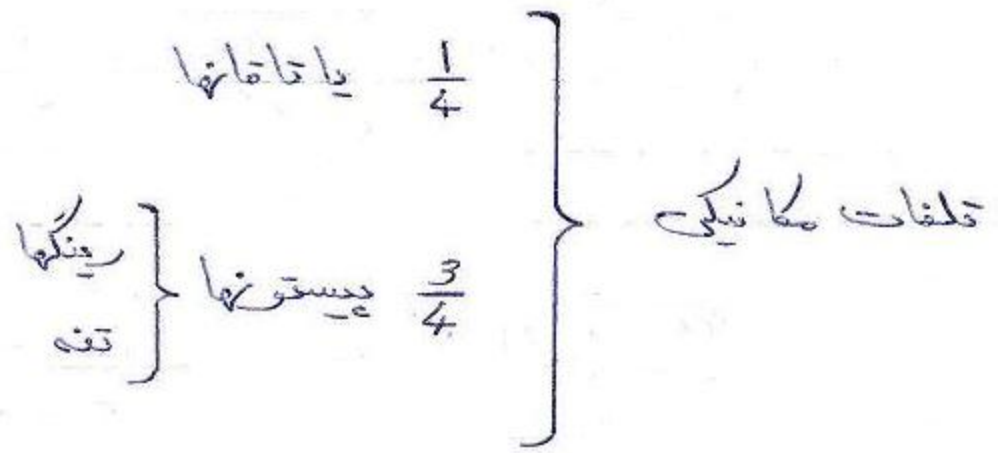
$$\text{فشار} \quad p = \frac{W}{D \cdot L} = \text{سطح تصویر شده}$$

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

معادله
پتروف

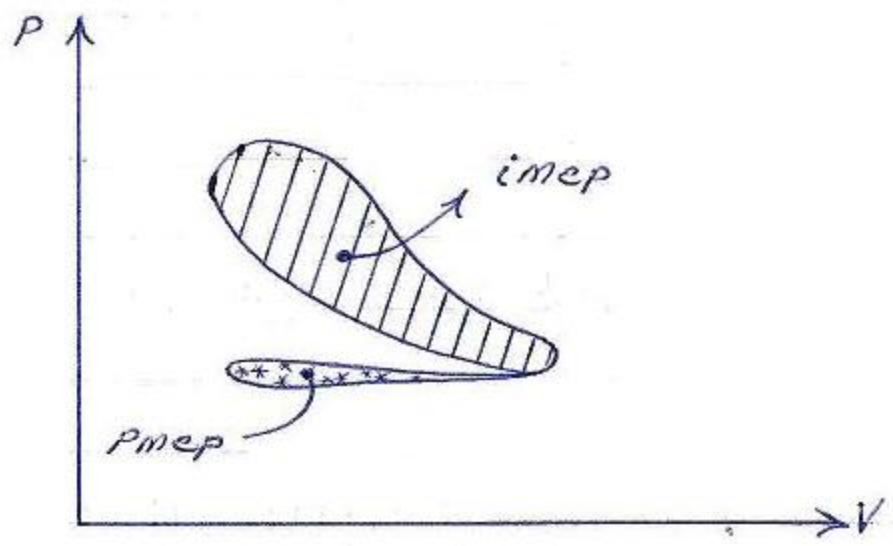
$\frac{\mu N}{P} \left(\frac{D}{c}\right)^2 \leftarrow$ Sommerfield factor
(عدد سامرفیلد)





روشهای اندازه گیری تلفات :

۱- روش دیاگرام اندیکاتور :



موتور چهار زمانه پر خورانی شماره

$$imep - b_{mep} = f_{mep} = a_{mep} + P_{mep} + (m_{mep})$$

imep → از دیاگرام اندیکاتور
 b_{mep} → از دینامومتر
 f_{mep} → دستگاههای فرعی ل در هنگام تست از موتور بازمی کنند و جدا گانه آنها را بازمی اندازه گیری کنند
 P_{mep} → از دیاگرام اندیکاتور
 (m_{mep}) → از دیاگرام اندیکاتور

* لذا از فرمول فوق (m_{mep}) محاسبه می شود.

۱- آزمون موتورگردانی (Motoring test) :

پس از ایجاد شرایط کارکرد عادی موتور ناگهان جریان سوخت قطع شده و موتور توسط یک الکتروموتور گرداننده می شود. توان الکتروموتور که صرف راندن موتور می شود 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 ترتیب 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 چه تجهیزات وی - موتور باشند و آزمون فوق انجام شود (f_{mep}) را می دهند اگر دستگاه های فرعی باز شوند $a_{mep} = 0$ می شود، اگر سر - سیلندر هم برداشته شود $p_{mep} = 0$ می شود و اگر پیستونها هم برداشته شود mep ناشی از پیستون صفر می شود لذا در مجموع روش بسیار مفیدی است.

در حالت ایده آل :

:

محاسبه p_{mep}

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

$$p_{mep} = p_e - p_i$$

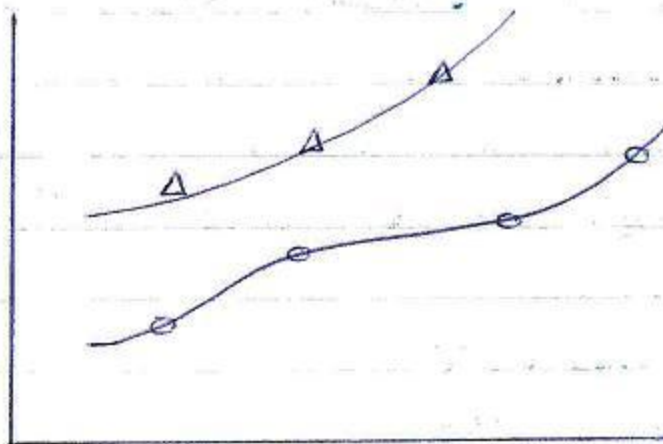
* شکل‌های (9-17 و 9-18) بر اساس اصول تشابه ابعادی (α_e) و (α_i) را درست می‌دهند و در حالت واقعی:

$$P_{mep} = \alpha_e P_e - \alpha_i P_i$$

برآورد اصطلاحی (f_{mep})

- از نتایج آزمون موتور گردانی تعداد زیادی موتور برای تعیین تلفات اصطلاحی مورد استفاده قرار می‌گیرد. شکل (9-27) تلفات اصطلاحی موتورهای 4 زمانه و شکل (9-28) تلفات اصطلاحی موتورهای 2 زمانه را نشان می‌دهد.

f_{mep}



سرعت دور موتور

نگاه می‌کنیم داده‌های مسئله ما به کدام موتور می‌خورد و از روی شکل‌های مربوط به آن یک منحنی رسم می‌کنیم.

$$p_e = p_i$$

* نتایج فوق بر مبنای $(imep = 100)$ است و در غیر این صورت باید از رابطه زیر مقدار (f_{mep}) تعیین شود:

$$f_{mep} = f_{mep_0} + x(p_e - p_i) + y(imep - 100)$$

(شکل 9.27 و 9.28)

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{(از شکلهای 9.31)} \\ \gamma = \left(\frac{D_e}{D_i}\right)^2 \left(\frac{C_e}{C_i}\right) \end{array} \right.$$

* در موتورهای دوزمانه $x = 0$ است.

مثال - با توجه به اطلاعات مسائل قبل مطلوب است مقادیر توان ضربه و اندمان گانیک.

$$\left\{ \begin{array}{l} N = 1400 \text{ RPM} \\ imep = 136.9 \\ p_e = p_i \end{array} \right.$$

$$\text{از شکل 9.27} \rightarrow f_{mep_0} = 25.3 \text{ psia}$$

$$N = 1400$$

$p_e = p_i$ است اما برای $imep$ باید تصحیح از شکل 9.31 انجام

$$(y = 0.036) \quad \text{شود:}$$

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

$$b_{mep} = i_{mep} - f_{mep} = 110.3 \text{ PSia}$$

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

$$P_b = \eta_m \cdot P_i = (0.806)(228.08) = 183.8 \text{ HP}$$



فرشاد سرایی	
مهندس پایه یک تأسیسات و مکانیک	
طراحی - نظارت - اجرا	
۱۰۴۰۰۱۷۲۷۶	نظام مهندسی:
۱۰۴۰۰۰۲۸۱۵	پروانه مهندسی:
۱۰۴۰۰۱۲۲۲	شماره شهرسازی:

جزوه آموزشی درس موتورهای احتراق داخلی آقای دکتر کورش امیراصلانی تبریز
دانشگاه آزاد اسلامی واحد جنوب تهران - دانشکده فنی (۱۳۷۳)

A

قره و دیناسیک بعد از احتراق :

قانون اول برای تحول احتراق :

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

↓
↓

بجراز احتراق (burned)
قبل از احتراق (unburned)

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

$$E = E_{sm} + \Delta E$$

اختلاف انرژی نسبت به حالت پایه (شامل انرژی احتراق سوخت و گازهای باقیمانده).

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

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

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

○ ناچیز

* q هنگامی اهمیت دارد که $FR > 1$ باشد زیرا در این هنگام گازهای باقیمانده می توانند شامل مقادیر زیادی C_0 و H_2 باشند و این عناصر هنوز قابلیت این را دارند که واکنش دهند و گرما تولید کنند. در این حالت از انرژی -

A'

گازهای باقیمانده (۶) نمی توان صرف نظر کرد:

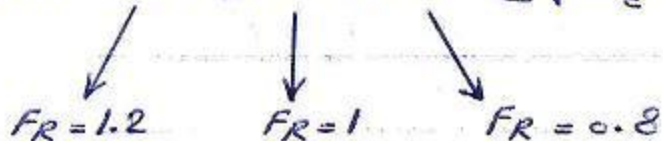
برای (octen) در $560^{\circ}R$:

$$\begin{aligned} F_R \leq 1 &\rightarrow \begin{cases} q = 0 \end{cases} \\ F_R > 1 &\rightarrow \begin{cases} q = 1680 (F_R - 1) \text{ Btu/lbm} \end{cases} \end{aligned}$$

ارزش ثابت پایه	}	$Q_c = 1935 \text{ Btu/lbm}$
گرمای نهان تبخیر		$H_L = E_L = -145 \text{ "}$
نسبت سوخت هوای جرمی		$F_c = 0.0678 \text{ lbm سوخت / lbm هوا}$
" " " "		$F_c^{\circ} = 0.0175 \text{ mol سوخت / mol هوا}$
" " " "		$E_c = 19180 \text{ Btu/lbm}$

نودارهای محصولات احتراق:

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



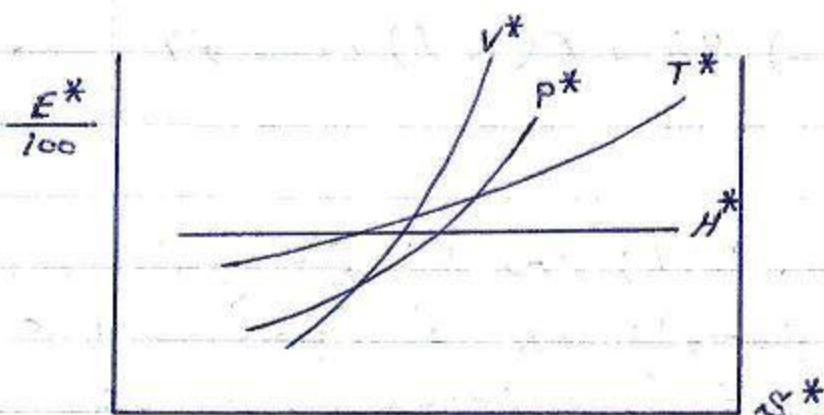
« پایه جرمی » : $(1+F)$ فنون جرم محصولات احتراق

« پایه ترمودینامیکی » : انرژی داخلی محصولات احتراق شامل CO_2 ، O_2 و N_2

و H_2O گازی در دمای $560^{\circ}R$ صفر است.

* در چارت های C-2 و C-3 و C-4 هر خاصیت تر و دینامیکی بر حسب $(1+F)$ پیوند است:

(E^*, H^*, V^*, S^*)



* فقط منحنی H^* در چارت های فوق تقریباً افقی است.
* چارت C-1 فقط تا دامای 2500% را خاز است.

انتقال به چارت محصولات احتراق:

برای انتقال از نمودار قبل از احتراق به نمودار بعد از احتراق باید قانون اول بین قبل و بعد از احتراق نوشت شود:

$$E^* - \left(\frac{E^{\circ} \alpha (1+F)}{m} + F(1-f) E_c + f \rho \right) = \alpha^* - \frac{W^*}{J}$$

* در تحول احتراق ۲ دینامیک - جمع ثابت:

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

B'

* در تحول احتراق آدیاباتیک - فشار ثابت :

$$Q^* = 0 \quad \text{و} \quad W^* = P(V_e^* - V_u^*) \quad \rightarrow$$

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

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

$$\text{مثال : } F_R = 0.9 \quad \leftarrow \quad E^* = ?$$

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 اکثر به ازای ($F_R = 1$) و $F_c^* = 0.0175$ است.

۳- نسبت سوخت هوای نسبی جدیدی به شکل زیر تعریف شده که از آن هنگام کار کردن با چارت 1-5 استفاده می شود:

$$F_R = \frac{F_m}{0.0175}$$

- ۴- برون تصحیح بکار می رود.
- ۵- برای انتقال به چارت محصولات احتراق باید m و E_c و ρ به - هان ترتیب قبل برای سوخت مورد نظر در نظر گرفته شوند.
- ۶- برای مراجعه به چارت احتراق باید به نزدیکترین F_R مراجعه کرد.

فصل چهارم

سیکلهای سوخت - هوا

* تعریف - سیکل سوخت هوا چرخه ترمودینامیک است که ایده آل می باشد و تحولات آن مشابه تحولات نوع مخصوصی از موتور بوده و - سیال عامل هم سیال حقیقی با مشخصات سیال مورد استفاده در آن موتور است.

* *fresh air* (هوای تازه) : هوایی 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 جرم سوخت به هوای تازه

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

* کسر گازهای باقیمانده (R) : نسبت جرم گازهای که از سیکل قبل باقی مانده اند به کل جرم درون سیلندر در لحظه ای 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 شیمیایی صورت نمی گیرد.
- ۲- بعد از احتراق هوای تعادل شیمیایی برقرار است.

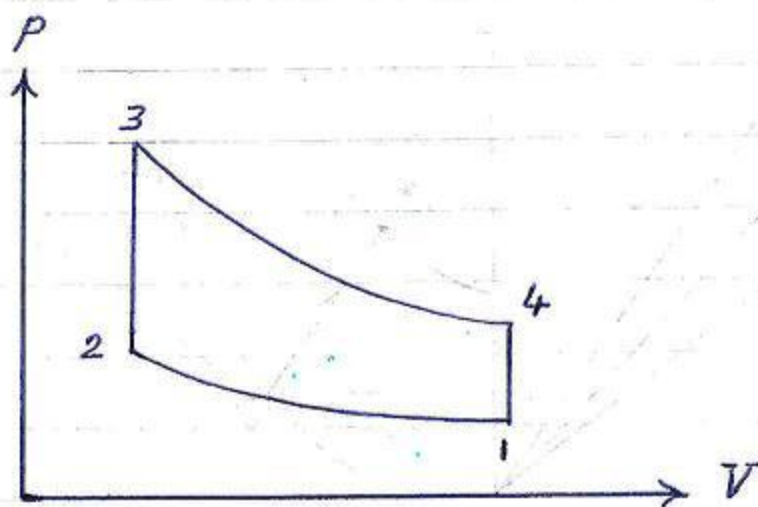
D

۳- تمامی تحولات ۲ یا با تیک است.

۴- از سرعتها صرف نظر می شود.



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



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

چارت 1-2 (نسبت تراکم)

* تحول 2-3 - احتراق در حجم ثابت : طی این تحول باید از چارت

1-2 به چارتهای احتراق

مراجعه کرد :

$$E_3^* = \left(E_2^* \left(\frac{1+F}{m} \right) + F(1-f) E_c + f\gamma \right)$$

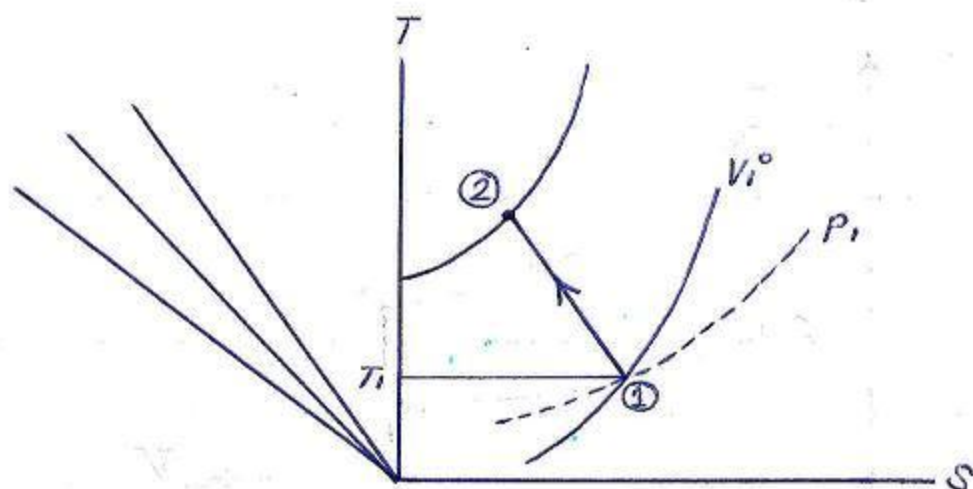
D'

$${}_2\dot{Q}/_3 - {}_2\dot{W}/_3 = \Delta E \rightarrow$$

$$E_2 = E_3$$

$$V_3^* = V_2^\circ \left(\frac{1+f}{m} \right)$$

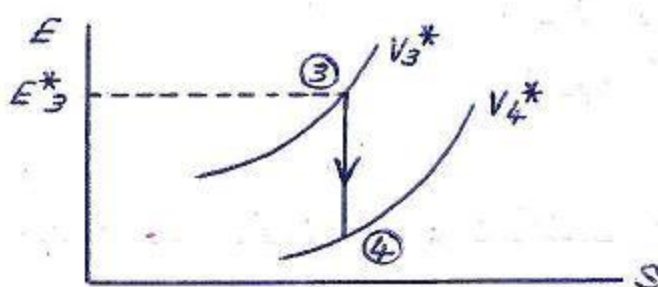
$$V_4^* = V_1^\circ \left(\frac{1+f}{m} \right)$$



(چارت 1-c)

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

* تحول 3-4 - افساط Ad. - بازگشت پزیر از حجم V_3^* تا حجم -
 (چارت 1-c) . ($V_4^* = V_3^* \cdot r$)



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

∴ کار

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

∴ mep

$$\eta_{th} = \frac{W^*}{J \dot{m}_F^* \theta_c} \rightarrow$$

∴ اندکس کارایی

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



فرشاد نسر ایسی - مهندس پایه یک تأسیسات مکانیکی
 طراحی - نظارت - اجرا
 نظام مهندسی: ۱۷۲۷۶-۰۳-۱۵
 پروانه مهندسی: ۰۲۸۱۵-۰۳-۱۵
 شماره شهرسازی: ۰۱۲۲۲-۰۳-۱۵

جزوه آموزشی درس موتورهای احتراق داخلی **آقای دکتر کورش امیراصلانی تبریز**
 دانشگاه آزاد اسلامی واحد جنوب تهران - دانشکده فنی (۱۳۷۳)