

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

....ایاک نعبد و ایاک نستعین....

# طراحی موتورهای درونسوز پیستونی

## Design of Internal Combustion Piston Engines

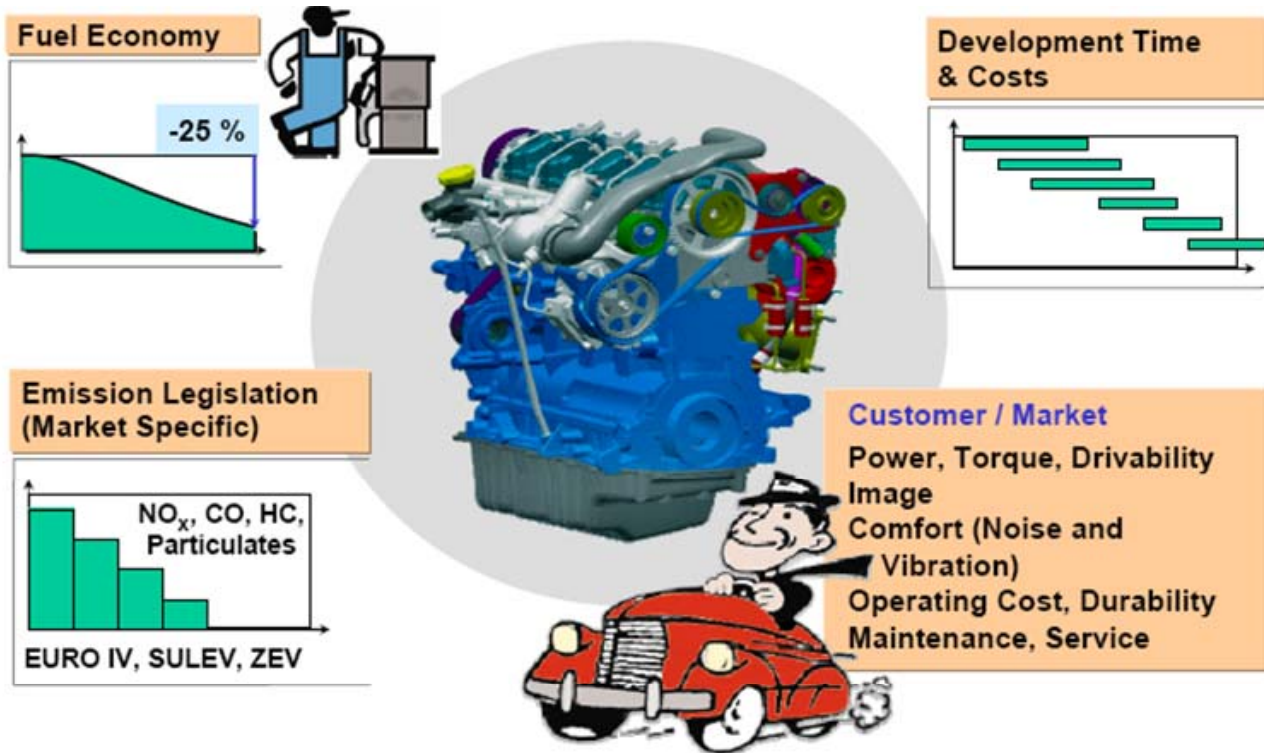
مهدی اخلاقی

استاد دانشکده مهندسی مکانیک

دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# طراحی موتورهای درونسوز پیستونی

## Future Requirements for Power trains



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# طراحی موتورهای درونسوز پیستونی

## Design of Internal Combustion Piston Engines

- آشنائی با طراحی مهندسی
- تاریخچه روند موتورهای درونسوز از دیدگاه طراحی مهندسی
- ترمودینامیک موتورهای درونسوز
- سامانه دینامیک موتورهای درونسوز شامل طراحی (و طراحی فرم) میل لنگ، دسته پیستون، پیستون با در نظر گرفتن تنشهای بار و مجاز و در نهایت چگونگی محاسبه و انتخاب یاتاقانهای لغزشی و غلتشی
- سامانه تعویض گاز شامل سوپاپها، سوخت رسانی، چند راهه مکش و آگزوز و در نهایت طراحی محفظه احتراق
- دورنمای موتورهای درونسوز

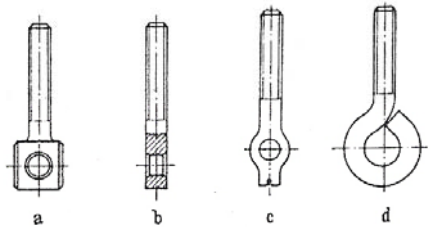


# آشنائی با طراحی مهندسی

## Phases of the Engineering Design

- **روند تکمیل طرح:** شناخت جدید (مواد، روش کار، و منابع انرژی) ضروریات نو (اقتصادی، اجتماعی، و سیاسی)
- **تصویر روشن و دقیق از درخواست:**

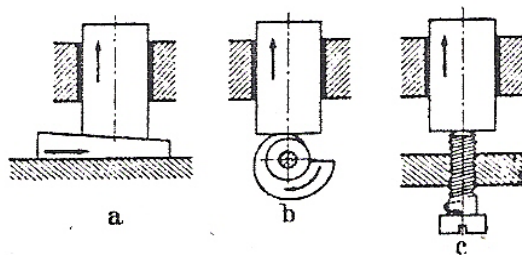
شناخت کافی از نیاز و تعیین هدف (کیفیت بالا، قیمت پائین، ایمنی زیاد، و یا ...؟؟؟؟)



مخارج ٪۱۰۰

مخارج ٪۱۴/۵

مخارج ٪۱۰



a

b

c

- **حل مسئله و طرح راه حل‌های جدید**

یافتن راه حل جدید (جمع آوری اطلاعات، آنالیز ارزشی - افزایش نسبت قیمت فروش به مخارج-، تغییر راه حل- variations technique - و ...)

- **انتخاب راه حل**

شاخصهای مقایسه (بازده، صدا، اطمینان، عمرکار، فضای لازم، وزن، حساسیت به محیط و .....

مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# آشنائی با طراحی مهندسی

## Phases of the Engineering Design

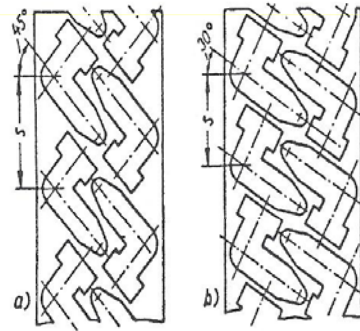
### • طراحی مقدماتی

- تعیین ابعاد اصلی به کمک محاسبات تخمینی و ترتیب کلی طرح (طرحهای سری و یا موازی، تغییر در راستای کاهش فضا و وزن، سامانه جمع و جور، همبندی و ..)
- تقسیم بندی و توزیع طرح بر حسب پیچده گی به گروههای اصلی و هر یک به گروههای فرعی (گروه اصلی سامانه حرکتی، سامانه تعویض گاز و...، گروه فرعی میل لنگ، میل بادامک و ...)
- رعایت قواعد طراحی صرفه جوئی در مخارج طرح (استفاده از طرحهای موجود، بکارگیری اجزای استاندارد، رعایت قرینگی چپ و راست و..)، مخارج مواد(فرم مناسب، صرفه جوئی در مواد عالی و ضایعات و...)، و در مخارج تولید(انتخاب مناسبترین روش تولید، افزایش تعداد، صرفه جوئی در ماشین کاری سطوح و ..)

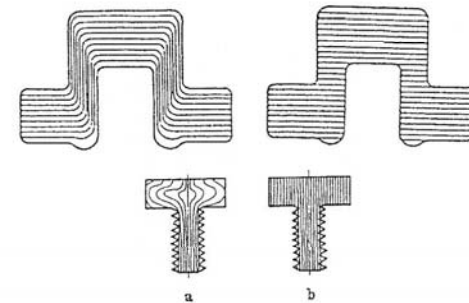
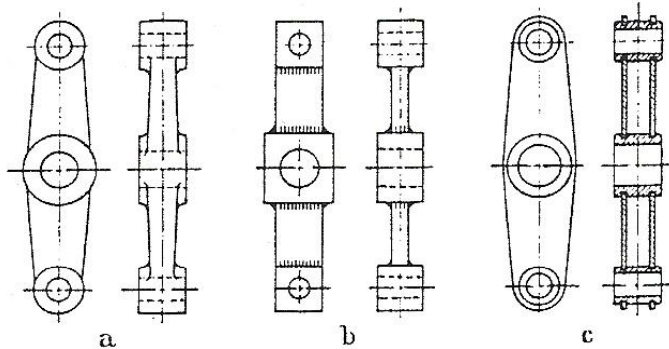
# آشنائی با طراحی مهندسی

## Phases of the Engineering Design

صرفه جوئی در ضایعات



انتخاب مناسبترین روش تولید



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# آشنائی با طراحی مهندسی

## Phases of the Engineering Design

### • ارزیابی و کنترل

- جستجوی نقاط بحرانی در ارتباط با تولید، همبندی، خوردگی، تعویض ساده، بکارگیری و ....
- بالانس استاتیکی و دینامیکی برای قطعاتی که در دورهای بالا کار میکنند.

### • طراحی نهائی

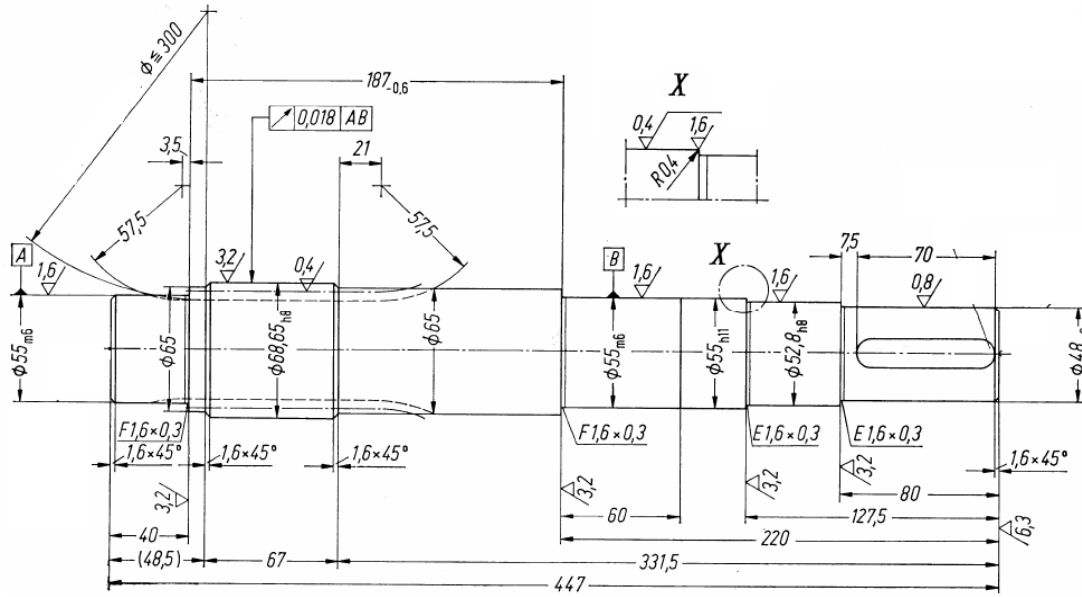
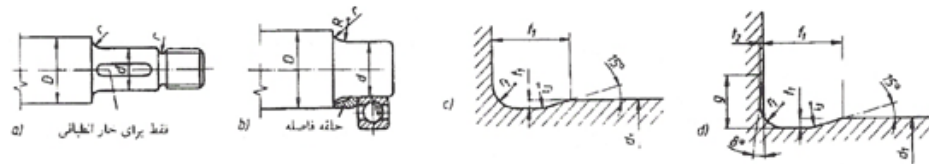
- محاسبه تنشهای بار و تنشهای مجاز (کنترل استحکام) برای مقاطع حساس با رعایت بارهای اضافه، بارهای کور و ...
- طراحی فرم بلحاظ کاهش اثرات نقاط بحرانی
- رسم نهائی و اندازه گذاری

# آشنائی با طراحی مهندسی

## Phases of the Engineering Design

طراحی فرم

اندازه گذاری



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# آشنائی با طراحی مهندسی

## Phases of the Engineering Design

- مدل و آزمایش

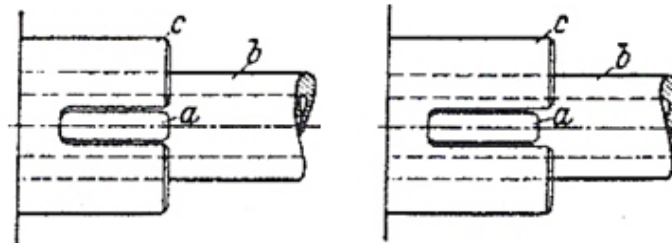
-مدل کار (توجیه حرکات)

-مدل فرم (تقسیم بندی یا تاثیر کلی از حجم، تعیین مرکز ثقل، و ...)

-مدل آزمایش (تجمع تنش، اتفاقات احتمالی در حین کار و ...)

- رفع اشکالات

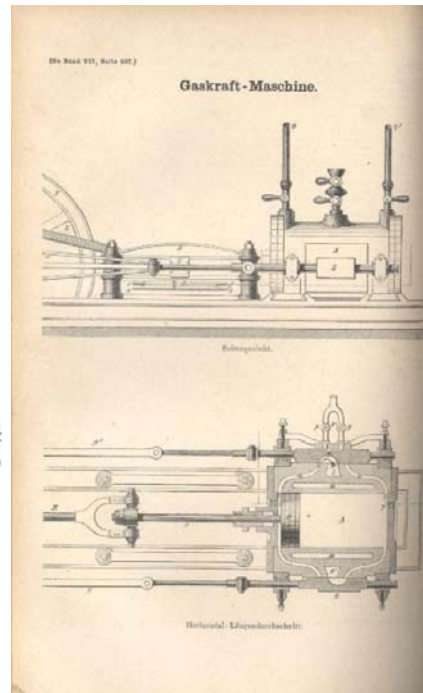
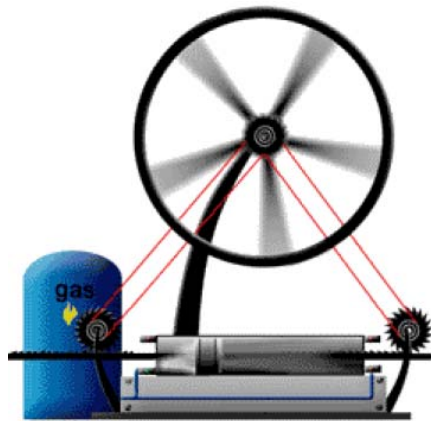
-شناسائی علت اصلی و تلاش در رفع آن



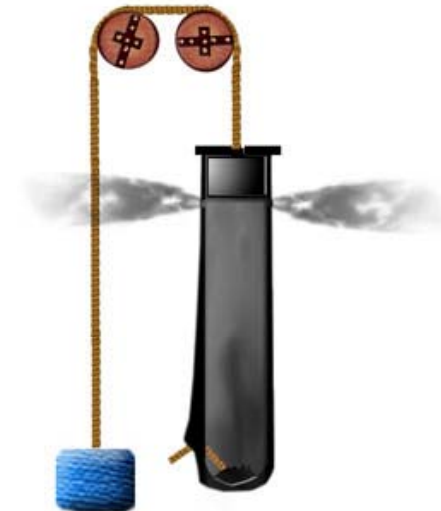
# تاریخچه روند موتورهای درونسوز از دیدگاه طراحی مهندسی

The History of the Internal Combustion Engines with regard to the Engineering Design

Lenior (1822-1900)



Hugens (1629-1695)



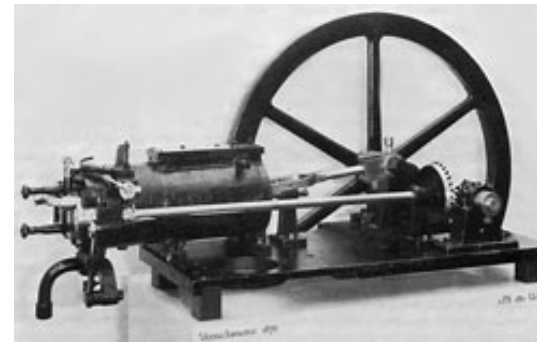
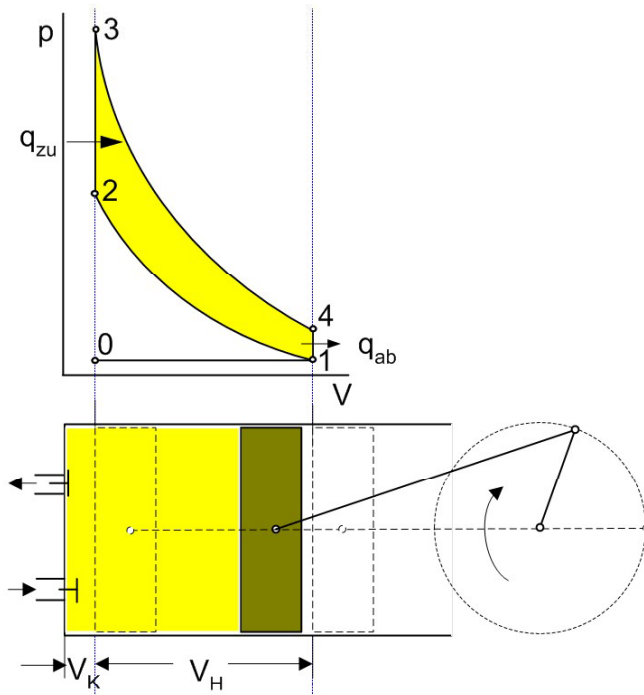
مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# تاریخچه روند موتورهای درونسوز از دیدگاه طراحی مهندسی

The History of the Internal Combustion Engines with regard to the Engineering Design

Nicolaus August Otto (1832-1891)

- جایگزینی سوخت (گاز آب) بمنظور  
عدم وابستگی به مکان  
- چهار زمانه



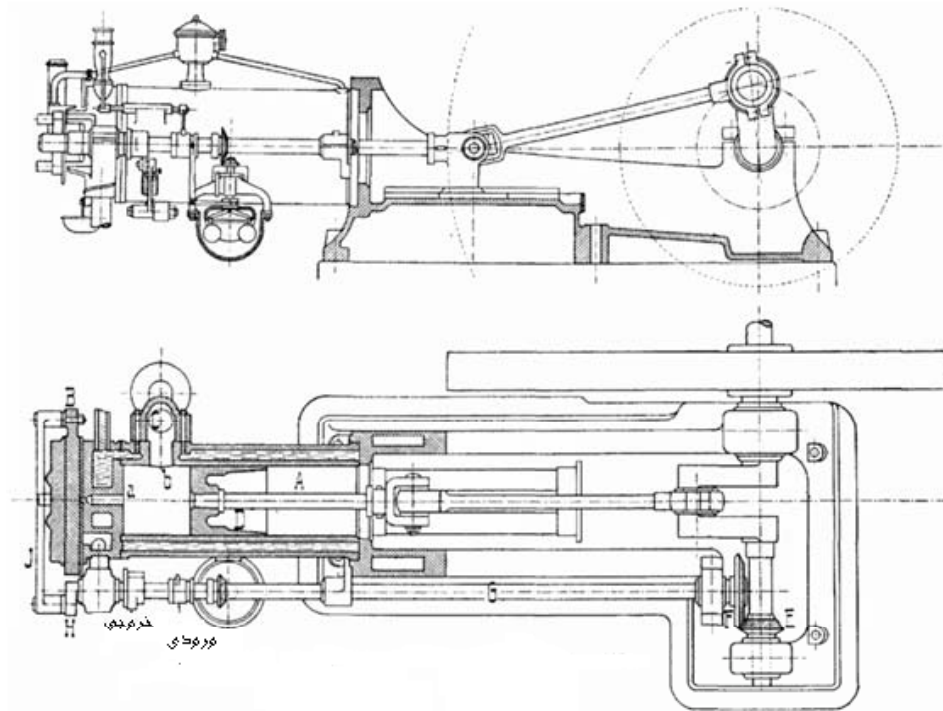
مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر



# تاریخچه روند موتورهای درونسوز از دیدگاه طراحی مهندسی

The History of the Internal Combustion Engines with regard to the Engineering Design

موتور گازی اتو در سال 1876



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

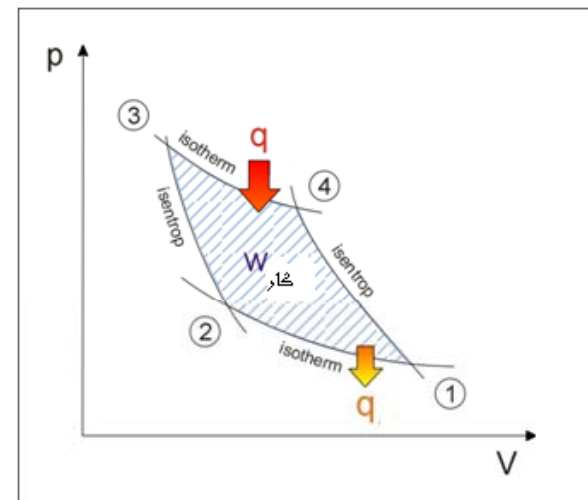
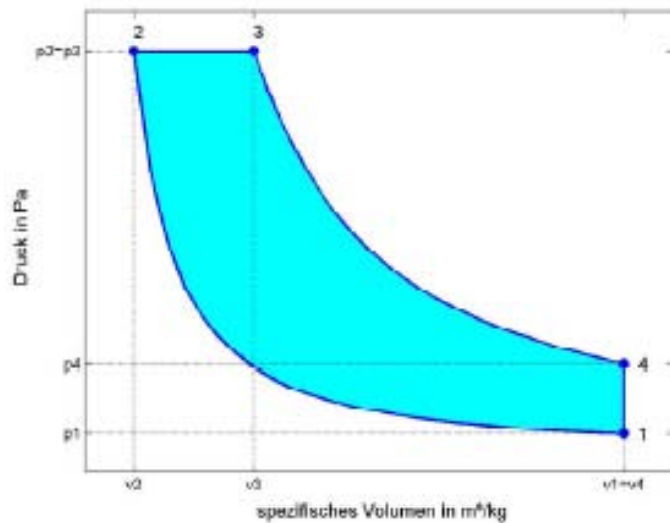
# تاریخچه روند موتورهای درونسوز از دیدگاه طراحی مهندسی

The History of the Internal Combustion Engines with regard to the Engineering Design

Rudolf Ch. Karl Diesel (1858-1913)

-چرخه ترمودینامیکی ایده آل فشار ثابت (دیزل)

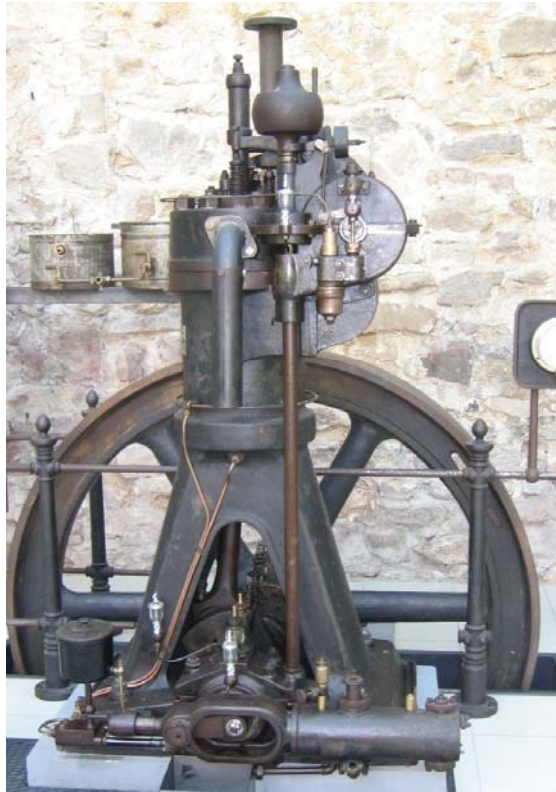
-بکارگیری چرخه کارنو با بهترین بازده حرارتی



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# تاریخچه روند موتورهای درونسوز از دیدگاه طراحی مهندسی

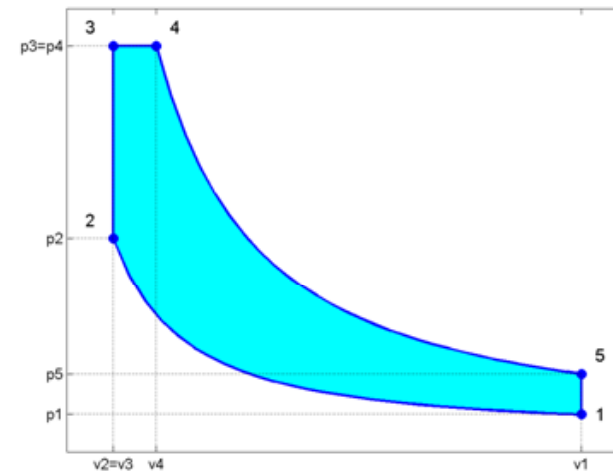
The History of the Internal Combustion Engines with regard to the Engineering Design



Rudolf Ch. Karl Diesel(1858-1913)

-اقتراق خود بخود

-چرخه ایده آل مختلط (سیلینگر) مبنای مقایسه برای  
چرخه های واقعی اتو و دیزل

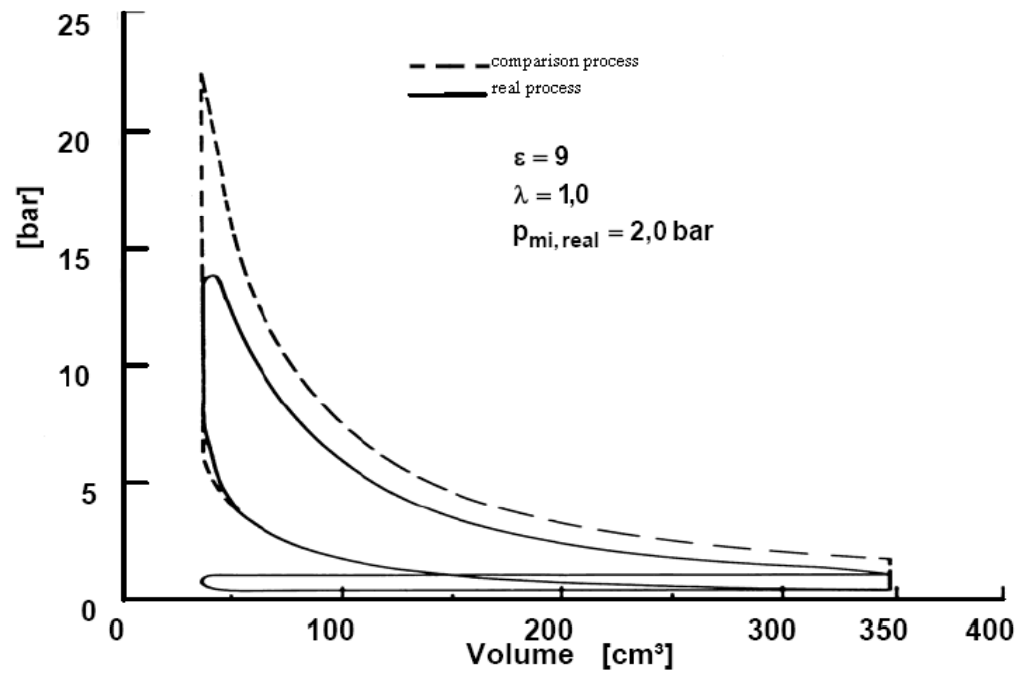


مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# ترمودینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

## Thermodynamic of the Internal Combustion Engines

• چرخه مقایسه ای و واقعی

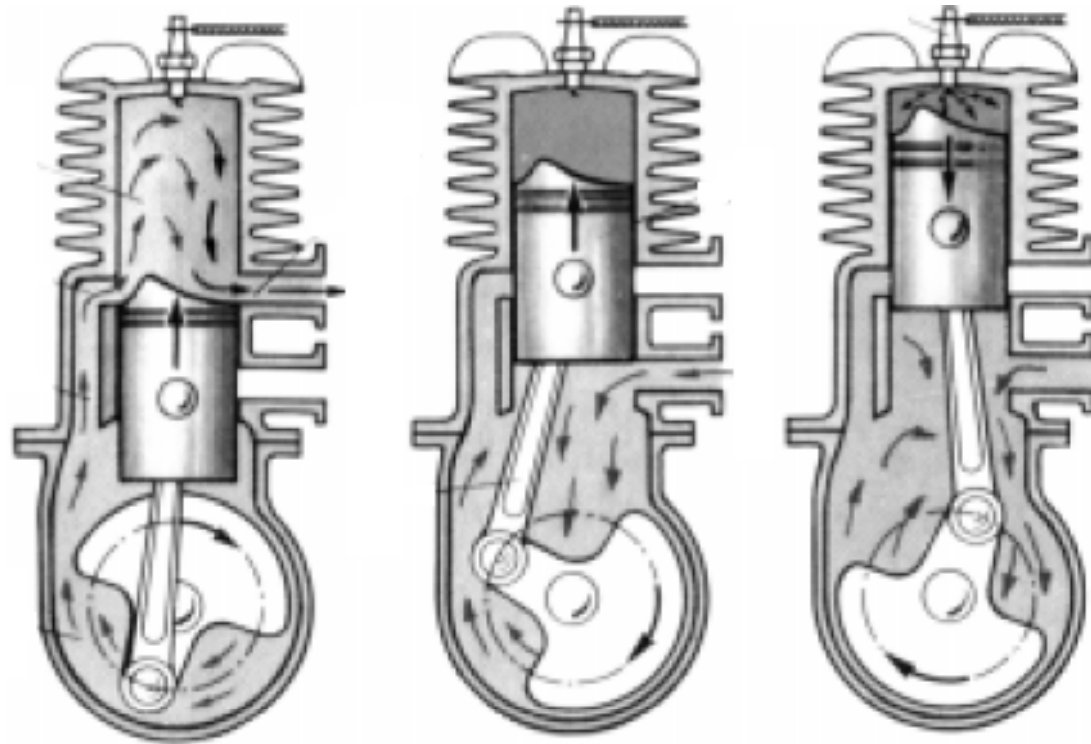


مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# ترمودینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

دو زمانه (two stroke)

Thermodynamic of the Internal Combustion Engines

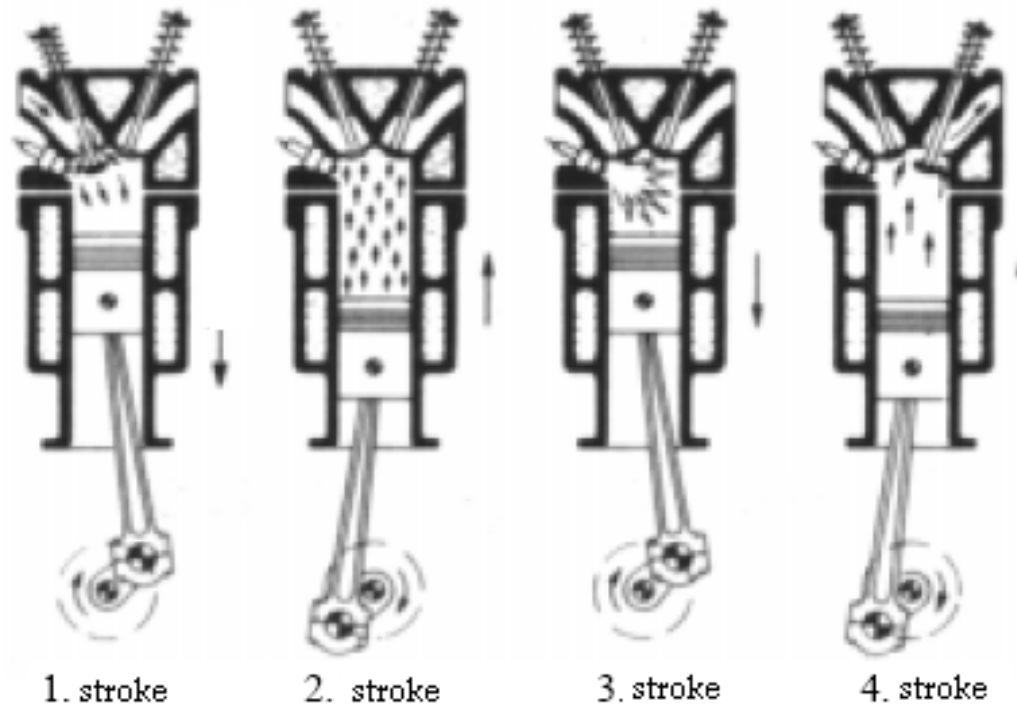


مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# ترمودینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

چهار زمانه (four stroke)

Thermodynamic of the Internal Combustion Engines

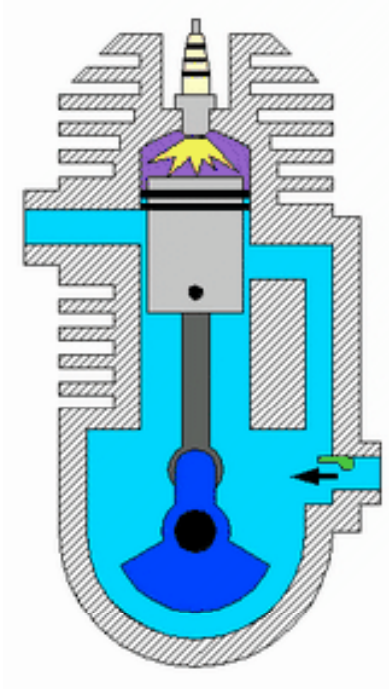


مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

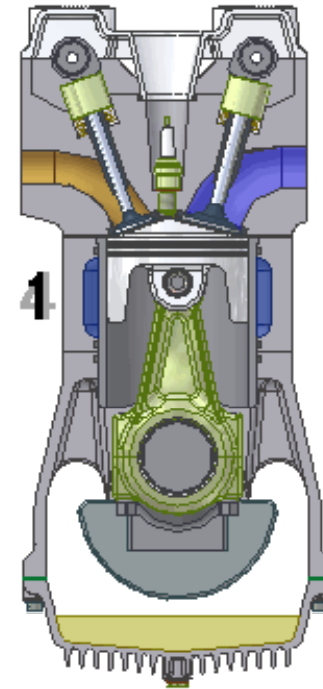
# ترمودینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

## Thermodynamic of the Internal Combustion Engines

• موتور دو زمانه



• موتور چهار زمانه

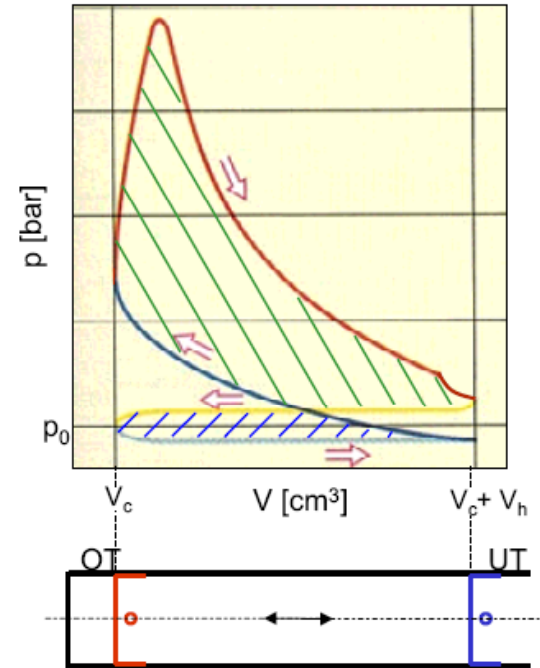
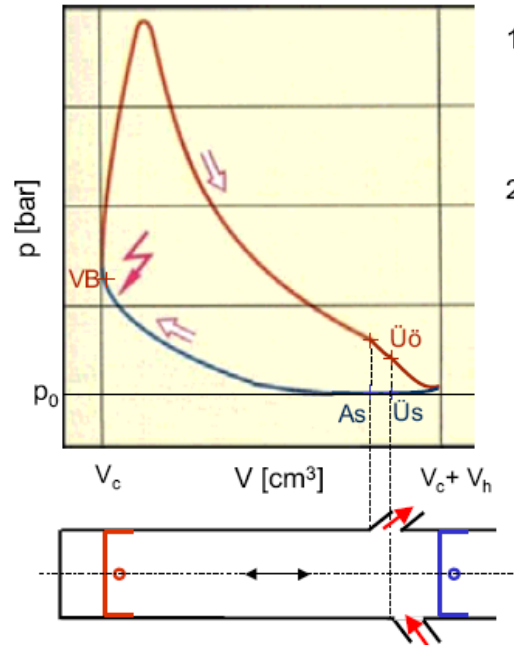


مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# ترمودینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

## Thermodynamic of the Internal Combustion Engines

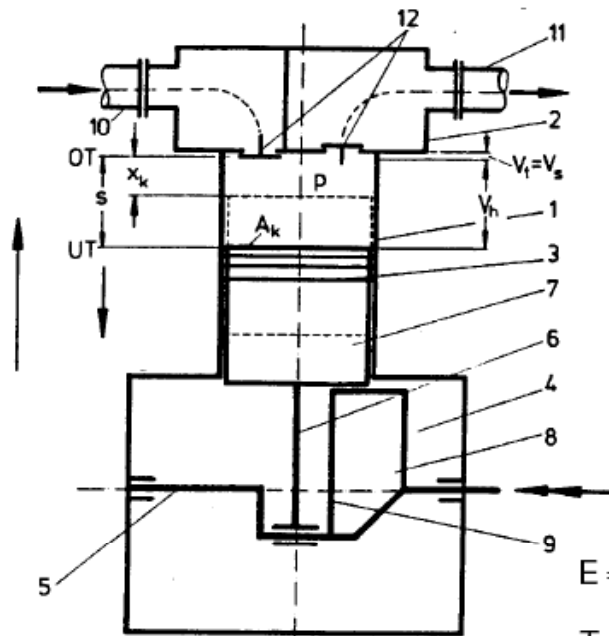
- چرخه واقعی دو زمانه
- چرخه واقعی چهار زمانه



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر



# ترمودینامیک موتورهای درونسوز پیستونی



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

$$v = \frac{V}{m} \quad \text{حجم مخصوص}$$

$$p \cdot v = R \cdot T \Leftrightarrow \frac{p}{\rho} = R \cdot T$$

$$p \cdot V = m \cdot R \cdot T$$

$$p \cdot V^{\kappa} = \text{const} \quad \text{گاز ایده آل}$$

$$p \cdot V^n = \text{const} \quad \text{گاز حقیقی}$$

$$v = \frac{\eta}{\rho} \quad \text{غلظت سینماتیکی}$$

$$E = U + E_{\text{pot}} + E_{\text{kin}} \quad \text{قانون اول}$$

$$T \cdot ds = du + p \cdot dv = dh - v \cdot dp = c_p \cdot dT - v \cdot dp \quad \text{قانون دوم}$$

$$A_k = \frac{\pi}{4} \cdot D_k^2 \quad \text{سطح پیستون}$$

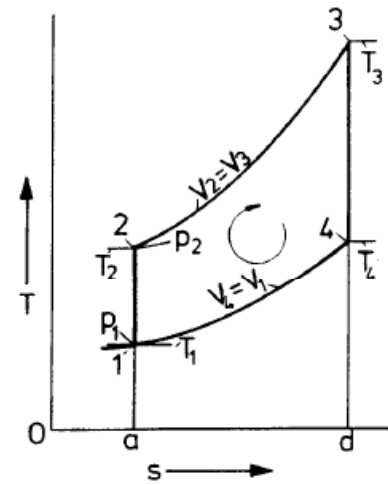
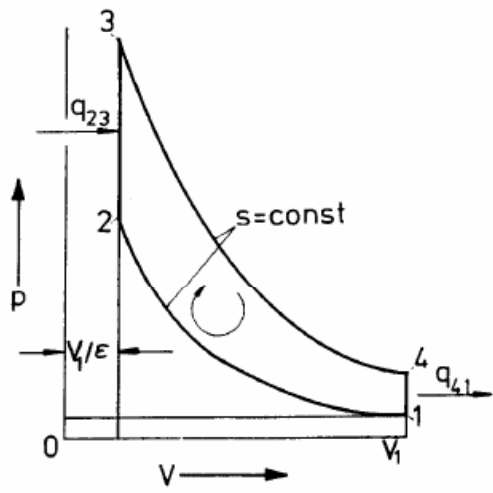
$$V_h = A_k \cdot s_k \quad \text{حجم کورس}$$

$$s_k = 2 \cdot r_k \quad \text{کورس پیستون}$$

$$V_H = V_h \cdot Z_k \quad \text{کل حجم کورس}$$

مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# ترمودینامیک موتورهای درونسوز پیستونی



$V_2=V_c$  حجم تراکم

$V_g = V_h + V_s = V_h + V_c$  حجم سیلندر

$$n_a = \frac{\text{strokes}}{\text{revolution}} \cdot n$$

$\dot{V}_{th} = V_H \cdot n_a$  حجم تئوری سیال

$\dot{m}_{th} = \rho_0 V_H \cdot n_a$  جرم تئوری سیال

$c_K = 2 \cdot s_k \cdot n$  سرعت متوسط پیستون

$$W = - \int_1^2 p dV$$
 کار

$\dot{m}_f = \lambda_L \cdot \rho_0 \cdot V_H \cdot n_a = \lambda_L \cdot \dot{m}_{th}$  جرم حقیقی سیال

$$\lambda_L = \frac{\dot{m}_f}{\dot{m}_{th}}$$

درجه مصرفی هوا

$$Re = \frac{c \cdot L}{v}$$

عدد رینولد (سیال بیرونی) characteristic length L

$$d_h = \frac{4 \cdot A}{U}$$

قطر هیدرولیکی

$$Re = \frac{c \cdot d}{v} = \frac{c \cdot d \cdot \rho}{\eta}$$

hydr. diameter= characteristic length L (سیال درونی)

# ترمودینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

## otto process (isochore)

$$\varepsilon_c = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_h + V_c}{V_c}$$

$$p_2 = p_1 \cdot \varepsilon_c^\kappa \quad (q_{1,2}=0)$$

$$T_2 = T_1 \cdot \varepsilon_c^{\kappa-1}$$

$$\Delta V = 0 \Rightarrow W = 0$$

$$W_{2,3} + Q_{2,3} = m_L \cdot c_v \cdot (T_3 - T_2)$$

$$\Rightarrow q_{2,3} = c_v \cdot (T_3 - T_2)$$

$$\Rightarrow T_3 = T_2 + \frac{q_{2,3}}{c_v}$$

$$p_3 = p_2 \cdot \frac{T_3}{T_2}$$

$$(\text{real: } Q_{2,3} = m_k \cdot H_u)$$

$$p_4 = p_3 \cdot \frac{1}{\varepsilon_c^\kappa}$$

$$T_4 = T_3 \cdot \frac{1}{\varepsilon_c^{\kappa-1}}$$

$$\Delta V = 0 \Rightarrow W = 0$$

$$\Rightarrow q_{4,1} = c_v \cdot (T_1 - T_4) < 0!!!!!!$$

circular process  $\Rightarrow$  final point=initial point  $\Rightarrow$

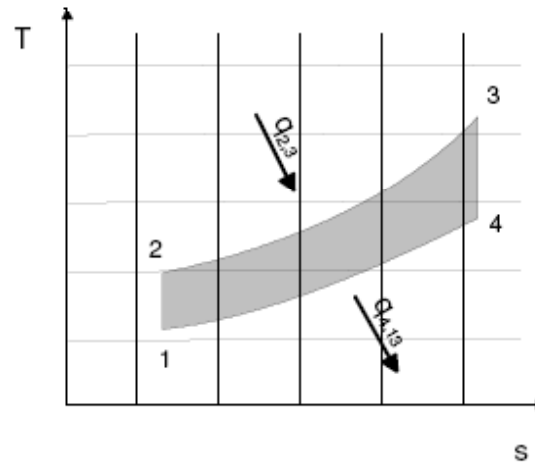
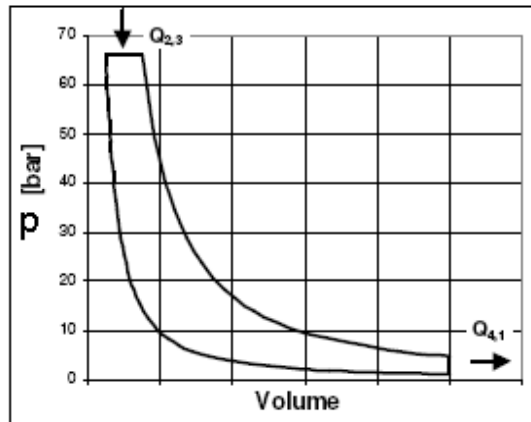
$$\Sigma Q + \Sigma W = \Delta U = 0 \Rightarrow w = -q_{E,A}$$

$$\eta_{th,Otto} = \frac{Q_{2,3} + Q_{4,1}}{Q_{2,3}}$$

$$= \frac{Q_{\text{داده شده}} + Q_{\text{پس داده}}}{Q_{\text{داده شده}}} = 1 - \frac{1}{\varepsilon^{\kappa-1}}$$

# ترمودینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

## Diesel process (isobare)



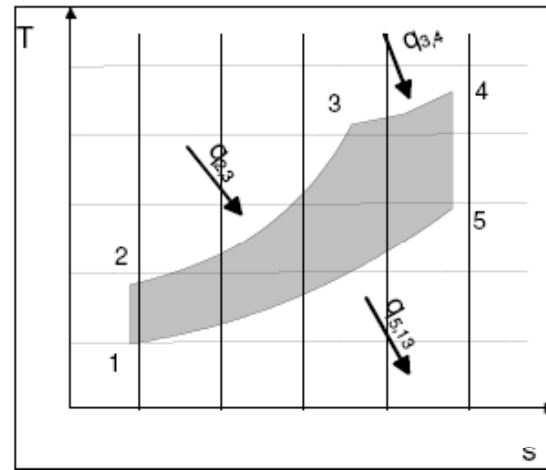
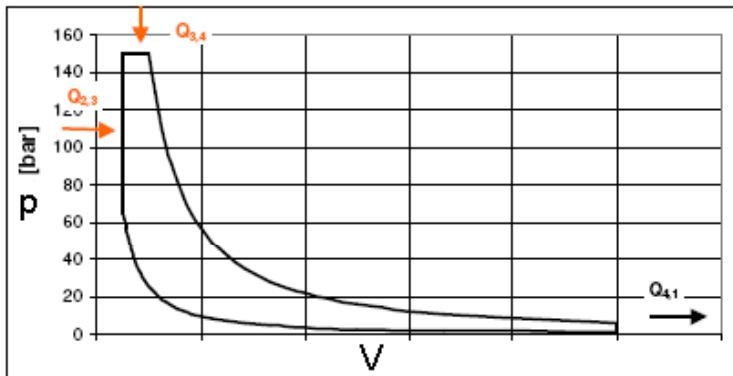
$$\rho = \frac{V_3}{V_2} \quad \text{نسبت افزایش حجم}$$

$$\eta_{th, Diesel} = \frac{Q_{2,3} + Q_{4,1}}{Q_{2,3}} = \frac{Q_{\text{داده شده}} + Q_{\text{پس داده}}}{Q_{\text{داده شده}}} = 1 - \frac{1}{\epsilon_c^{\kappa-1}} \cdot \frac{\rho^{\kappa} - 1}{\kappa \cdot (\rho - 1)}$$

مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# ترمودینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

seilinger process



$$\rho = \frac{V_4}{V_3} \quad \text{نسبت افزایش حجم}$$

$$\psi = \frac{p_3}{p_2} \quad \text{نسبت افزایش فشار}$$

$$\eta_{th, Seiliger} = \frac{Q_{2,3} + Q_{3,4} + Q_{5,1}}{Q_{2,3} + Q_{3,4}} = \frac{Q_{\text{داده شده}} + Q_{\text{داده پس داده}}}{Q_{\text{داده شده}}}$$

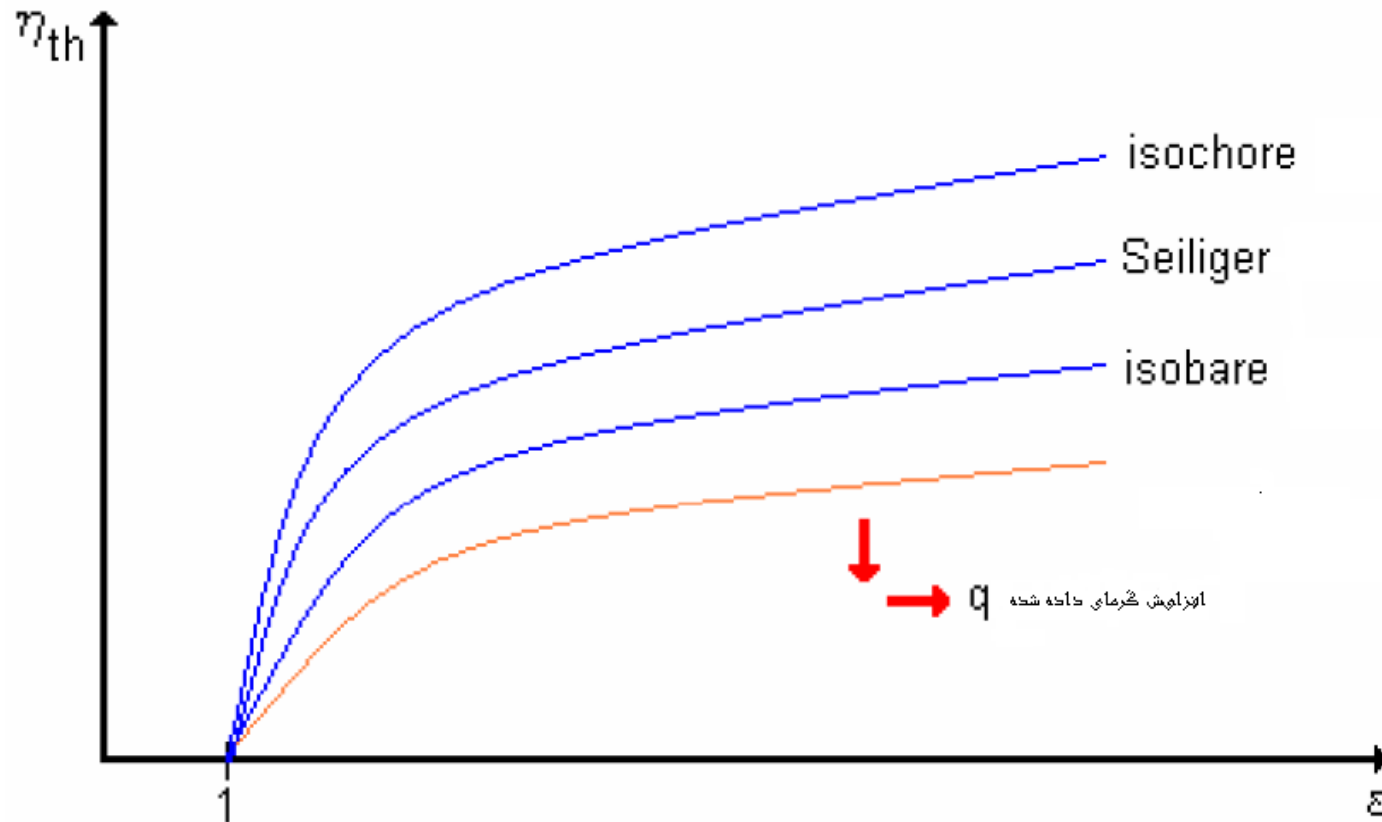
$$= 1 - \frac{1}{\epsilon_c^{\kappa-1}} \cdot \frac{\psi \rho^{\kappa} - 1}{\psi + 1 + \kappa \cdot \psi \cdot (\rho - 1)}$$

مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# ترمودینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

بازده حرارتی (Thermal Efficiency)

Thermodynamic of the Internal Combustion Engines



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# ترمودینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

## Thermodynamic of the Internal Combustion Engines

محاسبه  $H_o$  و  $H_u$

$$H_o = H_u + \underbrace{\frac{n_{II, H_2O} \cdot r_{H_2O}}{m_F}}$$

انتالپی بخار آب نسبت به جرم سوخت

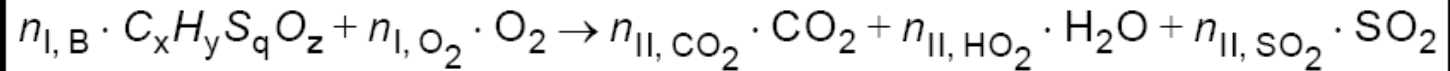
I: مقادیر قبل از احتراق (Edukte)

II: بعد از احتراق (Produkte)

$r_{H_2O}$ : انتالپی بخار آب molar بر حسب kJ/kmol

# ترمودینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

احتراق کامل سوخت با ترکیبات  $C_xH_yS_qO_z$  با  $O_2$



$$\left( + \frac{79}{21} \cdot n_{I,O_2} \cdot N_2 \right)$$

$$\left( + \frac{79}{21} \cdot n_{I,O_2} \cdot N_2 \right)$$

بیان ماده پایه:

$n_{I,k} = n_{II,k}$       k: elements C, H, S, O      تعداد اتمها در دو طرف فعل و انفعال یکی است

$$\sum_i v_{i,k} \cdot n_{I,i} = \sum_i v_{j,k} \cdot n_{II,j}$$

$v_{j,k}$ : ضرایب استکیومتریکی ماده داده شده       $v_{i,k}$ : ضرایب استکیومتریکی ماده پس داده شده



## ترمودینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

$$k=C: \quad x \cdot n_{I,B} = 1 \cdot n_{II,CO_2} \Rightarrow n_{II,CO_2} = x \cdot n_{I,B} \quad (1)$$

$$k=H: \quad y \cdot n_{I,B} = 2 \cdot n_{II,H_2O} \Rightarrow n_{II,H_2O} = y/2 \cdot n_{I,B} \quad (2)$$

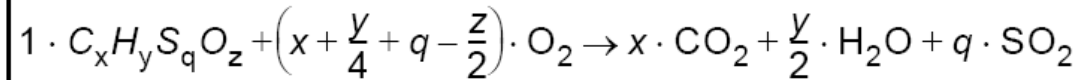
$$k=S: \quad q \cdot n_{I,B} = 1 \cdot n_{II,SO_2} \Rightarrow n_{II,SO_2} = q \cdot n_{I,B} \quad (3)$$

$$k=O:$$

$$\begin{aligned} z \cdot n_{I,B} + 2 \cdot n_{I,O_2} &= 2 \cdot n_{II,CO_2} + n_{II,H_2O} + 2 \cdot n_{II,SO_2} \\ \Rightarrow n_{I,O_2} &= n_{II,CO_2} + \frac{1}{2} \cdot n_{II,H_2O} + n_{II,SO_2} - \frac{1}{2} \cdot z \cdot n_{I,B} = \left(x + \frac{y}{4} + q - \frac{z}{2}\right) \cdot n_{I,B} \end{aligned} \quad (4)$$

# ترمودینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

⇒ reaction equation:



ارزش حرارتی پائین :

$$H_u = \frac{\sum_i \dot{n}_{I,i} \cdot H_{m,i}^\circ - \sum_j \dot{n}_{II,j} \cdot H_{m,j}^\circ}{\dot{m}_F}$$

با آنتالپی استاندارد molar  $H_{m,i,j}^\circ$

$$\Rightarrow H_u = \frac{\dot{n}_{I,B} \cdot H_{m,B}^\circ + \dot{n}_{I,O_2} \cdot H_{m,O_2}^\circ - \dot{n}_{II,CO_2} \cdot H_{m,CO_2}^\circ - \dot{n}_{II,SO_2} \cdot H_{m,SO_2}^\circ - \dot{n}_{II,H_2O} \cdot H_{m,H_2O}^\circ}{\dot{m}_F}$$

مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

## ترمودینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

$$M_F = \frac{\dot{m}_F}{\dot{n}_{1,F}} = \frac{m_F}{n_{1,F}} \quad \text{با}$$

$$\Rightarrow H_u = \frac{H_{m,F}^\circ + \left(x + \frac{y}{4} + q - \frac{z}{2}\right) \cdot H_{m,O_2}^\circ - x \cdot H_{m,CO_2}^\circ - \frac{y}{2} \cdot H_{m,H_2O}^\circ - q \cdot H_{m,SO_2}^\circ}{M_F}$$

ارزش حرارتی بالا

$$H_o = H_u + \frac{n_{11,H_2O} \cdot r_{H_2O}}{n_{1,F} \cdot M_F}$$

# ترمودینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

هوای استکئیومتریکی لازم:

$$A_{St} = \frac{m_{A, St}}{m_F}$$

سهم جرم اکسیژن در هوا:

$$\xi_{A, O_2} = \frac{m_{O_2, St}}{m_{A, St}} = 0,232$$

$$\Rightarrow A_{St} = \frac{1}{\xi_{L, O_2}} \cdot \frac{m_{O_2, St}}{m_F} = \frac{1}{\xi_{A, O_2}} \cdot \frac{M_{O_2} \cdot n_{l, O_2}}{M_F \cdot n_{l, F}}$$

$$n_{l, O_2} = \left(x + \frac{y}{4} + q - \frac{z}{2}\right) \cdot n_{l, F} \quad \text{با}$$

$$\Rightarrow A_{St} = \frac{1}{\xi_{A, O_2}} \cdot \frac{M_{O_2}}{M_F} \cdot \left(x + \frac{y}{4} + q - \frac{z}{2}\right)$$

مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# ترمودینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

ارزش حرارتی  $H_u$  سوخت  $m_F$  نسبت به حجم مخلوط  $V_G$  برابر است:

$$H_G = \frac{m_F \cdot H_u}{V_G}$$

در موتورهای دیزل و موتورهای اتو تزریق مستقیم  $V_G = V_A$  و بدین ترتیب:

$$V_A = \frac{m_A}{\rho_A} = \frac{m_K}{\rho_A} \cdot A_{st} \cdot \lambda \quad H_G = \frac{H_u \cdot \rho_G}{A_{st} \cdot \lambda} \quad \text{kJ/m}^3$$

برای موتورهای دیزل  $\rho_G = \rho_A$  برای موتورهای اتو و همچنین گاز سوز:

$$V_G = \frac{m_G}{\rho_G} = \frac{1}{\rho_G} \cdot (m_A + m_F) = \frac{m_F}{\rho_G} \cdot \left( \frac{m_A}{m_F} + 1 \right) = \frac{m_F}{\rho_G} \cdot (A_{st} \cdot \lambda + 1)$$

$$H_G = \frac{H_u \cdot \rho_G}{A_{st} \cdot \lambda + 1}$$

تبدیل بنزین به گاز با کاهش توان همراه است. ارزش حرارتی گاز طبیعی کوچکتر از بنزین و حجم گاز طبیعی ده در صد حجم کورس است.

گرمای آزاد شده در ضربه کار در سیلندر با حجم  $V_h$

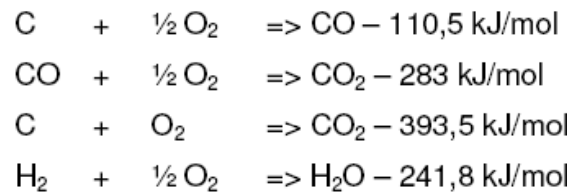
$$Q = H_G \cdot V_h \cdot \lambda_L = \frac{m_F \cdot H_u}{V_G} \cdot V_h \cdot \lambda_L = \frac{H_u \cdot V_h \cdot \lambda_L}{G}$$

حجم مخصوص مخلوط  $G$  برای دیزل و اتو:  $G = \frac{A_{st} \cdot \lambda}{\rho_G}$

و برای موتور گازی:  $G = \frac{A_{st} \cdot \lambda + 1}{\rho_G}$

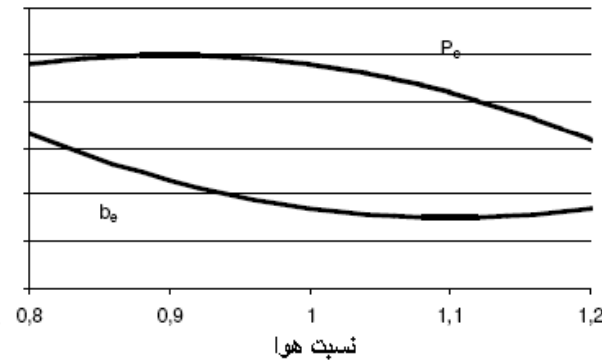
مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# ترمودینامیک موتورهای درونسوز پیستونی



$$Q_{\text{داده شده}} = \dot{m}_F \cdot H_u, \quad [Q_{\text{داده شده}}] = \text{J}$$

$$\dot{Q}_{\text{داده شده}} = \dot{m}_F \cdot H_u, \quad [\dot{Q}_{\text{داده شده}}] = \text{J/s} = \text{W}$$



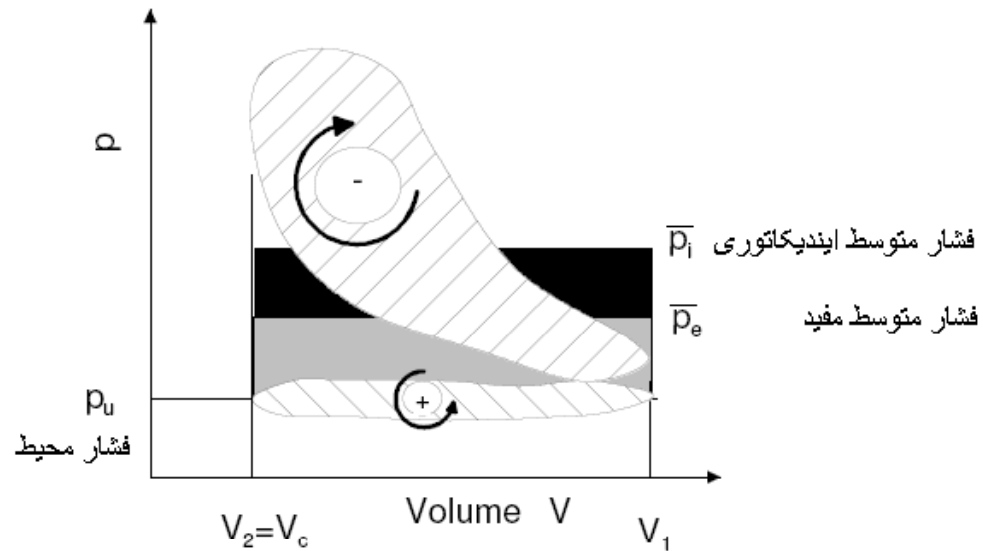
$$\lambda = \frac{m_A}{m_F \cdot A_{ST}} = \frac{\dot{m}_A}{\dot{m}_F \cdot A_{ST}}, \quad \text{مثال } \lambda = \frac{0,02 \text{ kg Air}}{1,379 \cdot 10^{-3} \text{ kg Fuel} \cdot 14,5 \frac{\text{kg Air}}{\text{kg Fuel}}} = 1$$

$$b_e = \frac{\dot{m}_F}{|P_e|}, \quad \eta = \frac{|P_e|}{\dot{m}_F \cdot H_u} = \frac{1}{b_e \cdot H_u} \quad [H_u] = \text{MJ/kg}$$

	[kg/l]	$H_u$ [MJ/kg]	$A_{ST}$ [kg/kg]
Benzin	0,715..0,765	42,7	14,8
Super	0,73..0,78	43,5	14,7
Diesel	0,815..0,955	42,5	14,5

مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# ترمودینامیک موتورهای درونسوز پیستونی



$$W_i = \oint p dV = V_h \cdot \bar{p}_i \Rightarrow p_{m,i} = \bar{p}_i = \frac{W_i}{V_h}$$

$$P_i = n_a \cdot \bar{p}_i \cdot V_h \quad \text{توان ایندیکاتوری}$$

$$P_e = n_a \cdot \bar{p}_e \cdot V_h \quad \text{توان مفید}$$

$$P_R = P_i - P_e \quad \text{توان اصطکاکی}$$

$$P_e = M_d \cdot \omega = p_{m,e} \cdot n_A \cdot V_H$$

$$\bar{p}_e = \frac{-2 \cdot P_e}{n \cdot V_h} \quad (\text{چهار ضربه})$$

$$\bar{p}_e = \frac{-P_e}{n \cdot V_h} \quad (\text{دو ضربه})$$

مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

## ترمودینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

$$\eta_i = \frac{P_i}{\dot{m}_F \cdot H_U} \quad \text{بازده داخلی} \quad \eta_e = \frac{P_e}{\dot{m}_F \cdot H_U} \quad \text{بازده مفید} \quad \eta_m = \frac{P_e}{P_i} \quad \text{بازده مکانیکی}$$

$$b = \frac{\dot{m}_F}{P} \quad \text{مصرف مخصوص} \quad \rightarrow \quad b_e = \frac{\dot{m}_F}{P_e} \quad ; \quad b_i = \frac{\dot{m}_F}{P_i}$$

مصرف خودرو برحسب حجم انجام میگیرد در اروپا 1/100km  
و در امریکا (Meilen pro Gallone) محاسبه میشود

$$\lambda = \frac{\dot{m}_A}{\dot{m}_F \cdot m_{A \min}} = \left( \frac{\text{مقدار هوا}}{\text{مقدار استوکیومتریک هوا} \cdot \text{مقدار سوخت}} \right) = \left[ \frac{kg_A \cdot h \cdot kg_F}{h \cdot kg_F \cdot kg_A} \right] \quad \text{نسبت هوا}$$

$m_{A \min}$

→ Otto/Diesel  $\approx 14,6$

→ Methanol = 6,4

→ hydrogen = 34

$\lambda = 1 \rightarrow$  نسبت استوکیومتریک

$\lambda < 1 \rightarrow$  چرب یا غنی

$\lambda > 1 \rightarrow$  ضعیف

مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر



# ترمودینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

$$\eta_G = \frac{|W_{\text{indicate}}|}{|W_{\text{theoretical}}|} \quad \text{درجه کیفی}$$

$$\eta = \frac{P}{\dot{m}_F \cdot H_u}$$

$$\eta_{th} = \frac{|W_{\text{theoretical}}|}{Q_{\text{fuel}}} \quad \text{بازده حرارتی}$$

$$\eta_i = \frac{|W_{\text{indicate}}|}{Q_{\text{fuel}}} \quad \text{بازده ایندیکاتوری یا بازده داخلی}$$

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m = \frac{P_e}{\dot{m}_F \cdot H_u} = \frac{1}{\frac{\dot{m}_F \cdot H_u}{P_e}} = \frac{1}{b_e \cdot H_u}$$

$$\eta_e = \frac{|P_e|}{\dot{Q}_{\text{fuel}}} \quad \text{بازده مفید}$$

$$|P_e| = |P_i| - |P_R|$$

$$P_e = M_d \cdot \omega$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot n_{\text{Motor}}$$

$$W = V_h \cdot P_m$$

# ترمودینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

**Vibe burn rule** 
$$x = 1 - \exp\left[-6,91\left(\frac{t}{t_z}\right)^{m+1}\right]$$

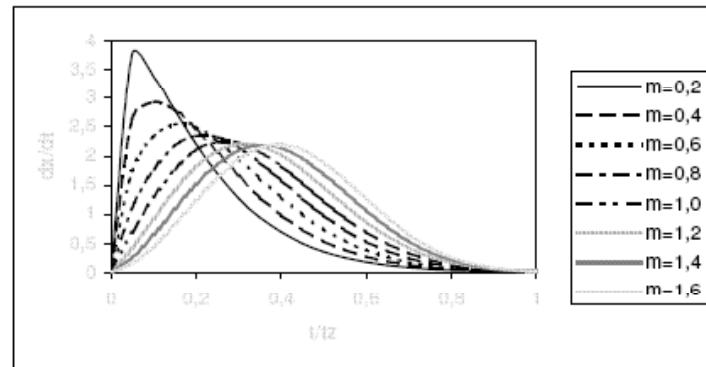
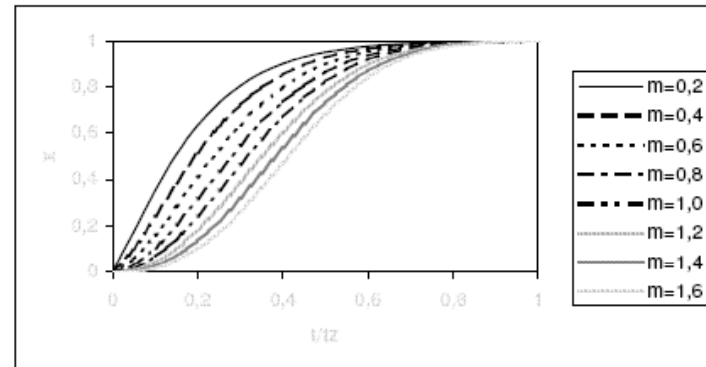
$x$  قسمتی از مخلوط هوا و سوخت است که از شروع احتراق در زمان  $t$  سوخته است.  $t_z$  مدت زمان برای احتراق کامل است.

برای موتور دیزل و اتو  $0,25 \leq m \leq 1,6$

بمنظور محاسبه لحظه ای احتراق رابطه زیر برقرار است.

**heat rule**

$$\frac{dx}{dt} = 6,91 \cdot (m+1) \cdot \left(\frac{t}{t_z}\right)^m \cdot \exp\left[-6,91\left(\frac{t}{t_z}\right)^{m+1}\right]$$



# ترمودینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

انتقال گرما از گاز به دیوار سیلندر  $\Delta Q_w = \alpha \cdot A_w \cdot (T_{Gas} - T_w) \cdot \Delta t$

$$\alpha = 130 \cdot d^{-0.2} \cdot p^{0.8} \cdot T^{-0.53} \left[ c_1 \cdot c_m + c_2 \frac{V_h \cdot T_1}{P_1 \cdot V_1} (p - p_0) \right]^{0.8}$$

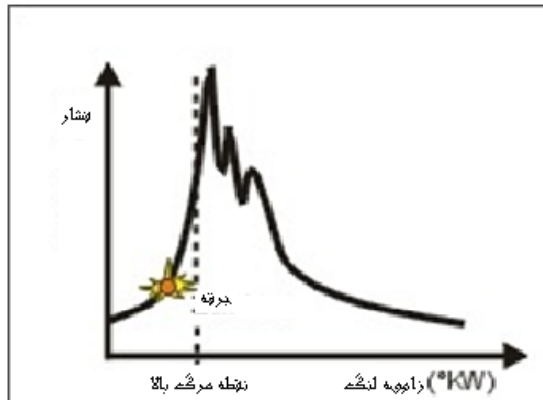
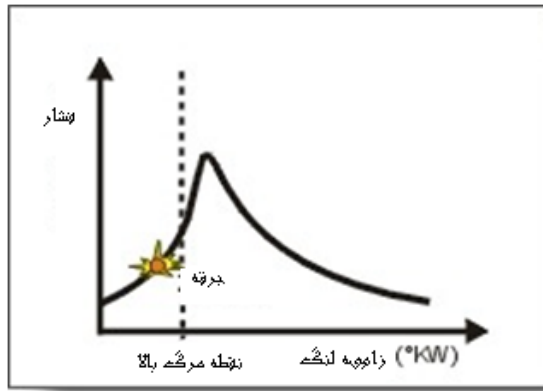
$d$	m	قطر سیلندر
$p$	bar	فشار در سیلندر با احتراق
$p_0$	bar	فشار در سیلندر بدون احتراق
$T$	K	دمای گاز
$c_m$	m/s	سرعت متوسط پیستون
$c_1$	1	بهنگام تعویض گاز : $c_1 = 6,18 + 0,417 \cdot c_u / c_m$ در تراکم و انفجار : $c_1 = 2,28 + 0,308 \cdot c_u / c_m$
$c_u$	m/s	سرعت محیط هوا از طریق آزمایش ایستایی گردش چرخ پره ای در سامانه سیلندری با قطر $0,7 \cdot d$
$c_2$	1	موتور اتو و دیزل تزریق مستقیم $c_2 = 3,24 \cdot 10^{-3}$ موتور دیزل تقسیم شده (با اطاقک فرعی) $c_2 = 6,22 \cdot 10^{-3}$

مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# ترمودینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

احتراق در موتور اتو (Combustion in the Petrol Engine)

## Thermodynamic of the Internal Combustion Engines



• احتراق عادی

• (normal combustion)

زمان جرقه متناسب با شرایط کار  
در انتهای مرحله تراکم و قبل از نقطه  
مرگ بالا

• احتراق کوبنده

• (knocking)

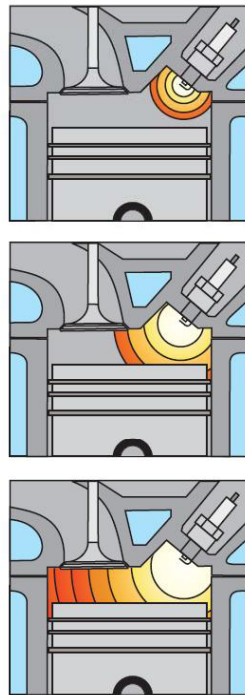
در انتهای مرحله تراکم، پس از  
تشکیل شعله، احتراق خودبخود در  
قسمت دیگر اطاق احتراق

# ترمودینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

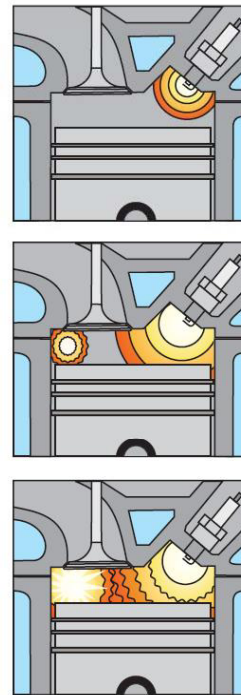
احتراق در موتور اتو (Combustion in the Petrol Engine)

## Thermodynamic of the Internal Combustion Engines

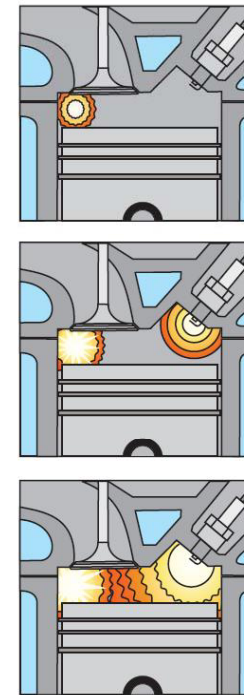
عادی normal combustion



کوبنده knocking



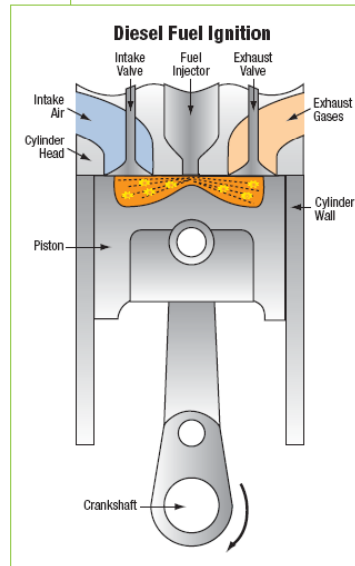
زودرس advanced self ignition



# ترمودینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

احتراق در موتور دیزل (Combustion in Diesel Engine)

## Thermodynamic of the Internal Combustion Engines

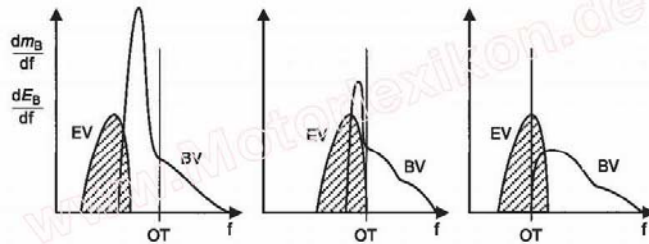


### • احتراق عادی

پاشش سوخت به هوای گرم و متراکم قبل از نقطه مرگ بالا

### • احتراق کوبنده

تشکیل هسته های آماده احتراق، بدلیل دیر کرد در تشکیل شعله، و در نتیجه همزمانی احتراق کل مخلوط و افزایش شدید فشار



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# ترمودینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

کاهش تمایل به کوبندگی (Reduction in Knocking Tendency)

## Thermodynamic of the Internal Combustion Engines

### • در موتور اتو • در موتور دیزل

-در دورهای بالا و بار سبک

-در تراکم کم

-تنظیم مناسب سامانه سوخت

رسانی

-طراحی بهینه اطاق احتراق

-عدم انتخاب زمان خیلی زود

جرقه

-افزایش خنک کاری

-در دورهای پائین و بار

سنگین

-در تراکم بزرگ

-مخلوط همگون

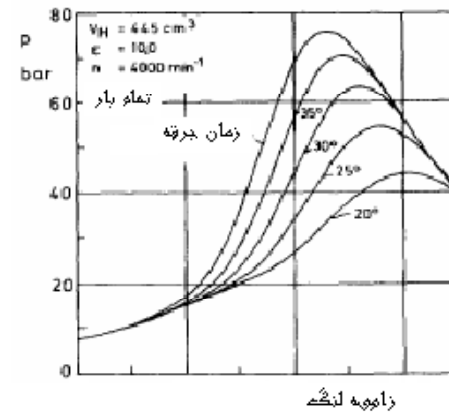
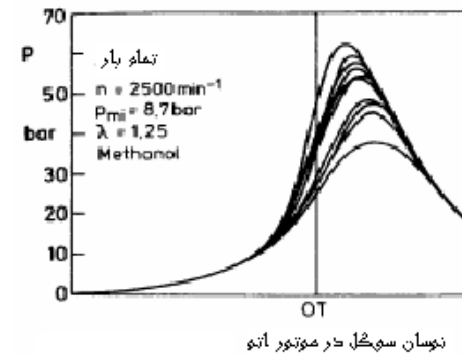
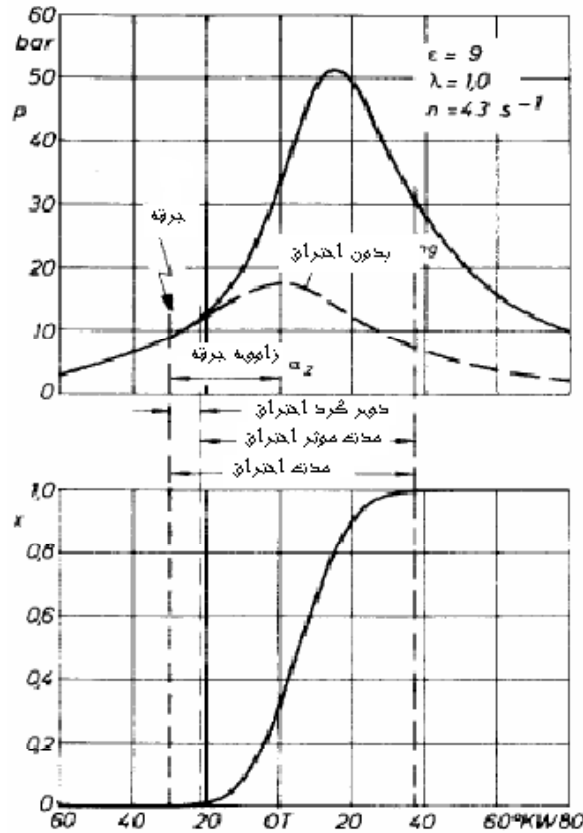
- طراحی بهینه اطاق احتراق

-زمان مناسب تزریق سوخت

-کاهش خنک کاری

# ترمودینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

## Thermodynamic of the Internal Combustion Engines



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر



# ترمودینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

موتور اتو (Petrol Engine)

## Thermodynamic of the Internal Combustion Engines



• خرابی ناشی از احتراق زودرس  
بدلائل ممکن:

-شمع با ارزش حرارتی پائین

-مخلوط خیلی ضعیف

-بسته شدن ناقص سوپاها

-سوخت با اوکتان پائین

-سوخت دیزل مخلوط با بنزین

# ترمودینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

موتور دیزل (Diesel Engine)

## Thermodynamic of the Internal Combustion Engines



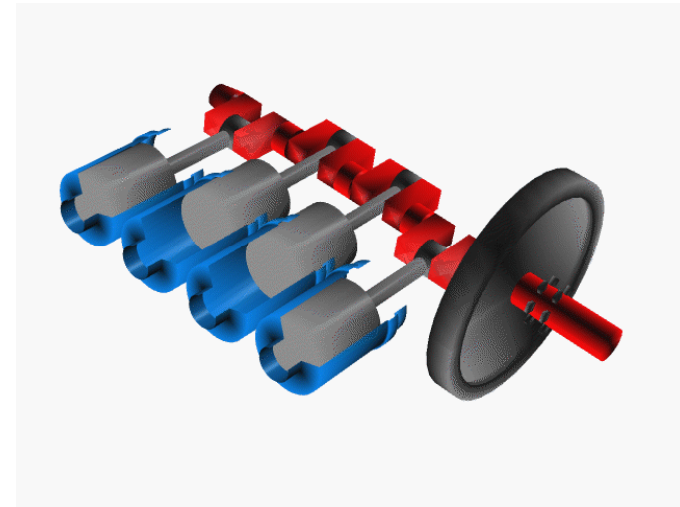
- این نوع خرابی بیشتر در موتورهای دیزل تقسیم شده پیش می آید و علت احتمالی:
  - دیر کرد طولانی احتراق
  - عدد ستان پائین
  - بسته نشدن خوب نازل پاشش سوخت
  - عدم تناسب مقدار پاشش و زمان آن
  - با داده های تولید کننده
  - شکسته شدن فنر نازل پاشش

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

System Dynamic of the Internal Combustion Engines

## • سامانه حرکتی میل لنگ

میل لنگ (crankshaft)، دسته پیستون (connecting rod)، پیستون (piston)  
ویاتاقانهای لغزشی و غلتشی (journal and roll bearings)

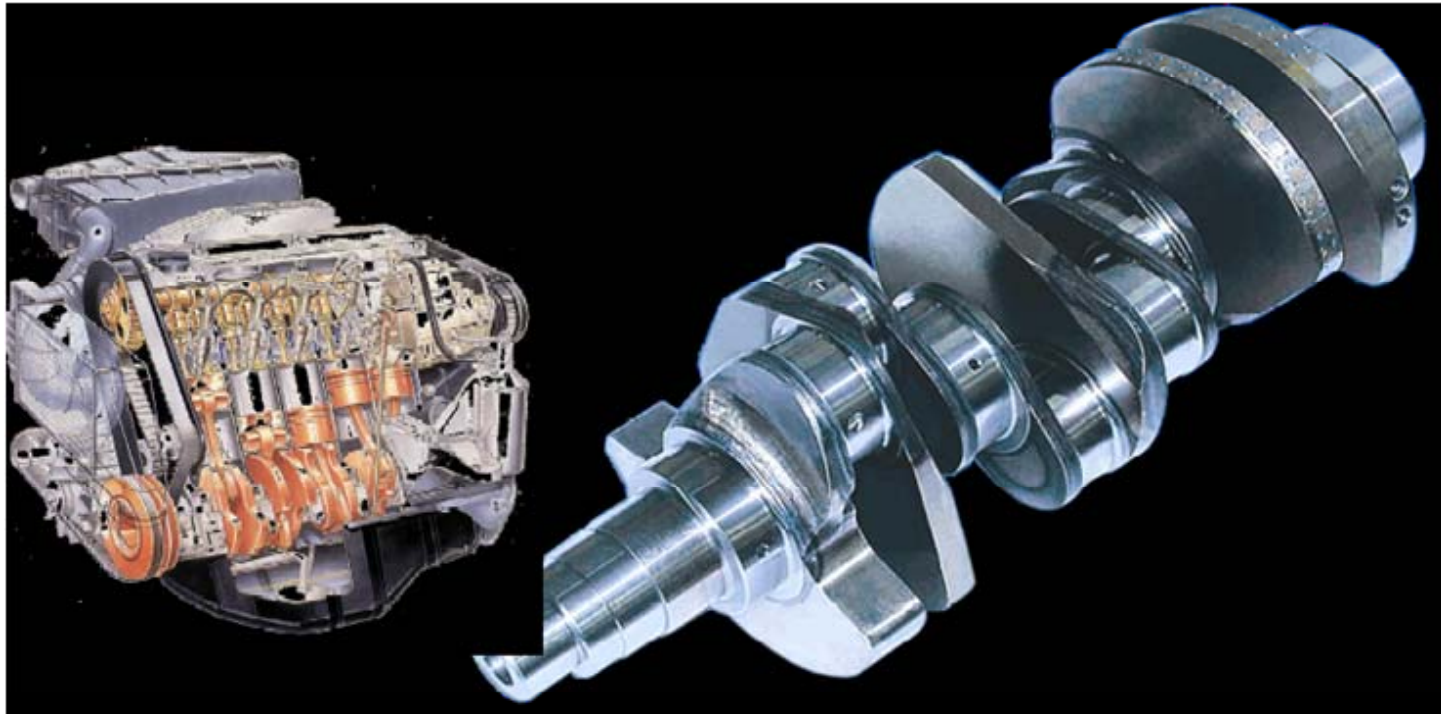


مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

(میل لنگ Crankshaft)

System Dynamic of the Internal Combustion Engines



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، بار و کنترل استحکام)

System Dynamic of the Internal Combustion Engines

## • بار

-جرمی گریز از مرکز، ممان  $M_r$  و نیروی  $F_r$

-جرمی رفت و برگشتی، نیروی مراتب یک  $F_{o1}$  و دو  $F_{o2}$  و ممان مراتب یک و دو  $M_{o1}$  و  $M_{o2}$

-گاز  $F_G$

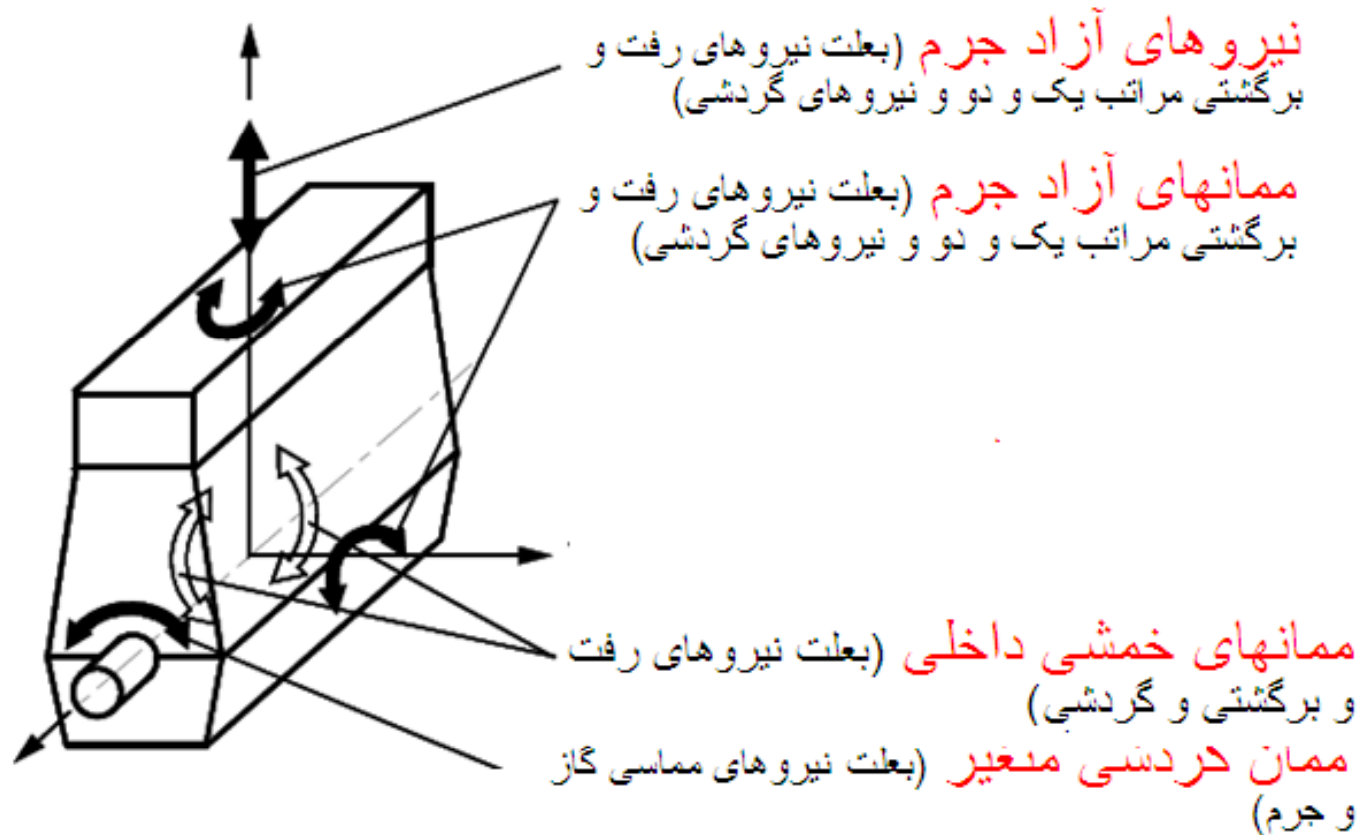
## • کنترل استحکام (مقایسه تنش بار و تنش مجاز)

-استاتیکی

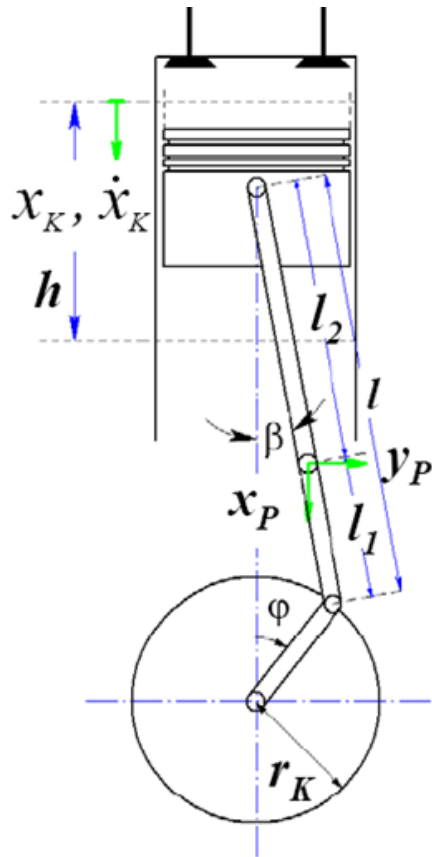
-دینامیکی

## • انتخاب فرم (طراحی فرم)

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، بارهای وارده)



## سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، جابجائی و سرعت)



$$x_k = r_k \cdot \left( 1 - \cos \varphi + \frac{1}{\lambda_p} \cdot \cos \beta \right)$$

$$x_k = r_k \cdot \left( 1 - \cos \varphi + \frac{1}{\lambda_p} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \lambda_p^2 \cdot \sin^2 \varphi} \right) \right)$$

$$x_K = r \cdot \left( 1 - \cos \varphi + \frac{\lambda}{2} \sin^2 \varphi + \frac{\lambda^2}{8} \sin^4 \varphi + \frac{\lambda^5}{16} \sin^6 \varphi + \dots \right)$$

$$\left( v_k = \dot{x}_k = \frac{dx_k}{dt} \right) \quad \lambda_p = r_k / l$$

## سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، بارهای جرمی مراتب یک و دو)

- نیروهای رفت و برگشتی بعنوان نیروهای شتاب و در راستای سیلندر از روابط زیر بدست می‌آیند. مولفه اول مرتبه یک و مولفه دومی مرتبه دو است. ممان های مراتب مربوطه نیز با رعایت فاصله نیرو به صفحه ثقل و همچنین رعایت جهت در سمت چپ صفحه ثقل (بسمت بیرون) و در سمت راست (بسمت داخل) تعیین میشود.

$$\ddot{x}_k \approx r_k \omega^2 [\cos \varphi + \lambda_p \cos 2\varphi]$$

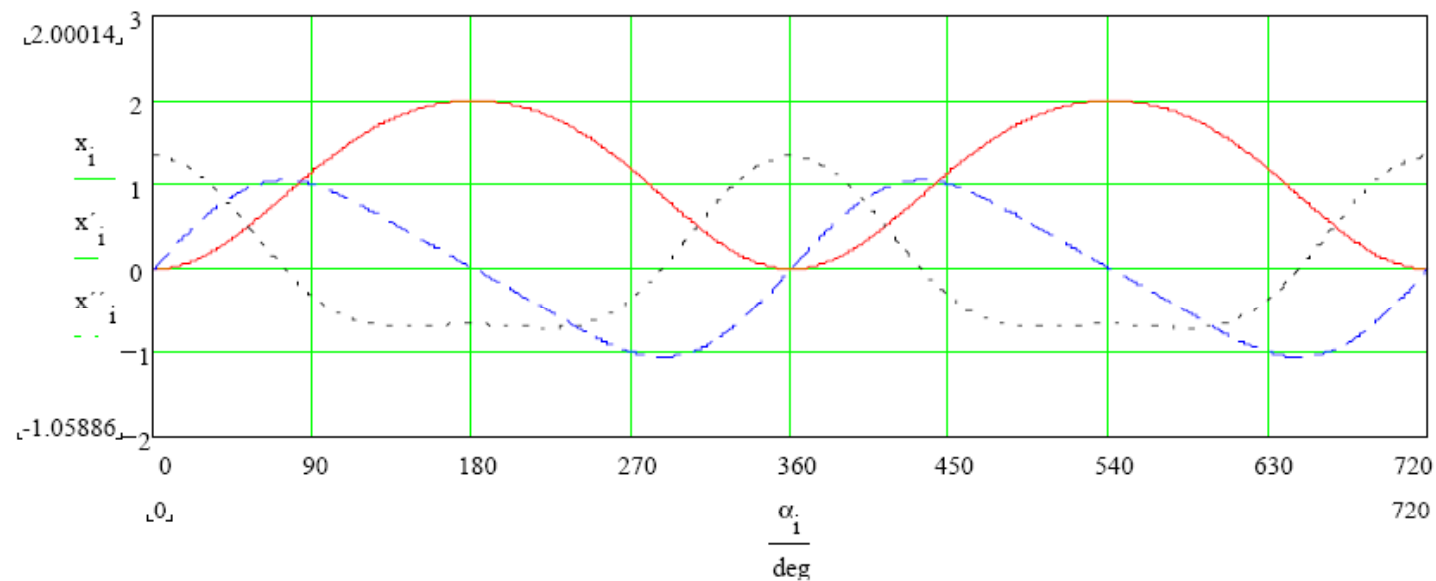
$$F_o = m_o r_k \omega^2 (\cos \varphi + \lambda \cos 2\varphi)$$

$$M_o = F_o . a$$



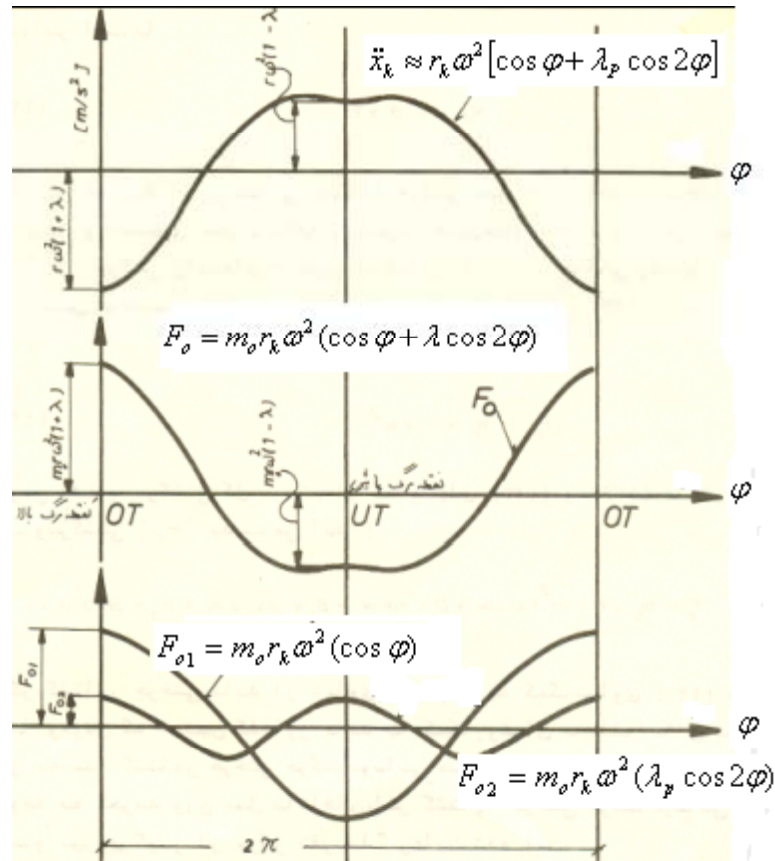
## سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، راه، سرعت، و شتاب پیستون)

- نمایش رفتار راه، سرعت، و شتاب پیستون در یک دور کاری موتور چهار زمانه



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، نیروی جرمی رفت و برگشتی مراتب 1 و 2)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

## سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، راه و شتاب در جابجائی محور)

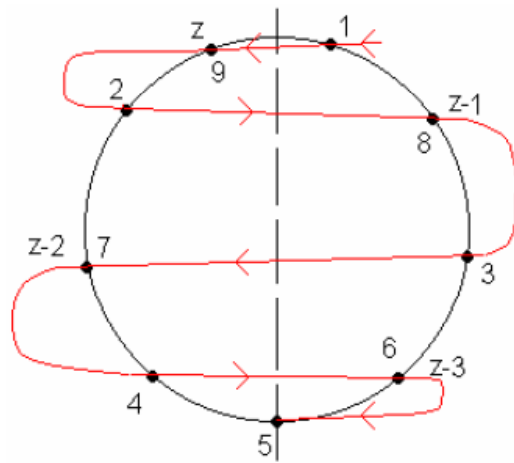
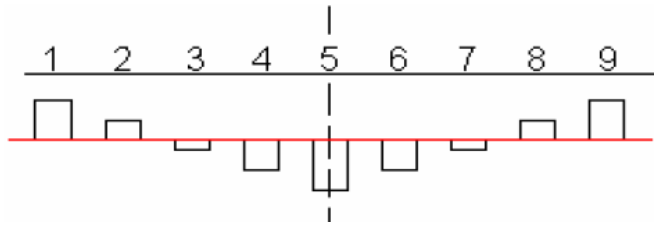
- برای کاهش صدا و تاثیر بر زمانبندی مراحل تنفس و دفع موتورهای دو زمانه، محور قائم سامانه حرکتی را باندازه معینی به موازات جابجا میکنند. در اینصورت انگشتی به فاصله  $q$  از محور اصلی جابجا شده است.

$$x_k = r_k \left( \cos\varphi + \frac{\sqrt{1 - (\lambda_p - \sin\varphi - \kappa)^2}}{\lambda_p} \right) \quad \kappa = \frac{q}{l}$$

$$\ddot{x}_k = r_k \omega^2 (\cos\varphi + \kappa \sin\varphi + \lambda_p \cos 2\varphi)$$

- در صورت جابجائی محور در کنار اجزای کوسینوسی، اجزای سینوسی نیز پیش میآیند که این موجب نامتقارن شدن سرعت و شتاب پیستون در رفت و برگشت میشود.

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، ترتیب زانو)

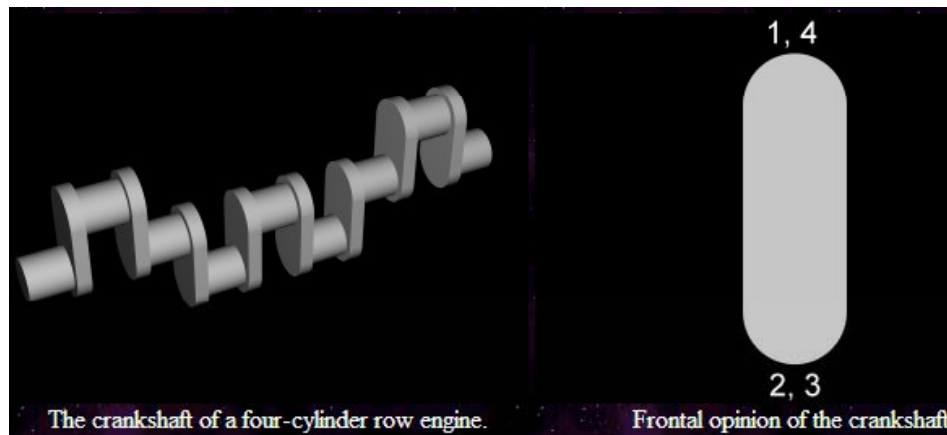
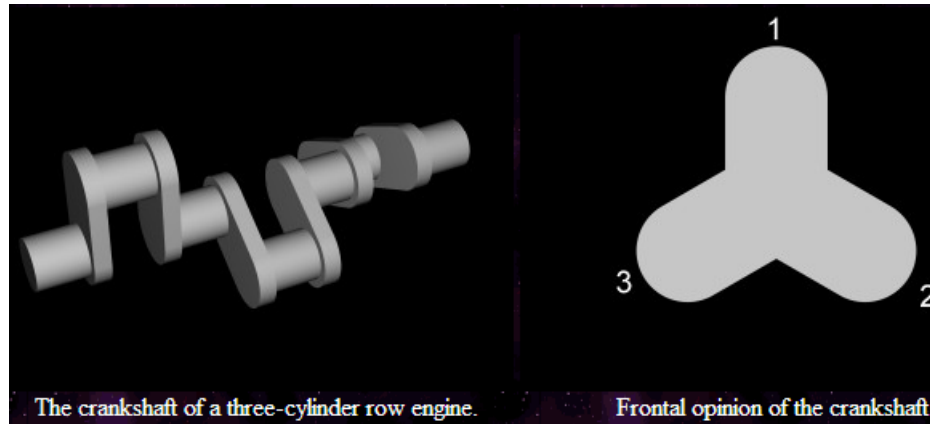


.....،  $z-6, 7, z-5, 6, z-4, 5, z-3, 4, z-2, 3, z-1, 2, z, 1$

در موتورهای با تعداد زیاد سیلندر، تعدد ترتیب زانوها به حدی وسیع است، که یافتن مناسبترین آنها ساده نخواهد بود. قاعده کرامر Kramer مشکل گشا است، که بترتیب زیر عمل میشود:

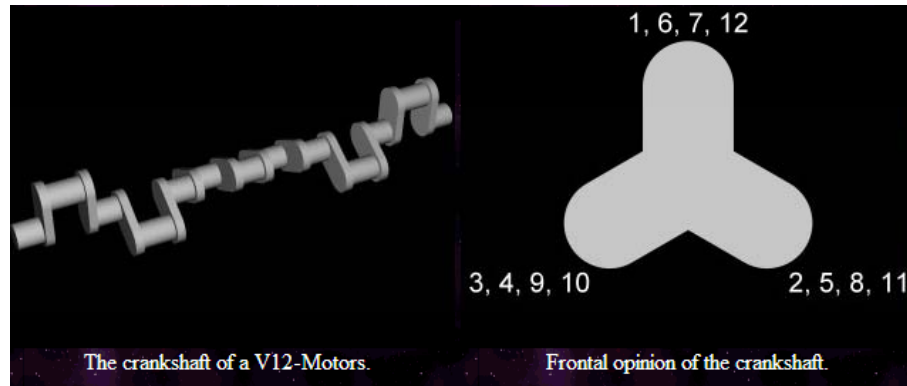
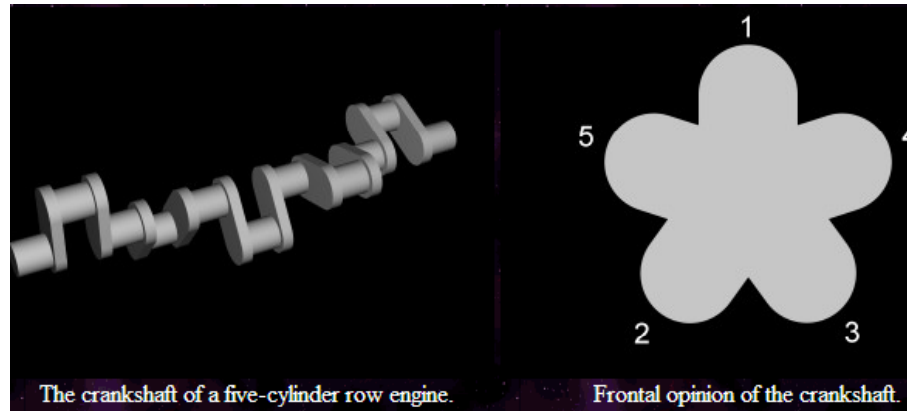
- رسم طولی میل لنگ
- زانوها در قرینه گی صفحه ثقل
- زانوهائیکه در بالا قرار گرفته اند با 1 و z مشخص میشوند (برای تعداد سیلندر فرد یک زانو در نقطه مرگ پائین)
- ترتیب قرارگیری از بالا در سمت راست به پائین در سمت چپ شبیه S

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، ستاره زانو سه و چهار سیلندر)



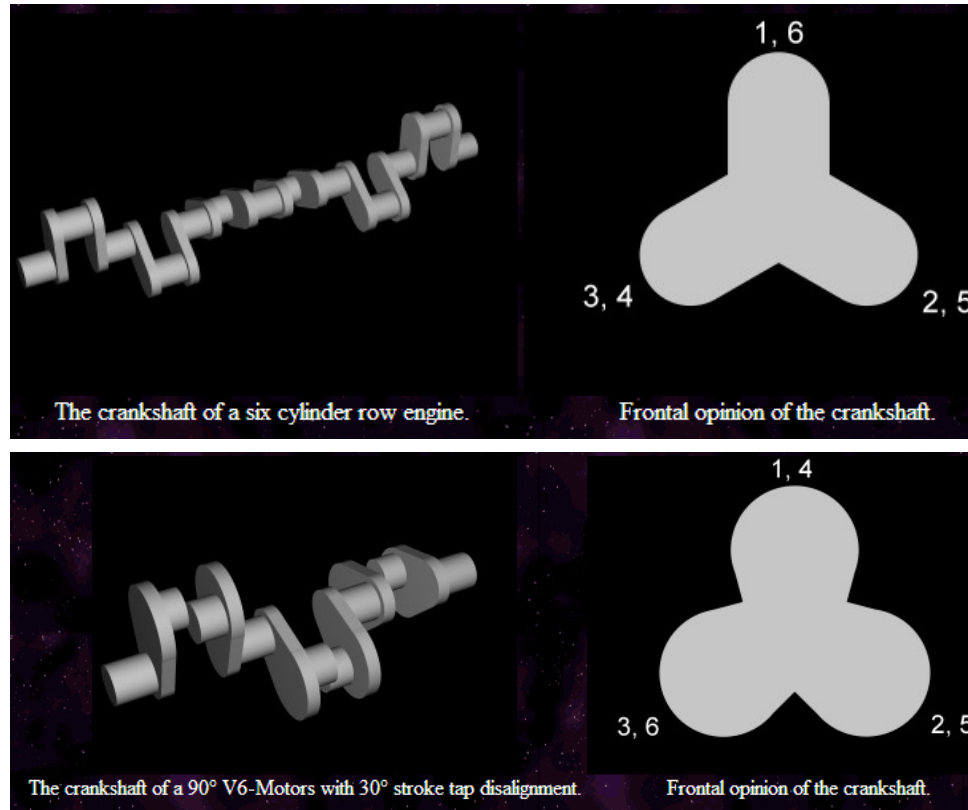
مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، ستاره زانوینچ و دوازده سیلندر)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

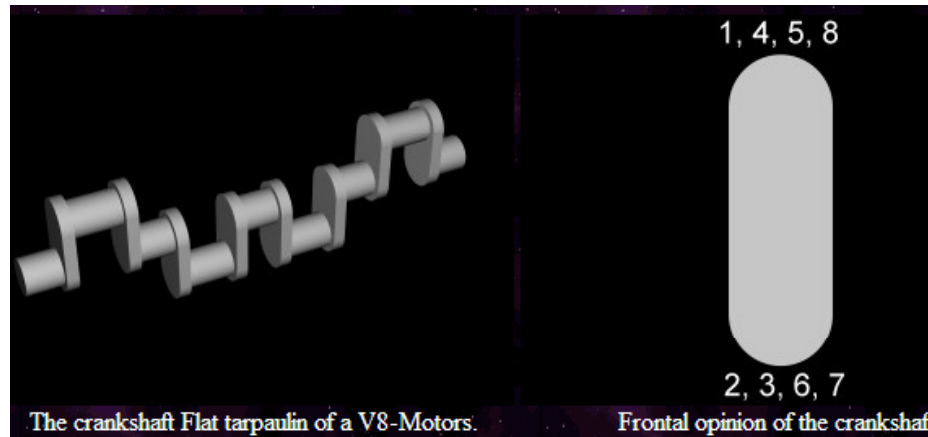
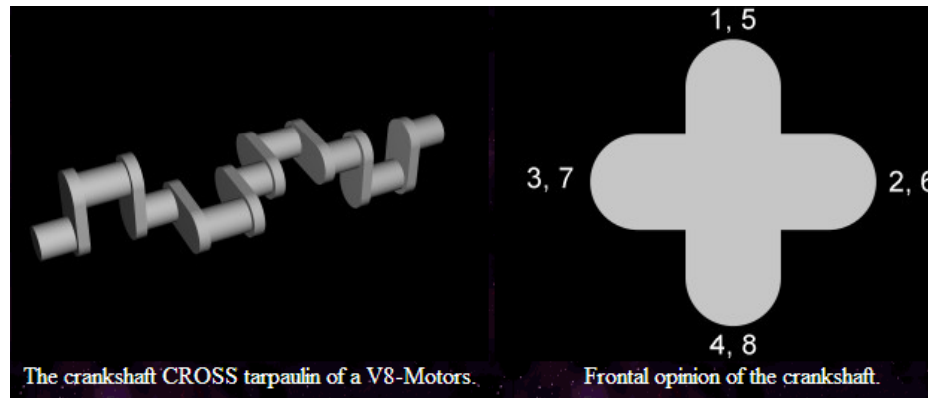
# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، ستاره زانو شش سیلندر)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

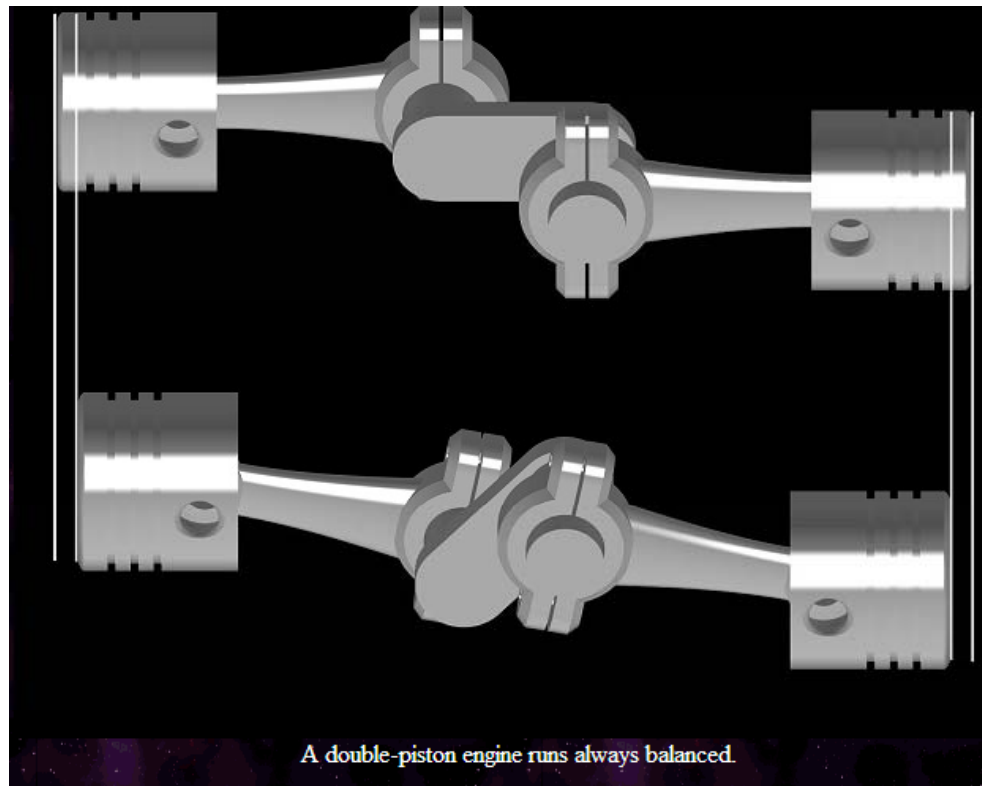
(طراحی میل لنگ، ستاره زانو هشت سیلندر)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر



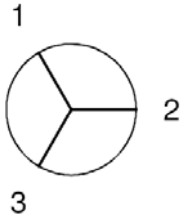
# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، موتور پیستون دوبل)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

## (طراحی میل لنگ، تحلیل برداری تعیین بارهای آزاد جرم)



- تعیین ستاره زانو (بعنوان مثال میل لنگ موتور سه سیلندری)

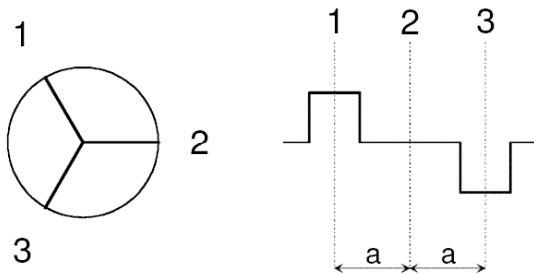
- بردار نیروهای دورانی (گریز از مرکز) مطابق ستاره زانو  $F_r = m_r r_k \omega^2$   
برای مثال:  $\Sigma F_{r,i} = 0$

- بردار نیروهای مرتبه یک مطابق ستاره زانوی  $\omega$ ، حداکثر  $F_{o1,i} = m_o r_k \omega^2$   
برای مثال:  $\Sigma F_{o1,i} = 0$

- بردار نیروهای مرتبه دوم مطابق ستاره زانوی  $2\omega$ ، حداکثر  $F_{o2,i} = m_o r_k \lambda_p \omega^2$   
برای مثال:  $\Sigma F_{o2,i} = 0$

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

(طراحی میل لنگ، تحلیل برداری تعیین بارهای آزاد جرم)



- برآیند بردار ممان دورانی (گریز از مرکز)

$$\Sigma M_{r,i} = 3^{1/2} \cdot m_r \cdot r_k \cdot \omega^2 \cdot a$$

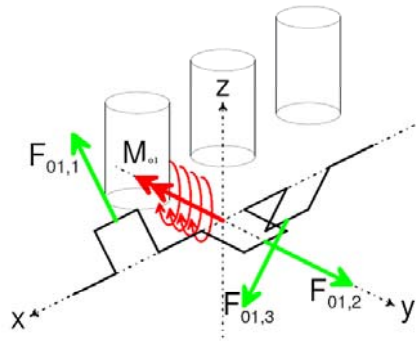
- برآیند بردار ممان مرتبه 1

$$\Sigma M_{o1,i} = 3^{1/2} \cdot m_o \cdot r_k \cdot \omega^2 \cdot a$$

- برآیند بردار ممان مرتبه 2

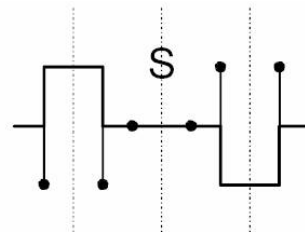
$$\Sigma M_{o2,i} = 3^{1/2} \cdot m_o \cdot r_k \cdot \lambda_p \cdot \omega^2 \cdot a$$

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، تعادل ممان های آزاد جرم)



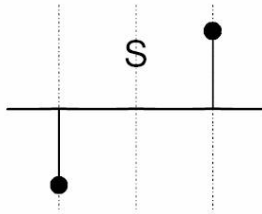
- بردار ممان در صفحه قائم بر محور میل لنگ (صفحه yz) بر حسب مرتبه با سرعت زاویه ای  $\omega$  و یا  $\omega^2$  می چرخد.

- متعادل کردن بکمک وزنه بر زانوی میل لنگ:



$$M = 3^{1/2} \cdot m_o \cdot r_k \cdot \omega^2 \cdot a$$

- متعادل کردن بکمک وزنه بر روی شافت تعادل با جهت خلاف گردش میل لنگ

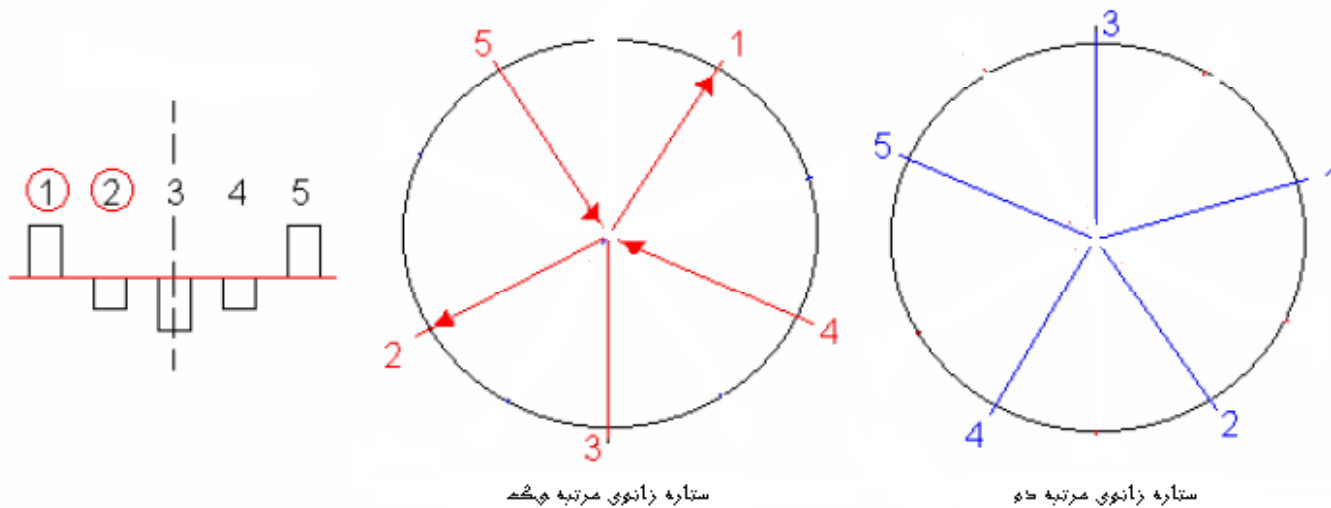


$$M = 3^{1/2} \cdot m_o \cdot r_k \cdot \omega^2 \cdot a$$

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

(طراحی میل لنگ، برآیند نیرو و ممان موتور پنج سیلندری)

- اگر ترتیب زانوها قرینه باشد،  $F_{res.} = 0$
- زانوهائیکه در طرف چپ صفحه ثقل (زانوی 1 و 2)، جهت نیروی جرم در راستای زانو، در غیر اینصورت بلعکس

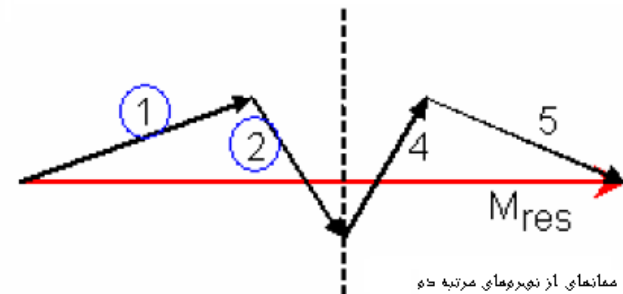
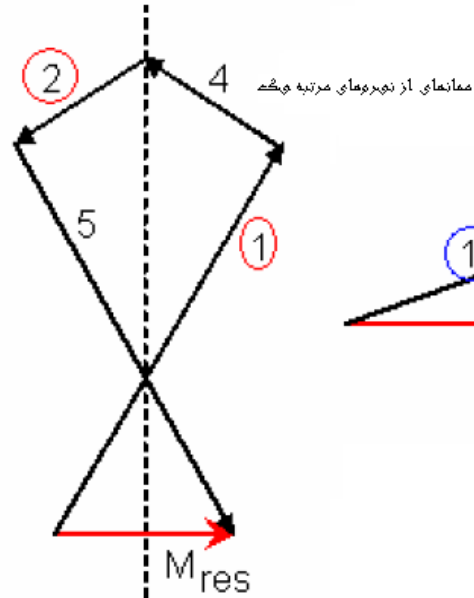
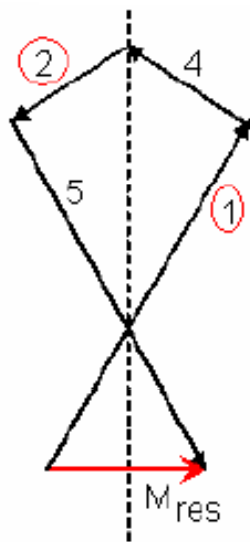


مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

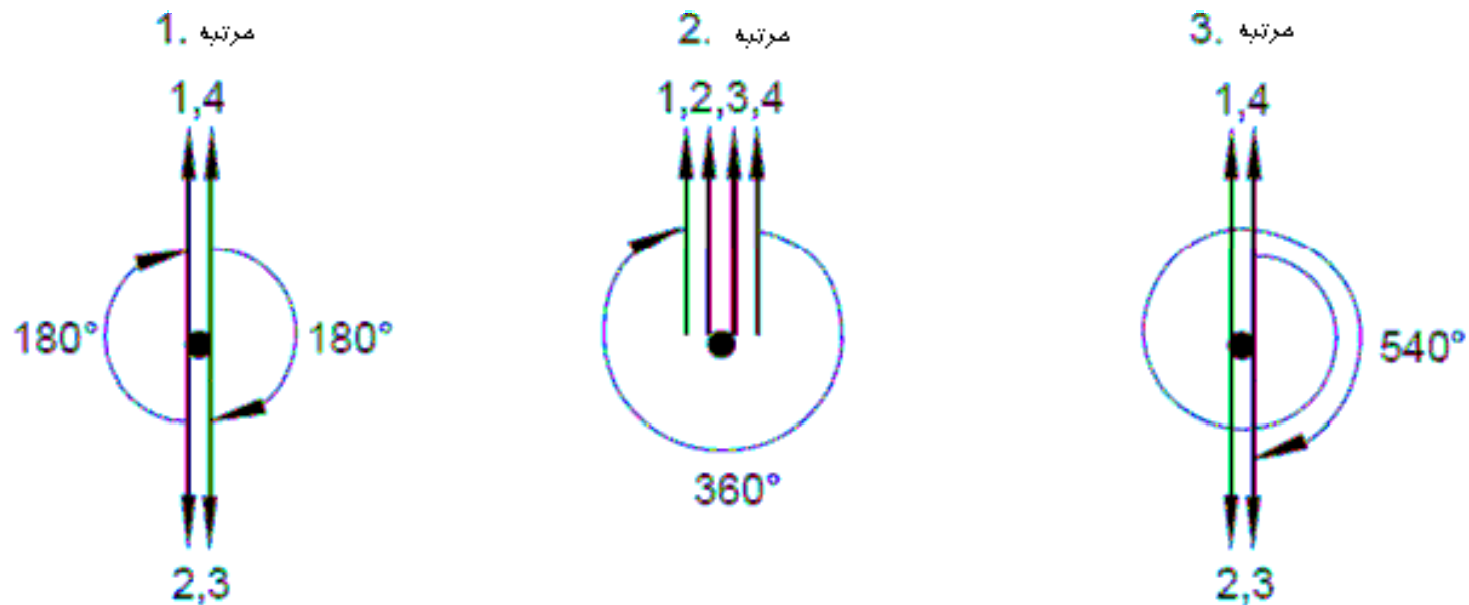
(طراحی میل لنگ، برآیند ممانهای جرمی موتور پنج سیلندر)

ممانهای از نیروهای گریز از مرکز



# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

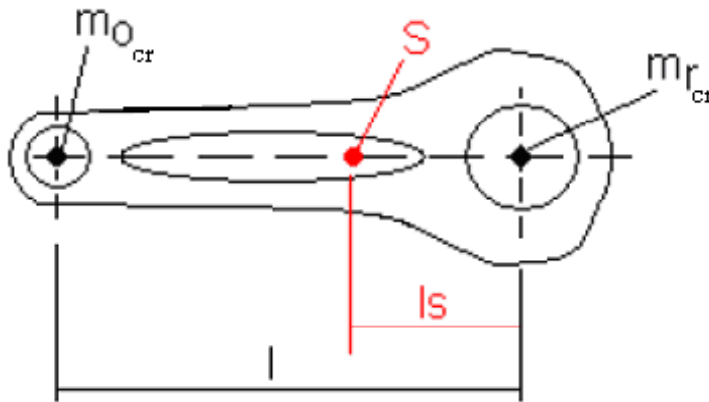
(طراحی میل لنگ، نیروهای جرمی آزاد مرتبه دو در موتور چهار سیلندر)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

## سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، تعیین مقدار جرم دسته پیستون)

- جرمهای گردشی  $m_{rcr}$  و رفت و برگشتی  $m_{ocr}$  دسته پیستون (connecting rod):



$$m_{ocr} = m_{cr} l_s / l$$

$$m_{rcr} = m_{cr} (l - l_s) / l$$

$$m_{ocr} + m_{rcr} = m_{cr}$$

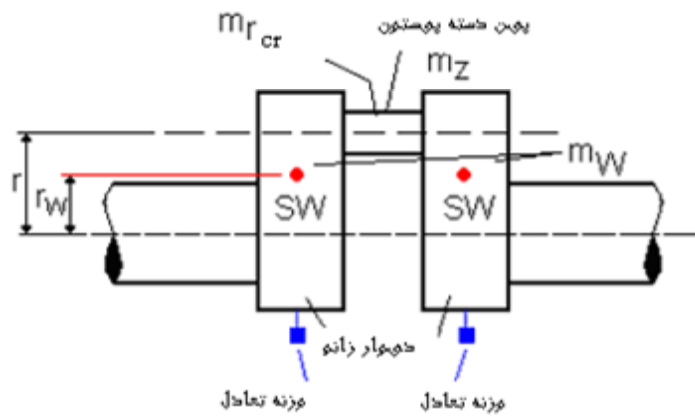
تقریباً:

$$m_{ocr} = 1/3 m_{cr}$$

$$m_{rcr} = 2/3 m_{cr}$$



# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، تعیین مقدار جرم گردشی و رفت و برگشتی)



## • کل جرمهای رفت و برگشتی $m_o$ :

مجموع جرمهای پیستون، انگشتی، رینگها،  
و قسمت رفت و برگشتی دسته پیستون

## • کل جرمهای گردشی $m_r$ :

مجموع جرمهای قسمت گردشی دسته

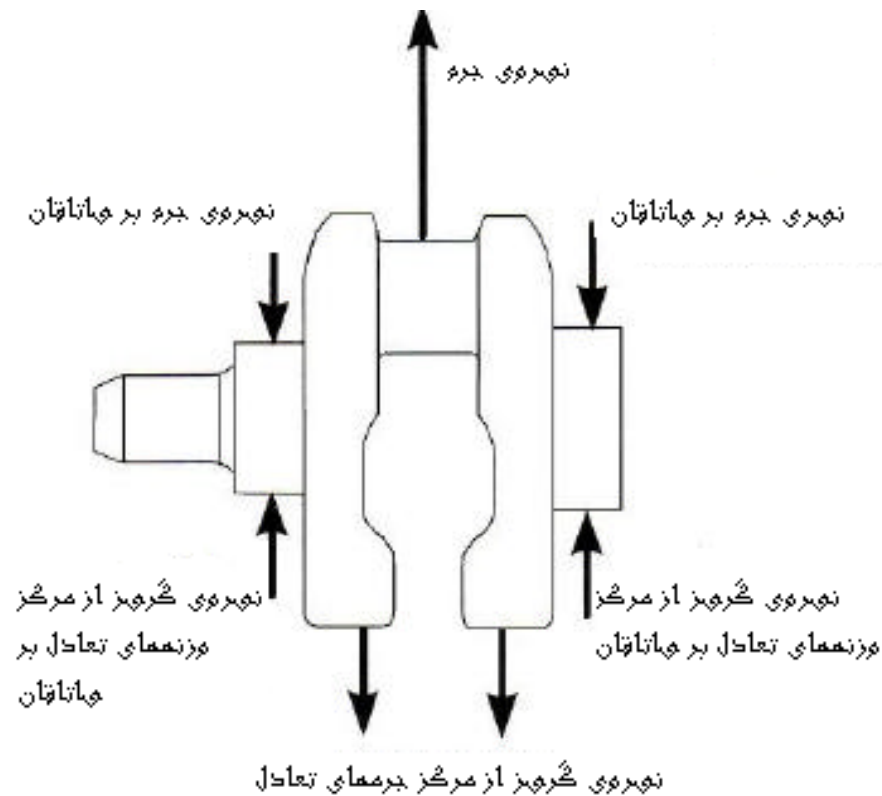
پیستون، دیوار زانو، و پین دسته پیستون. اثر نیرو  
که خارج مرکز، گردش میکنند نیز رعایت میشود.

## • سامانه جایگزین

$$m_o = m_{ocr} + \sum m_k$$

$$m_r = m_{rcr} + m_z + m_w r_w / r_k$$

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، بارهای وارده بدون گاز)

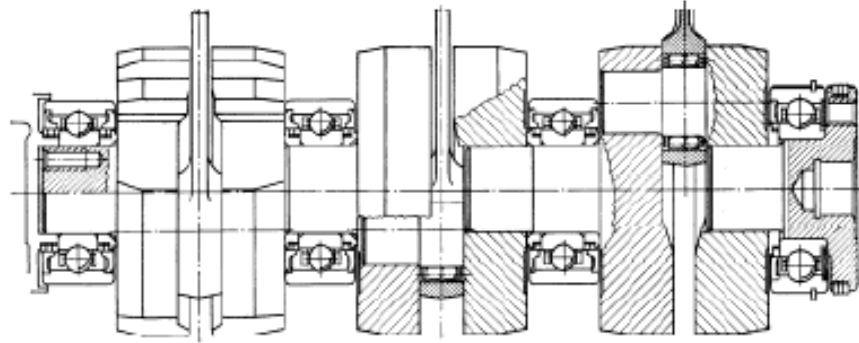


مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

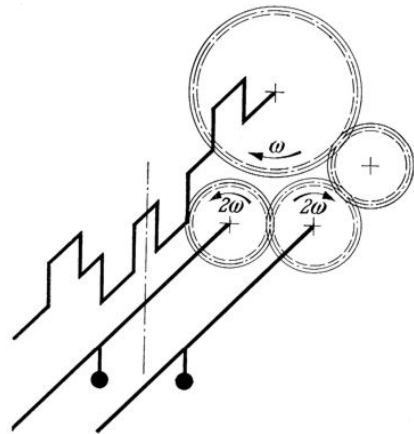
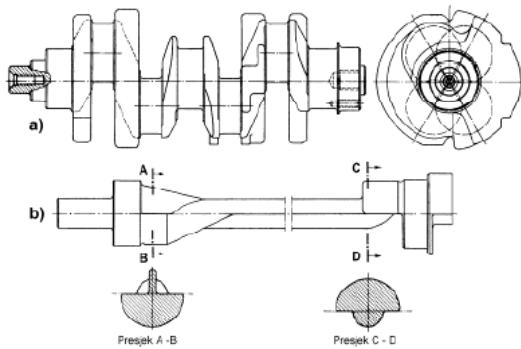
## سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، بارهای بر یاتاقان پایه)

- نیروی وارد بر یاتاقان پایه میل لنگ  $P$  از نیروی رادیال گاز  $F_{(t)r}$  منهای  $F_r$  و نیروی گریز از مرکز جرمهای تعادل
- بار معادل بر یاتاقان تقریباً:

$$P_{eq} = \sqrt{\frac{1}{4\pi} \int_0^{4\pi} p^2 d\varphi}$$

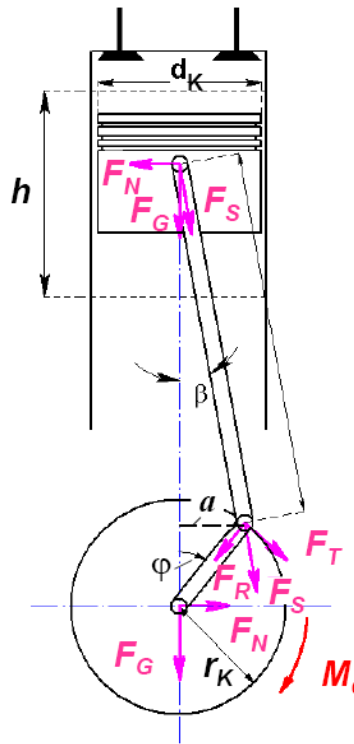


## سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، تعادل بارهای آزاد جرم)



- نیروی جرمهای گردشی و رفت و برگشتی مرتبه یک. ممان مرتبه یک، اگر وزنه های دابل با جابجائی  $180^\circ$  و بازوی اهرم طویل
- نیروی جرمهای رفت و برگشتی مرتبه دو توسط تعادل لانچستر

## سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، نیروی گاز)



$$F_G = A_{k_{cyl}} \cdot p$$

$$F_S = \frac{F_G}{\cos \beta}$$

$$F_N = F_G \tan \beta$$

$$F_R = F_G \frac{\cos(\varphi + \beta)}{\cos \beta}$$

$$F_T = F_G \frac{\sin(\varphi + \beta)}{\cos \beta}$$

• نیروی گاز

• نیرو در راستای دسته پیستون

• نیروی قائم بر سیلندر

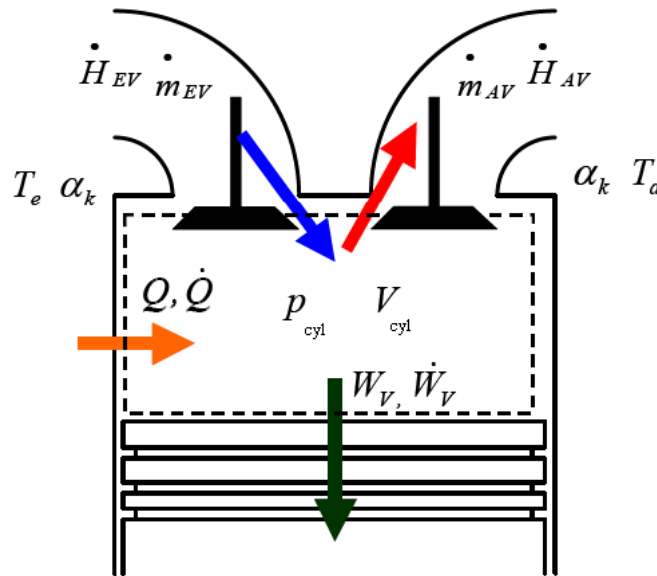
• نیروی شعاع (رادیال)

• نیروی مماس (tangential)

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، محاسبه فشار سیلندر)

$$\dot{Q} + \sum \dot{H} = \dot{U} + \dot{W}$$

## • قانون اول



$$\dot{Q}$$

$$\sum \dot{H}$$

$$\dot{U}$$

$$\dot{W}_V$$

$$\dot{m}_{EV}, \dot{m}_{AV}$$

$$p_{cyl.}$$

$$V_{cyl.}$$

$$T_e, T_a$$

$$\alpha_k$$

$$\alpha_k$$

$$\alpha_k$$

$$\alpha_k$$

$$\alpha_k$$

- گرما
- انتقالی
- انرژی داخلی
- کار تغییرات زمانی حجم
- جرم گاز ورودی و خروجی
- فشار سیلندر
- حجم سیلندر
- دمای گاز ورودی و خروجی
- ضریب فشردگی

سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی  
(طراحی میل لنگ، محاسبه فشار سیلندر)

$$V_{\text{cyl.}} = V_c + A_k \cdot x_k$$

$$V_{\text{cyl.}} = V_c + A_k \cdot r_k \cdot \left( 1 - \cos \varphi + \frac{l}{\lambda_p} \cdot \left( 1 - \sqrt{1 - \lambda_p^2 \cdot \sin^2 \varphi} \right) \right)$$

$$\dot{V}_{\text{cyl.}} = \frac{dV_{\text{cyl.}}}{dt} = A_k \cdot v_k$$

$$= A_k \cdot r_k \cdot \omega \cdot \left( \sin \varphi + \lambda_p \frac{\sin \varphi \cos \varphi}{\cos \beta} \right)$$

## سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، محاسبه فشار سیلندر)

$$\dot{U} = \frac{c_v}{R} \cdot \frac{d}{dt}(p \cdot V) \quad dW_V = p \cdot dV \quad c_p - c_v = R$$

$$\sum \dot{H} = \dot{H}_{EV} - \dot{H}_{AV} = c_p \cdot T_e \cdot \dot{m}_{EV} - c_p \cdot T_a \cdot \dot{m}_{AV}$$

$$c_p \cdot T_e \cdot \dot{m}_{EV} - c_p \cdot T_a \cdot \dot{m}_{AV} = \frac{c_v}{R} \cdot V_{cyl.} \cdot \dot{p}_{cyl.} + \frac{c_v}{R} p_{cyl.} \cdot \dot{V}_{cyl.} + p_{cyl.} \cdot \dot{V}_{cyl.}$$

$$\dot{p}_{cyl} = -\kappa \cdot p_{cyl} \cdot \frac{\dot{V}_{cyl}}{V_{cyl}} + \kappa \cdot R_{air} \cdot \frac{T_e}{V_{cyl}} \cdot \dot{m}_{EV} - \kappa \cdot R_{air} \cdot \frac{T_a}{V_{cyl}} \cdot \dot{m}_{AV}$$

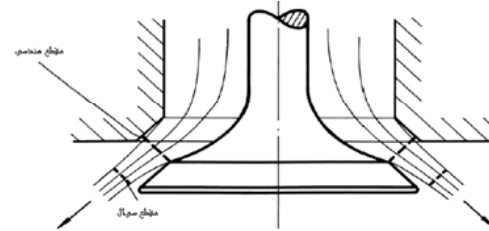
$$p_{cyl} = \int_{t_o}^{t_{end}} \dot{p}_{cyl} dt$$



## سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، محاسبه فشار سیلندر)

$$\dot{m} = \dot{V} \cdot \rho_s = A_s \cdot c_s \cdot \rho_s$$

$$\alpha_k = \frac{A_s}{A_k}$$



$$p_s > p_{cyl}$$

$$c_s = \sqrt{\frac{2 \cdot \kappa \cdot p_s}{\kappa - 1 \cdot \rho_s} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{p_{cyl}}{p_s} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} \right]}$$

$$\rho_s = \rho_{cyl} \cdot \left( \frac{p_{cyl}}{p_s} \right)^{\frac{1}{\kappa}}$$

$$p_s \leq p_{cyl}$$

$$c_s = - \sqrt{\frac{2 \cdot \kappa \cdot p_{cyl}}{\kappa - 1 \cdot \rho_{cyl}} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{p_s}{p_{cyl}} \right)^{\frac{\kappa - 1}{\kappa}} \right]}$$

$$\rho_s = \rho_{cyl} \cdot \left( \frac{p_s}{p_{cyl}} \right)^{\frac{1}{\kappa}}$$

مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

## سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، ممان نیروی گاز)

- فشار داخل محفظه لنگ، crankcase pressure، تقریباً برابر فشار محیط 1bar است

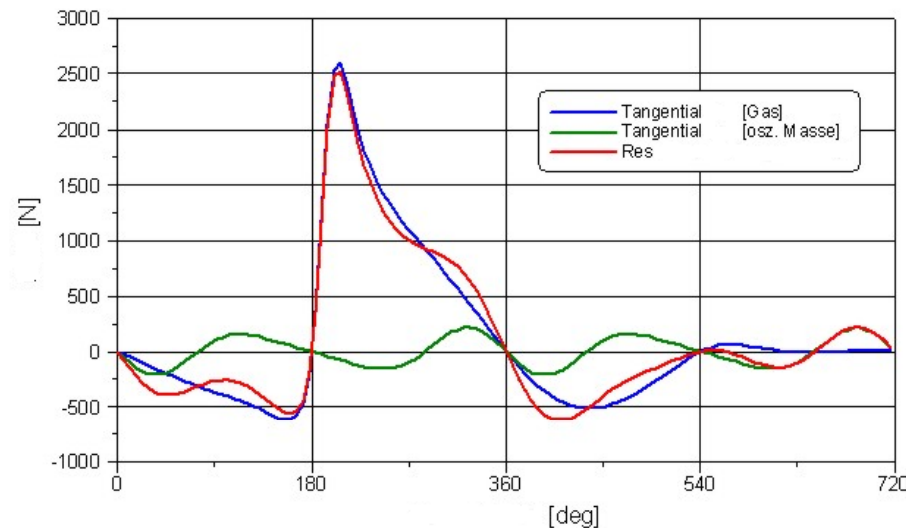
$$M_{Gasmoment} = F_T \cdot r_k$$

$$M_{Gasmoment} = (p_{cyl} - p_{crankcase}) \cdot A_k \cdot r_k \cdot \left( \sin \varphi + \frac{\sin \beta \cos \varphi}{\cos \beta} \right)$$

$$= (p_{cyl} - p_{crankcase}) \cdot A_k \cdot r_k \cdot \left( \sin \varphi + \lambda_p \cdot \frac{\sin \varphi \cos \varphi}{\sqrt{1 - \lambda_p^2 \cdot \sin^2 \varphi}} \right)$$

## سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، نیروهای گازی، جرمی، و برآیند)

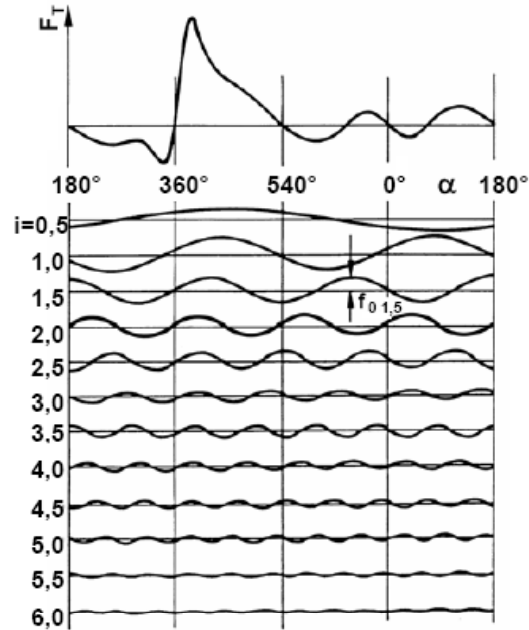
- از آنجائیکه سطح پیستون متناسب بامجذور قطر سیلندر افزایش می یابد، بنابراین هر چه قطر سیلندر بزرگتر باشد، نیروی گاز نیز بیشتر است. نیروی گاز موتورهای کورس کوتاه، در حالت یکسان بودن حجم کورس، بیشتر از موتورهای کورس بلند است.



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

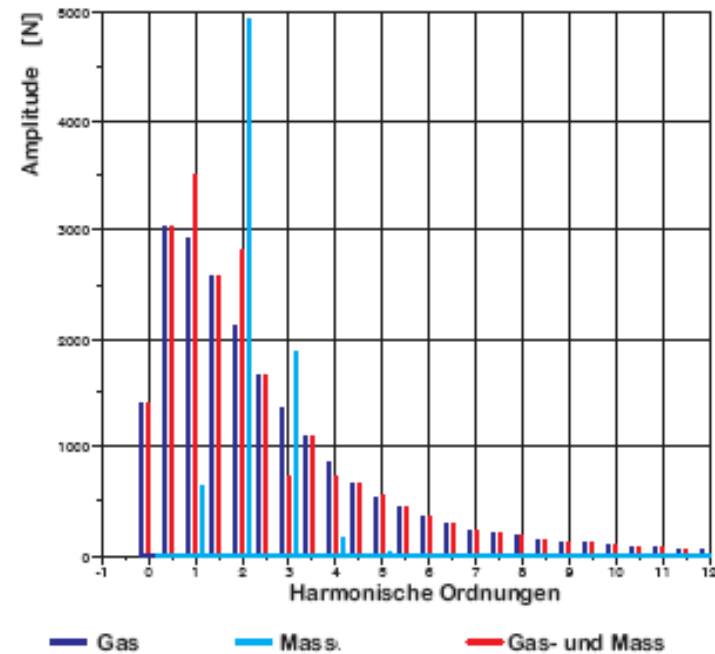
# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، نوسان نیروی جرم و گاز)

تجزیه هارمونیک نیروی گاز



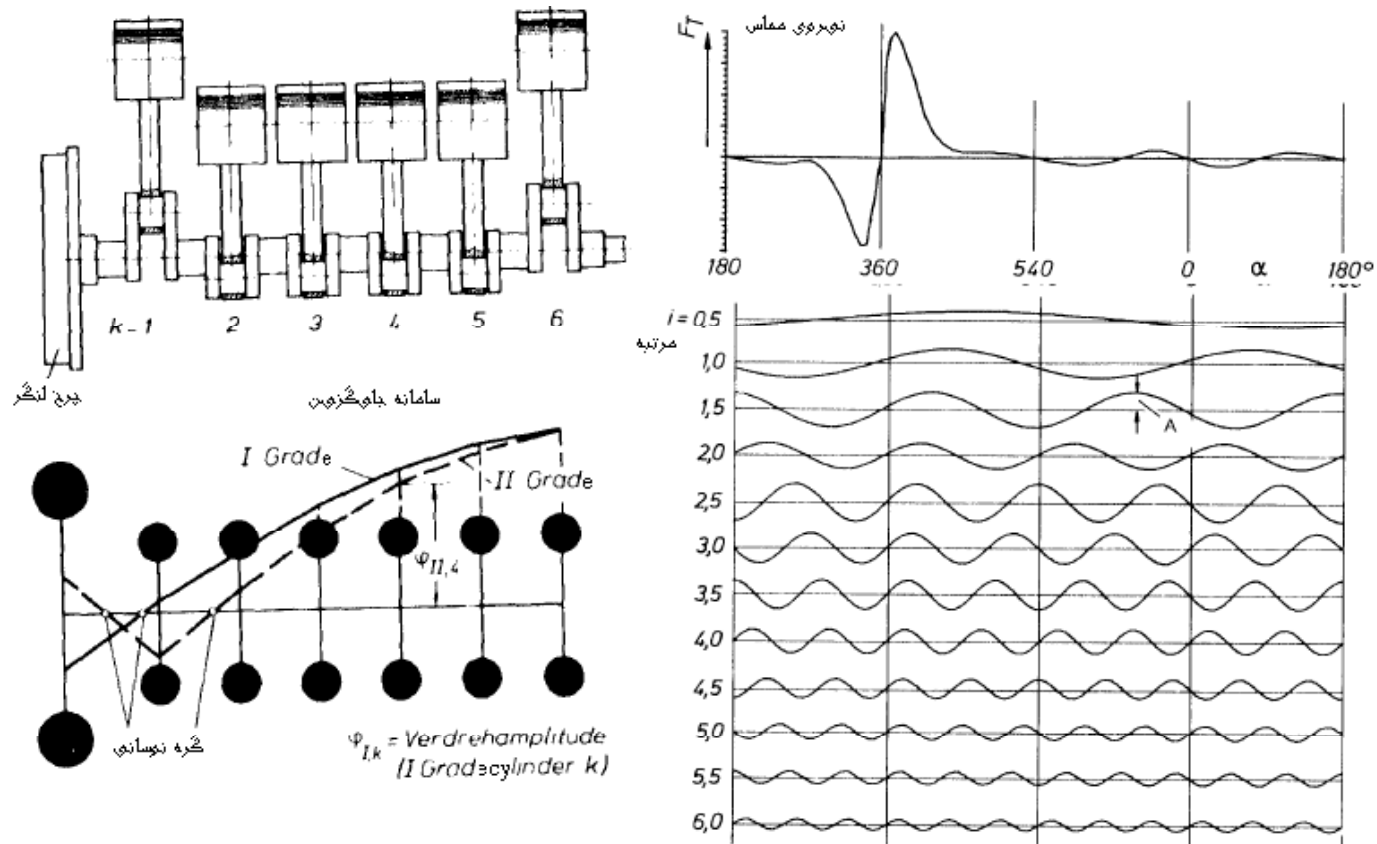
دامنه نوسان نیروی جرم و گاز بر حسب

مراتب هارمونیک



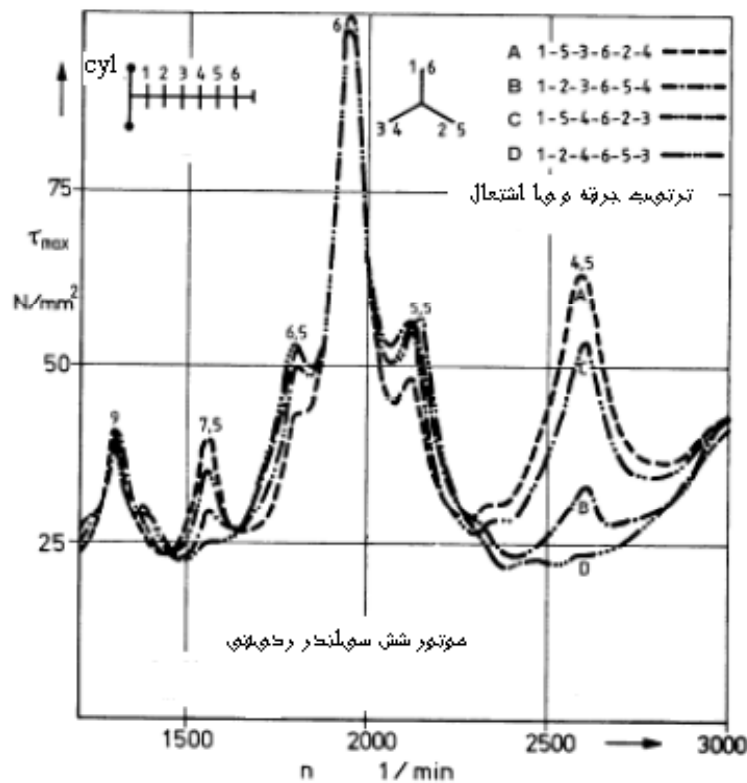
مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، نوسان نیروی موتور شش سیلندر)



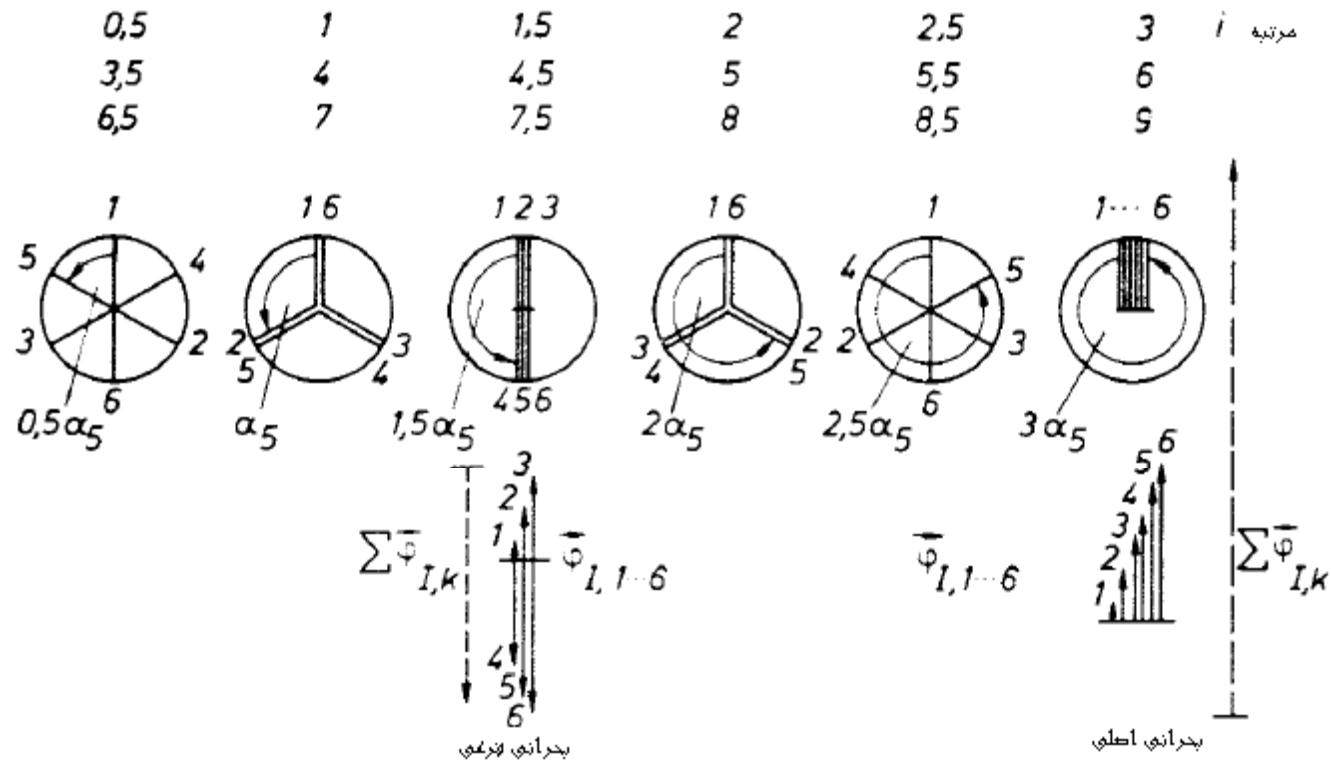
مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، نوسان در موتور شش سیلندر)



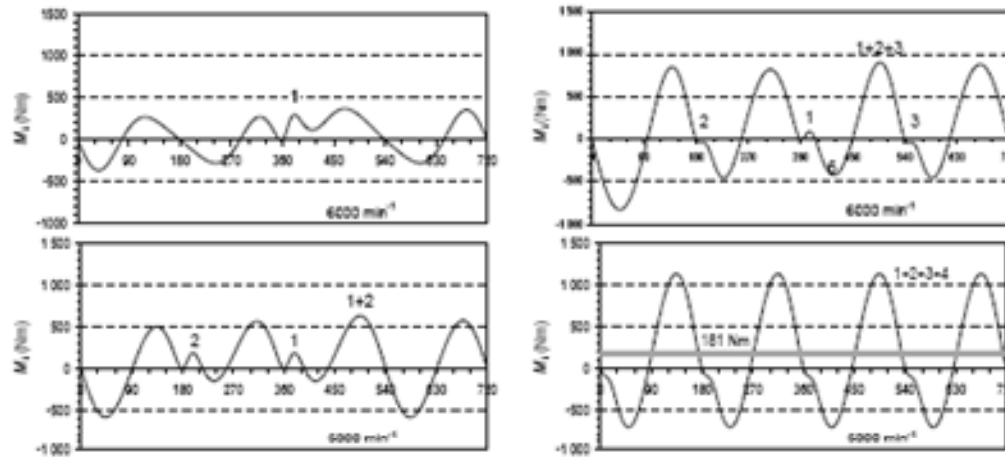
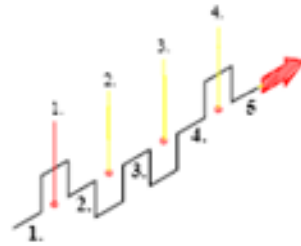
- ترتیب های مختلف جرقه موتور شش سیلندر ردیفی و در این ارتباط تنشهای پیچشی در مراتب i

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، ترتیب جرقه و مراتب بحرانی)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

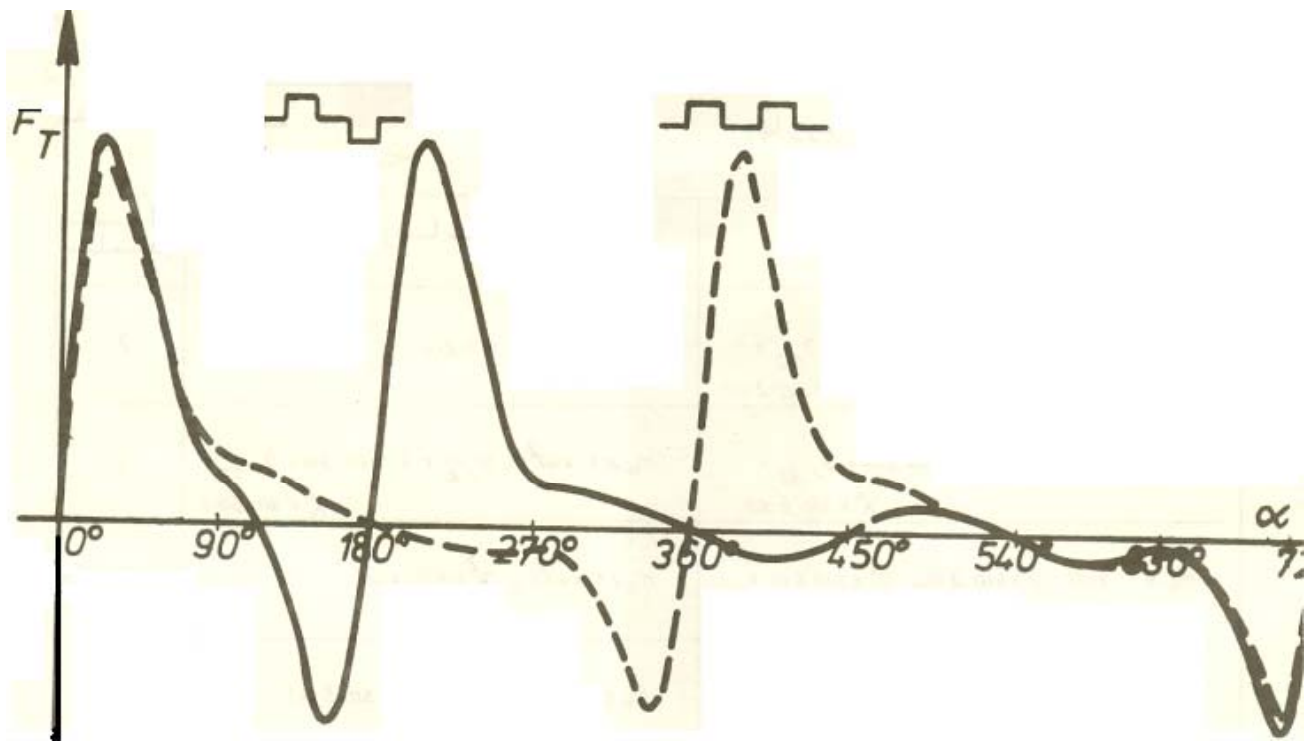
# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، برآیند ممان)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر



# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، برآیند ممان)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، ترتیب جرعه موتورهای ردیفی)

4 Zylinder



چهار سیلندری

5 Zylinder



پنج سیلندری

6 Zylinder



شش سیلندری

6 Zylinder



7 Zylinder



هفت سیلندری

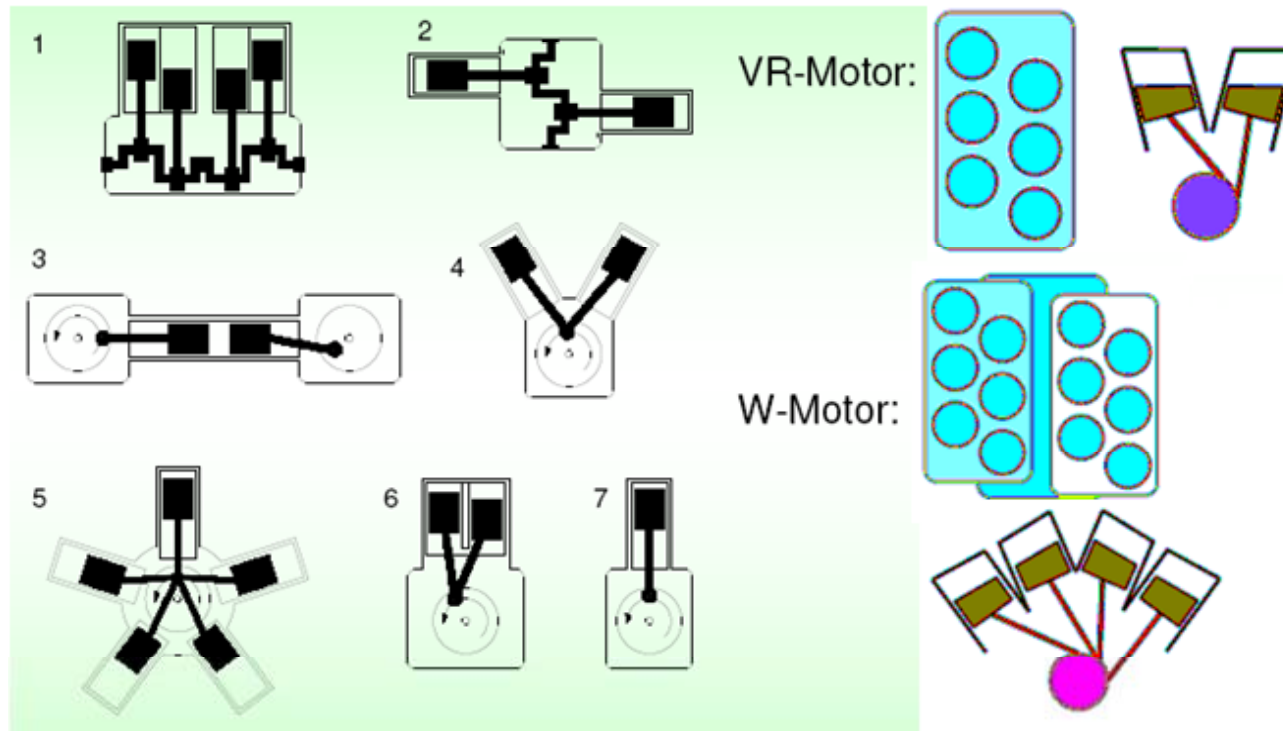
8 Zylinder



هشت سیلندری

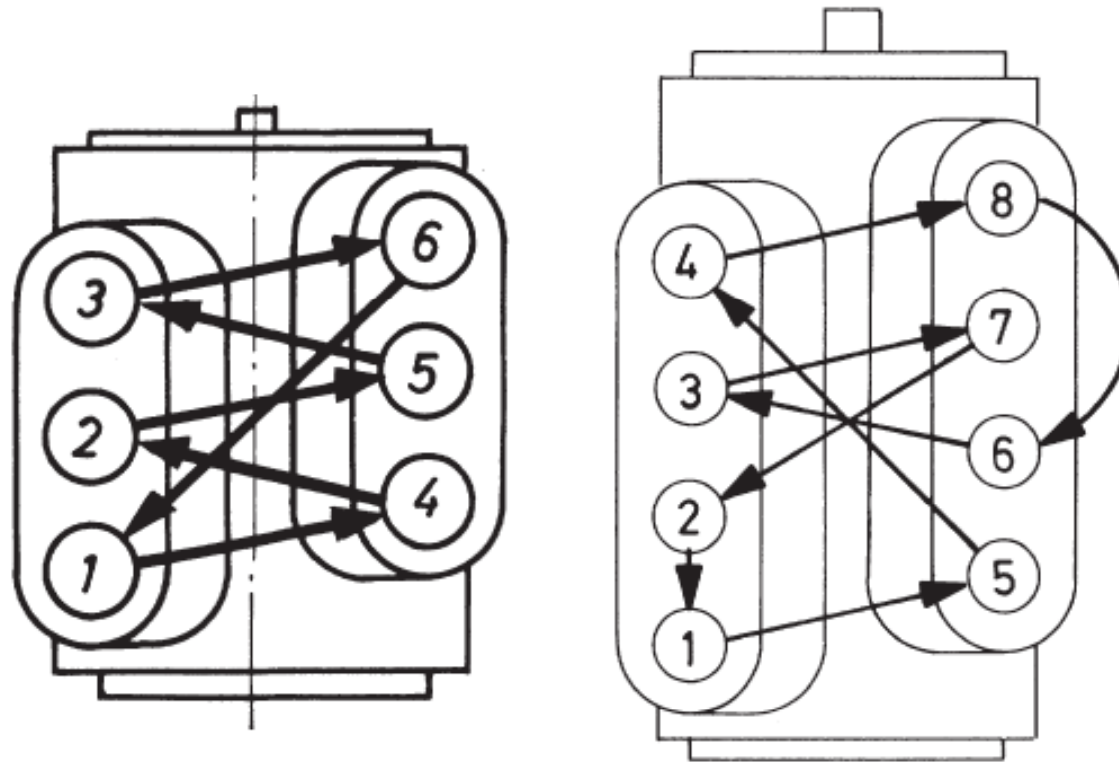
# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، ترتیب سیلندر)

1 ردیفی، 2 بوکسور، 3 مقابل هم، 4 جناغی، 5 ستاره ای، 6 U و 7 تک سیلندر



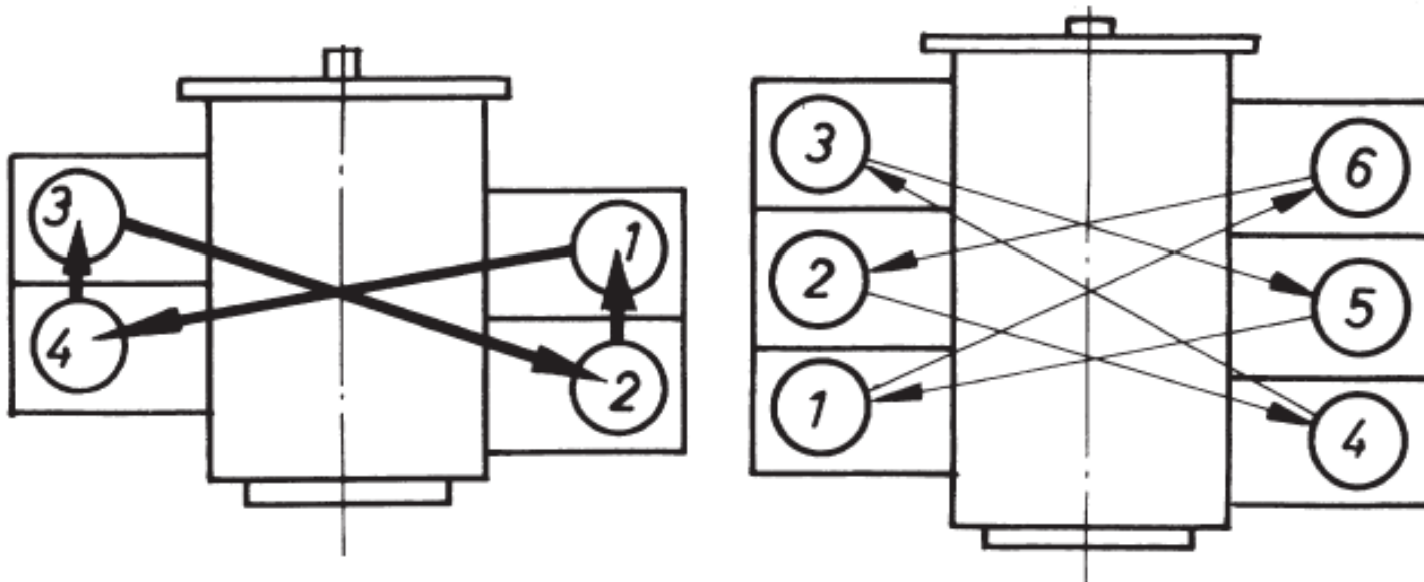
مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، ترتیب جرقه موتورهای جناغی)



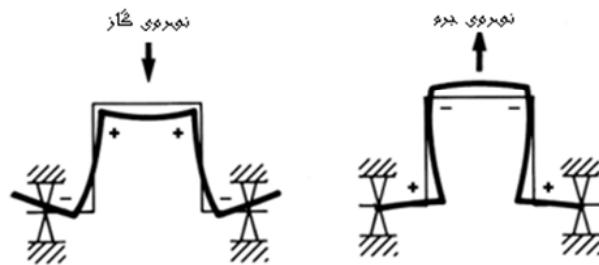
مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، ترتیب جرقه موتورهای بوکسور)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

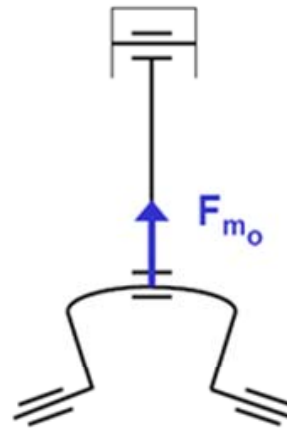
# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، بارهای وارده)



+ تنش کششی در اثر نیروی جرمی

- تنش فشاری در اثر بار گاز

مثال:



$$m_o = 0,7 \text{ kg}$$

$$r = 0,045 \text{ m}$$

$$n = 100 \text{ 1/s} \quad (n = 6000 \text{ 1/min}), \quad \omega = 2\pi n$$

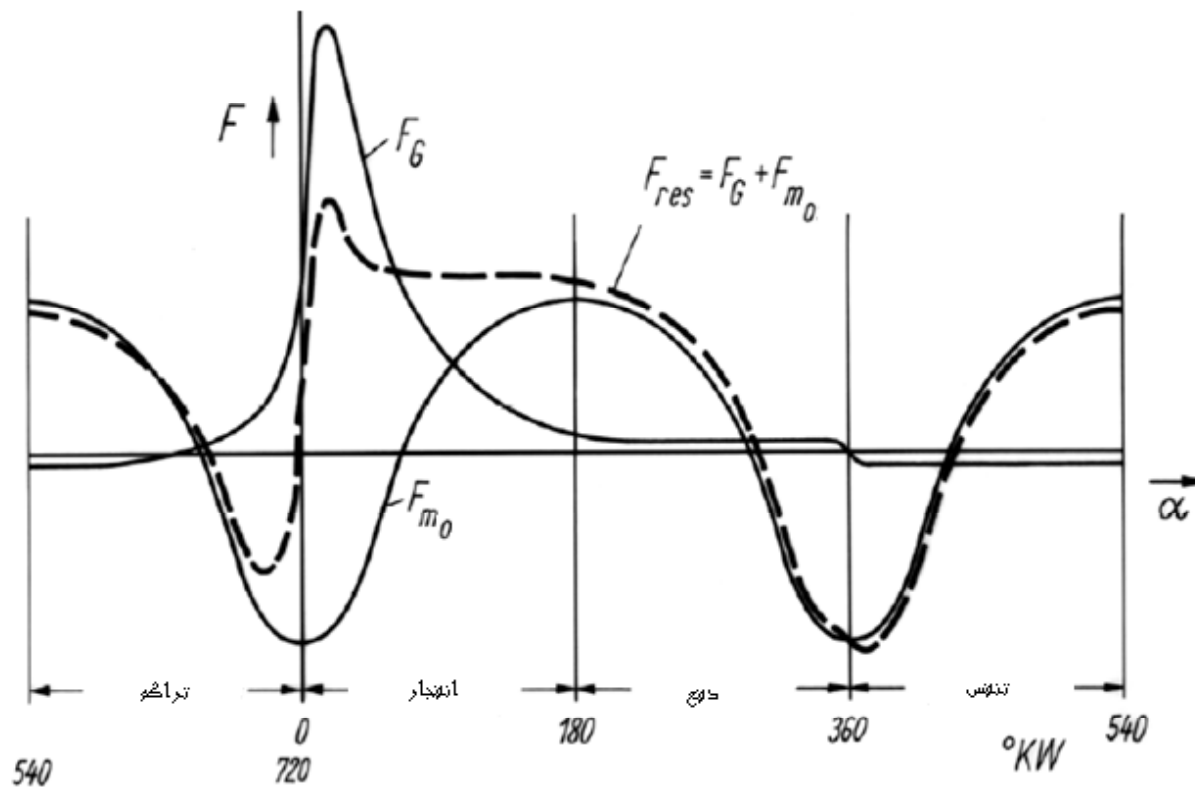
$$\lambda = 1/3$$

$$\alpha = 0^\circ, \quad \cos\alpha = 1, \quad \cos 2\alpha = 1$$

$$F_{m_o} = -m_o r \omega^2 (\cos\alpha + \lambda \cos 2\alpha)$$

$$\rightarrow F_{m_o} = -16,6 \text{ kN}$$

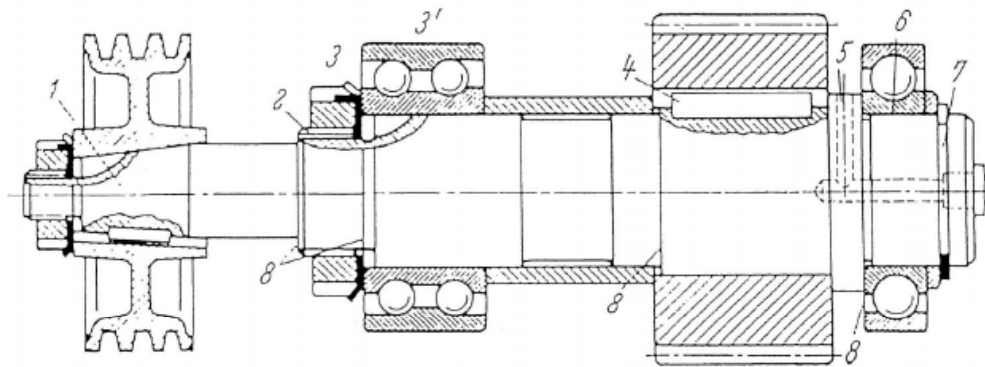
# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، بارهای وارده)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

## سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، استحکام استاتیکی و دینامیکی)

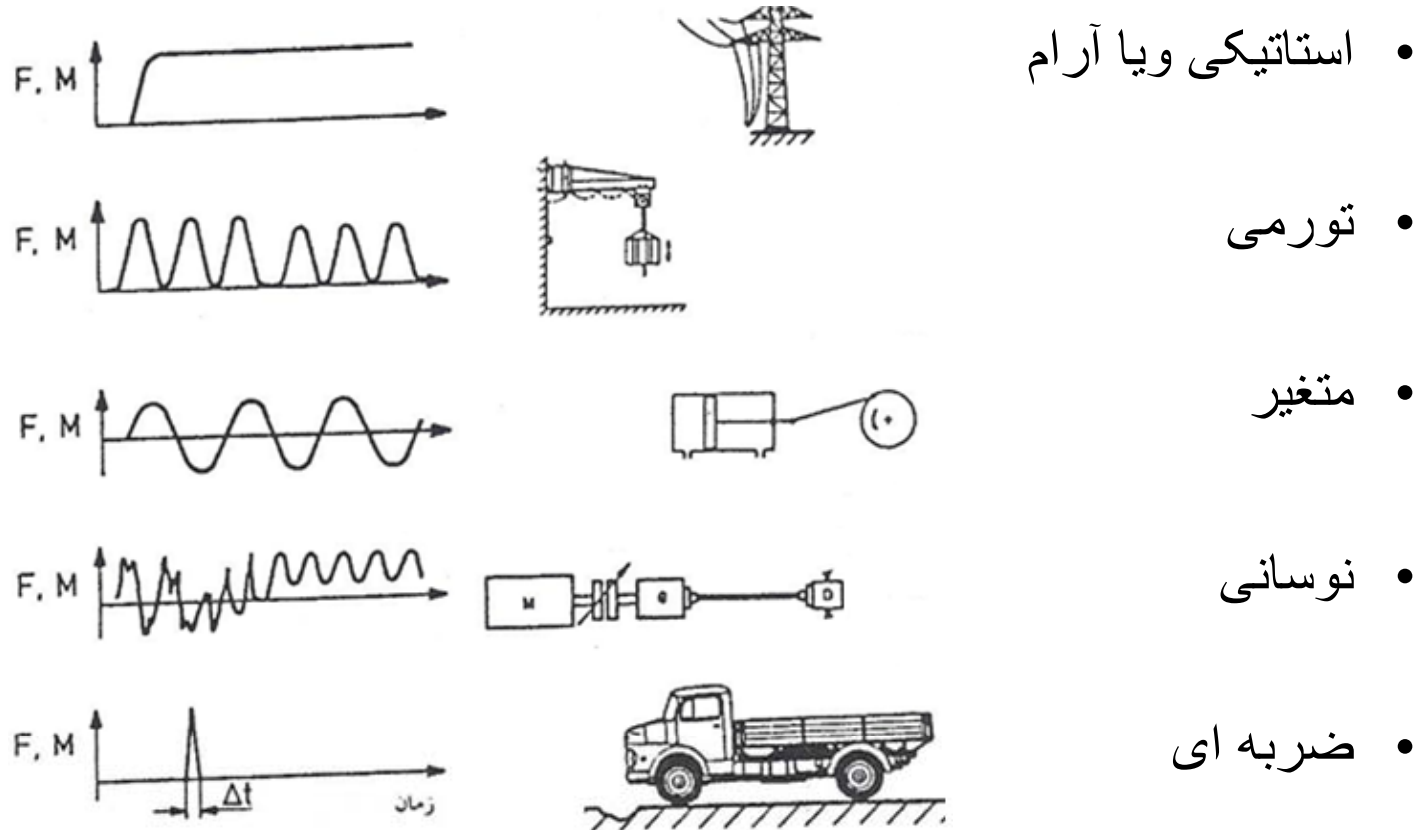
- استحکام پاسخگوی آن است که تا چه اندازه قطعه میتواند در مقابل بارهای وارده چه از نوع استاتیکی (آرام) و یا دینامیکی (تورمی، متغیر، ضربه ای) مقاومت نماید و در این ارتباط چه ابعادی را نیاز دارد. برای این منظور نقاط حساس شناسائی و برحسب بار و نوع آن تنش (استاتیکی، دینامیکی، یک یا چند بعدی) محاسبه و با تنش مجاز (نسبت استحکام به ضریب اطمینان، یک بعدی) مقایسه میشوند.



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

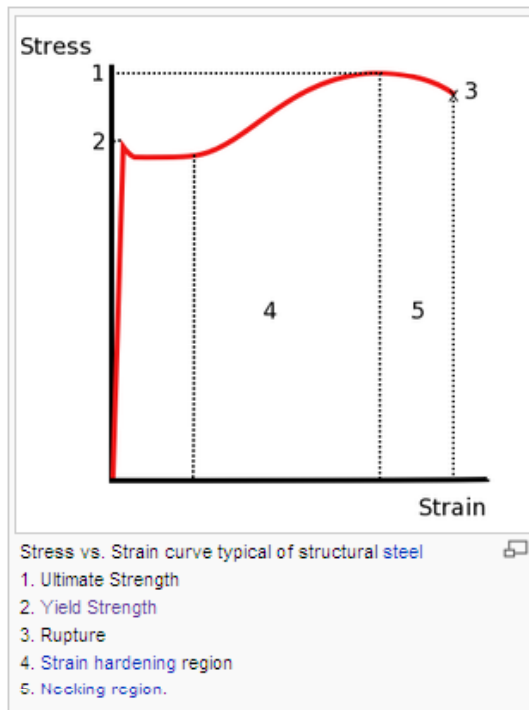


# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، بارهای استاتیکی و دینامیکی)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

## سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، کنترل استحکام استاتیکی)



- تعیین تنش بر حسب نوع بار
- تعیین استحکام استاتیکی از نمودار آزمایش کشش-فشار و رعایت افزایش آن برای خمش توسط اعمال ضریب حمایتی  $U_{yb}$ .

## سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، استحکام استاتیکی)

در خمش بدون تغییر فرم ناگهانی:

$$\sigma_{yb} = U_{yb} \sigma_y$$

$$U_{yb} = 1 + 0.53(300/\sigma_y)^{0.25} \quad \text{برای میله}$$

$$U_{yb} = 1 + 0.37(300/\sigma_y)^{0.25} \quad \text{برای تسمه}$$

در خمش با تغییر فرم ناگهانی:

$$\sigma_{yk} = U_{yk} \sigma_y / \alpha_k$$

$$U_{yk} = 1 + 0.75(c^* \alpha_k - 1)(300/\sigma_y)^{0.25}$$

برای کشش و فشار  $c^* = 1.0$ ، خمش میله  $c^* = 1.7$ ، خمش تسمه  $c^* = 1.5$  و پیچش

## سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، استحکام دینامیکی)

- تعیین تنش بر حسب نوع بار و برای تنشهای چند بعدی تعیین تنش جایگزین یا مقایسه ای  $\sigma_v$

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma^2 + 3(\alpha_{OK} \tau)^2}$$

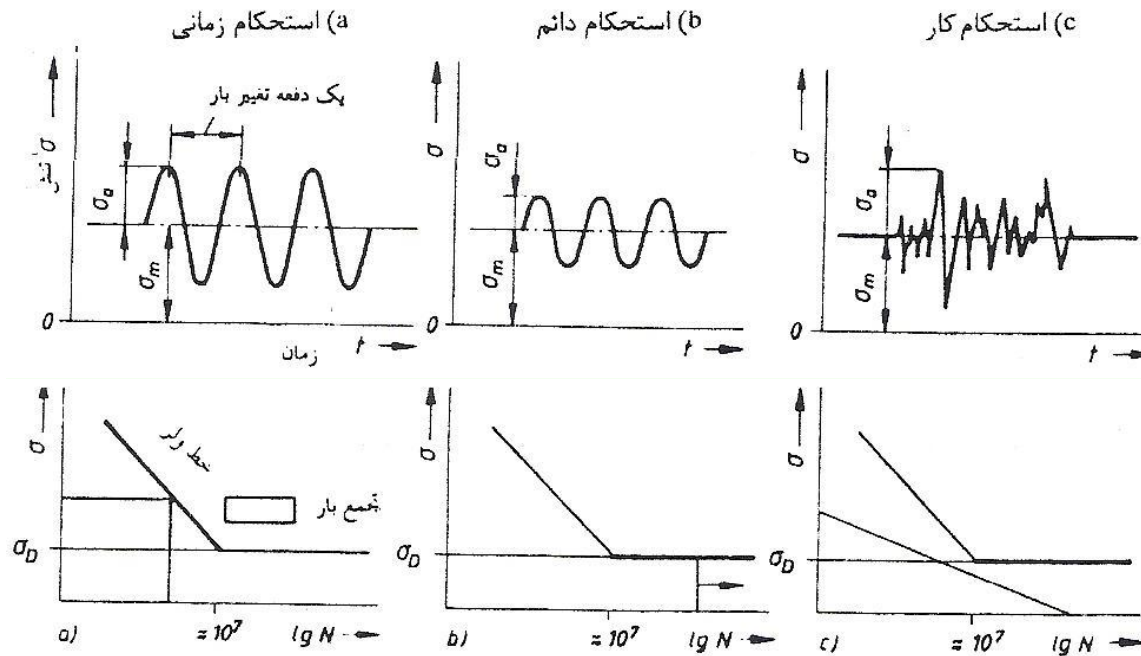
- تعیین استحکام دینامیکی بکمک نمودار S-N نمودار Goodman و یا نمودار Smith برای میله صاف و از آنجا تعیین استحکام فرم برای میله های با تغییر فرم با اعمال ضرائب  $\alpha_k$  و  $\beta_k$

$$\beta_k = \frac{\alpha_k}{U_d}$$

$$U_d = 1 + \sqrt{\rho^* \cdot S_\sigma}$$

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، کنترل استحکام دینامیکی)

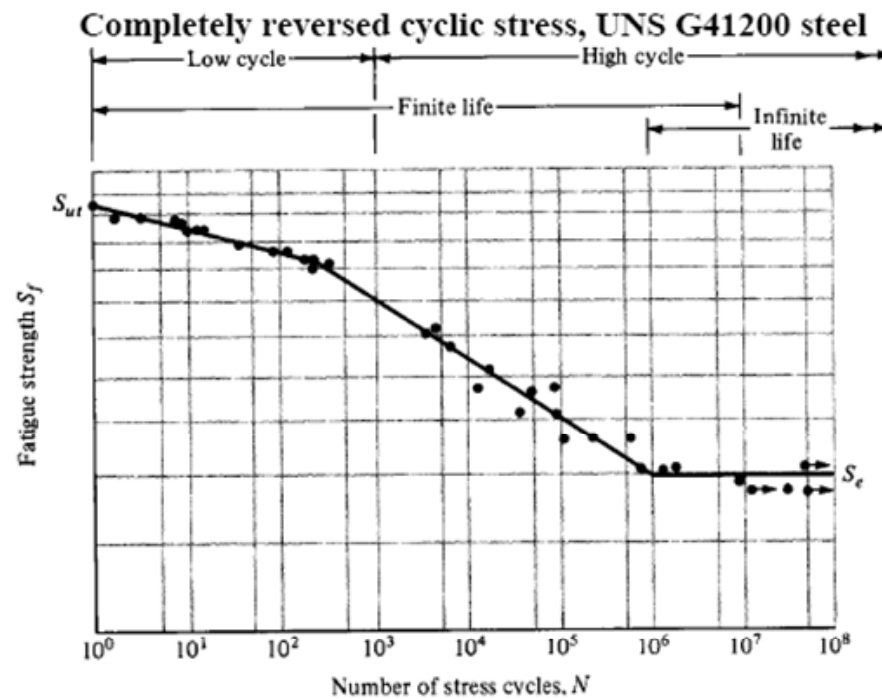
## • بار و استحکام



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، کنترل استحکام دینامیکی)

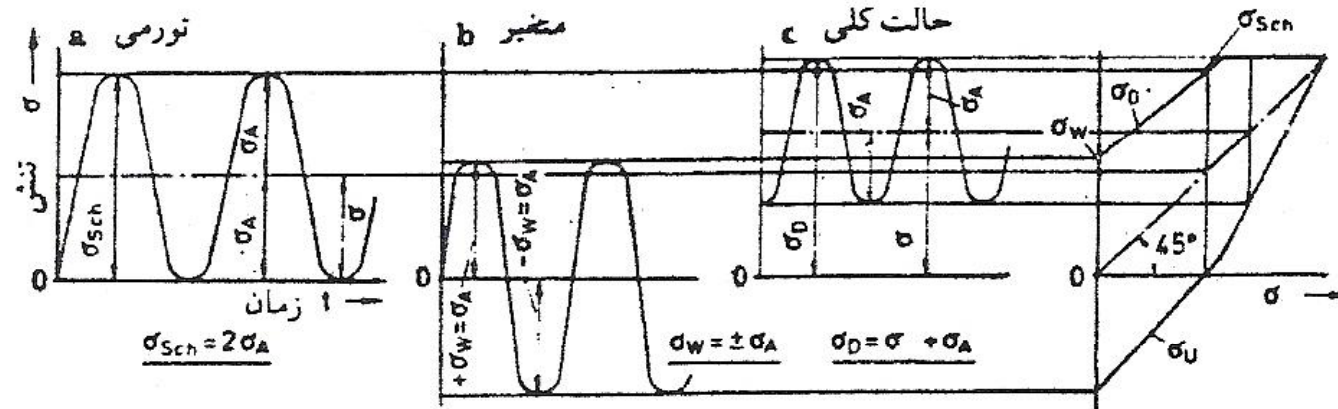
## • منحنی S-N فولاد



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

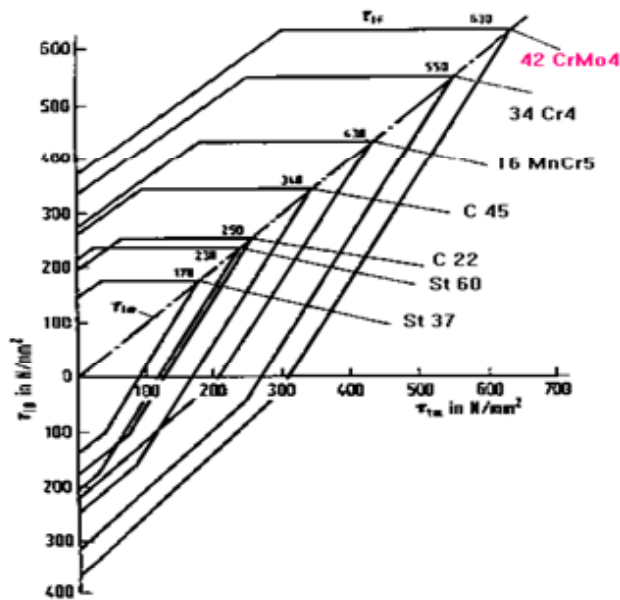
# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، کنترل استحکام دینامیکی)

• بار و نمودار Smith

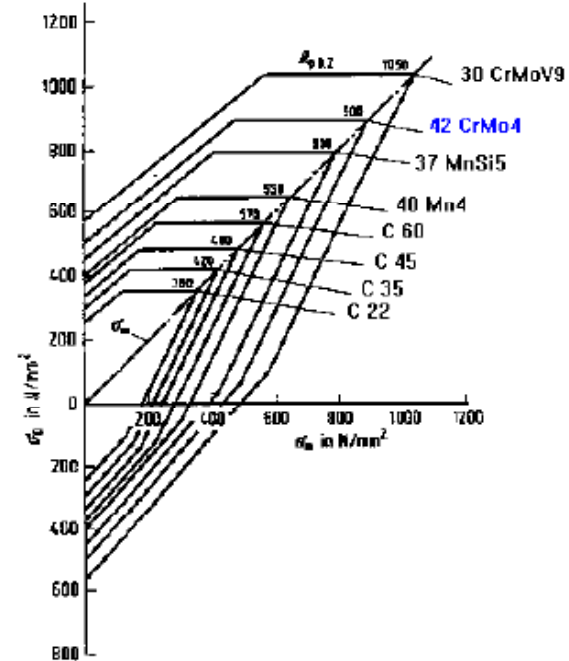


# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، کنترل استحکام دینامیکی)

نمودار Smith برای پیچش



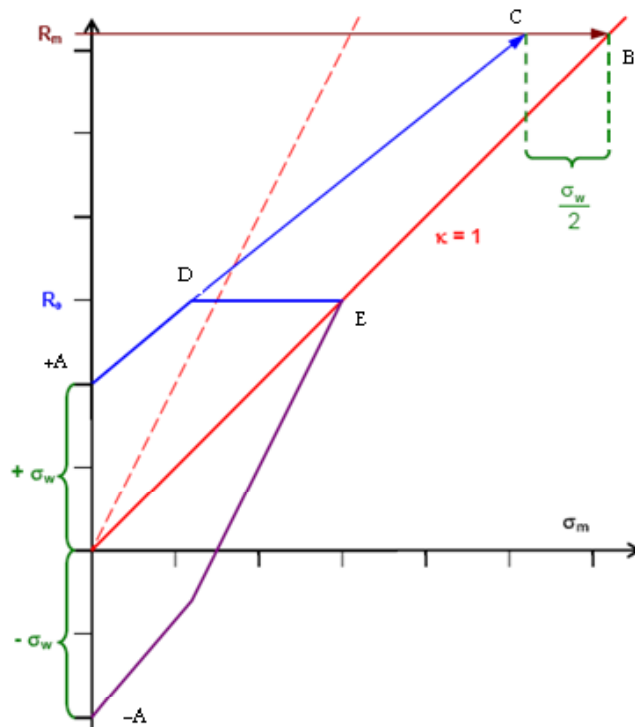
• نمودار Smith برای خمش



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر



# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، کنترل استحکام دینامیکی)



## • طراحی نمودار Smith

- رسم خط 45 درجه (خط قرمز)
- جدا کردن  $+\sigma_w$  و  $-\sigma_w$  (+A و -A)
- رسم خط موازی محور افقی گذرا
- از حد شکست  $R_m$  و انتخاب  $\sigma_w/2$
- (نقاط B و C)
- اتصال +A و C
- از محل حد تسلیم DE حد بالایی
- نمودار بدست می آید.

## سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، استحکام دینامیکی)

- ضریب کاهش بدلیل زبری سطح، ( $R_z[\mu\text{m}]$  و  $R_m[\text{N}/\text{mm}^2]$ )

$$b_{sc} = 1 - 0.22 \lg R_z \left( \lg \frac{R_m}{20} - 1 \right) \quad b_{st} = 0.575 b_{sc} + 0.425$$

- استحکام فرم شفت صاف

$$\sigma_{bwN} = \sigma_{bw} b_{sc} b_0$$

$$\tau_{twN} = \tau_{tw} b_{st} b_0$$

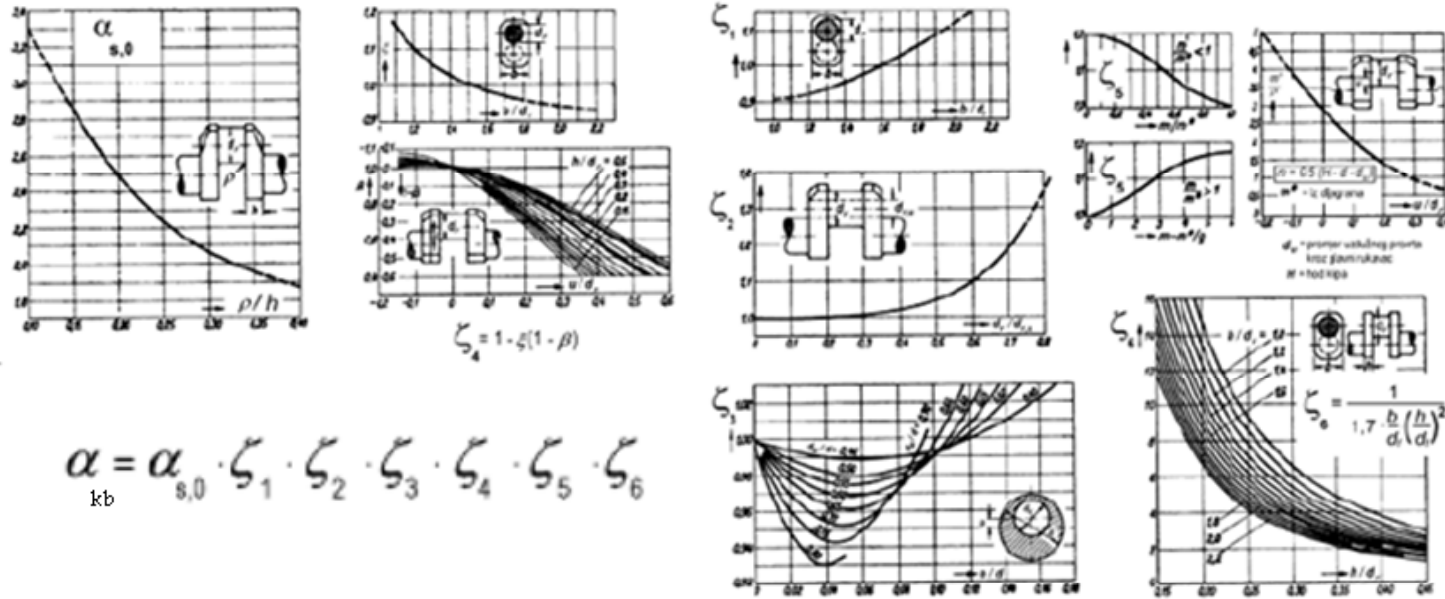
- استحکام فرم شفت با تغییر فرم

$$\sigma_{bwk} = \frac{\sigma_{bw} b_{sc} b_0}{\beta_{kb}}$$

$$\tau_{twk} = \frac{\tau_{tw} b_{st} b_0}{\beta_{kt}}$$

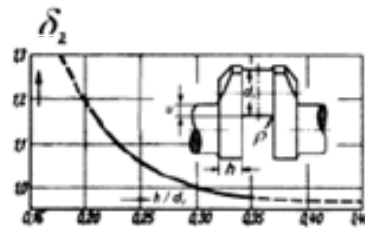
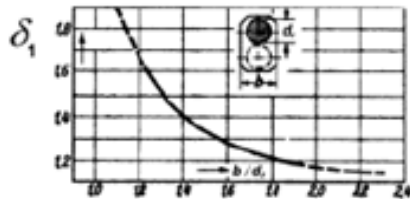
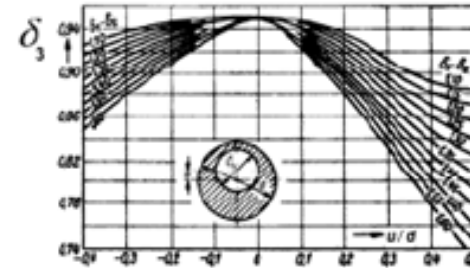
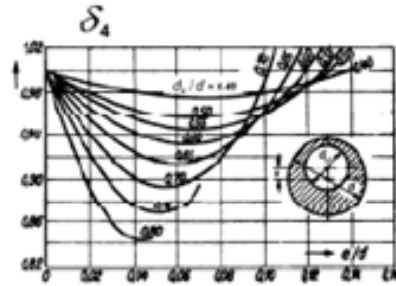
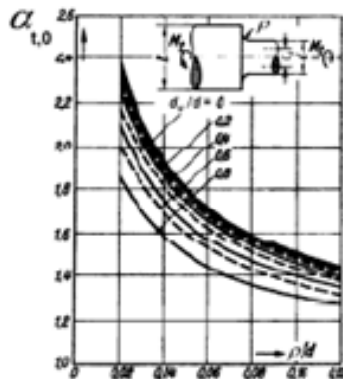
# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، استحکام دینامیکی)

- عدد فرم برای میل لنگ در خمش



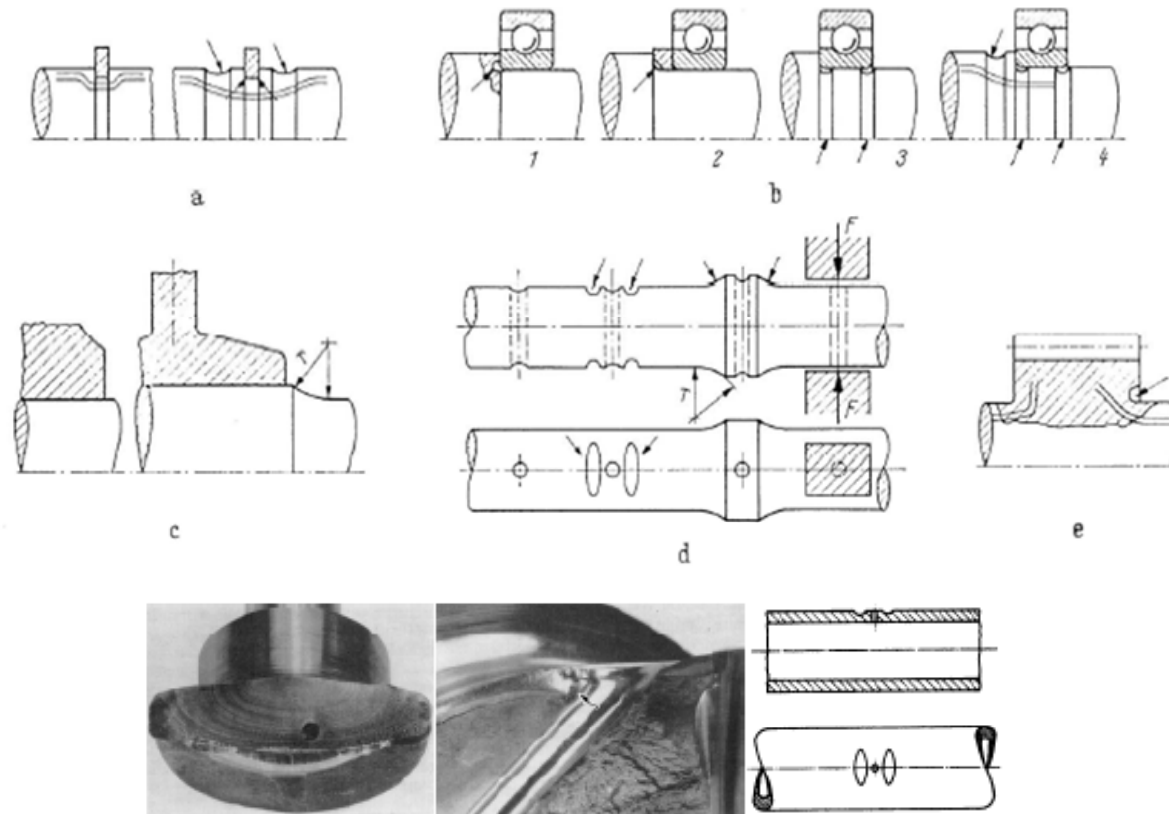
# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، استحکام دینامیکی)

- عدد فرم برای میل لنگ در پیش



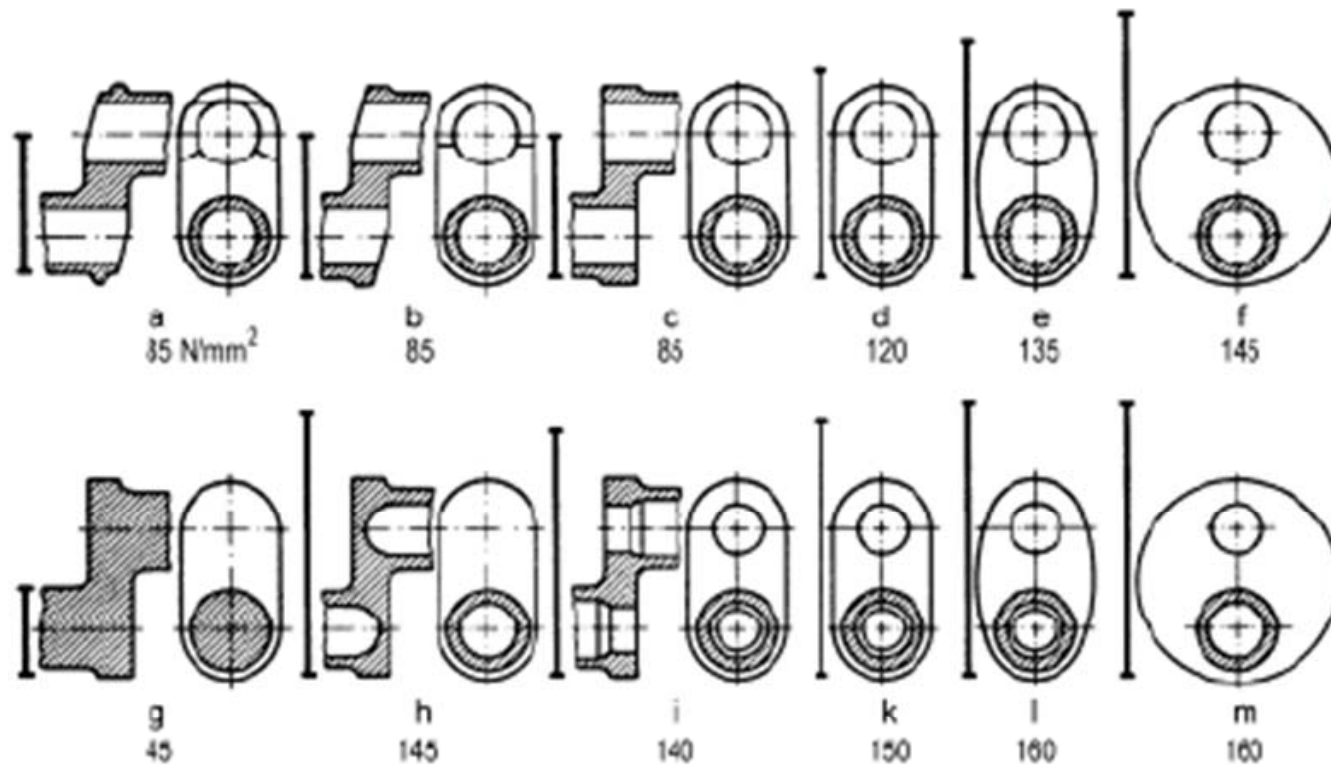
$$\alpha_{kt} = \alpha_{t,0} \cdot \delta_1 \cdot \delta_2 \cdot \delta_3 \cdot \delta_4$$

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، طراحی فرم)



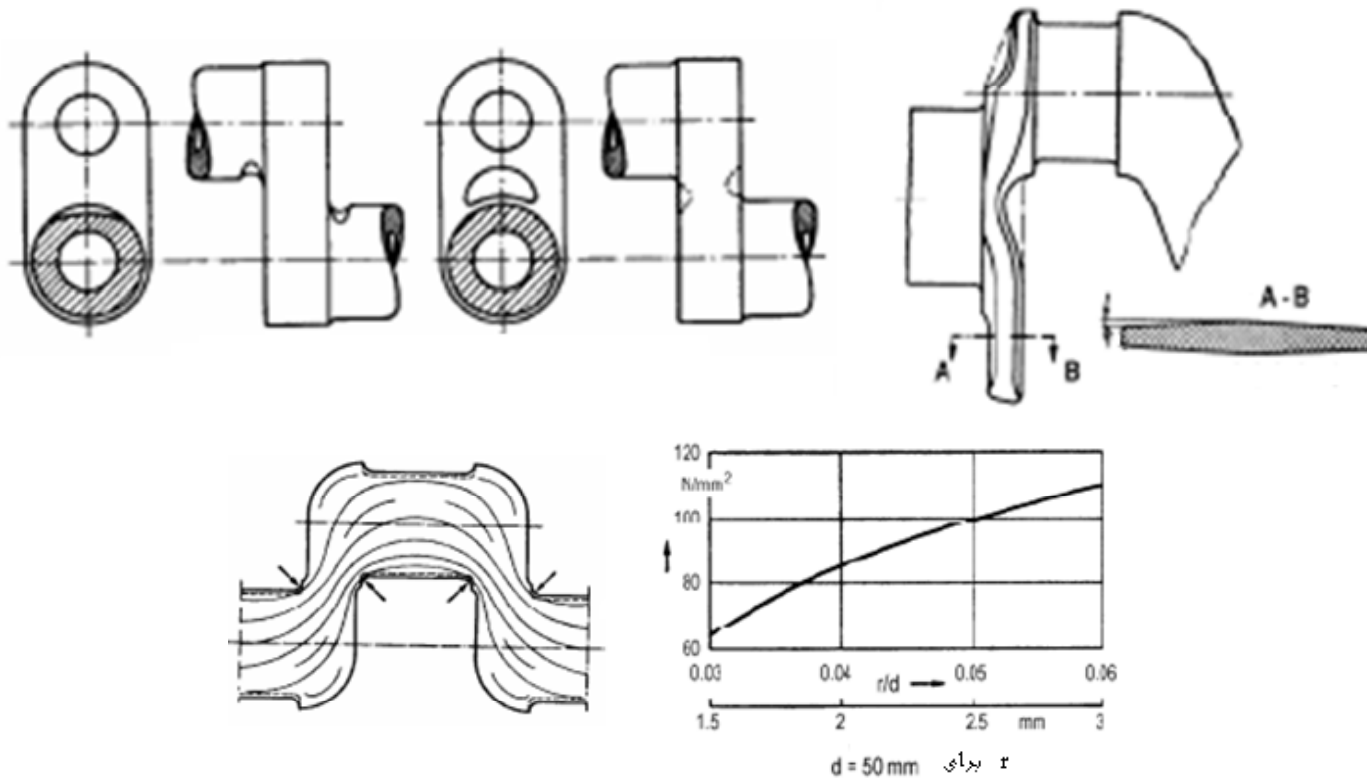
مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، طراحی فرم)



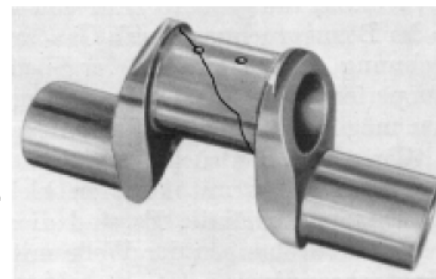
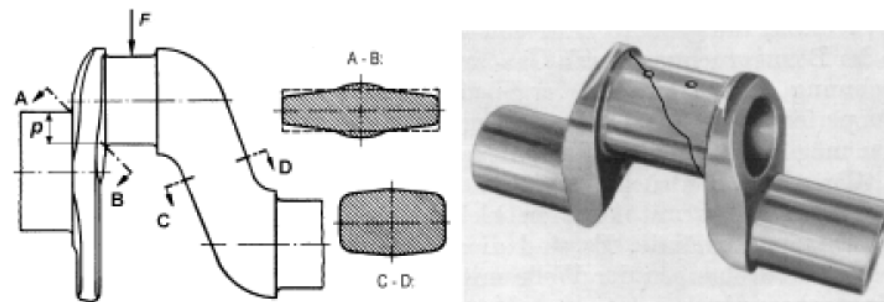
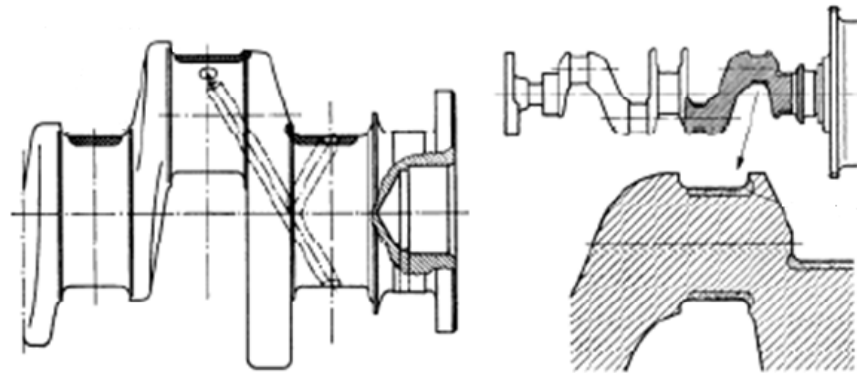
مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، طراحی فرم)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

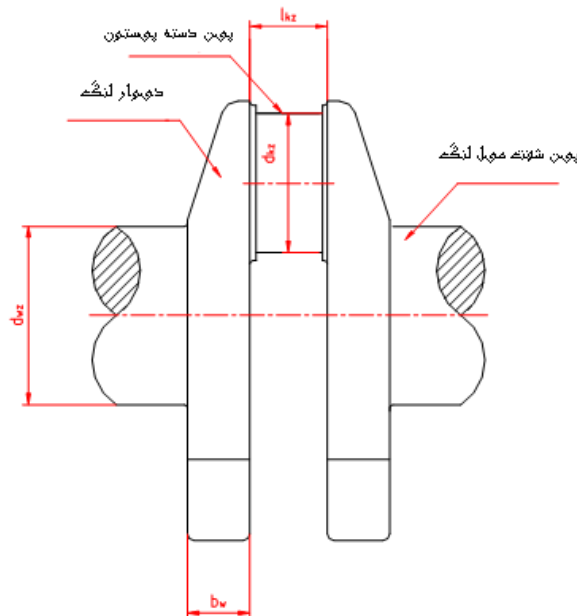
# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، طراحی فرم)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر



## دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، ابعاد پیشنهادی لنگ)



• با توجه به قطر سیلندر  $d$

- قطر پین لنگ  $d_{kz}=0.65d$

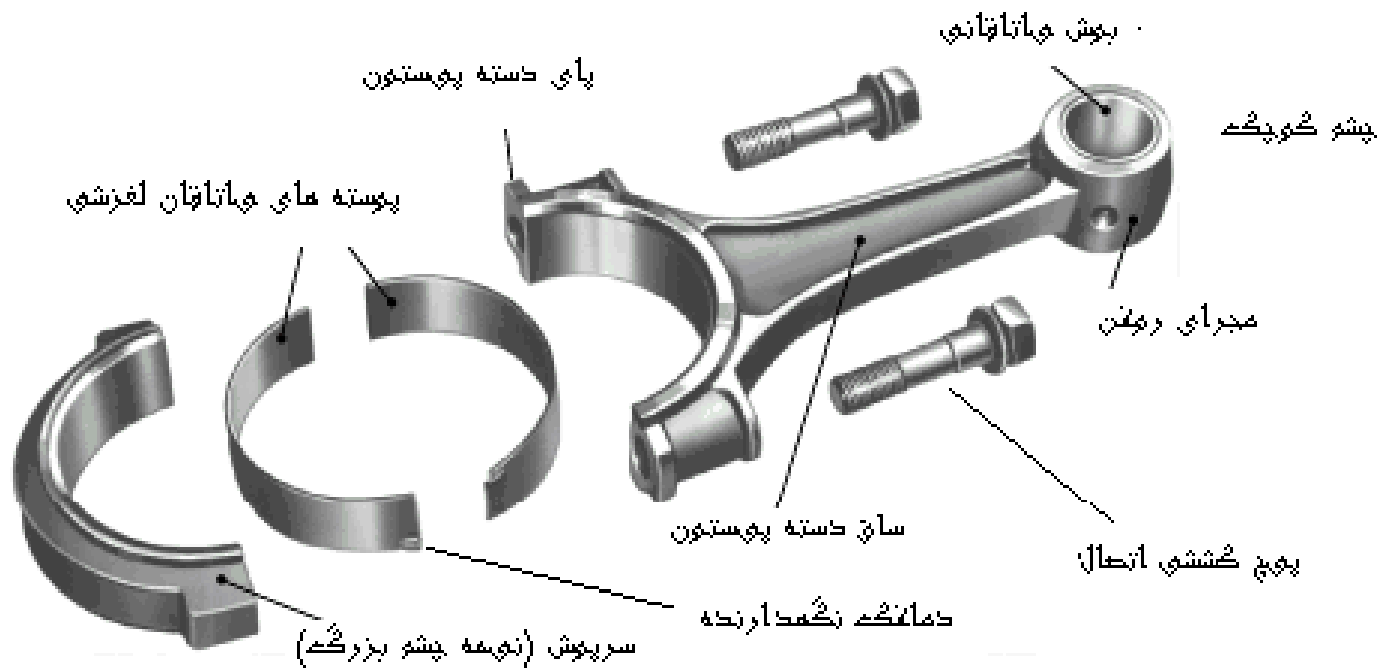
- قطر پین شفت  $d_{wz}=0.8d$

- طول پین لنگ  $l_{kz}=0.3d$

- طول پین شفت  $l_{wz}=0.32d$

- ضخامت لنگ  $b_w=0.3d$

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی دسته پیستون)

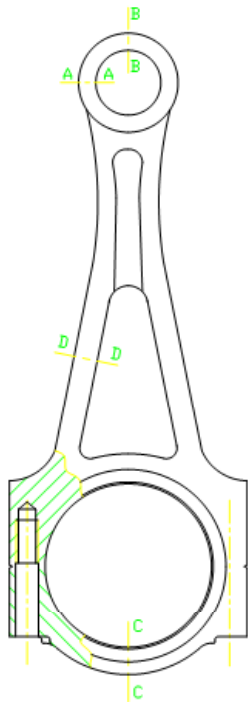


مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

## (طراحی دسته پیستون، محاسبه تخمینی نیرو)

- حداکثر نیروی پیستون تقریباً  $10^\circ$  بعد از نقطه مرگ بالا برای محاسبه نیروی دسته پیستون  $F_s$  بکار میرود.



$$F_s = F_{kmax} / \sqrt{1 - \lambda^2 \sin^2 \varphi}$$

$$F_{max} = F_G + F_o(\varphi=360^\circ)$$

- حداکثر نیروی کششی برچشم کوچک  $F_{p1}$  در تعویض گاز مرگ (جرم پیستون  $m_1$  + جرم انگشتی  $m_2$  + جرم رینگها  $m_3$ )

$$F_{p1} = (m_1 + m_2 + m_3) r \omega^2 (1 + \lambda)$$

- نیروهای کششی چشم بزرگ توسط پیچ های اتصال جذب میشوند.

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

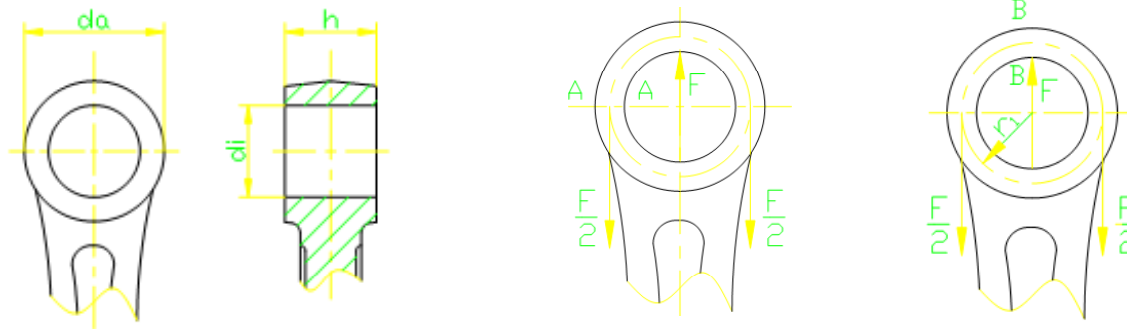
(طراحی دسته پیستون، محاسبه تخمینی تنش در چشم کوچک)

- تنش کششی متغیر در مقطع A-A:

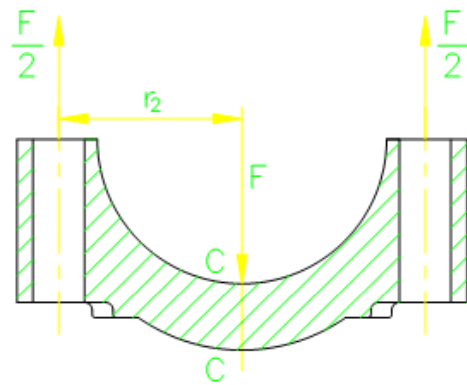
$$\sigma_z = F_{p1} / A_A \quad A_A = h \cdot b$$

- تنش خمشی متغیر در مقطع B-B:

$$\sigma_{b(B-B)} = F_{p1} r_1 / 2W_{b(B-B)} \quad W_{b(B-B)} = b^2 \cdot h / 6$$



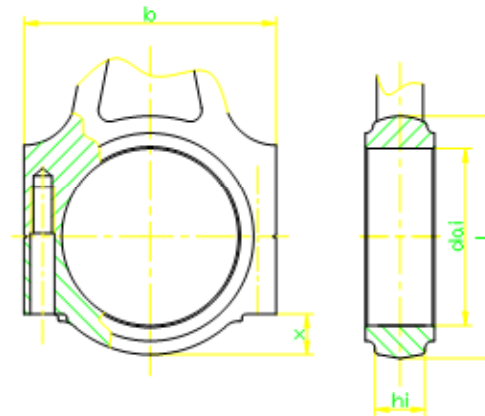
# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی دسته پیستون، محاسبه تخمینی تنش در چشم بزرگ)



• تنش خمشی متغیر در مقطع C-C:

$$\sigma_{b(C-C)} = F_o(\varphi=360^\circ) r_2 / 2W_{b(C-C)}$$

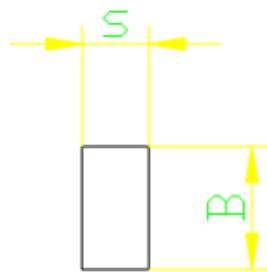
$$W_{b(C-C)} = h^2 \cdot t / 6$$



# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

(طراحی دسته پیستون، محاسبه تخمینی تنش در ساق)

- حداکثر نیرو کمی بعد از احتراق، و کوچکترین مقطع



$$F_{max} = F_{Dmax} = F_G + F_o(\varphi=360^\circ)$$

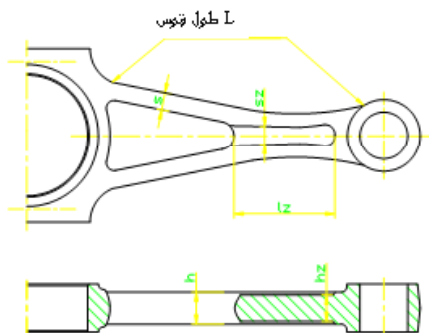
$$A_s = 2s.B$$

$$\sigma_D = F_{dmax} / A_s$$

- صرفنظر از تنش خمشی متاثر از نیروی جرم

بدلیل کوتاهی ساق

- حداکثر تنش کششی در مرگ بالا-تعویض گاز



$$\sigma_{Zmax} = F_{Zmax} / A_s$$

$$F_{Zmax} = F_{p1}$$

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

(طراحی دسته پیستون، محاسبه تخمینی کمانش)

• طول آزاد کمانش  $l_k$

$$\lambda^* = \frac{l_k}{i}$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A_s}}$$

شعاع ممان دوم سطح

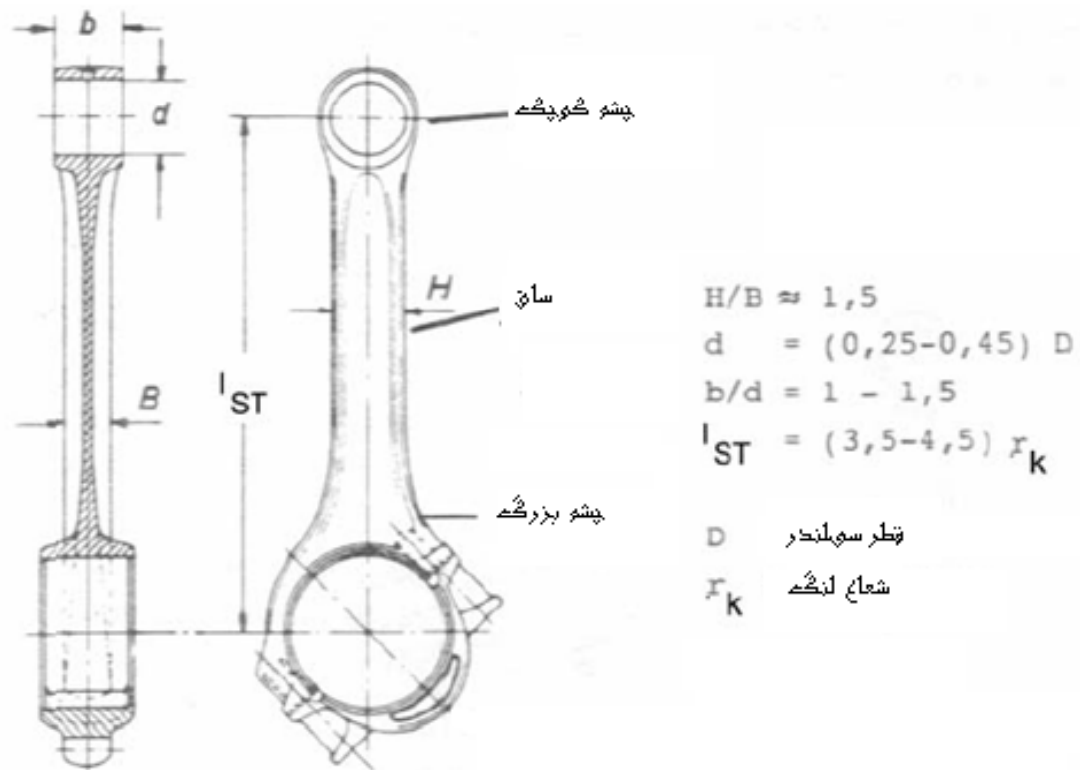
$$I = \frac{B(2s + s_E)^3 - Bs_E^3}{12}$$

ممان دوم سطح

$$\lambda^*_{مجاز} < 60$$

مقدار مجاز

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی دسته پیستون، ابعاد پیشنهادی)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر



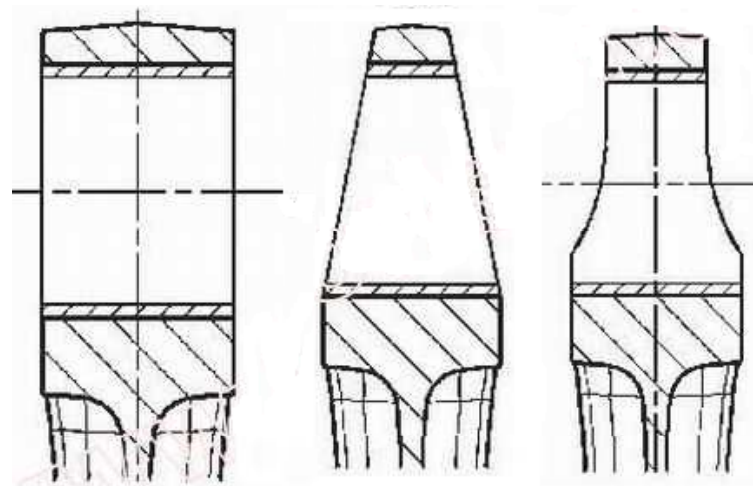
## سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

(طراحی دسته پیستون، طراحی فرم چشم کوچک)

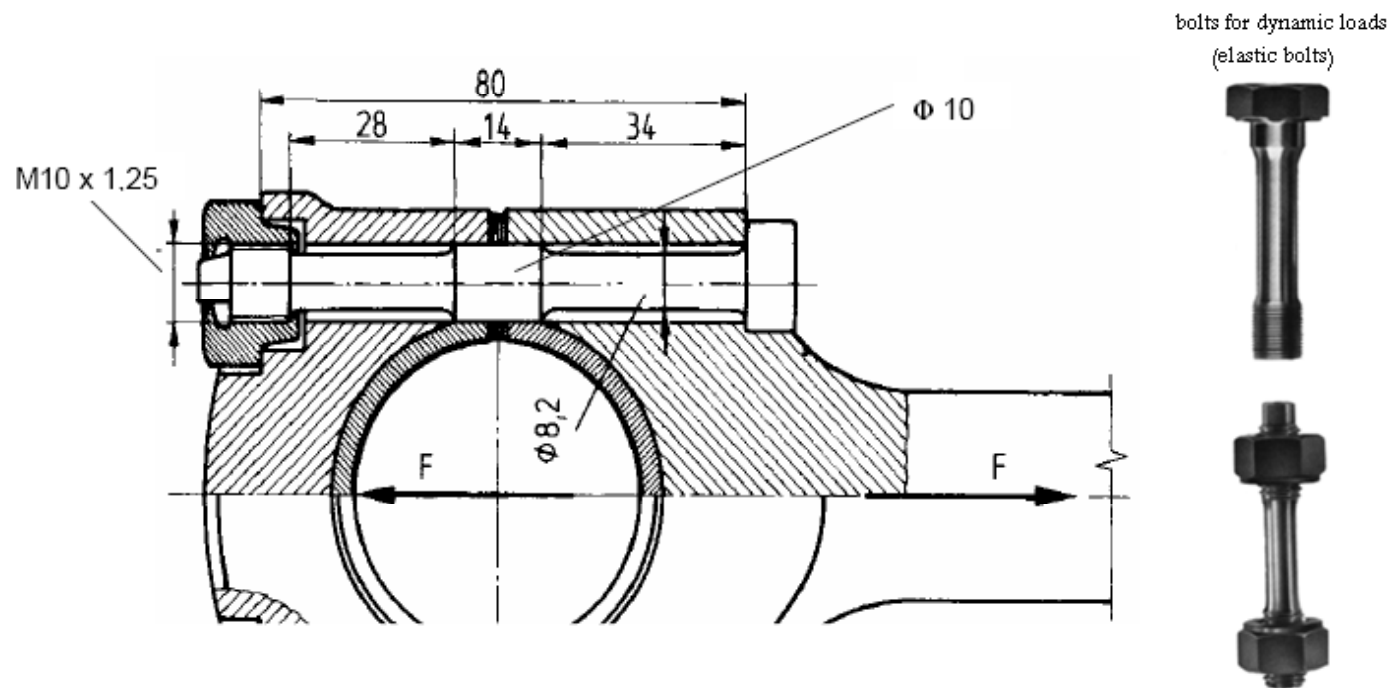
- کاهش وزن و امکان طراحی بهتر فرم پیستون، نوع دوزنقه ای

- توزیع مناسبتر بار بین پیستون و دسته پیستون، نوع پله ای

پله ای      دوزنقه ای      موازی

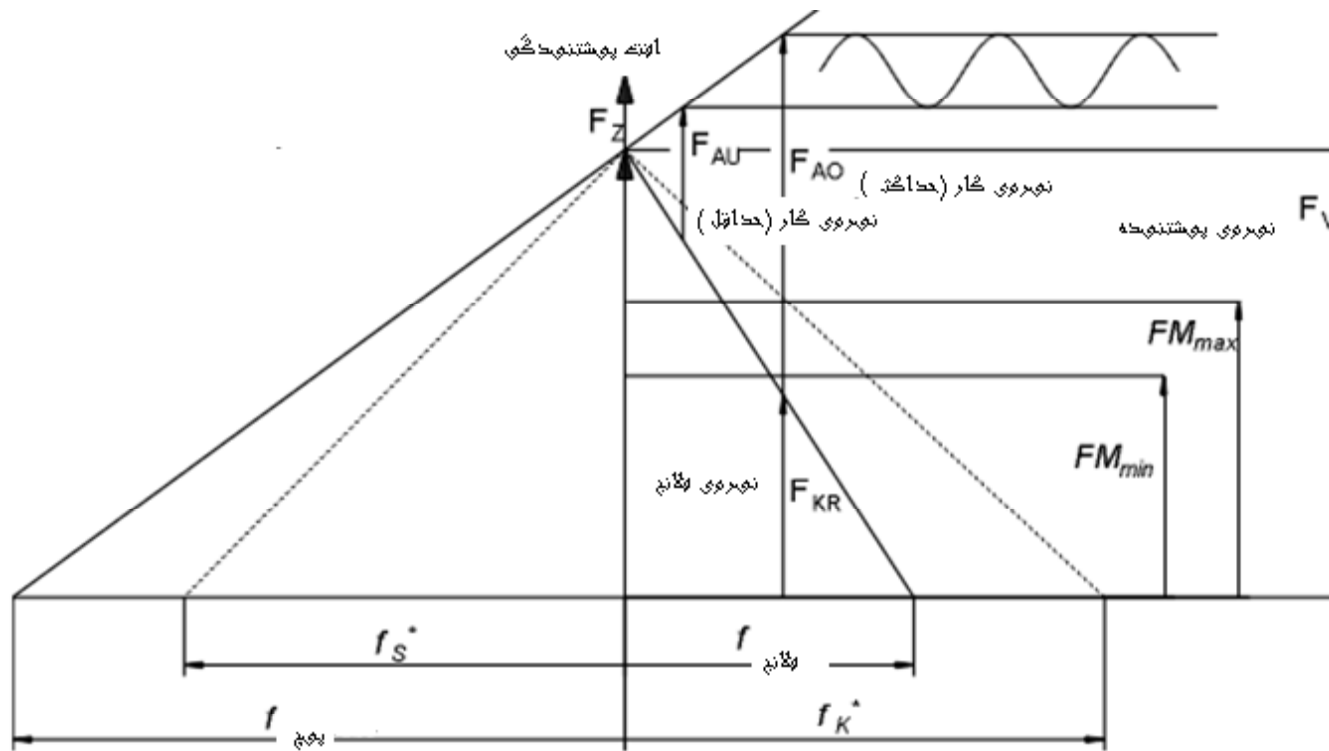


# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی دسته پیستون، پیچهای کششی اتصال)



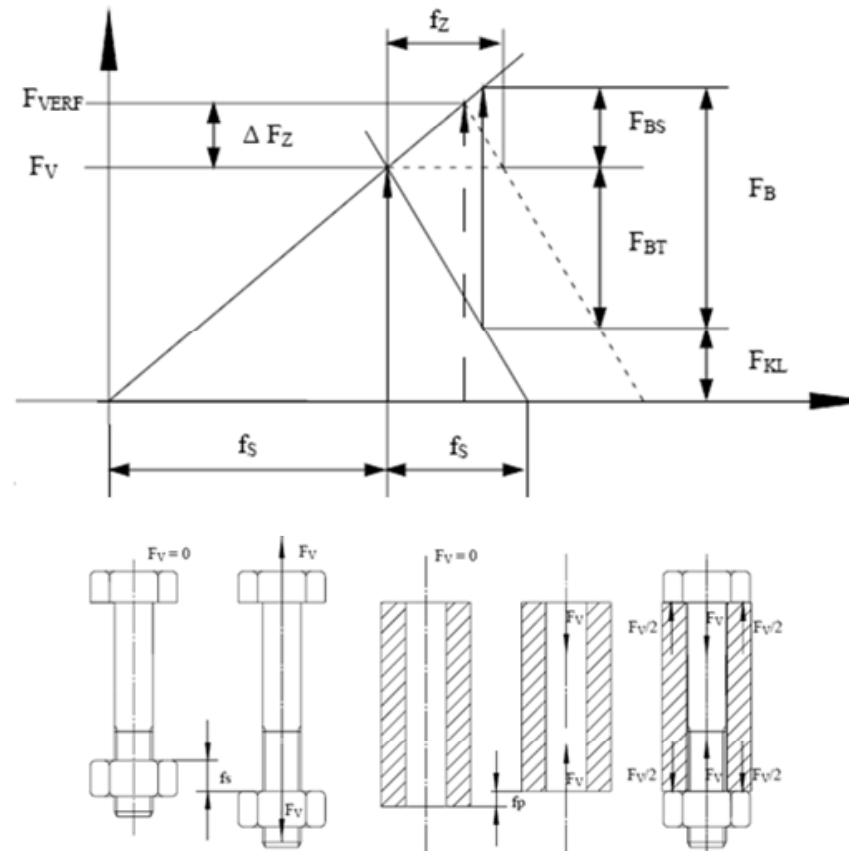
مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (نمودار پیش تنیدگی (Prestressing for fluid-tight joints



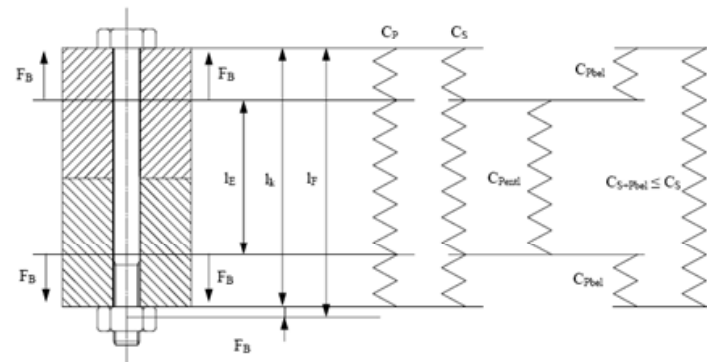
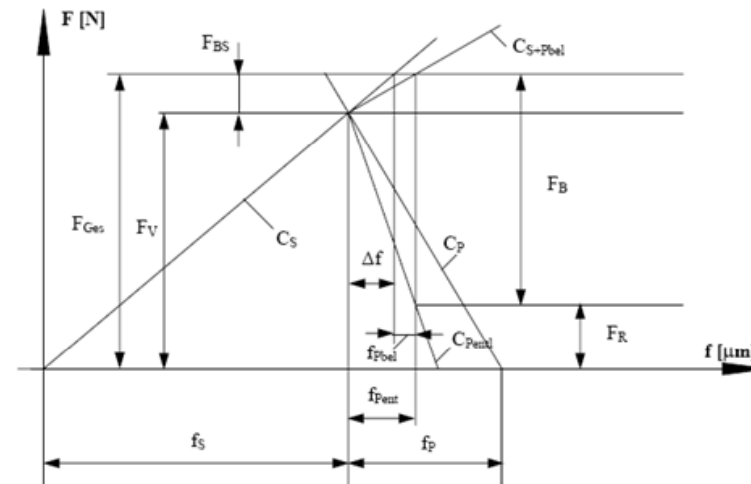
مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (نمودار پیش تنیدگی (Prestressing for fluid-tight joints



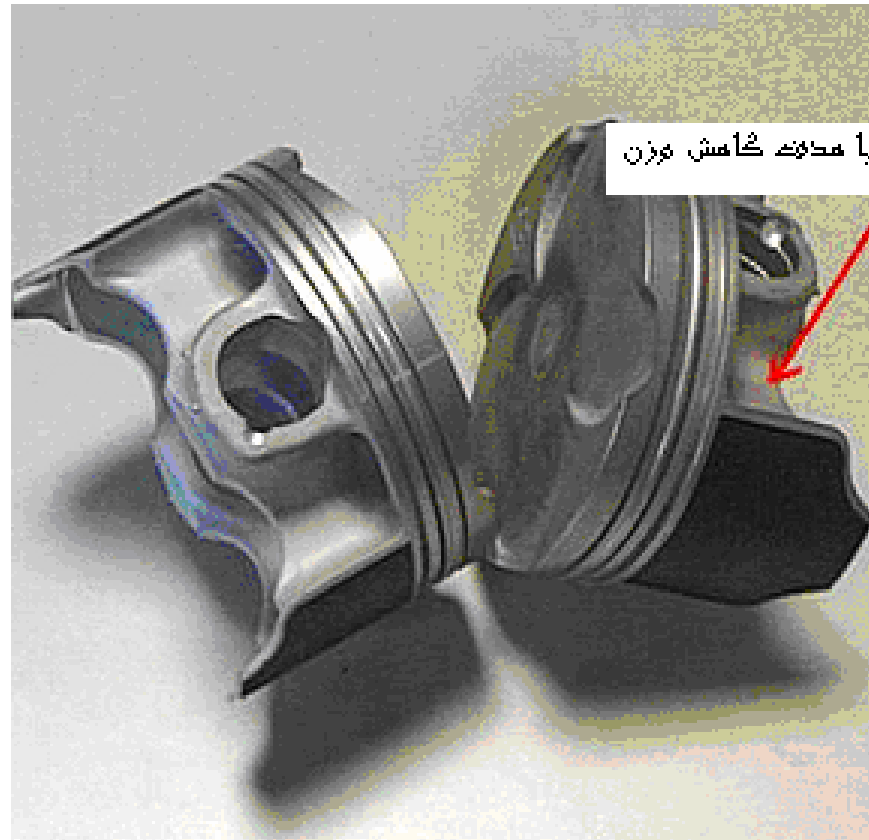
مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (نمودار پیش تنیدگی (Prestressing for fluid-tight joints))



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی پیستون)



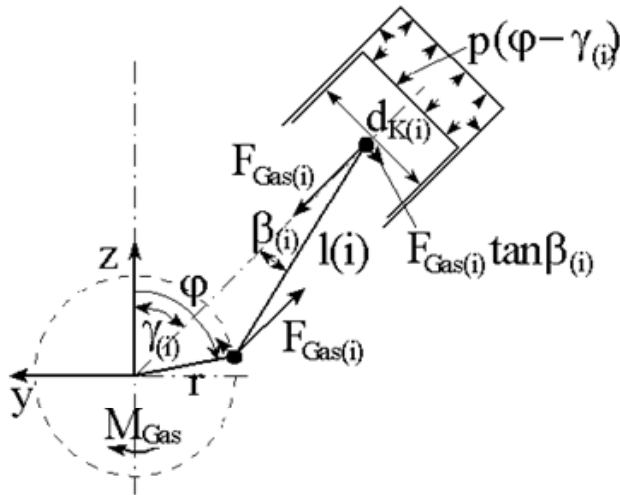
مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

## (طراحی پیستون، بارهای وارده بر کف)

• نیروی وارد بر کف پیستون از جمع برداری نیروی گاز و نیروی جرم بدست میآید.

• بزرگترین تنش خمشی رادیال بر کف پیستون



$$\sigma_{br} = \frac{d_{ki}^2 p_i}{4 s^2}$$

• ضخامت کف  $s$  و قطر داخلی پیستون  $d_{ki}$

• مقیاس بار بر پیستون، توان ویژه سطح  $P_a$

$$P_a = \frac{P_e}{z \cdot A}$$

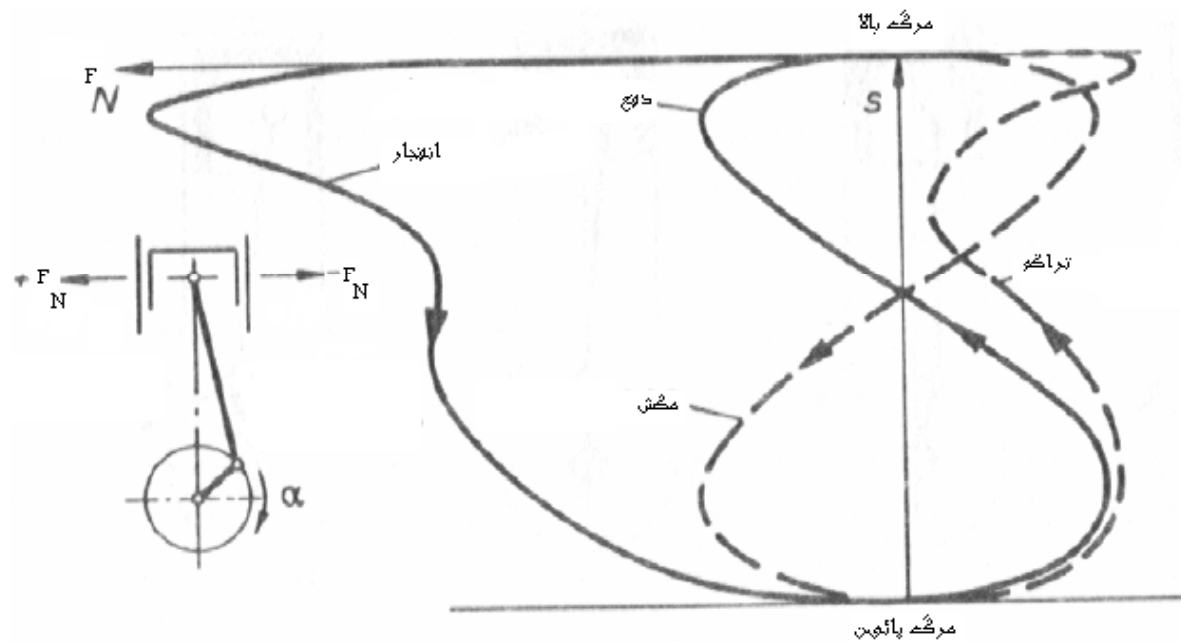
است.

تعداد سیلندر  $z$ ، سطح پیستون  $A$  و توان مفید  $P_e$ .

برای پیستون با خنک کاری اضافه مقادیر  $P_a = 0.0015 - 0.0045 \text{ kW/mm}^2$ .

بزرگتر پیشنهاد شده است.

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی پیستون، باربر سیلندر در حین سیکل کار)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر



# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

## (طراحی پیستون، محاسبه اصطکاک)

- اصطکاک کلیه رینگها، پیراهن و انگشتی تابعی از فشار، دور، زاویه لنگ و زمان (40-50% کل اصطکاک موتور)

$$M_{\text{friction}} = F_{\text{friction}} \cdot r_k \cdot \left( \sin \varphi + \lambda_p \cdot \frac{\cos \varphi \cdot \sin \varphi}{\cos \beta} \right)$$

$$\text{Stribeck parameter } S = \frac{\eta_{ol} \cdot |v_k|}{F_{\text{Normal}} / L_{\text{Ring}}}$$

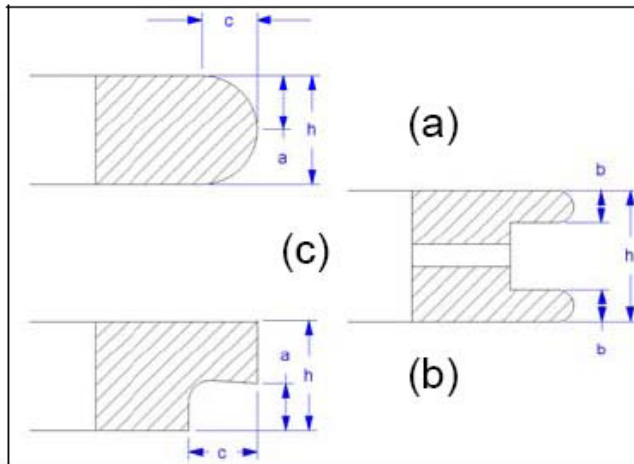
$$F_{\text{friction}} = \begin{cases} c_{hl} \cdot S^{m_{hl}} \cdot F_{\text{Normal}} & \text{for } S \geq S_{cr} \\ [f_0 \cdot (1 \cdot S / S_{cr}) + f_{cr} \cdot (S / S_{cr})] \cdot F_{\text{Normal}} & S < S_{cr} \end{cases}$$

$$S_{cr} = \text{critical stribeck parameter} = 1 \cdot 10^{-4}$$

$$C_{hl} = 1.9 - 2.25$$

$$m_{hl} = 0.425 - 0.525 \text{ داریم: } c/a = 0.03 - 0.2$$

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی پیستون، محاسبه اصطکاک)



- a رینگ تراکم در بالا  
b رینگ تراکم در پائین  
c رینگ روغن

$$F_{NormalV1} = 4 \cdot R_{V1} + \pi \cdot d_k \cdot h \cdot p_{Zyl}$$

$$L_{Ring V2} = 0,25 \cdot a$$

رینگ تراکم در بالا

رینگ تراکم در پائین

$$F_{NormalV2} = 4 \cdot R_{V2}$$

$$L_{Ring V2} = h - a$$

رینگ روغن

$$F_{NormalO} = 4 \cdot R_O$$

$$L_{Ring O} = 2 \cdot b$$

$R_{V1}, R_{V2}, R_O$  نیروهای رادیال رینگها هستند

## سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی پیستون، محاسبه اصطکاک)

اصطکاک رینگها 60-70% کل اصطکاک پیستون است. بدلیل تماس بزرگ و بار نسبتاً کوچک، روغنکاری پیراهن پیستون کاملاً هیدرودینامیکی فرض میشود و محاسبه آن شبیه حالت قبل و پیستون صلب است. ضریب اصطکاک:

نیروی مابین پیراهن پیستون و بوش سیلندر:

$$f_{Kh} = C_s \sqrt{\frac{\eta_{Ol} \cdot |v_k| \cdot L_{Kh}}{F_{Normal\_Kh}}}$$

$F_{Normal-Kh}$   
طول پیراهن پیستون:  
 $L_{Kh}$

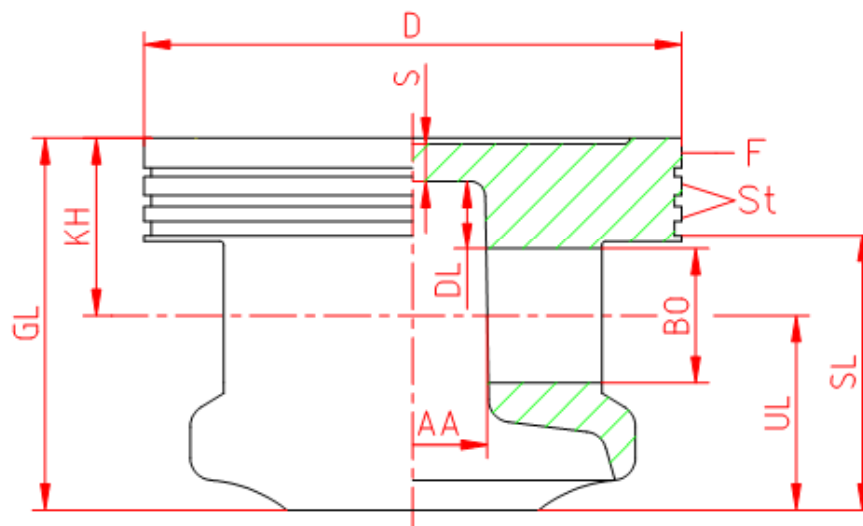
نیروی اصطکاک بر پیراهن پیستون برابر است با:

$$F_{f\_Kh} = f_{Kh} \cdot F_{Normal\_Kh} \cong 2,5 \cdot \sqrt{L_{Kh} \cdot \eta_{Ol} \cdot |v_K| \cdot F_{Normal\_Kh}}$$

## سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی میل لنگ، محاسبه ممان اصطکاک)

- محاسبه اصطکاک براساس مدل وابسته به فشار، دور، و زاویه لنگ و زمان بشرح زیر صورت میگیرد.
- **مدل اول:** پیستون شامل کلیه رینگها، پیراهن وانگشتی پیستون (40-50%)
- **مدل دوم:** محرک سوپاپ (10-20%)
- **مدل سوم:** یاتاقانهای پایه میل لنگ و دسته پیستون (20-30%)
- **مدل چهارم:** محرکهای جانبی نظیر پمپ روغن، دینام و...

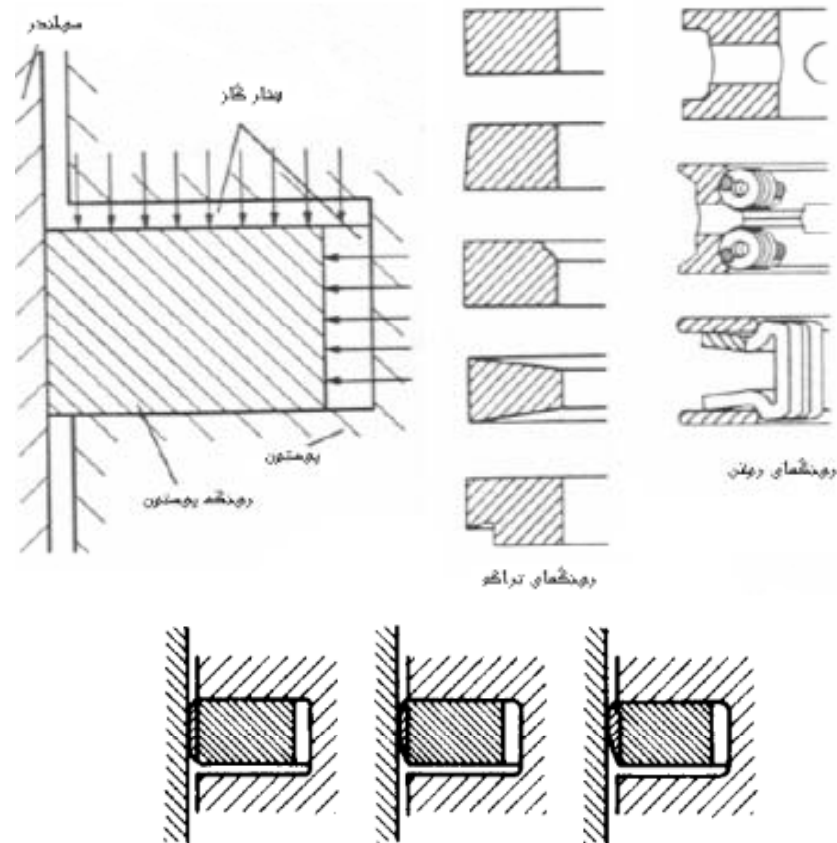
# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی پیستون، ابعاد پیشنهادی)



D:	$65 \dots 105 \cdot d$
GL:	$0,7 \dots 1,0 \cdot d$
KH:	$0,35 \dots 0,60 \cdot d$
BO:	$0,25 \dots 0,30 \cdot d$
F:	$0,06 \dots 0,12 \cdot d$
St:	$0,04 \dots 0,05 \cdot d$
ارتفاع شماره روینگ اول:	$1,5 \dots 2,5 \cdot mm$
SL:	$0,40 \dots 0,70 \cdot d$
AA:	$0,25 \dots 0,40 \cdot d$
S:	$0,07 \dots 0,10 \cdot d$
مشخصه وزنی:	$G_N: 0,5 \dots 0,8 \text{ g/cm}^3 \cdot d$

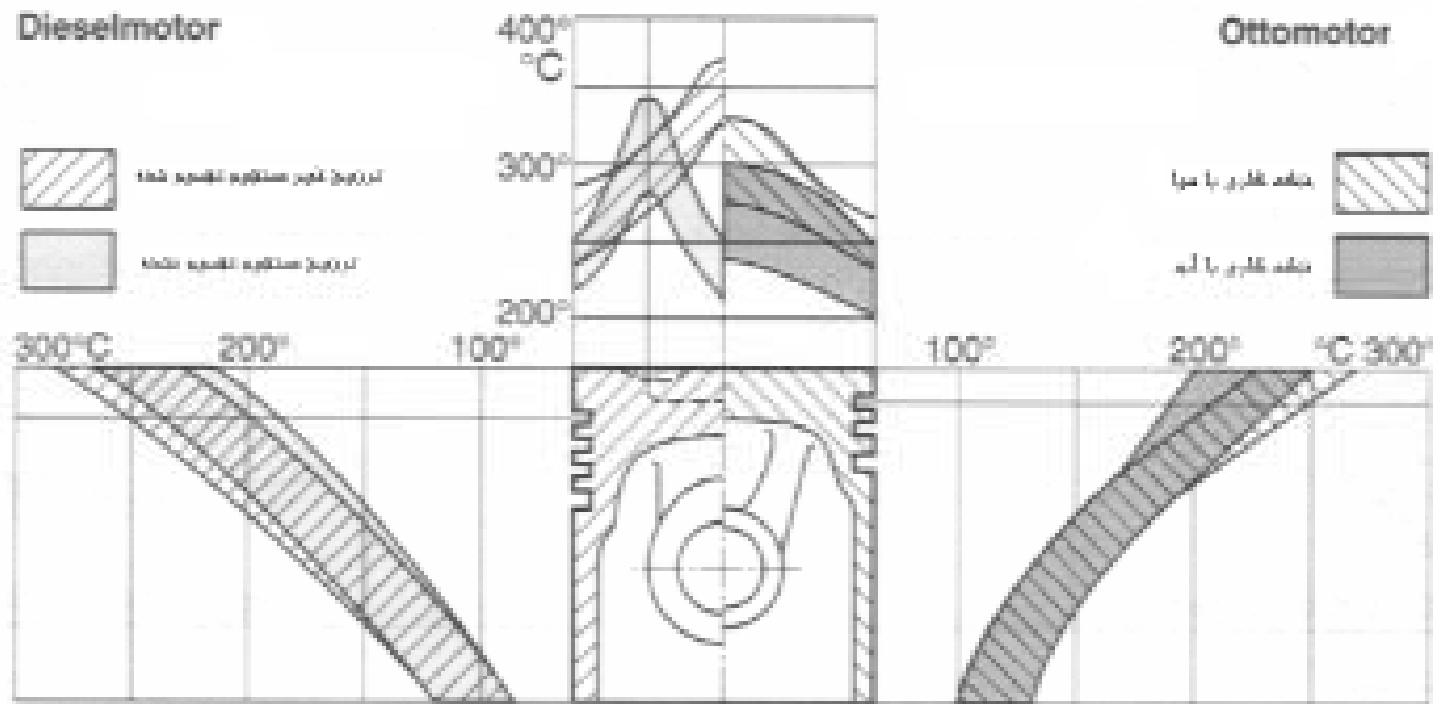
مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی پیستون، رینگهای تراکم و روغن)



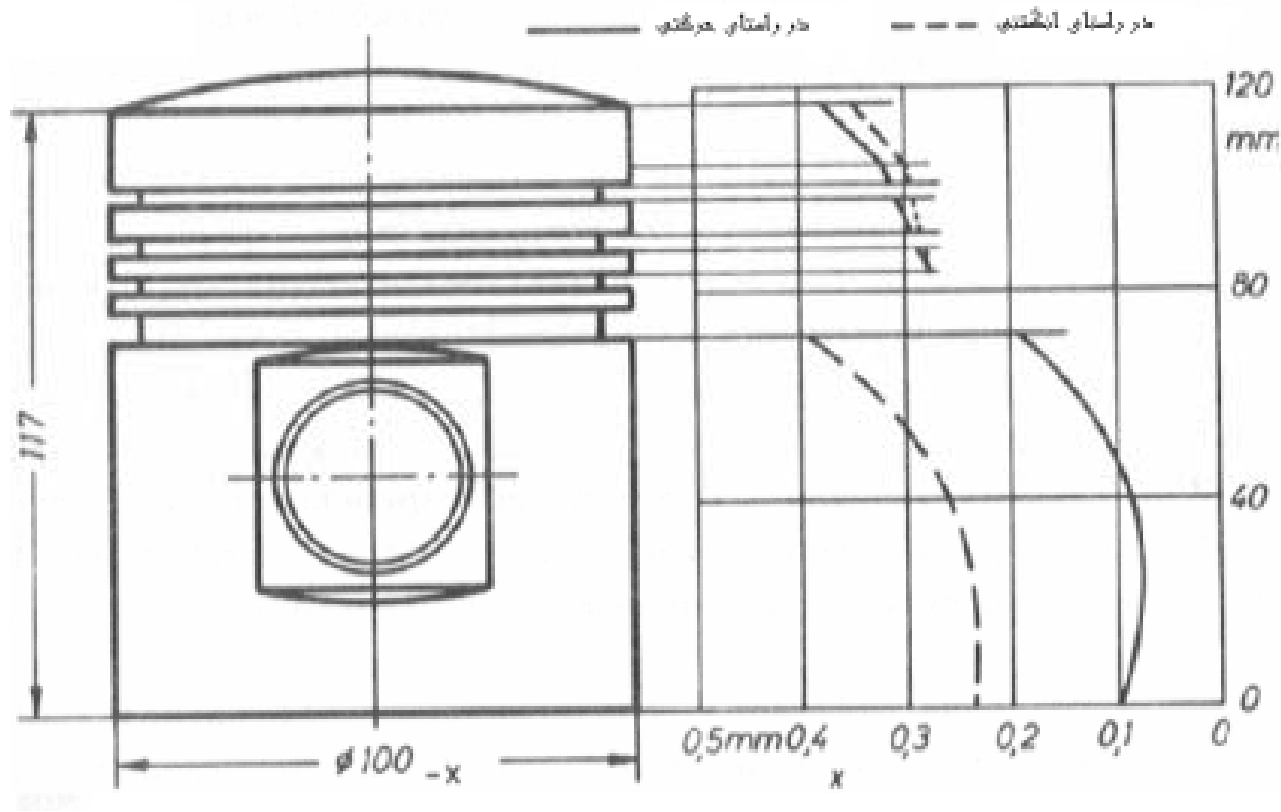
مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی پیستون، دمای پیستون)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

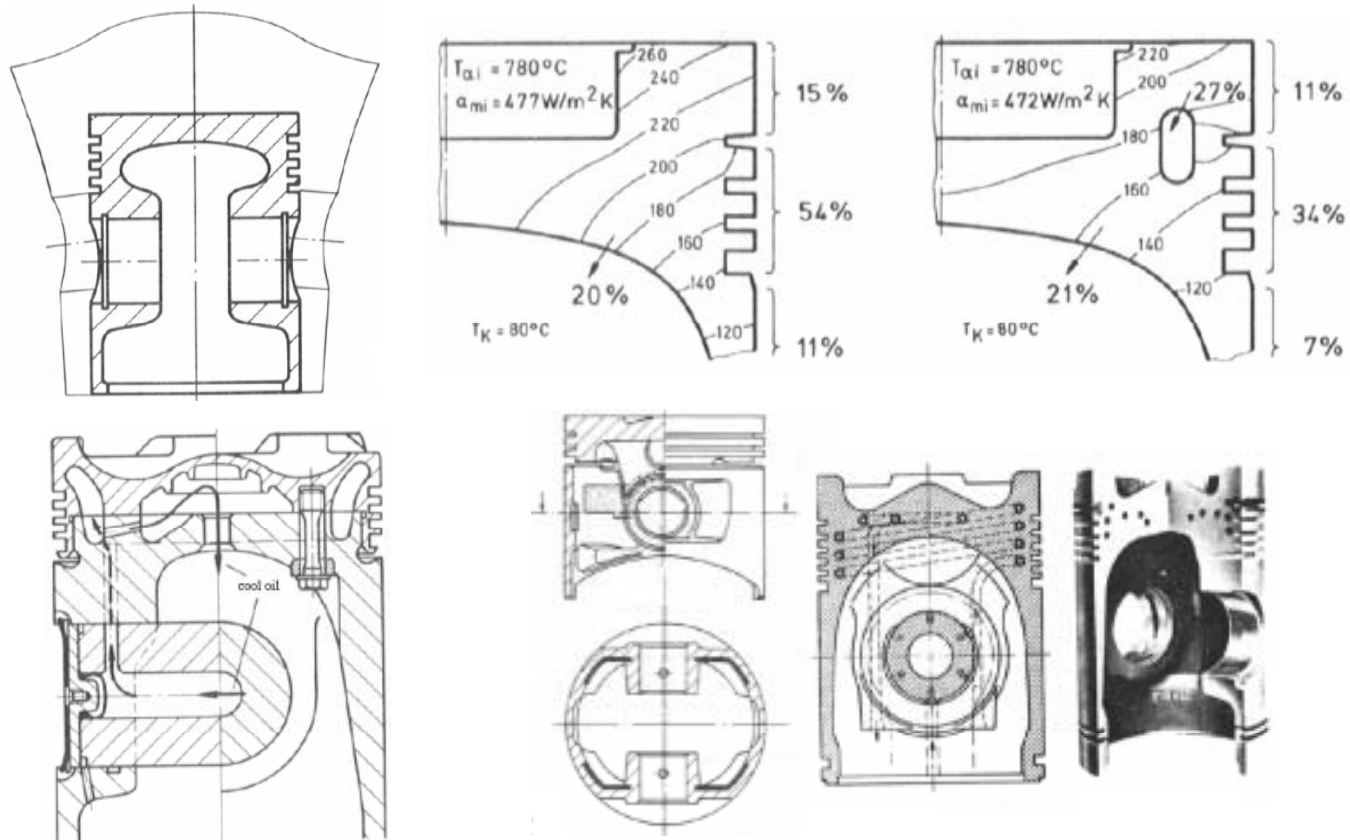
# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی پیستون، فرم پیراهن)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر



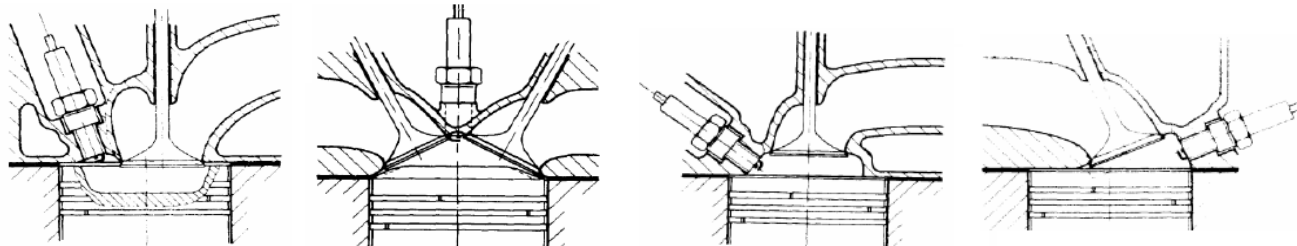
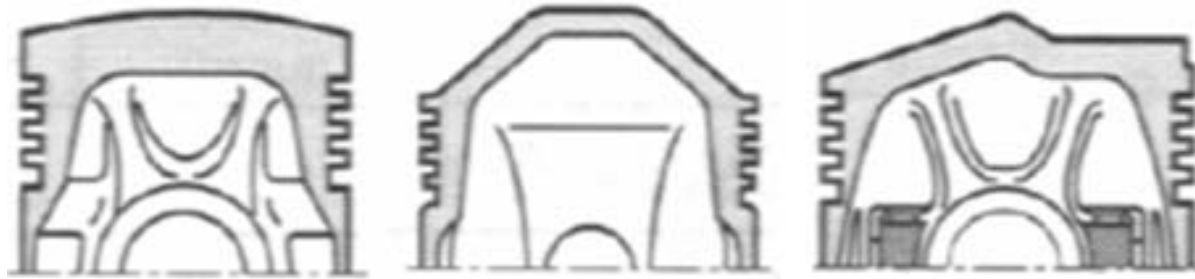
# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی پیستون، تاثیر دما و خنک کاری)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

(طراحی پیستون، فرم پیستون و محفظه احتراق در اتو)



# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی پیستون، **FSI Full Stratified Injection**)

- layer load enterprise

در دور پائین دریچه گاز بلحاظ کاهش افت سیالی کاملاً" باز و دریچه کانال هوا بسته است. هوا شتاب و چرخش میکند. تزریق کمی قبل از جرقه و بدین ترتیب مخلوط قابل اشتعال کنار شمع. نسبت هوا 3.0، افزایش توربولنت توسط فرم کف پیستون. عایق سازی هوا بمنظور کاهش افت گرما ضروری است.

- transient area

تزریق زودتر، دریچه کانال بسته، نسبت هوا 1.4، بدون AGR

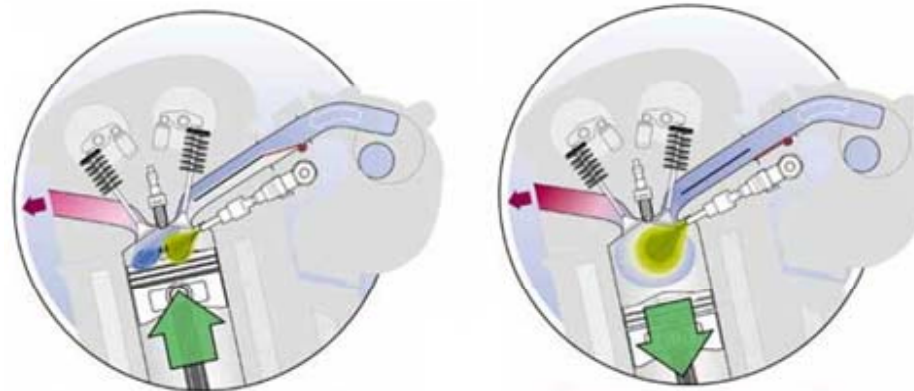
- homogeneous enterprise

از 3000 دور در دقیقه به بالا دریچه کانال هوا باز، تزریق در مرحله مکش، شرایط نظیرتنظیم توسط دریچه گاز در نسبت هوا (مخلوط همگون) 1.0 ، خنک کاری داخلی بهتر و بدین ترتیب تراکم بیشتر ممکن است.

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

(طراحی پیستون، فرم پیستون و محفظه احتراق در اتو، FSI Fuel Stratified Injection)

Layer load enterprise gasoline direct injection



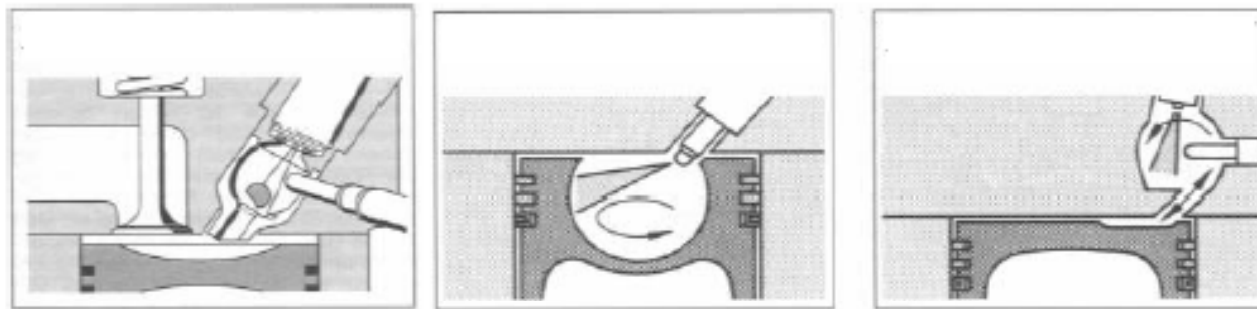
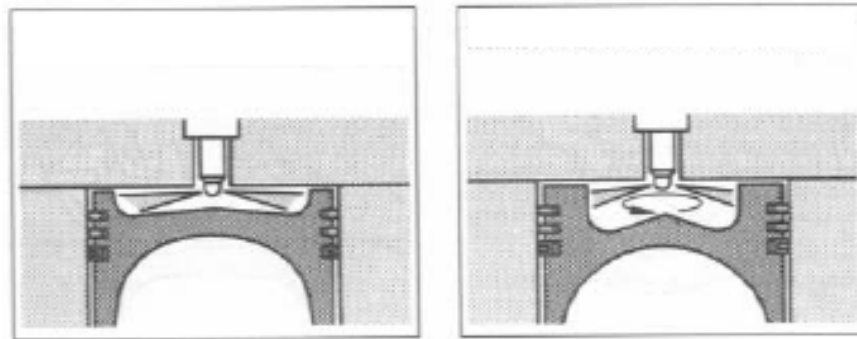
Stratified-charge Operation



Homogeneous Working

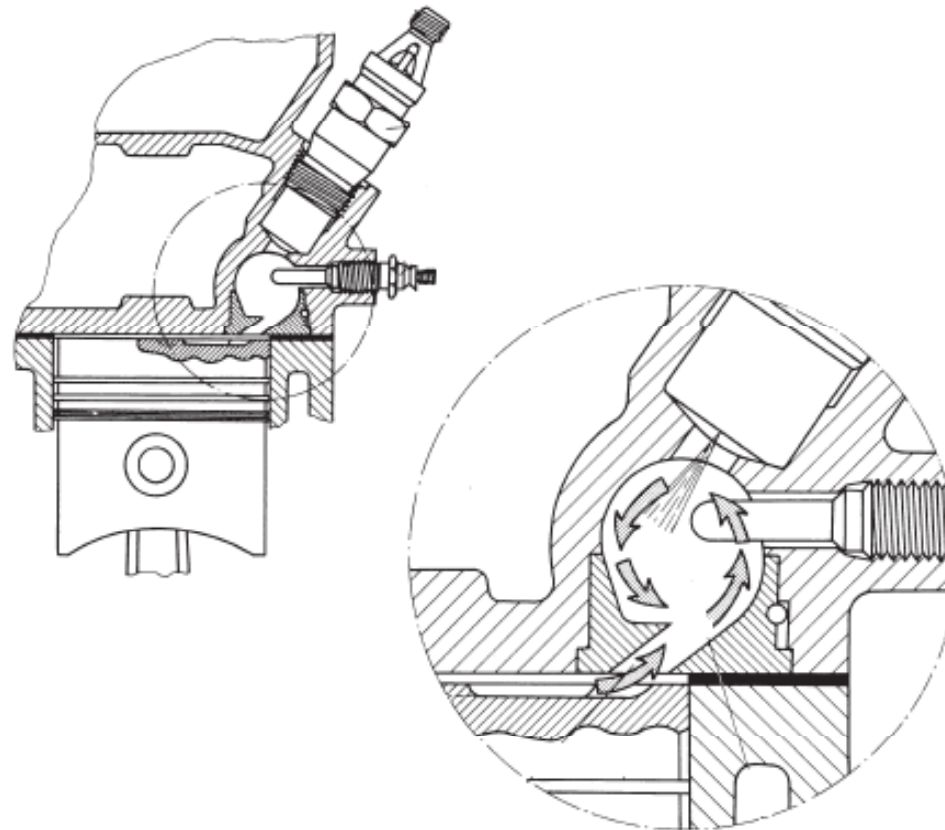
مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی پیستون، فرم پیستون و محفظه احتراق در دیزل)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

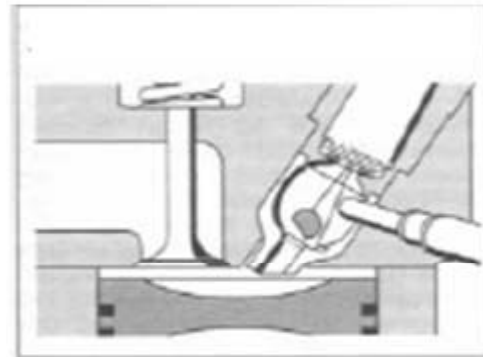
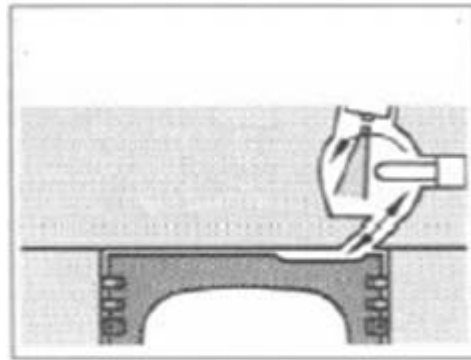
# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی پیستون، پیاله گردان احتراق در دیزل Ricardo)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

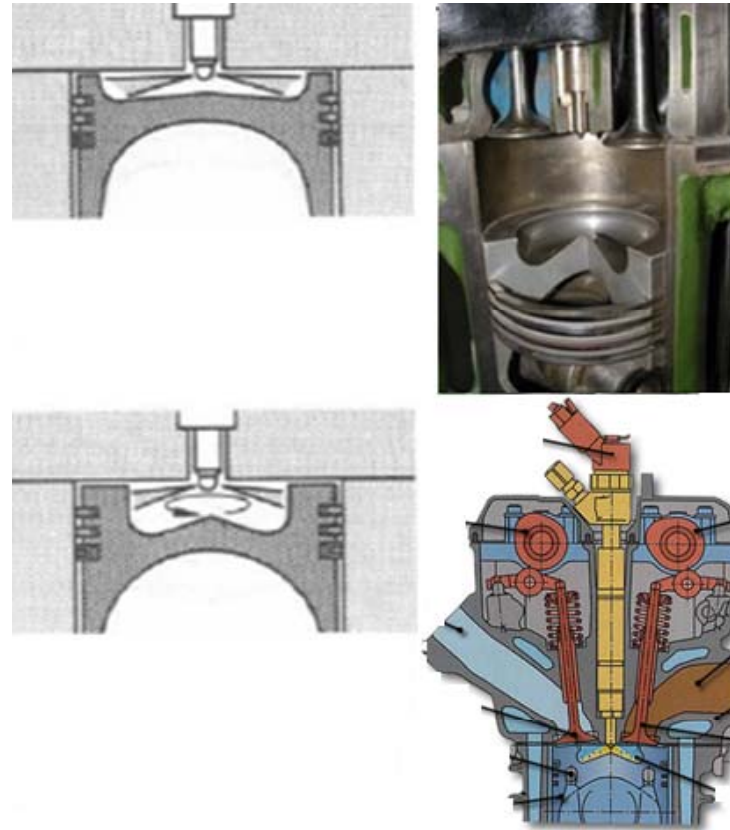
# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

(طراحی پیستون، محفظه احتراق در دیزل، تقسیم شده با پیاله گردان احتراقی و پیاله احتراقی)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی پیستون، محفظه احتراق در دیزل، تقسیم نشده)

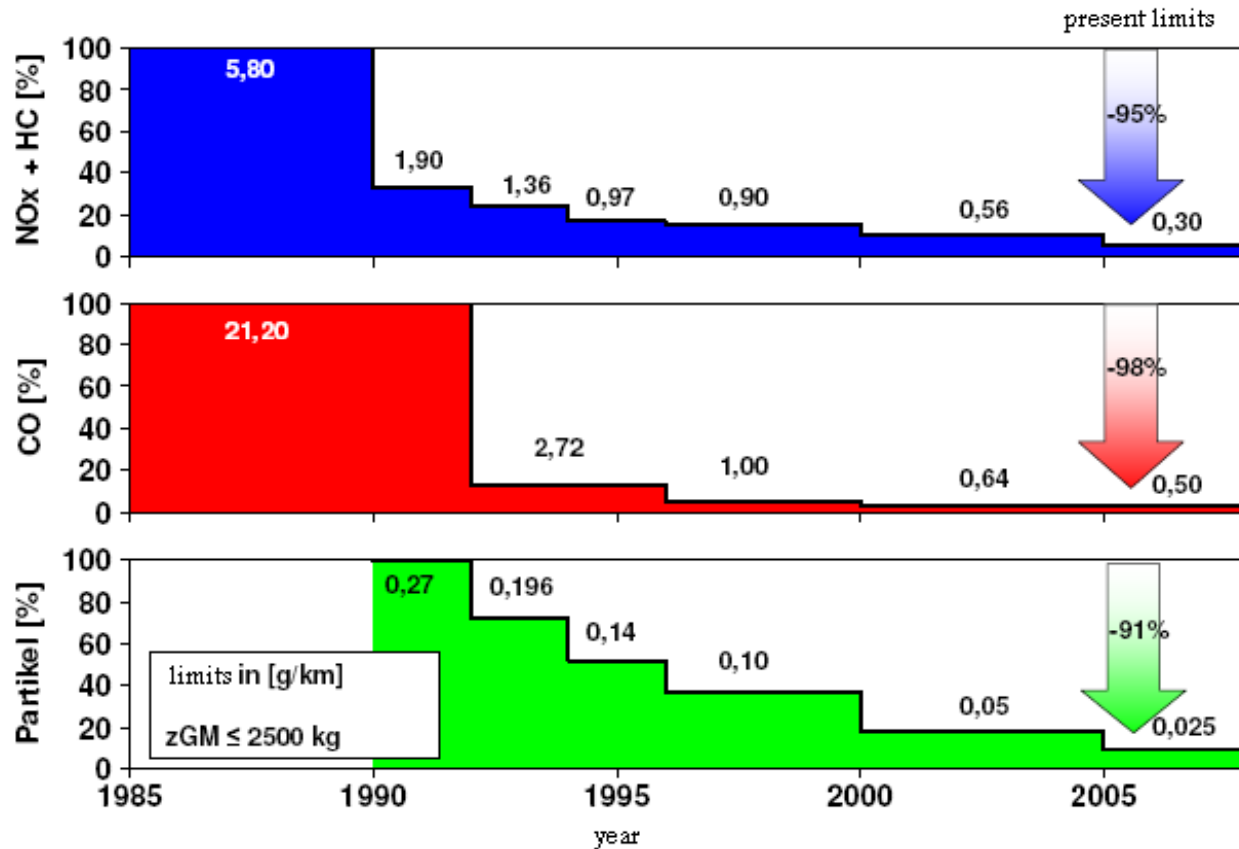


مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر



# موتورهای درونسوز پیستونی

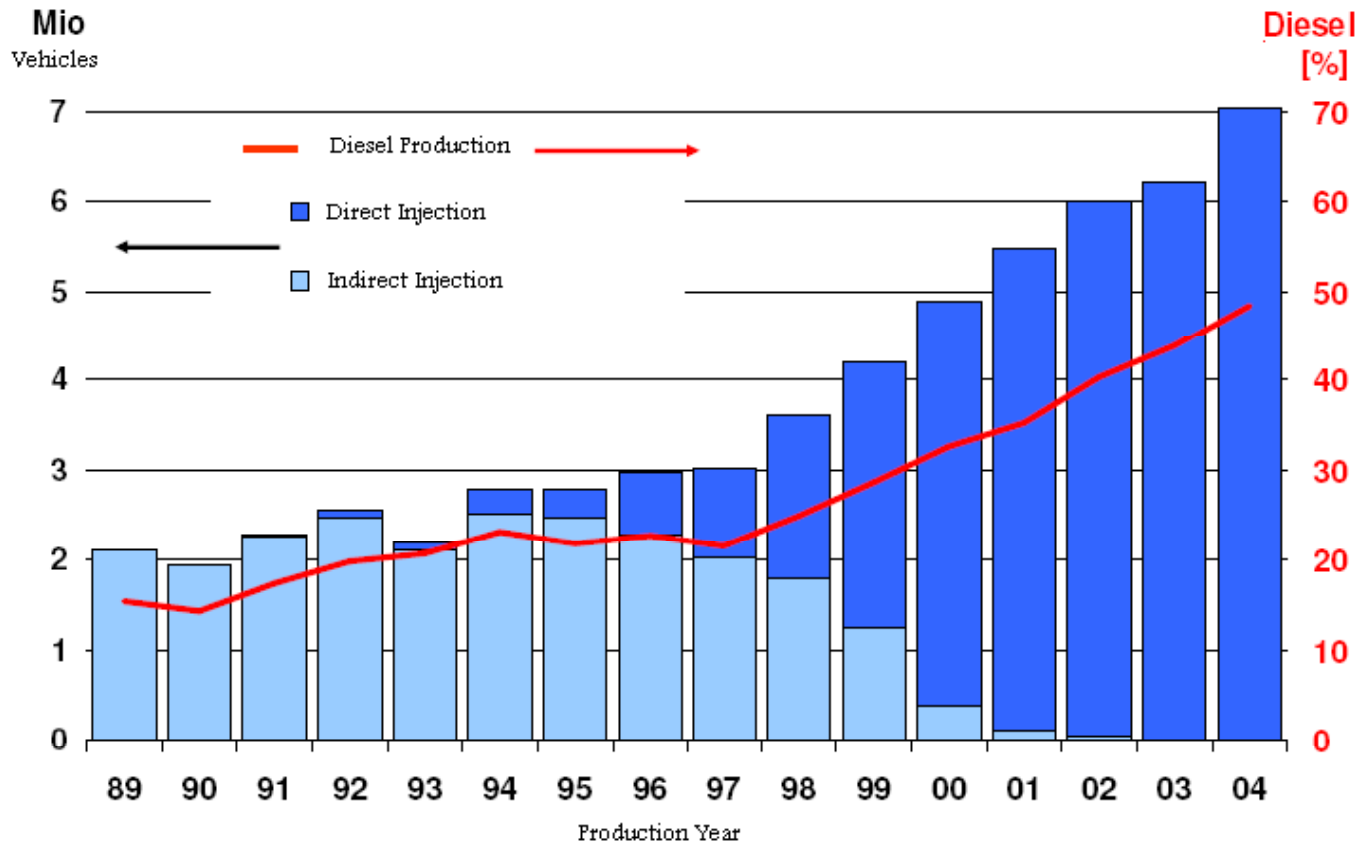
Emission limits for person cars and light trucks in Europe



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

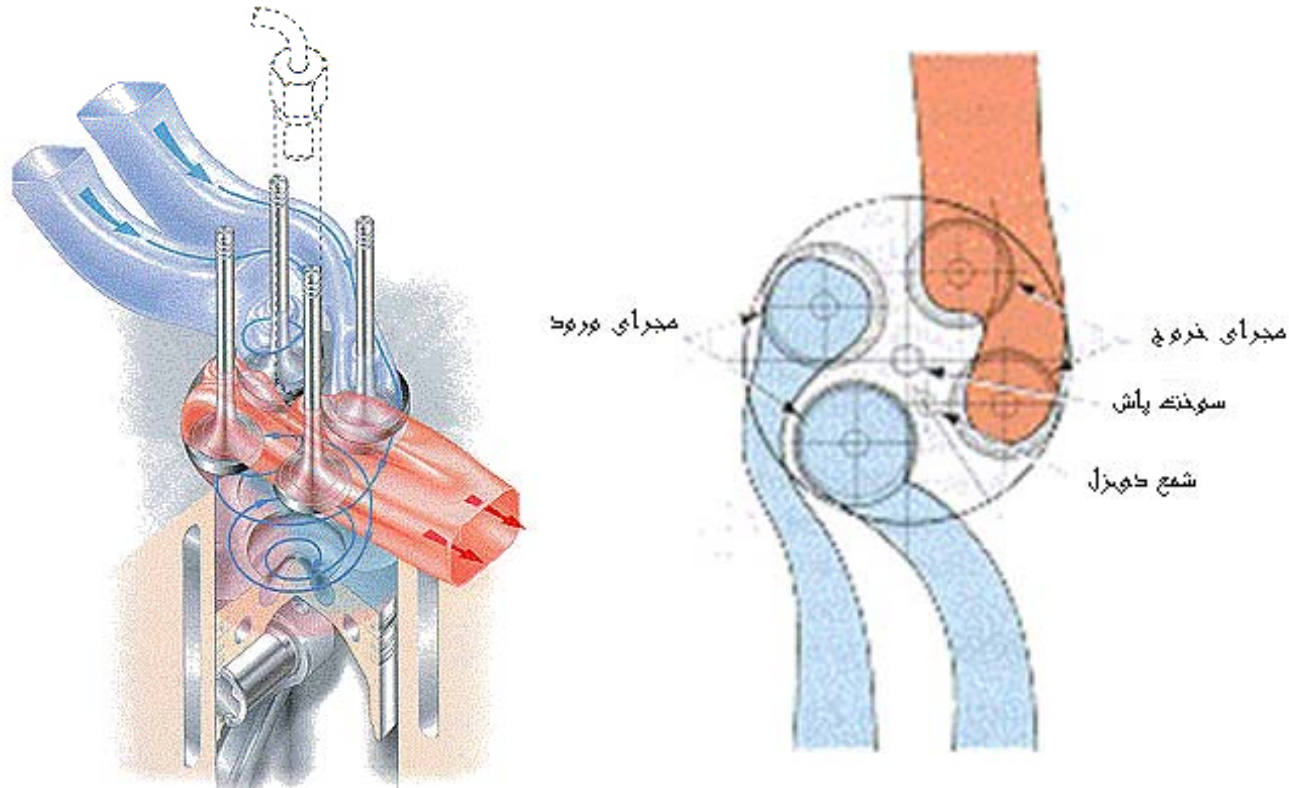
# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

## (سهم تولید موتورهای دیزل تزریق مستقیم و غیر مستقیم)



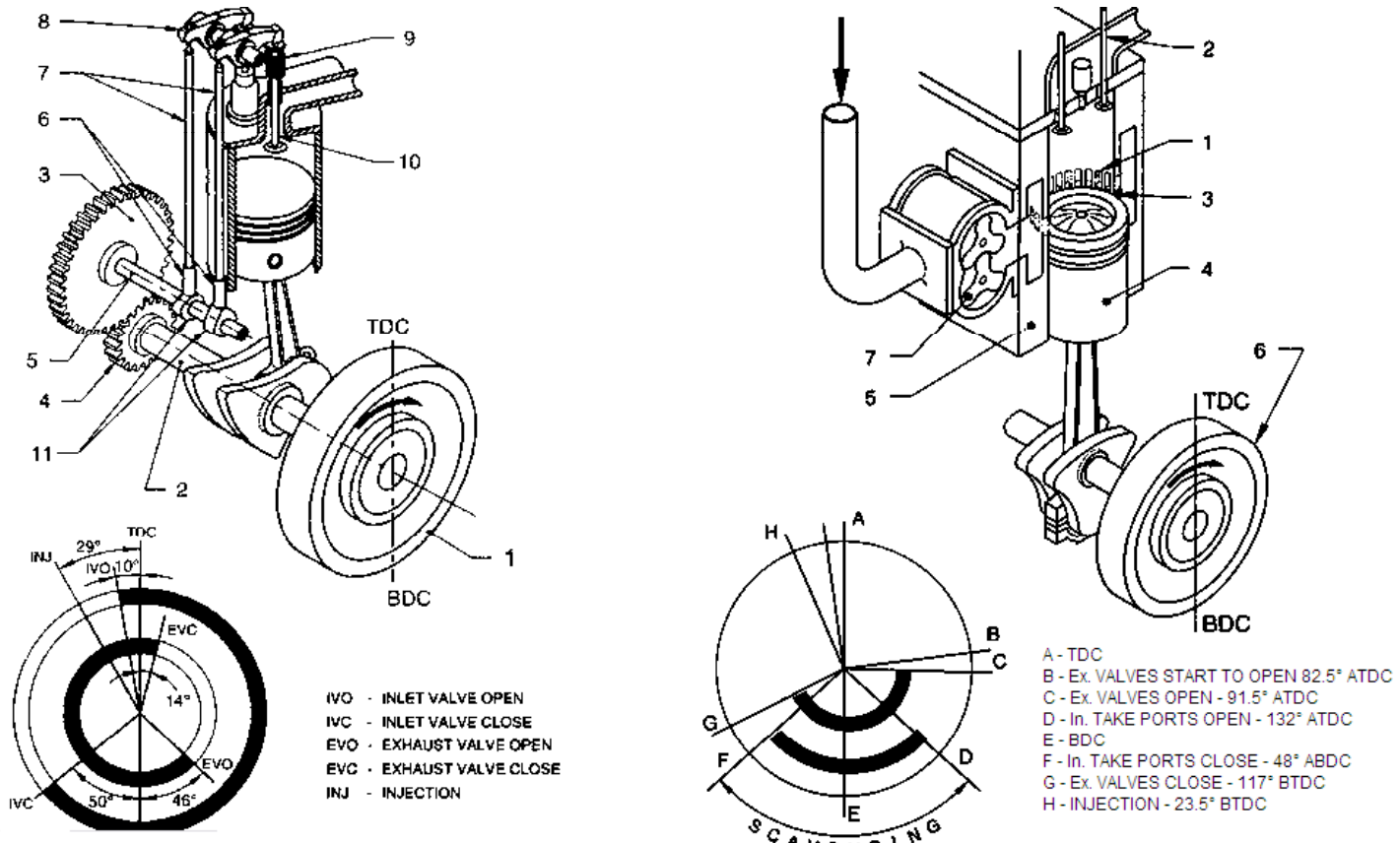
مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (تعویض سیال، مجرای ورود و خروج)



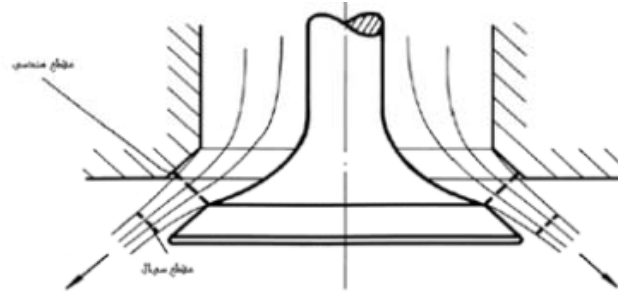
مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (تعویض سیال، زمان بندی در چهار و دو زمانه)

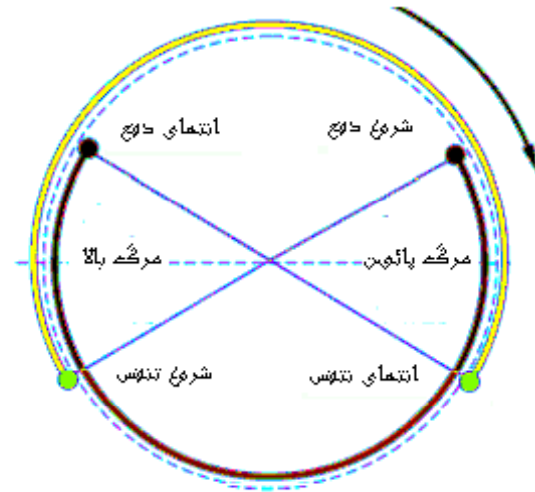
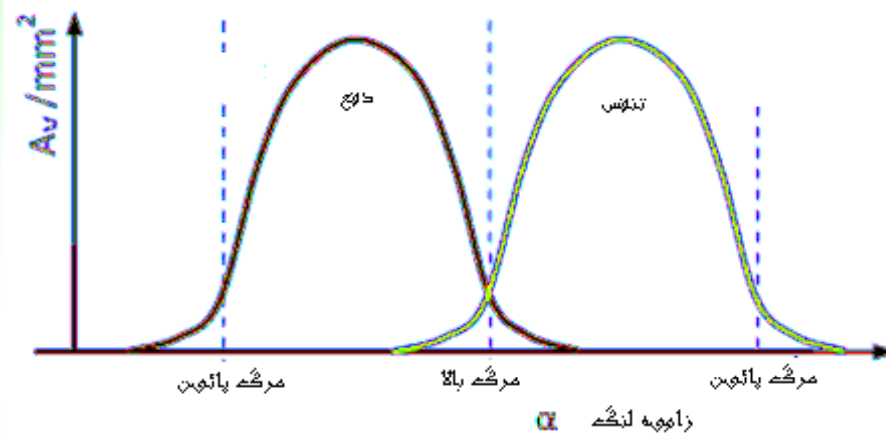


مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (تعویض سیال، نمودار زمان بندی)

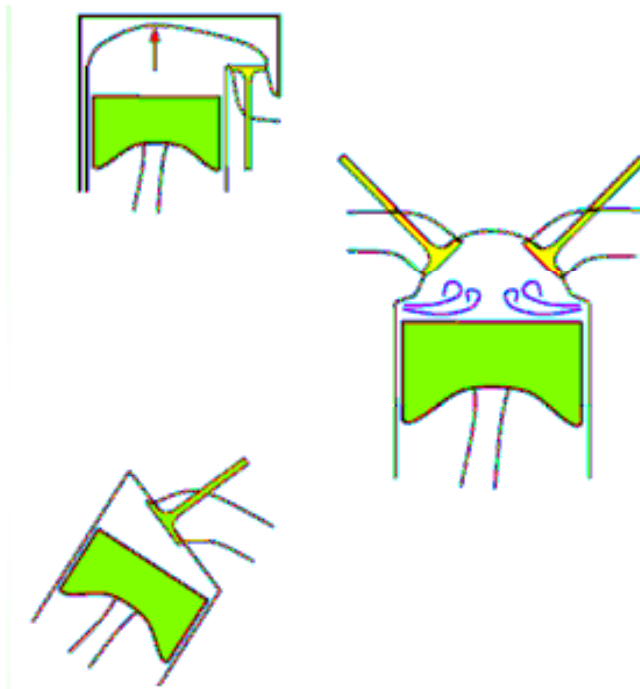


سطح مجرای دایره و تنگس



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (تعویض سیال، سامانه سوپاپی)



- سوپاپ ایستاده، افت گرمائی زیاد، بدون گردش سیال، میل بادامک پائین
- سوپاپ آویزان، امکان بهترین نسبت هوا به سوخت، نیاز به دو میل بادامک
- سوپاپ آویزان، سطح بزرگ تبادل گرما، ارتفاع کوتاه ساختمان موتور میسر

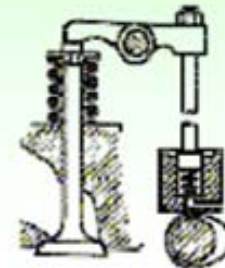
# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (تعویض سیال، مکانیزم سوپاپ)



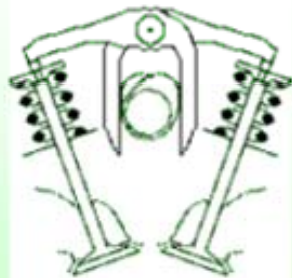
امره زانوئی



امره خوابیده



سوپاپه آمیزان مول بادامغه پائین  
Over Hanging Valves OHV



سوپاپه آمیزان مول بادامغه بالا  
Over Head Camshaft OHC



تعادل میجر ولگی لژی



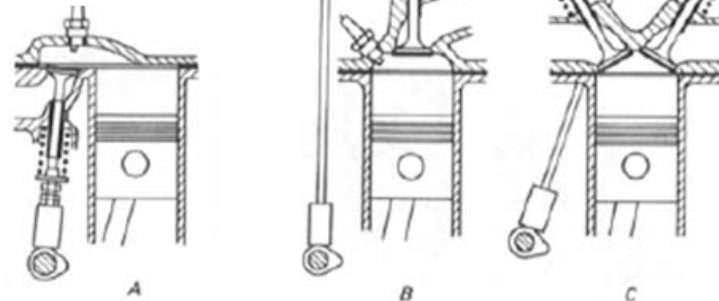
امره خوابیده لگشی

مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

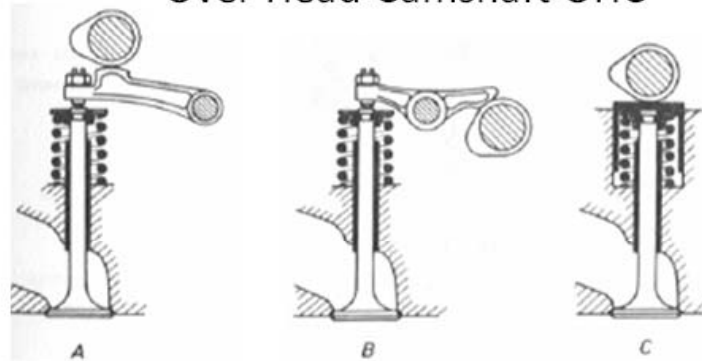
# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (تعویض سیال، مکانیزم سوپاپ-میل بادامک پائین و بالا)

Over Hanging Valves OHV

Side Valves SV



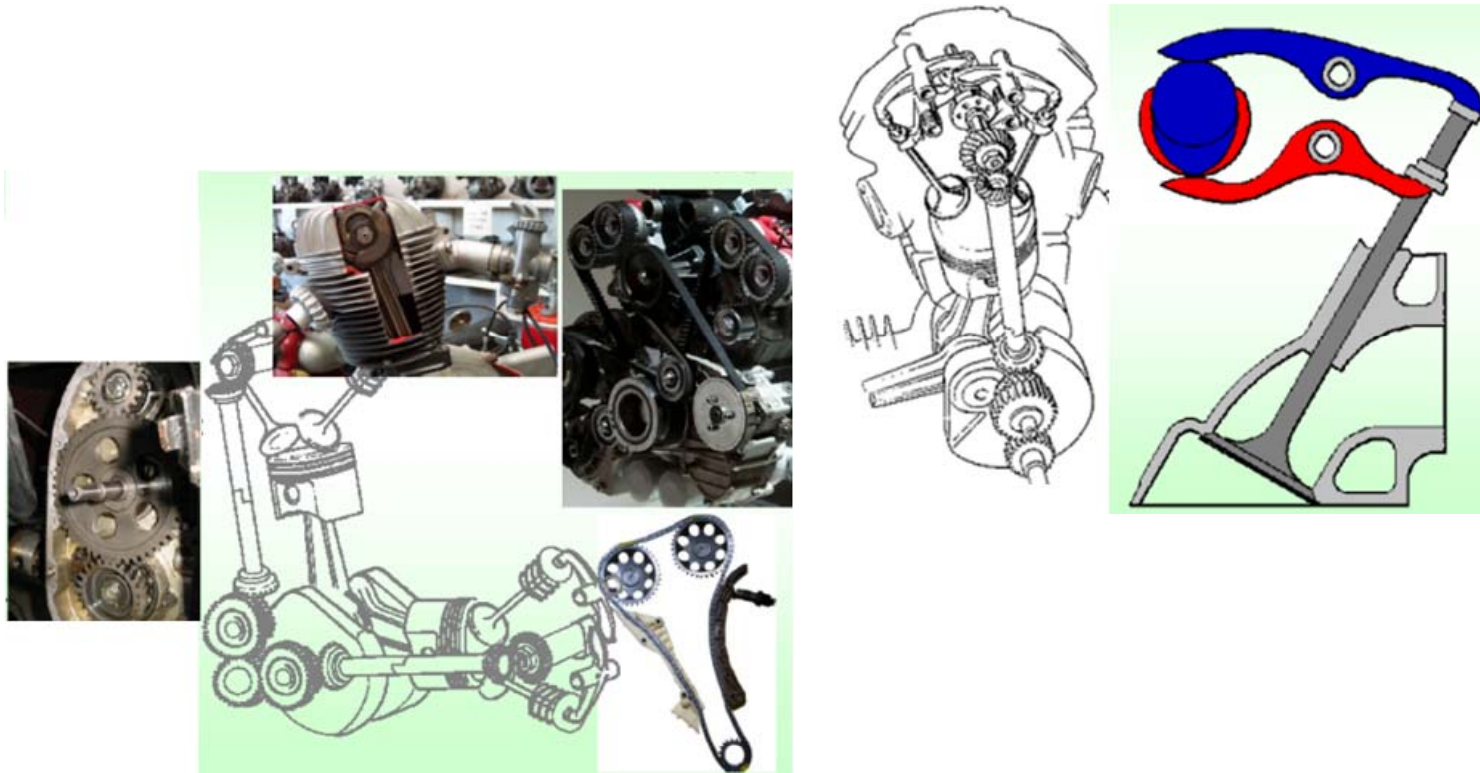
Over Head Camshaft OHC



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

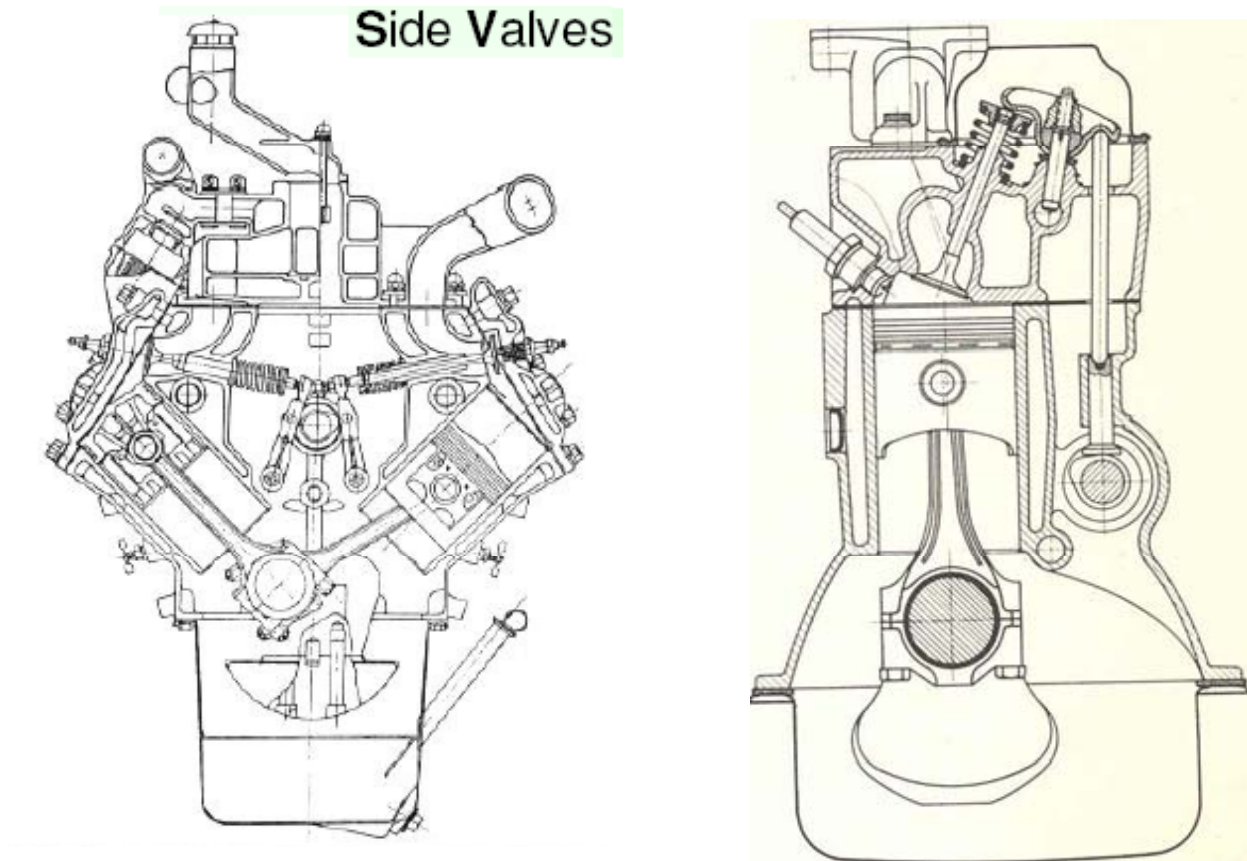


# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (تعویض سیال، مکانیزم سوپاپها)



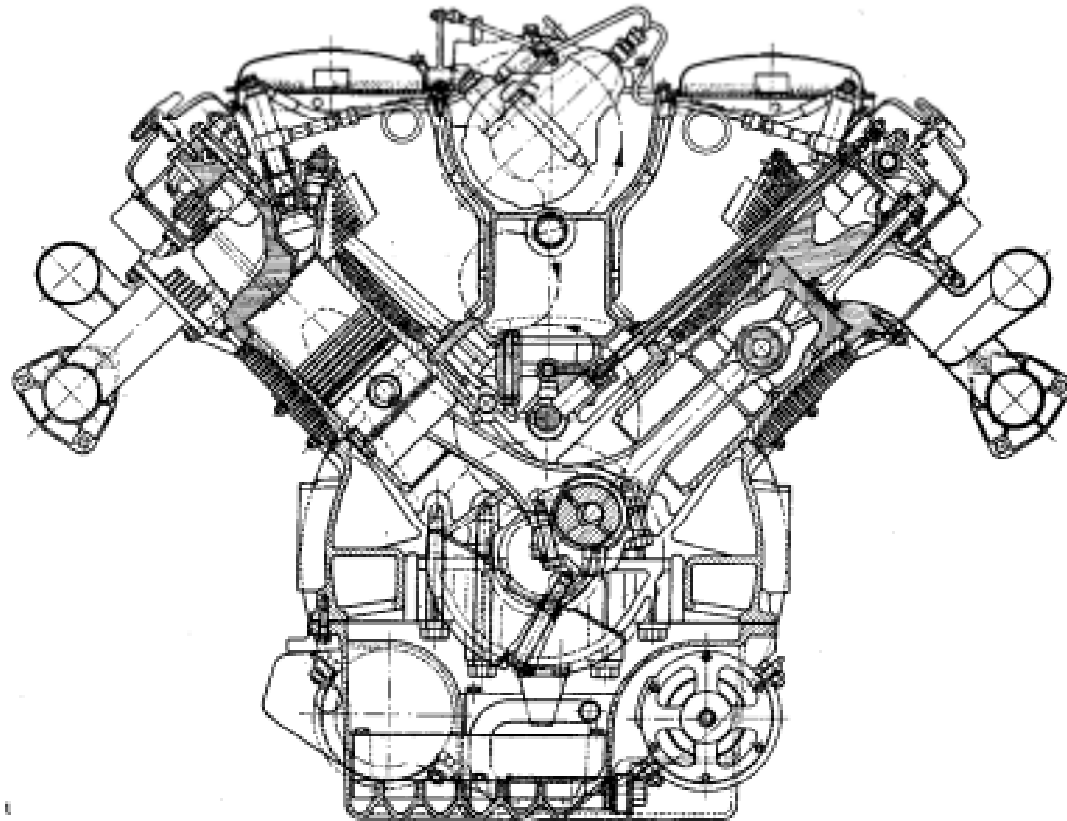
مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (تعویض سیال، سوپاپ ایستاده و آویزان میل بادامک پائین)



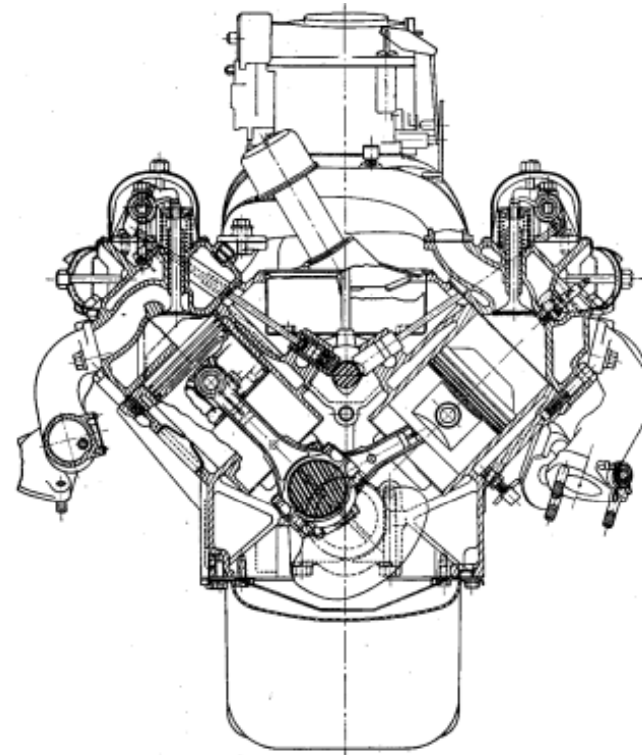
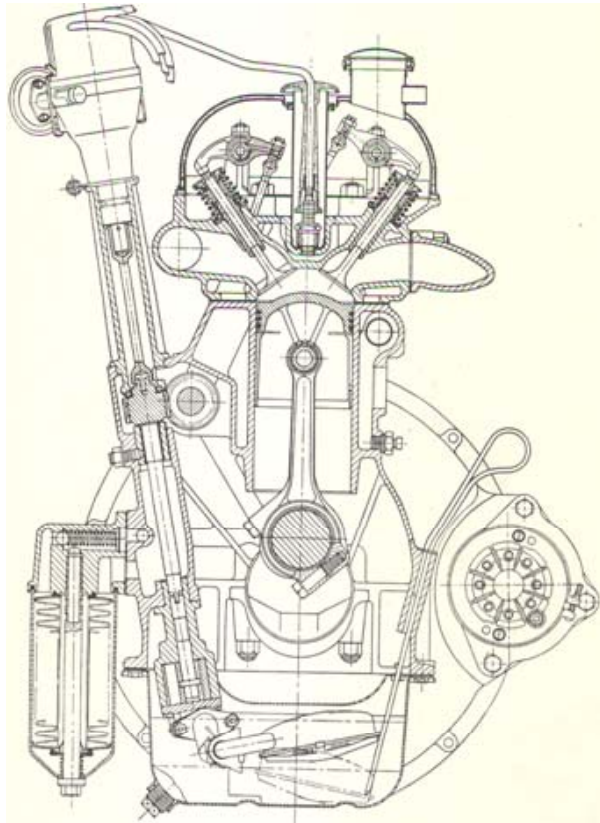
مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (تعویض سیال، سوپاپ آویزان میل بادامک پائین)



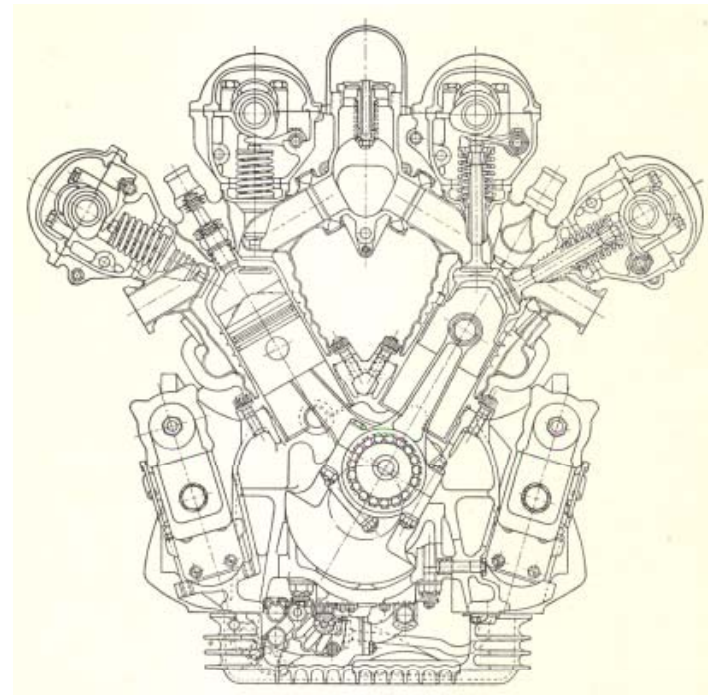
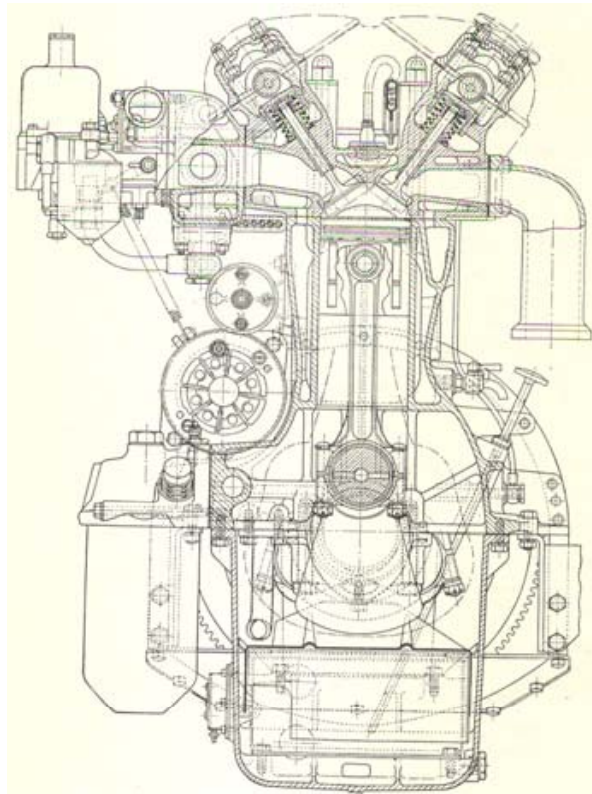
مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (تعویض سیال، سوپاپ آویزان میل بادامک پائین)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (تعویض سیال، سوپاپ آویزان میل بادامک بالا)

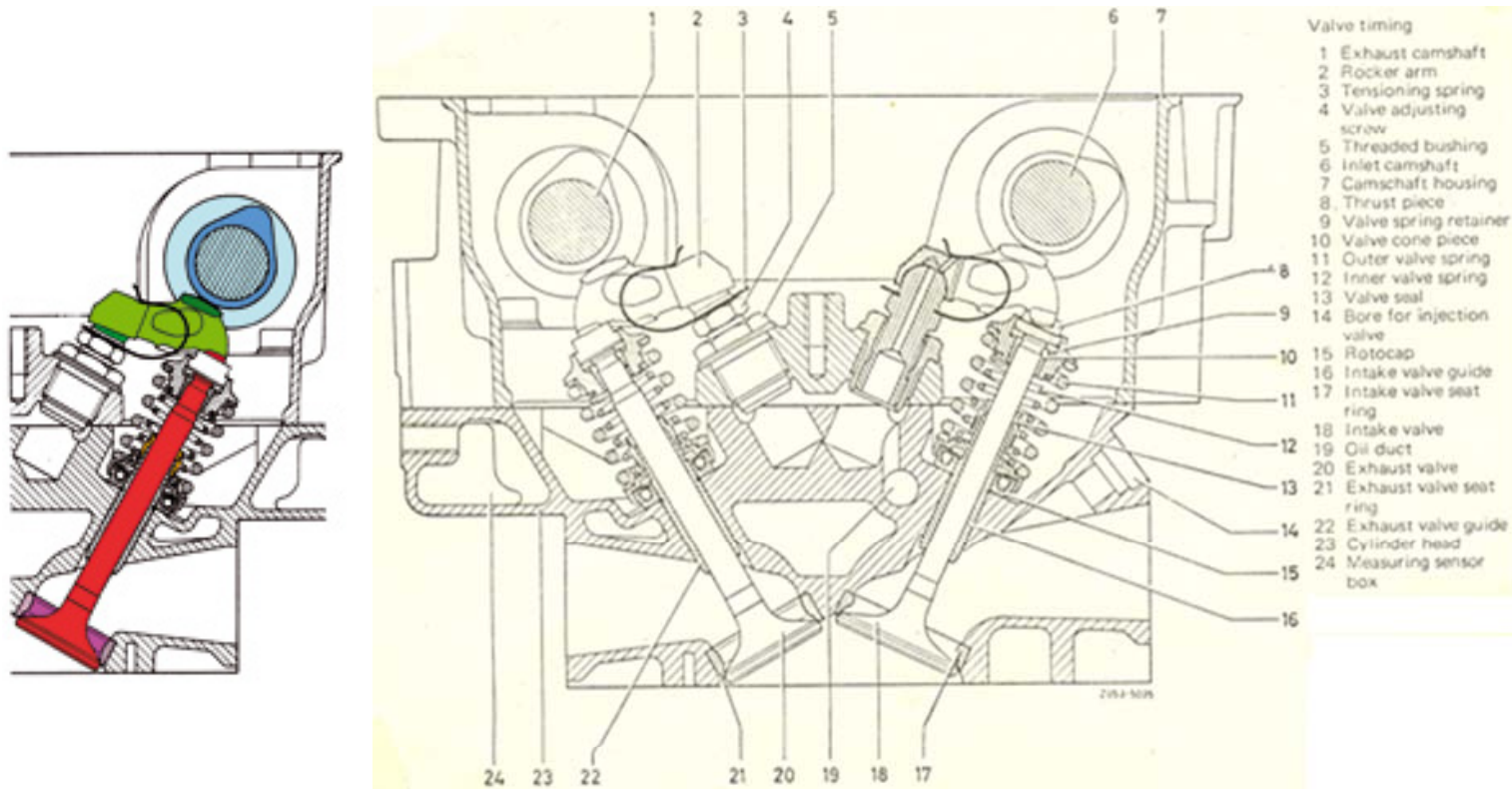


مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر



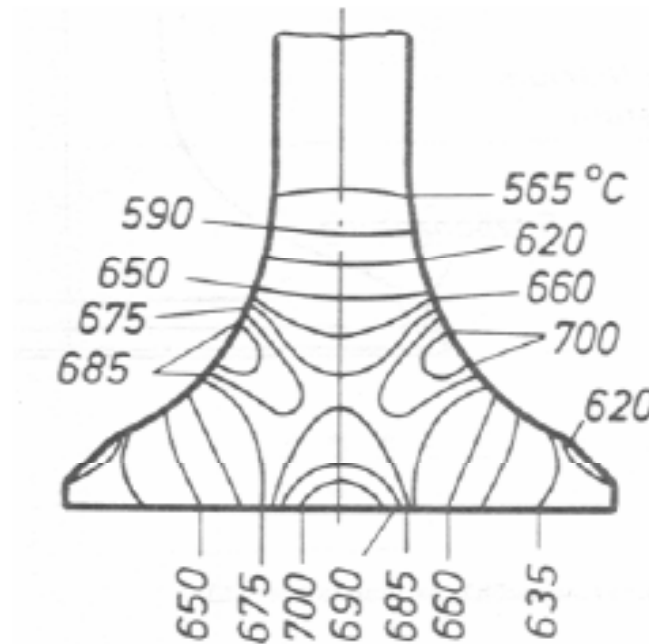
# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

(تعویض سیال، سوپاپ آویزان میل بادامک بالا DOHC Double Over Head Camshaft)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

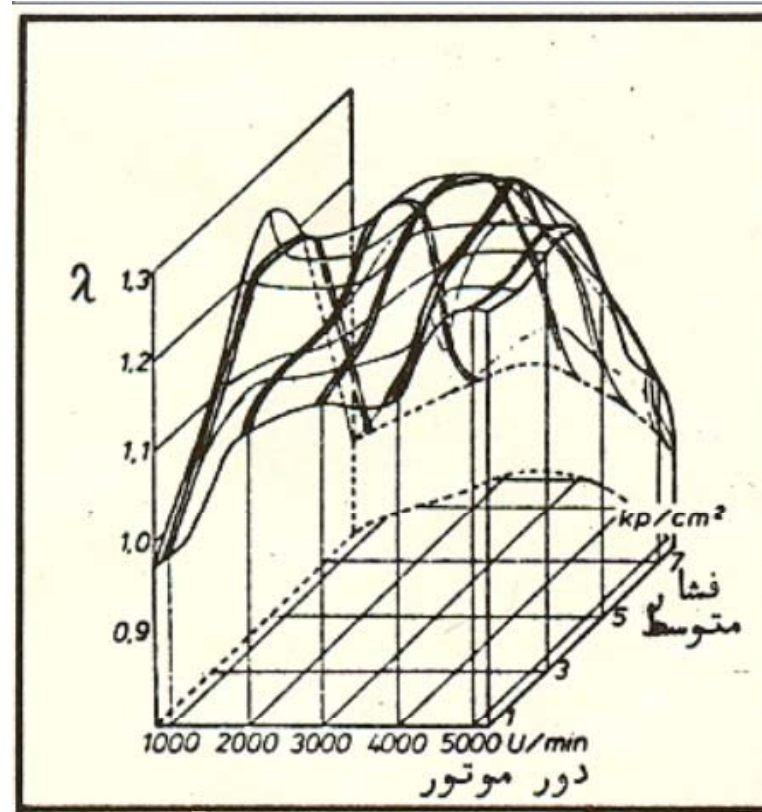
# سامانه دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (تعویض سیال، دمای سوپاپ خروجی)



Temperaturverteilung im Auslaßventil

مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# موتورهای درونسوز پیستونی (سامانه های سوخت رسانی، نسبت هوای لازم)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

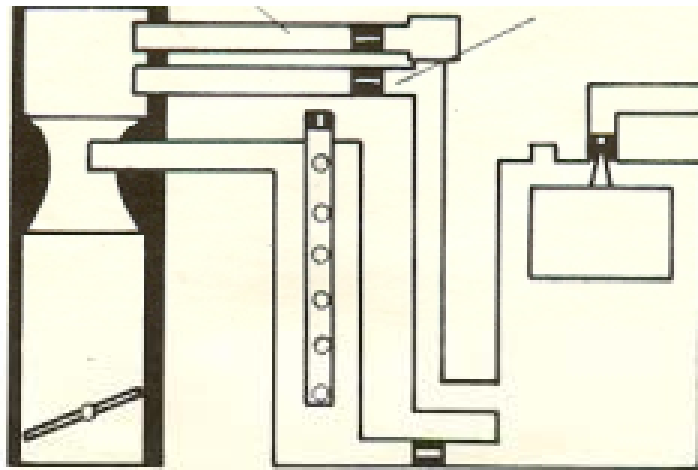


# موتورهای درونسوز پیستونی

## (سامانه های سوخت رسانی، **کاربراتور ساده**)

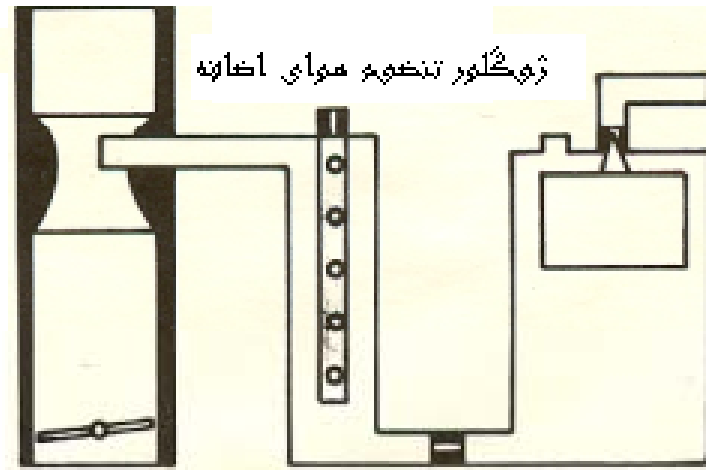
تغییر سازی مخلوط برای سرعت متغیر

تغییر سازی مخلوط در سرعت ثابت



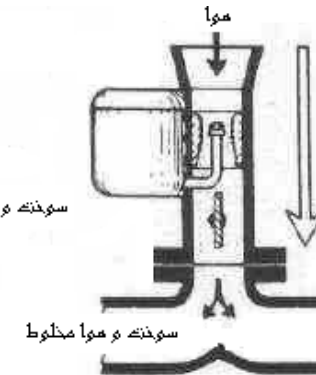
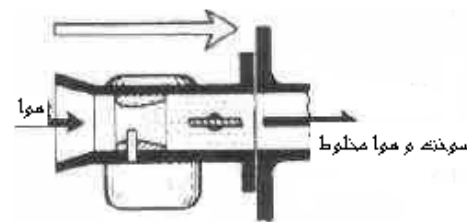
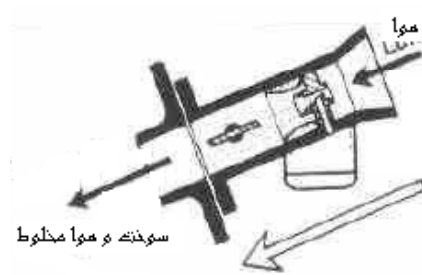
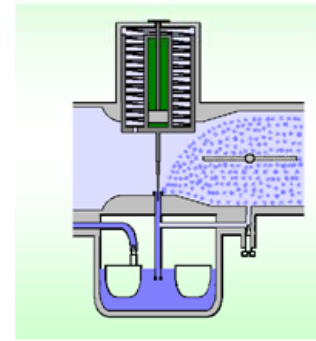
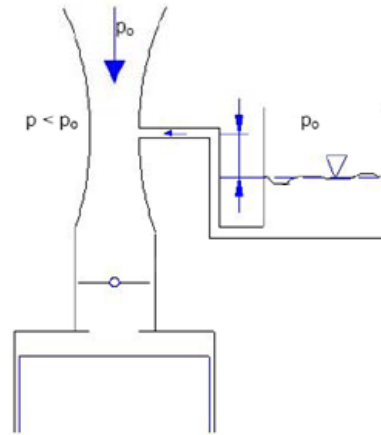
ژیگلور اصلی

ژیگلور تنظیم هوای اضافی



# موتورهای درونسوز پیستونی

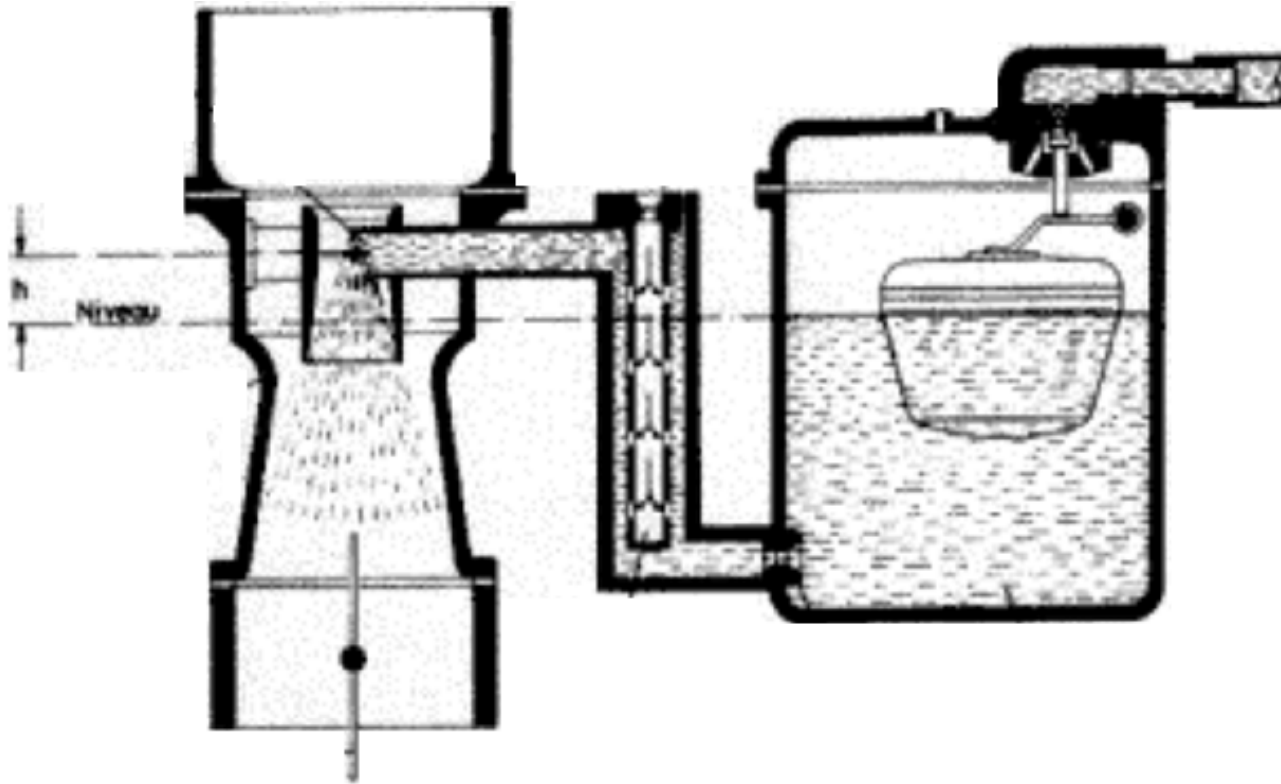
(سامانه های سوخت رسانی، کاربراتور جریان نزولی و فشار ثابت)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# موتورهای درونسوز پیستونی

(سامانه های سوخت رسانی، **کاربراتور جریان نزولی**)

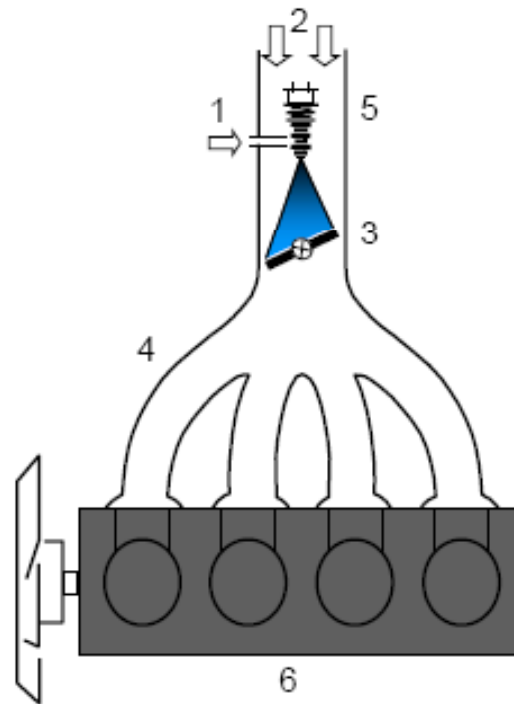


مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# موتورهای درونسوز پیستونی

(سامانه های سوخت رسانی، **انژکتور در موتور اتو** (Single-Point Fuel Injection(TBI))

1 Fuel, 2 Air, 3 Throttle Valve, 4 Intake Manifold, 5 Injector, 6 Engine

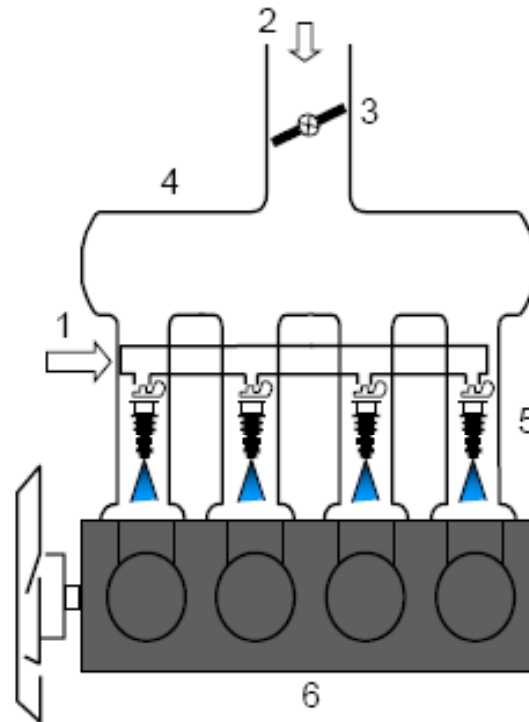


مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# موتورهای درونسوز پیستونی

(سامانه های سوخت رسانی، انژکتور در موتور اتو، Multipoint Fuel Injection)

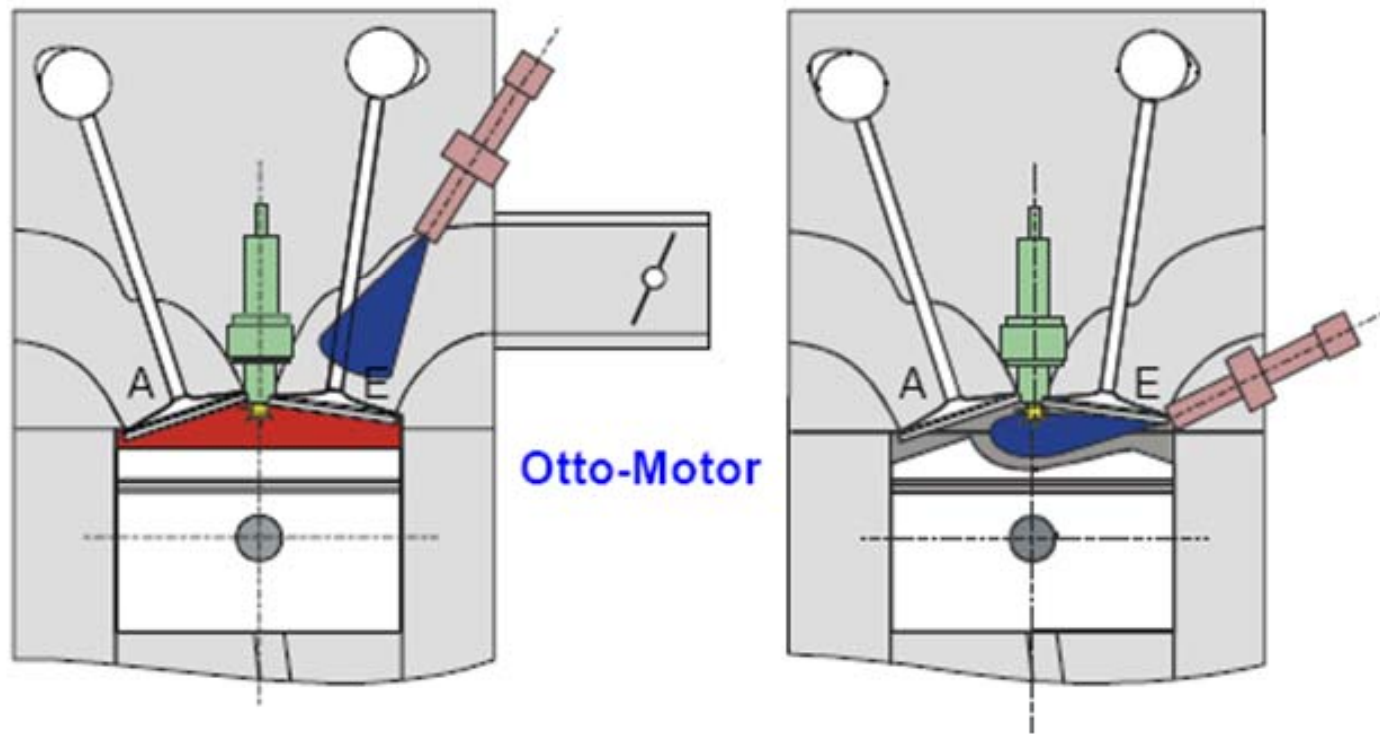
1 Fuel, 2 Air, 3 Throttle Valve, 4 Intake Manifold, 5 Injectors, 6 Engine



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

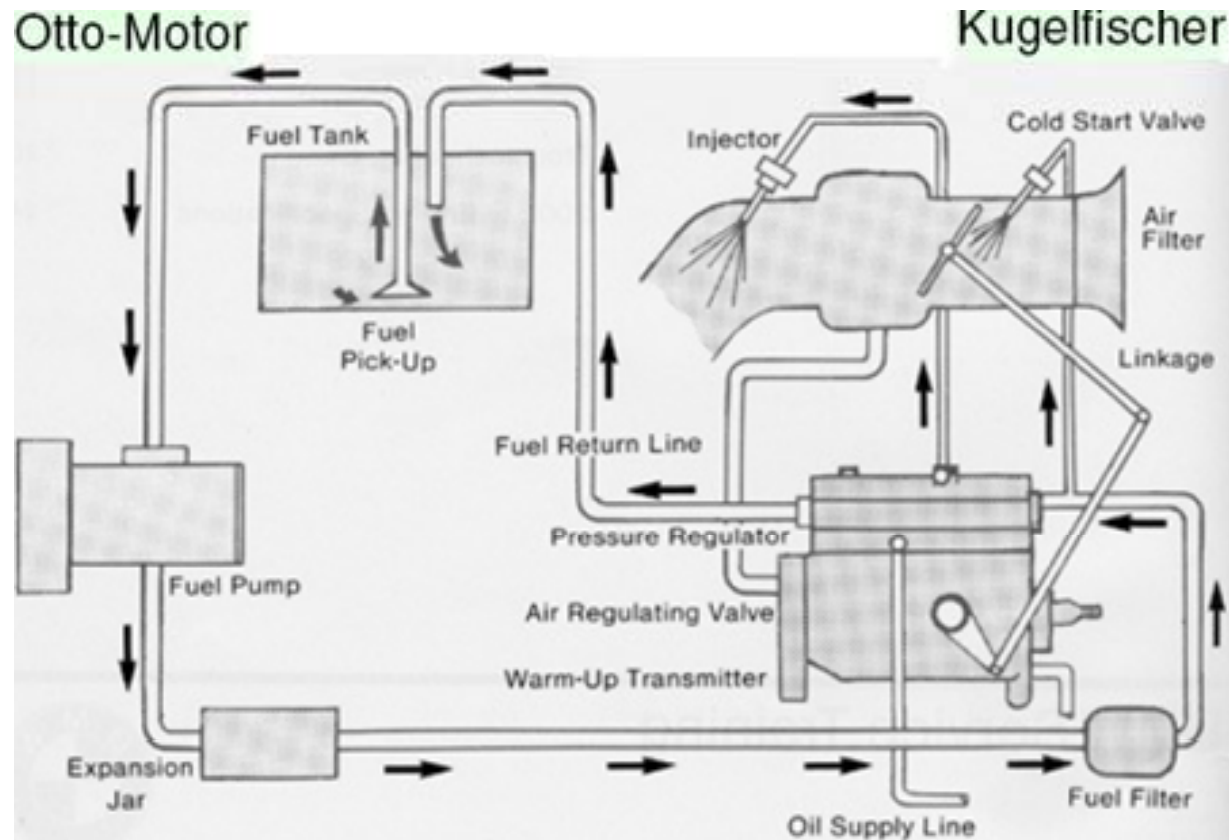
# موتورهای درونسوز پیستونی

(سامانه های سوخت رسانی، انژکتور در موتور اتو)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

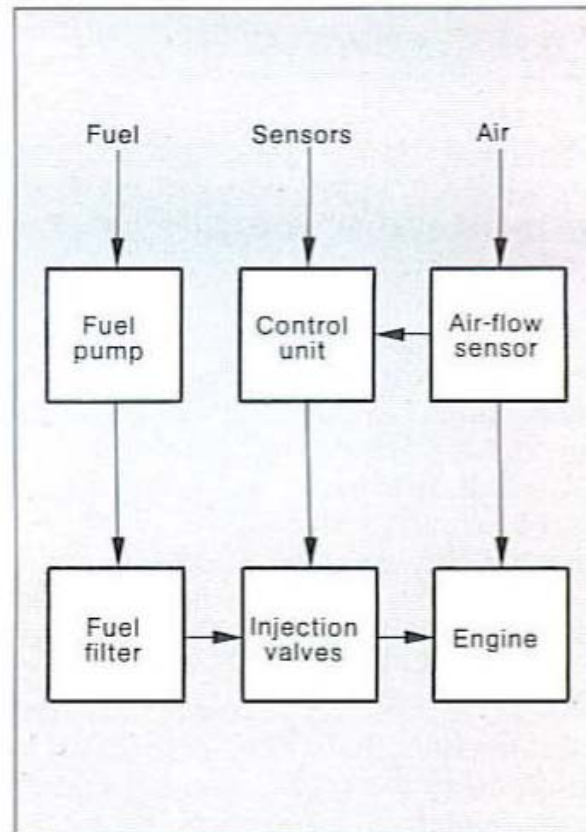
# موتورهای درونسوز پیستونی (سامانه های سوخت رسانی، انژکتور مکانیکی)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# موتورهای درونسوز پیستونی

(سامانه سوخت رسانی، انژکتور الکترونیکی (Principle of the L-Jetronic (simplified))

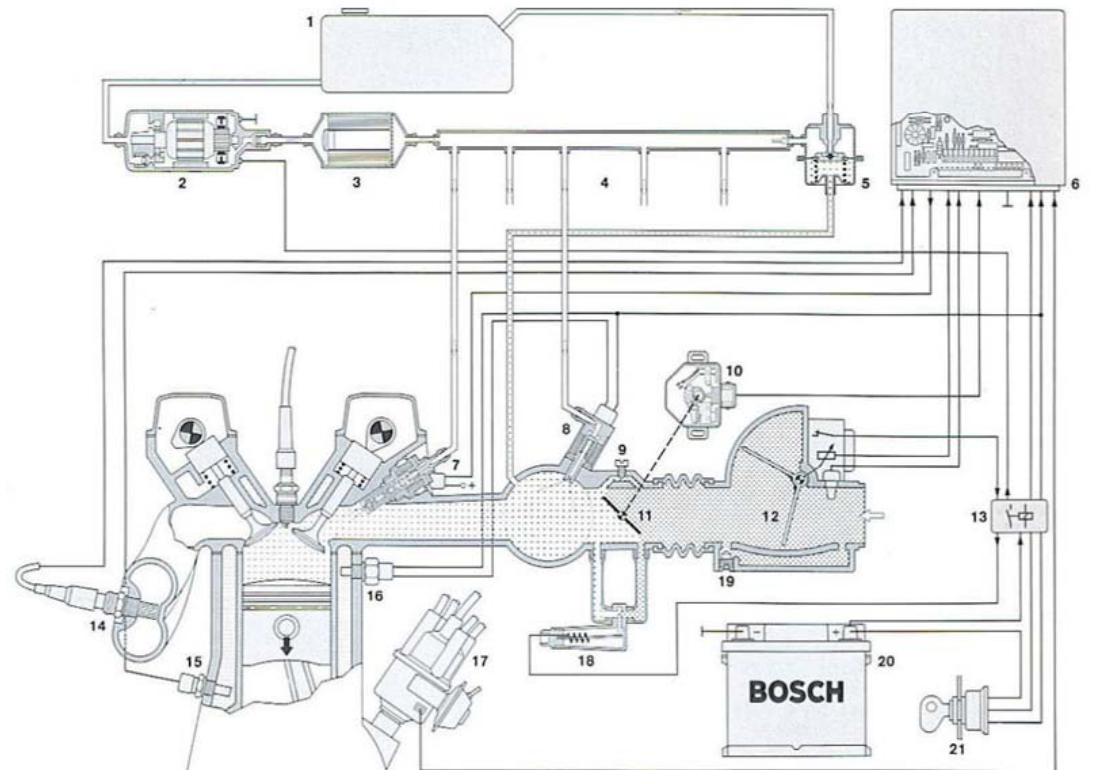


مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر



# موتورهای درونسوز پیستونی

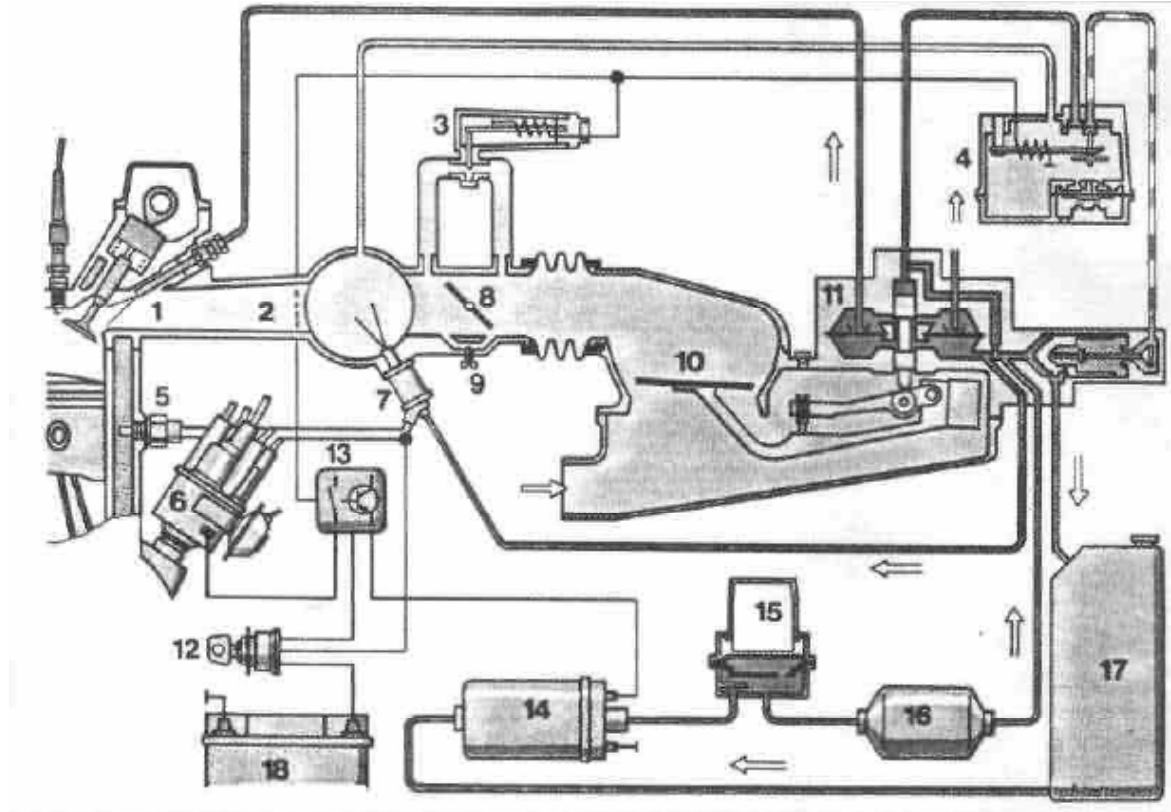
(سامانه سوخت رسانی، انژکتور الکترونیکی Summary of the L-Jetronic System)



1 Fuel tank, 2 Electric fuel pump, 3 Fuel filter, 4 Distributor pipe, 5 Pressure regulator, 6 Control unit, 7 Injection valve, 8 Start valve, 9 Idle-speed adjusting screw, 10 Throttle-valve switch, 11 Throttle valve, 12 Air-flow sensor, 13 Relay combination, 14 Lambda sensor (only for certain countries), 15 Engine temperature sensor, 16 Thermo-time switch, 17 Ignition distributor, 18 Auxillary-air device, 19 Idle-mixture adjusting screw, 20 Battery, 21 Ignition-starter switch

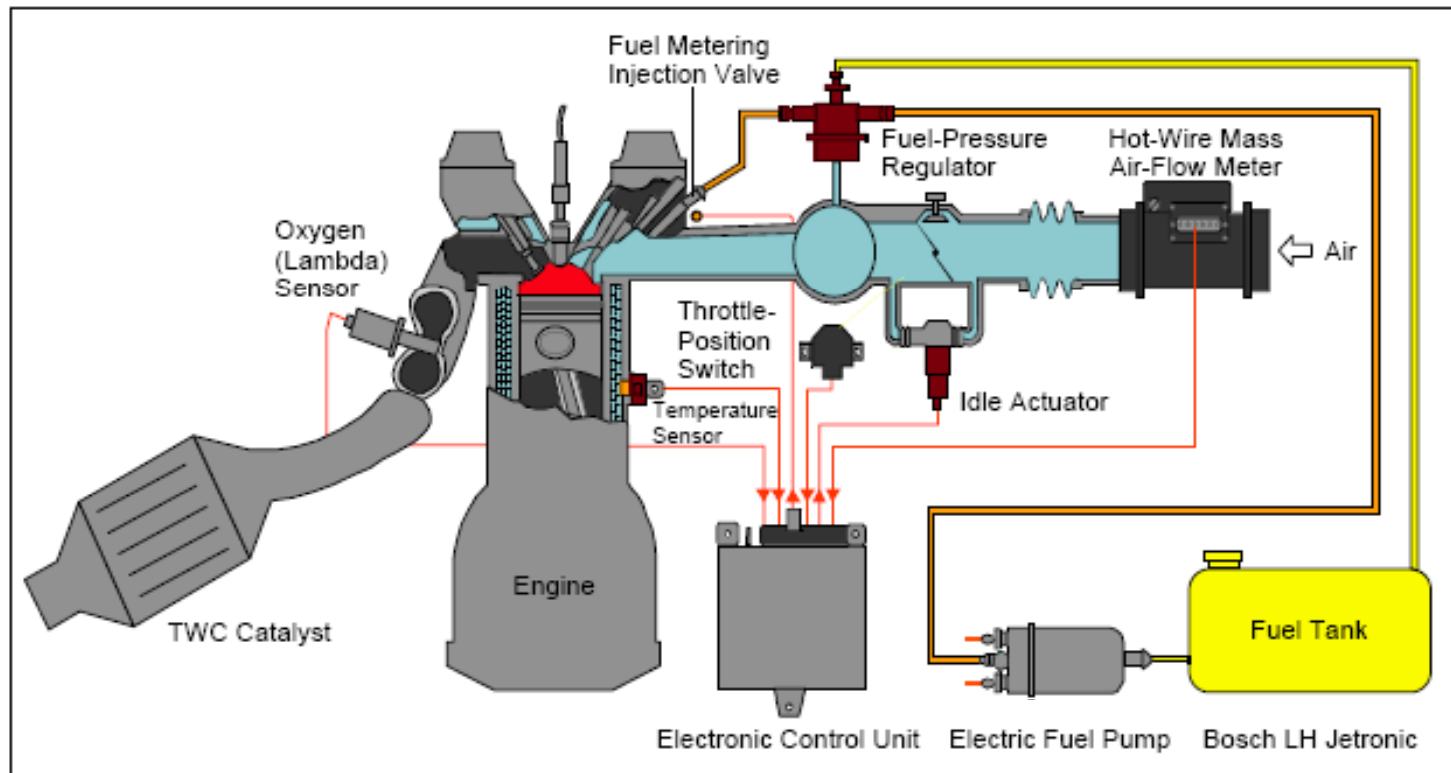
مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# موتورهای درونسوز پیستونی (سامانه های سوخت رسانی، انژکتور K-Jetronic)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

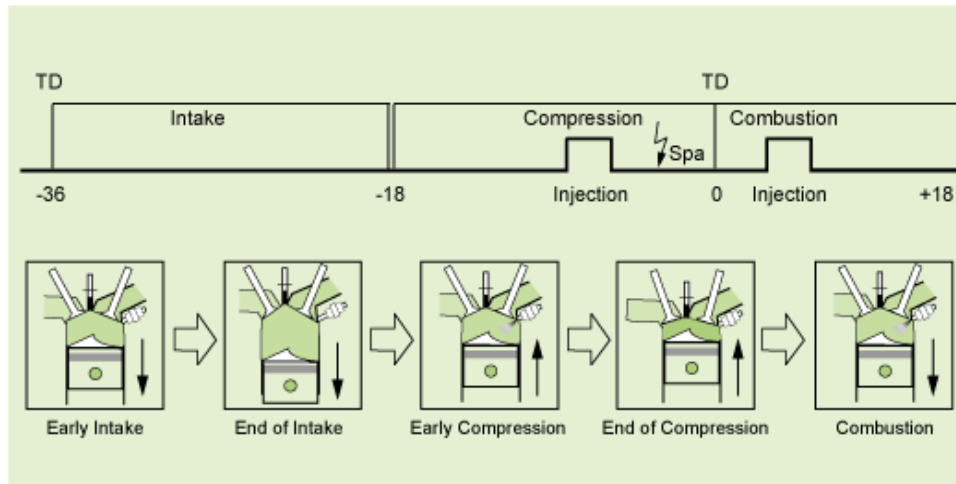
# موتورهای درونسوز پیستونی (سامانه های سوخت رسانی، انژکتور LH-Jetronic)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# موتورهای درونسوز پیستونی (سامانه های سوخت رسانی، **Direct Injection**)

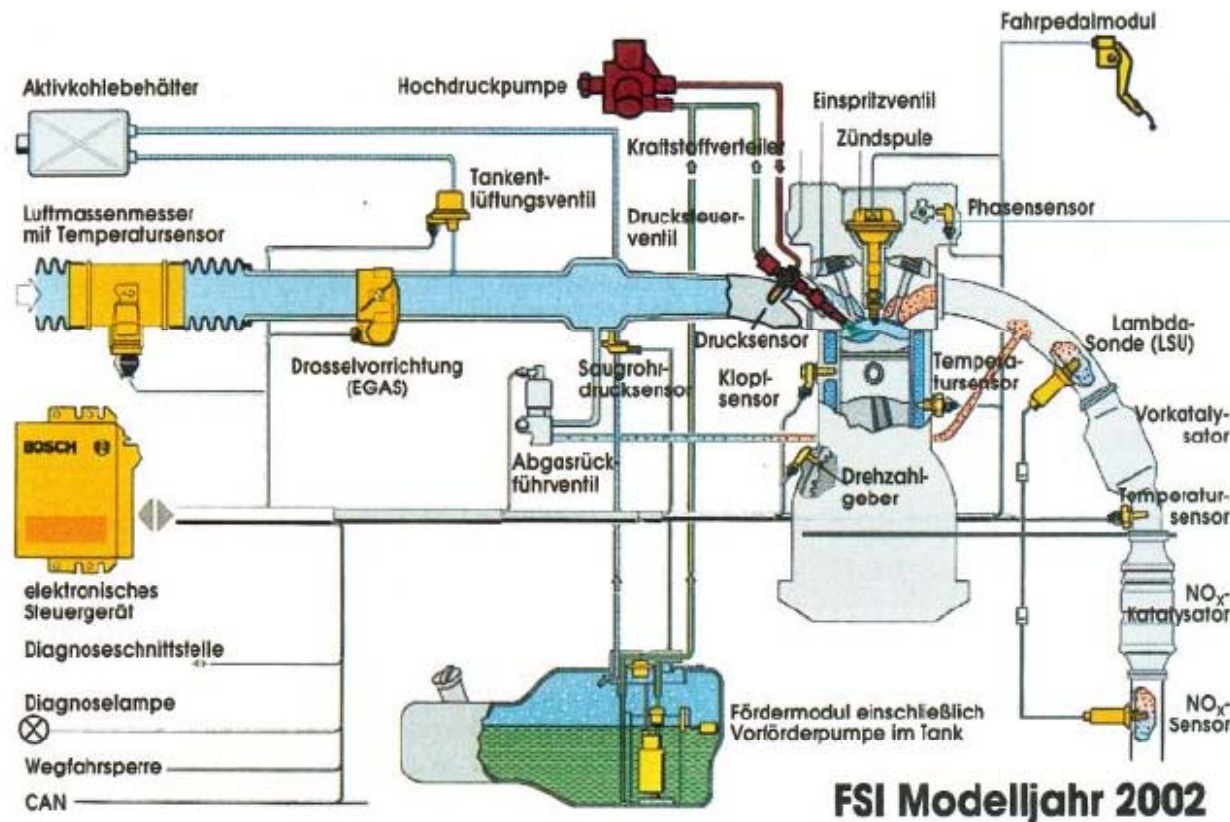
Many of the design challenges in a direct injection system involve operation within harsh environments. Designing reliable, cost-effective injectors capable of withstanding the in-cylinder heat has proven to be a complex challenge. Due to the very short time for injection, high-pressure injectors are required. From an electronics standpoint, direct injection engines have a small window for injection. In direct injection engines, injection typically occurs during the intake stroke, allowing only  $90^\circ$  on an eight-cylinder (1.875ms) for total fuel delivery. During higher output modes, fuel can be injected during the intake stroke giving an additional  $90^\circ$  of injection time, a very short time compared to the  $720^\circ$  (15ms) an MPI engine typically has for fuel delivery.



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# موتورهای درونسوز پیستونی

(سامانه های سوخت رسانی، تزریق مستقیم Direct Injection)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# موتورهای درونسوز پیستونی

## FSI- The Direct-Injection Petrol Engine



Text and pictures courtesy of Audi AG

What can the FSI engine,

It is distinctly more dynamic,

Both its torque and power output are higher,  
Yet fuel consumption is simultaneously as much  
as 15 percent lower.

مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر



# موتورهای درونسوز پیستونی

## FSI- The Direct-Injection Petrol Engine

2.8 litre six cylinder FSI engine in the Audi A6  
with fuel direct injection and Audi valvelift system  
(variable valve opening) on the inlet

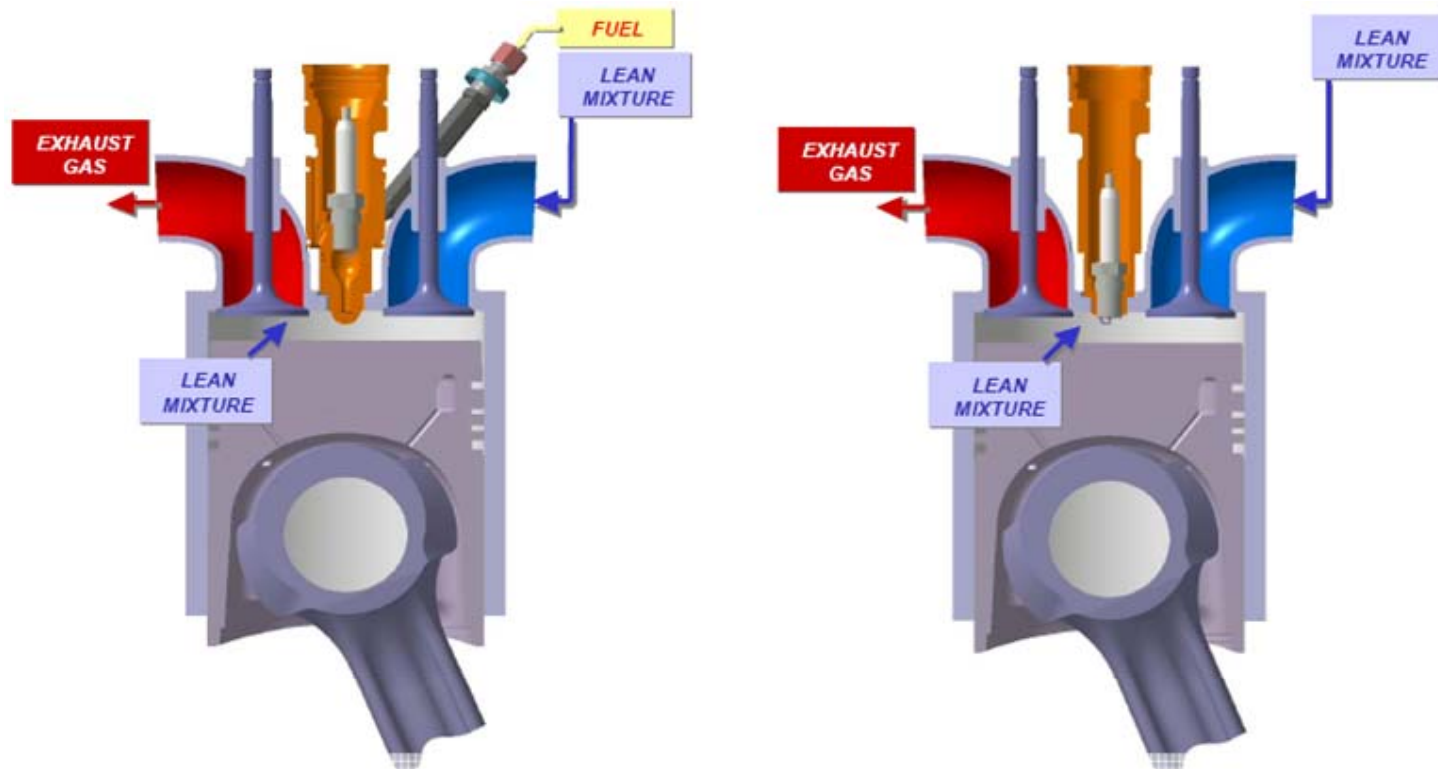
2.773 cm<sup>3</sup>  
154 kW (210 PS) @ 5.500 - 6.800 min<sup>-1</sup>  
280 Nm @ 3.000 - 5.000 min<sup>-1</sup>  
09/06



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# موتورهای درونسوز پیستونی

## Combustion Concepts

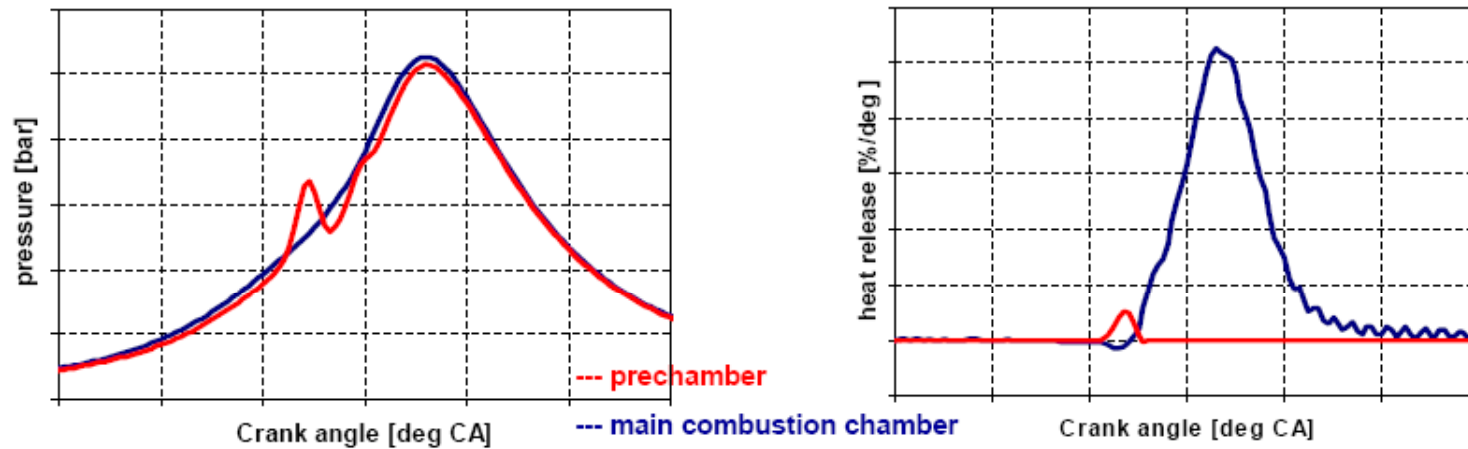


مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر



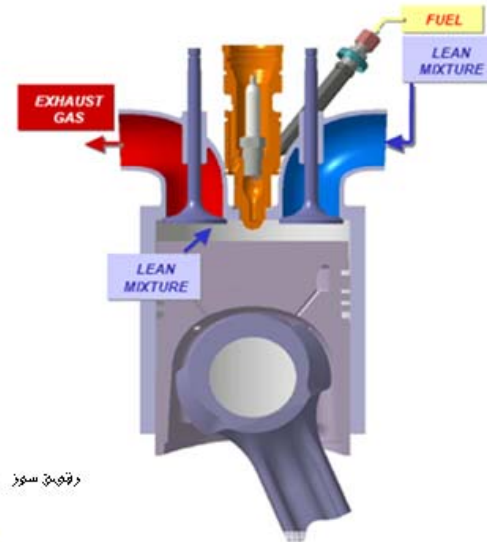
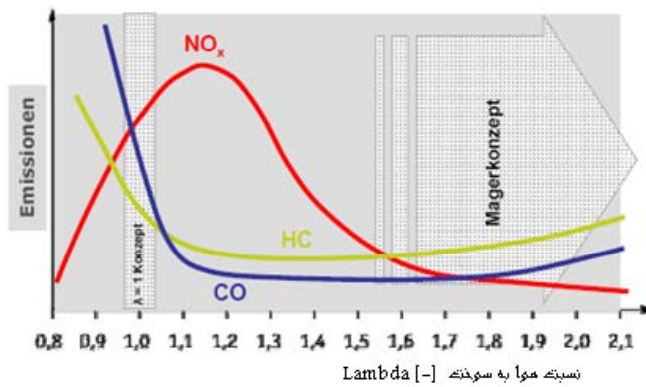
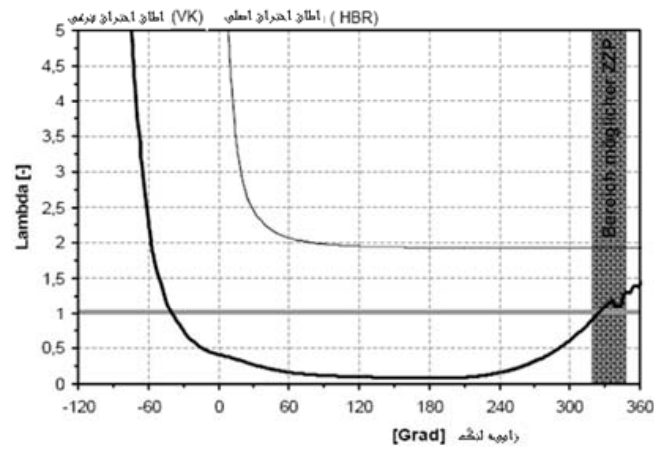
# موتورهای درونسوز پیستونی (رقیق سوز، Lean Engine)

## Pressure traces



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# موتورهای درونسوز پیستونی (رقیق سوز، Lean Engine)

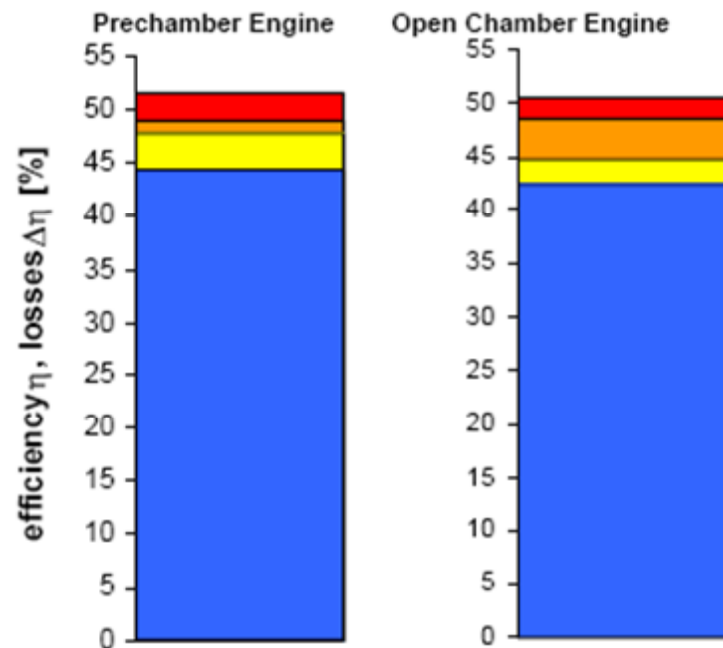


رقیق سوز

مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# موتورهای درونسوز پیستونی (رقیق سوز، Lean Engine)

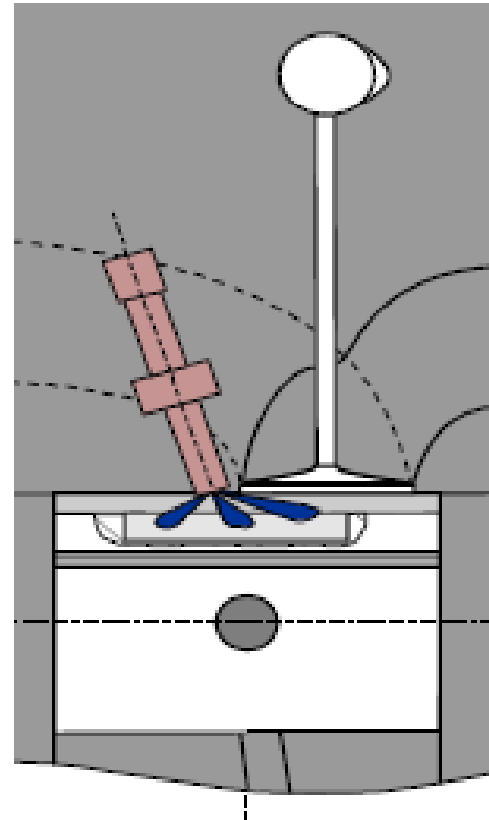
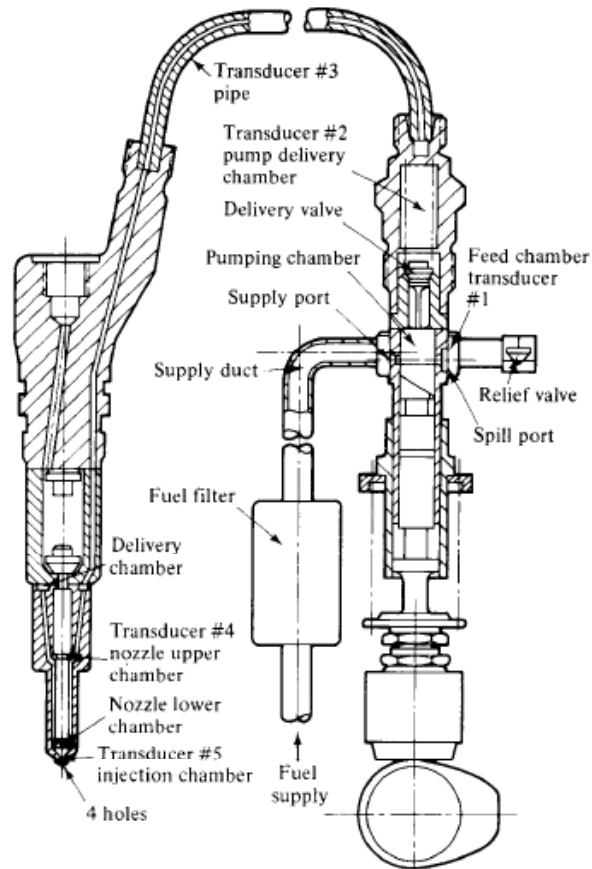
- Losses due to incomplete combustion
- Losses due to imperfect burning
- Wall heat losses
- Indicated efficiency



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# موتورهای درونسوز پیستونی

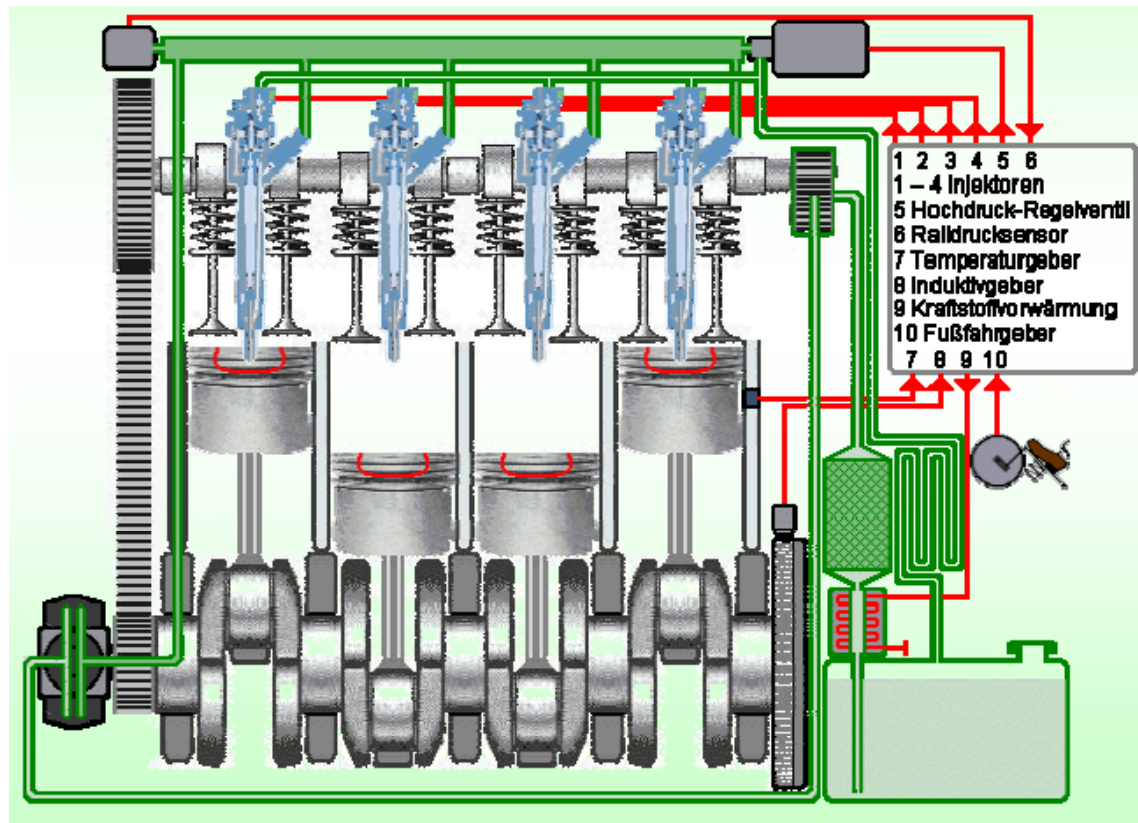
(سامانه های سوخت رسانی، نازل یا سوخت پاش در دیزل)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# موتورهای درونسوز پيستونی

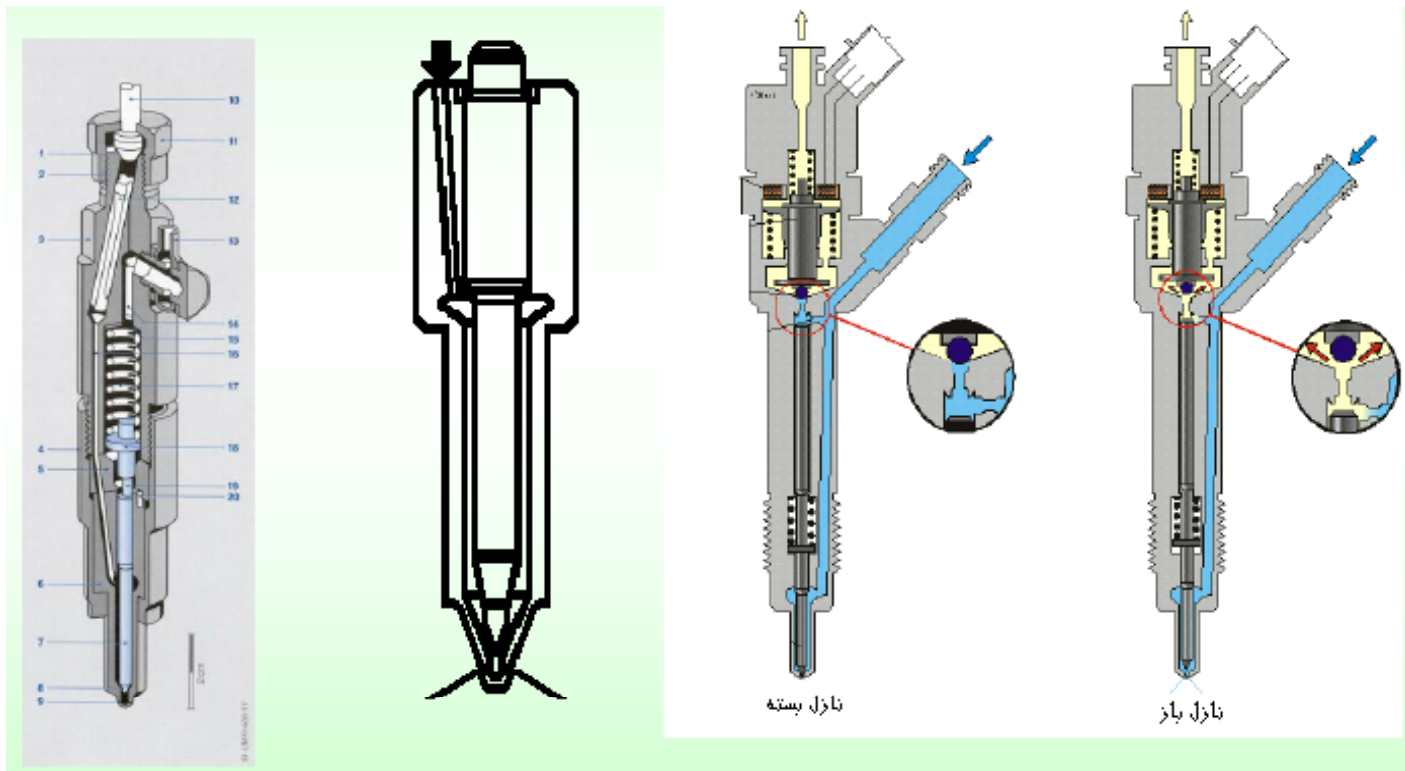
(سامانه های سوخت رسانی، درموتور ديزل Common Rail)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# موتورهای درونسوز پیستونی

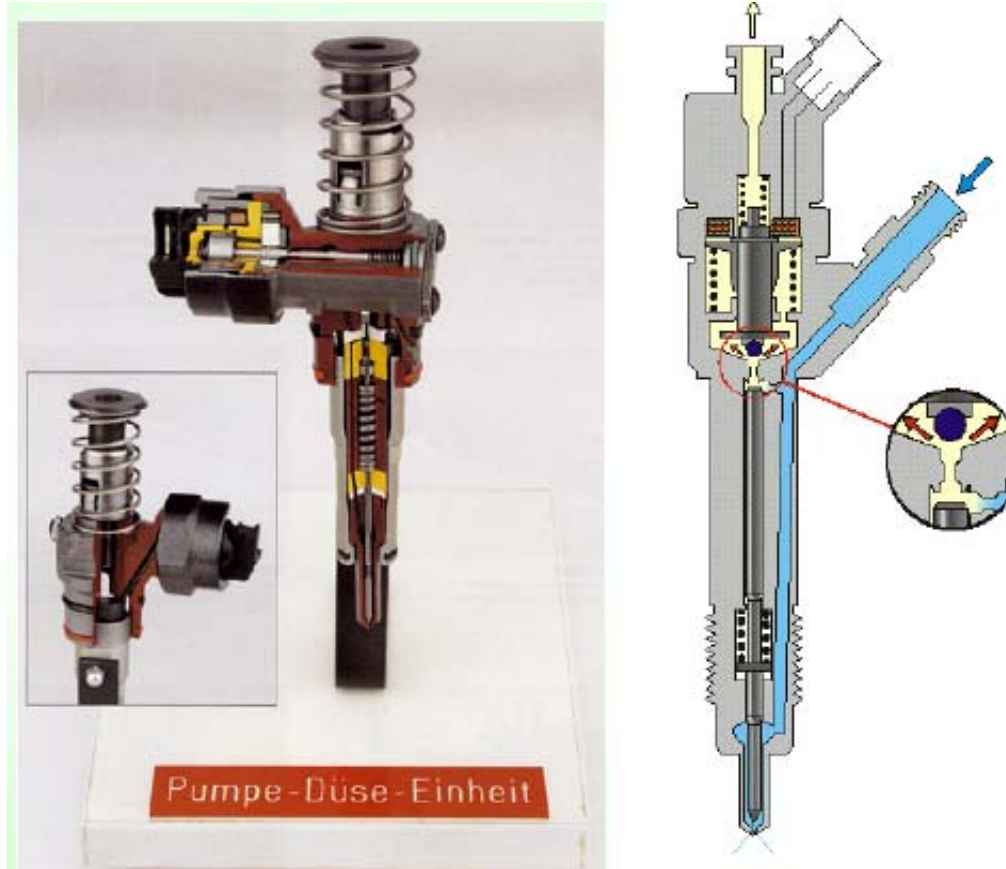
(سامانه های سوخت رسانی، نازل یا سوخت پاش در دیزل)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# موتورهای درونسوز پیستونی

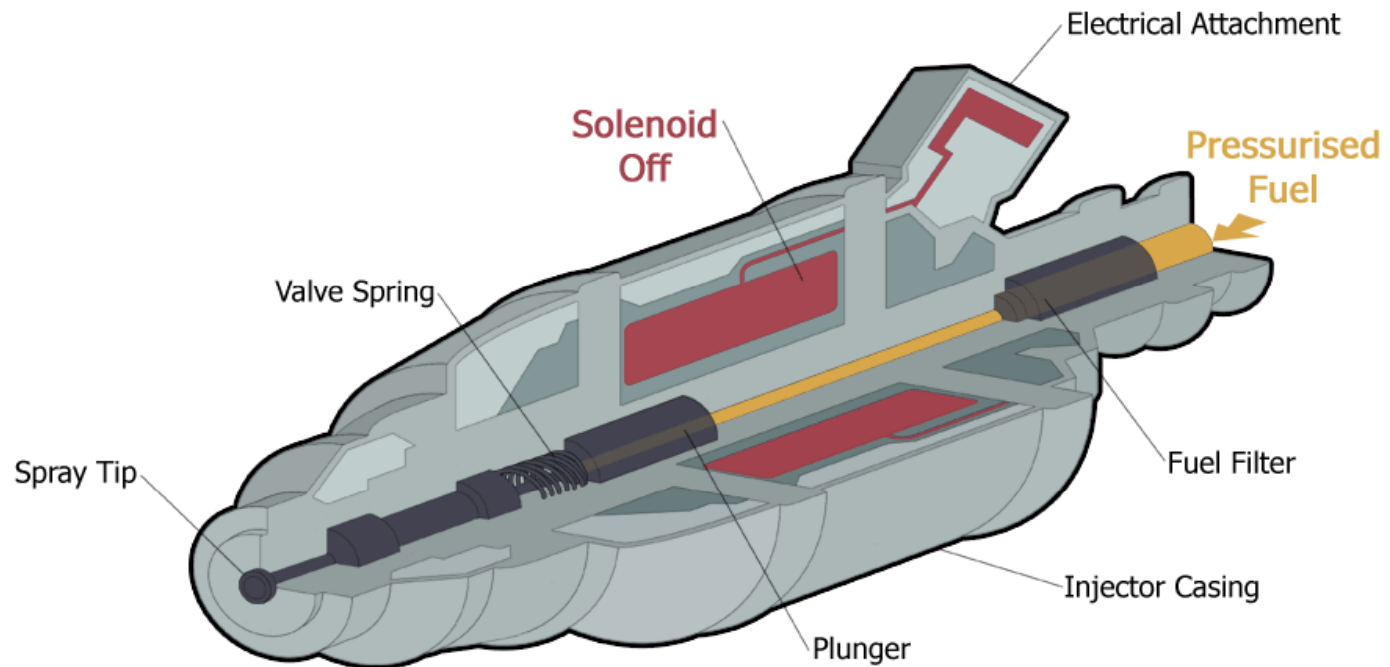
(سامانه های سوخت رسانی، نازل و پمپ نازل دیزل)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# موتورهای درونسوز پیستونی

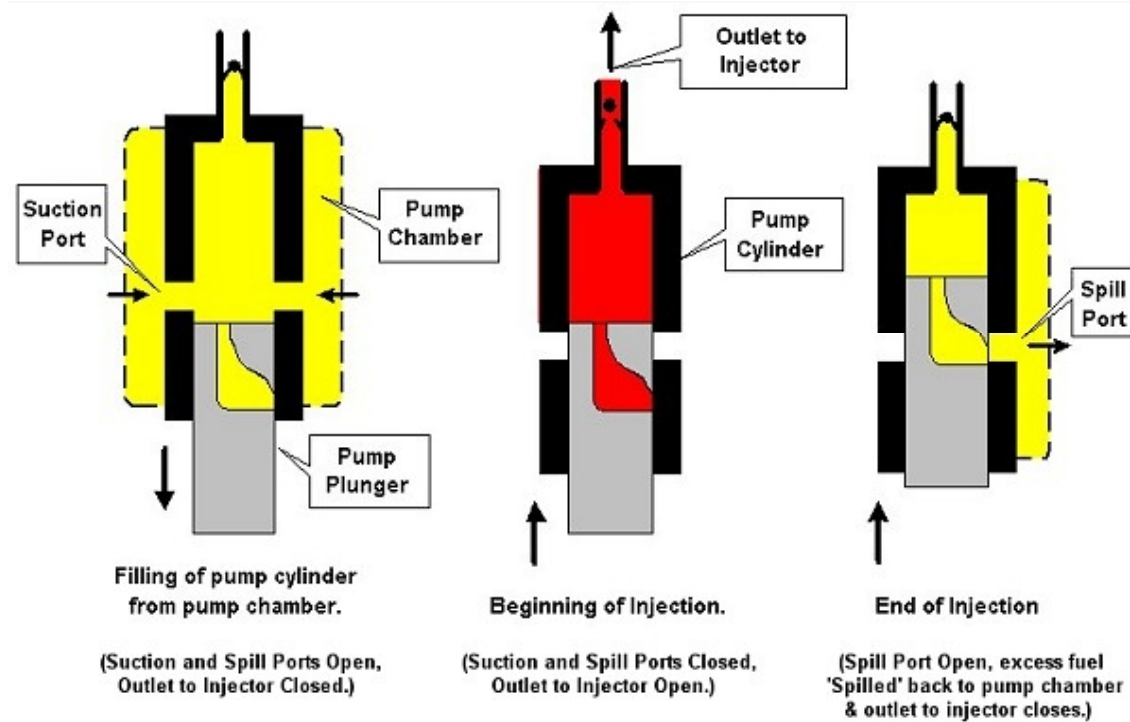
(سامانه سوخت رسانی، دیزل **دیزل** Animated cut through diagram of a typical fuel injector)





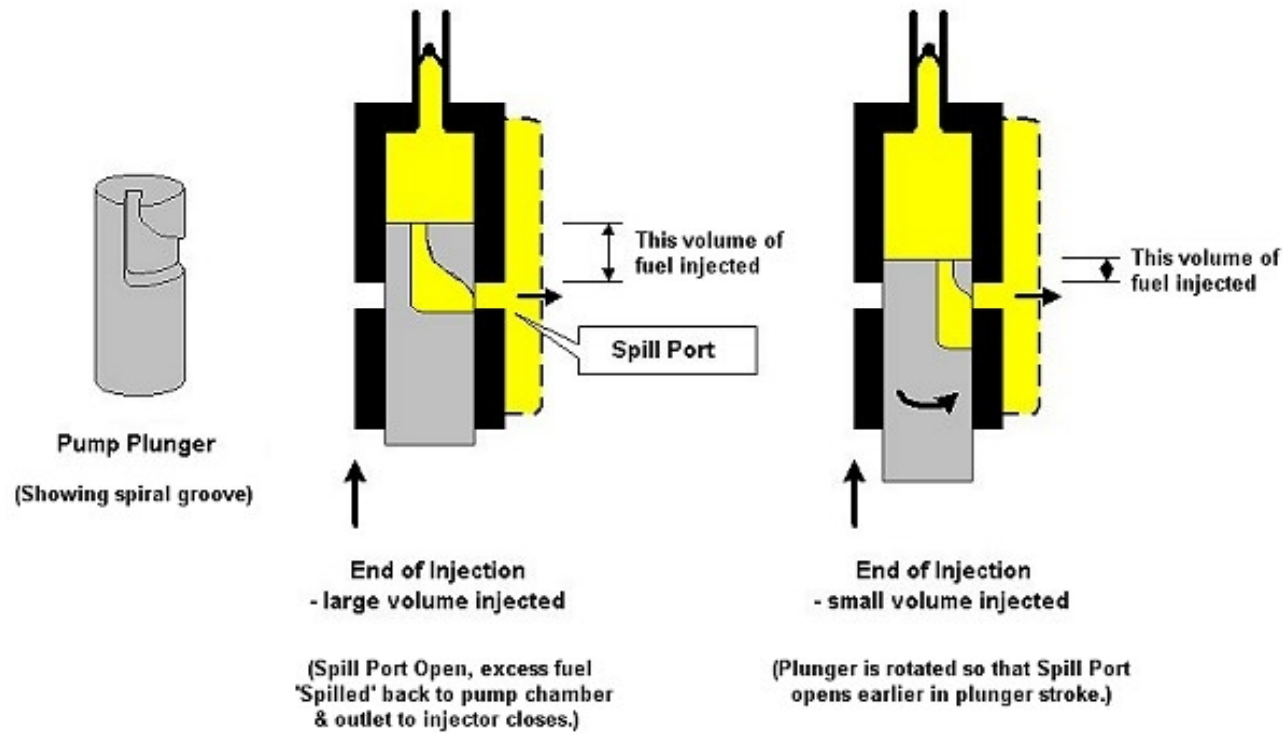
# موتورهای درونسوز پیستونی

## (سامانه سوخت رسانی، انژکتور دیزل)



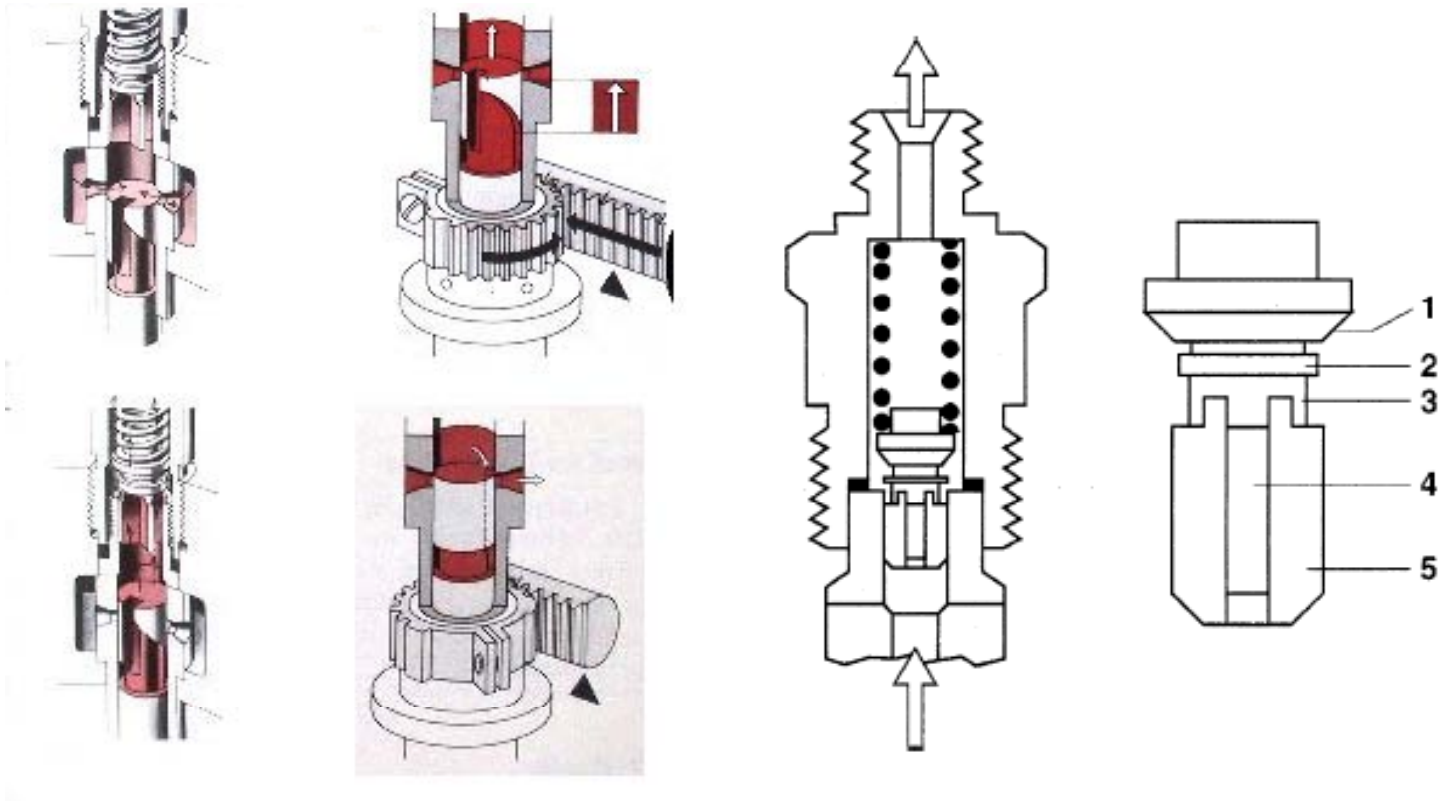
Operation of a plunger pump showing the spill method of delivery volume control.

# موتورهای درونسوز پیستونی (سامانه سوخت رسانی، انژکتور دیزل)



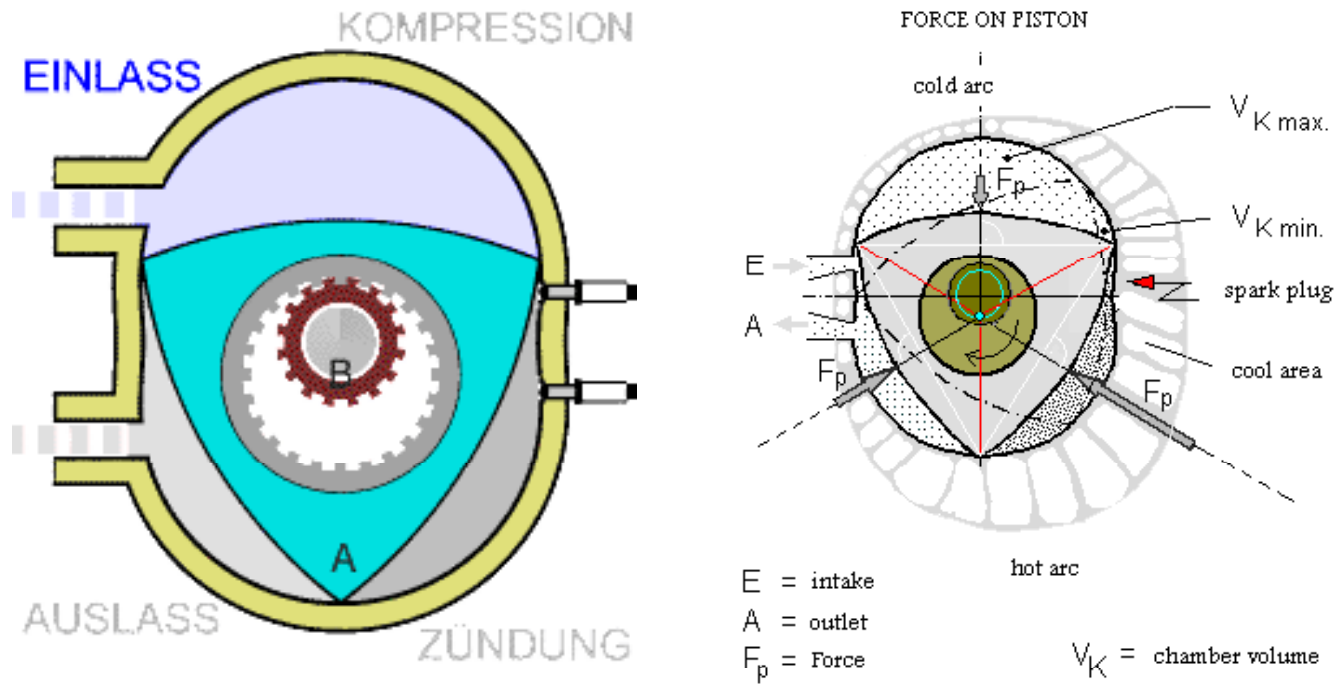
**Operation of a plunger pump showing delivery volume adjustment by plunger rotation.**

# موتورهای درونسوز پیستونی (سامانه سوخت رسانی، انژکتور دیزل)



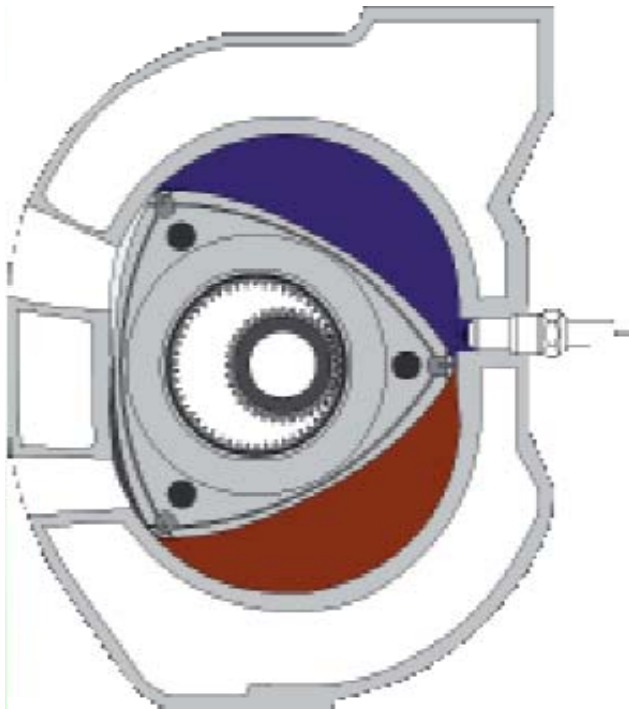
مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی پیستون، Wank Engine)



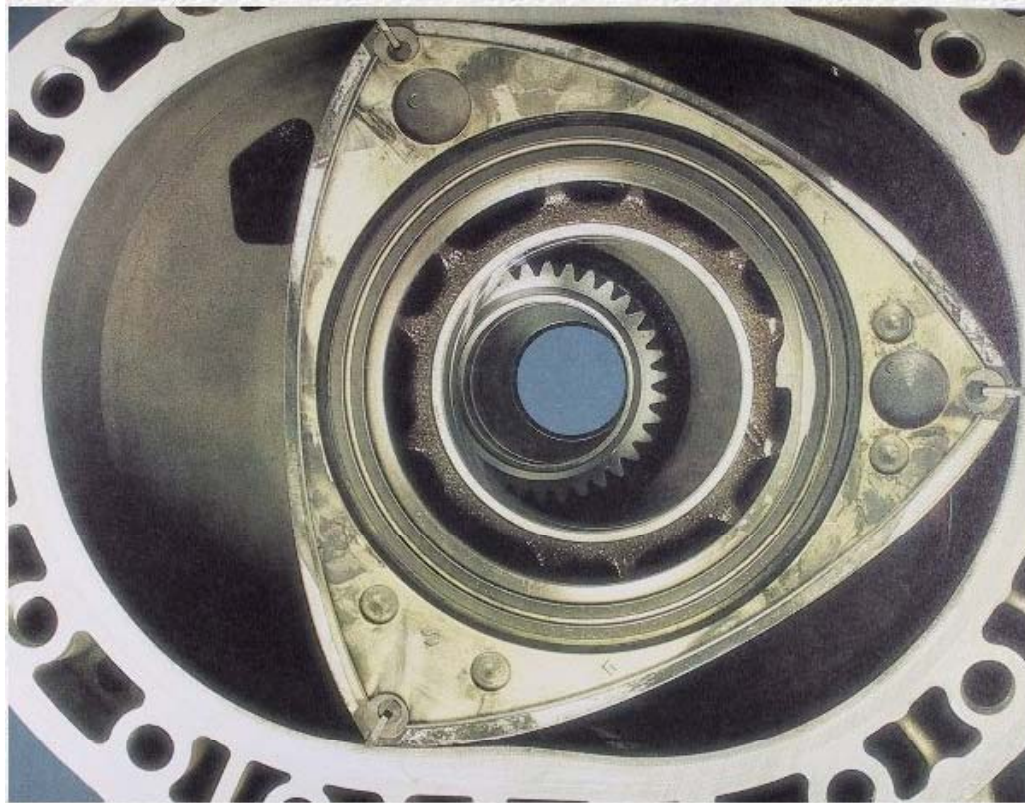
مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی پیستون، **Wank Engine**)



Mazda Renesis (Bi-Fuel, 2 Scheiben à 650ccm, 110PS mit H<sub>2</sub>, 220PS mit Benzin)

# دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی (طراحی پیستون، **Wank Engine**)

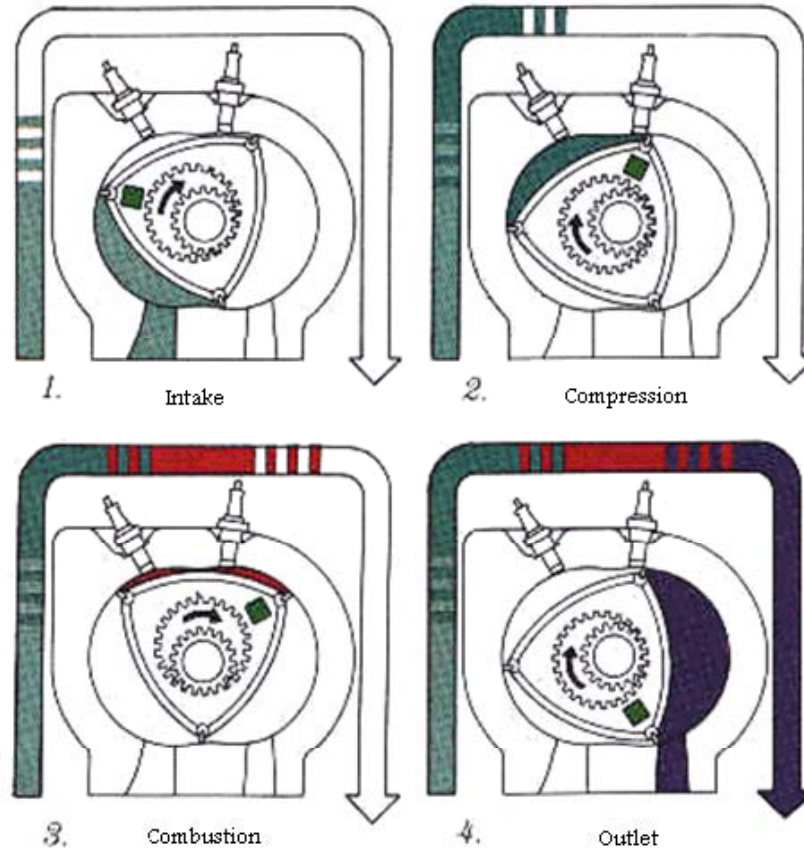


مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر



# دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

## Wanker Engine

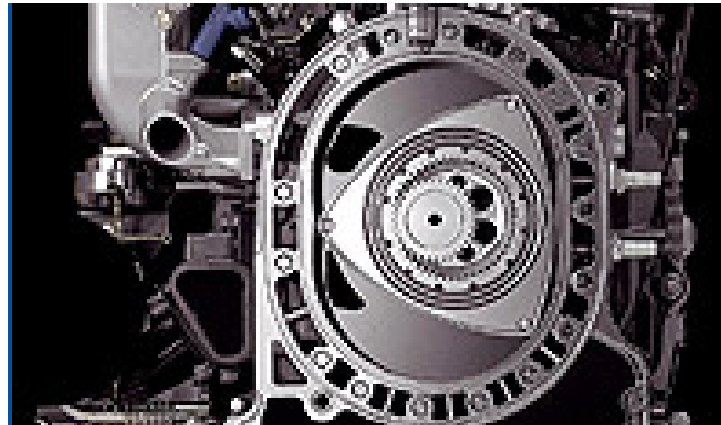


مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# دینامیک موتورهای درونسوز پیستونی

## Mazda Wank Engine

The rotary is at the centre of Mazda's intention to take a leadership role in hydrogen combustion. Hydrogen is the cleanest fuel possible, its combustion producing only pure water.



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر



## موتورهای درونسوز پیستونی

### Gasoline-Electric Car

A car must meet certain minimum requirements. The car should be able to:

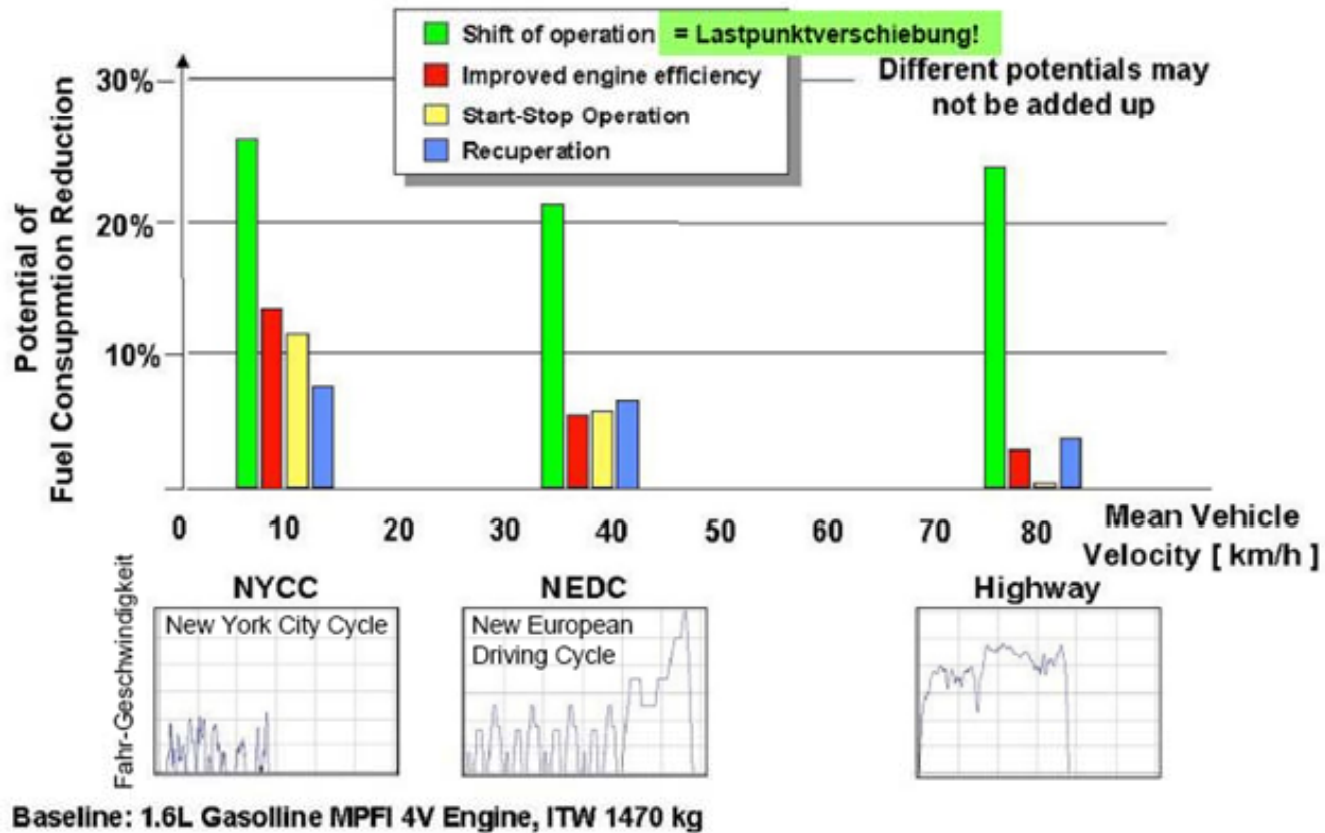
- Drive at least 300 miles (482 km) before re-fueling
- Be refueled quickly and easily
- Keep up with the other traffic on the road

A gasoline car meets these requirements but produces a relatively large amount of pollution and generally gets poor gas mileage. An electric car, however, produces almost no pollution, but it can only go 50 to 100 miles (80 to 161 km) between charges. And the problem has been that the electric car is very slow and inconvenient to recharge.

A gasoline-electric car combines these two setups into one system that leverages both gas power and electric power.

# موتورهای درونسوز پیستونی

(انگیزه هایبیرید، توانائی مصرف سوخت در پروسه های مختلف)

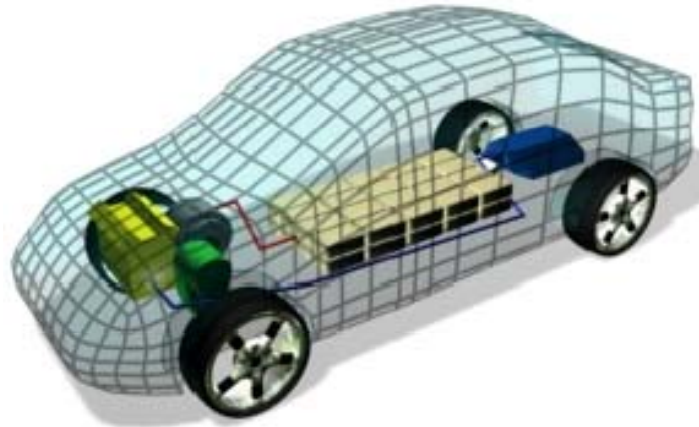


مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# موتورهای درونسوز پیستونی

## Parallel Hybrid Car

You can combine the two power sources found in a hybrid car in different ways. One way, known as a **parallel hybrid**, has a fuel tank that supplies gasoline to the engine and a set of batteries that supplies power to the electric motor. Both the engine and the electro motor can turn the transmission at the same time, and the transmission then turns the wheels.

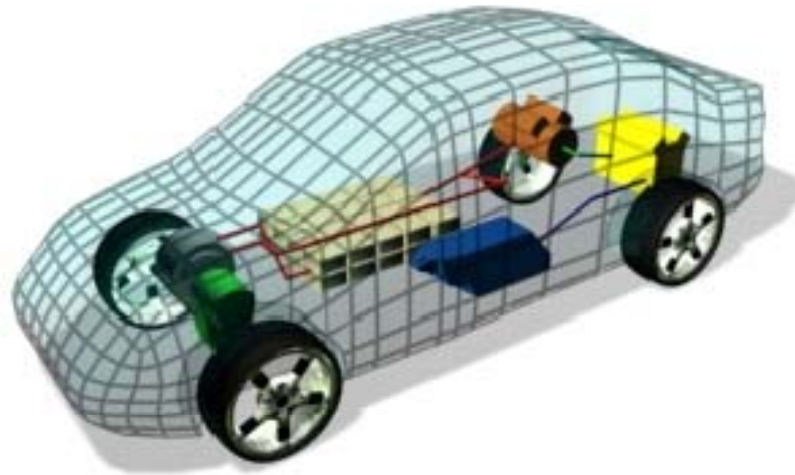


مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# موتورهای درونسوز پیستونی

## Series Hybrid Car

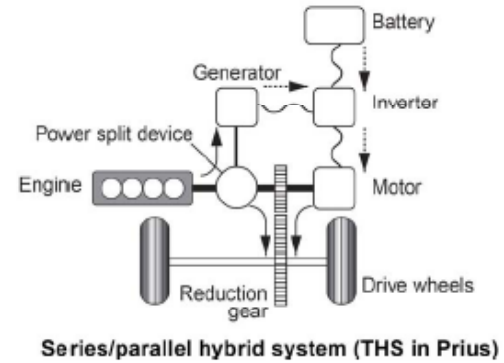
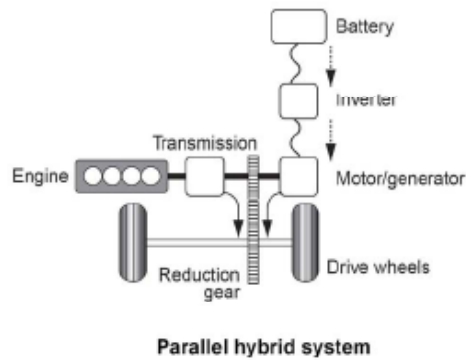
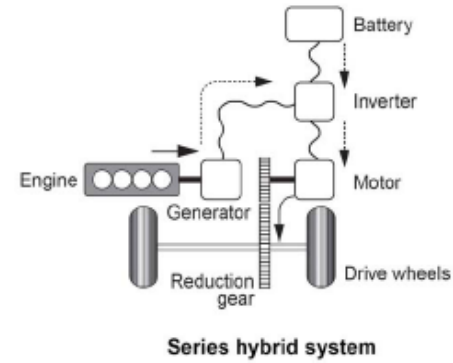
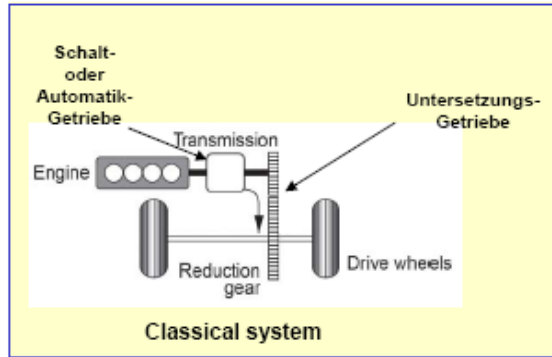
By contrast, in a **series hybrid**, the gasoline engine turns a generator, and the generator can either charge the batteries or power an electric motor that drives the transmission. Thus, the gasoline engine never directly powers the vehicle.



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# موتورهای درونسوز پیستونی

## Toyota Hybrid System THS

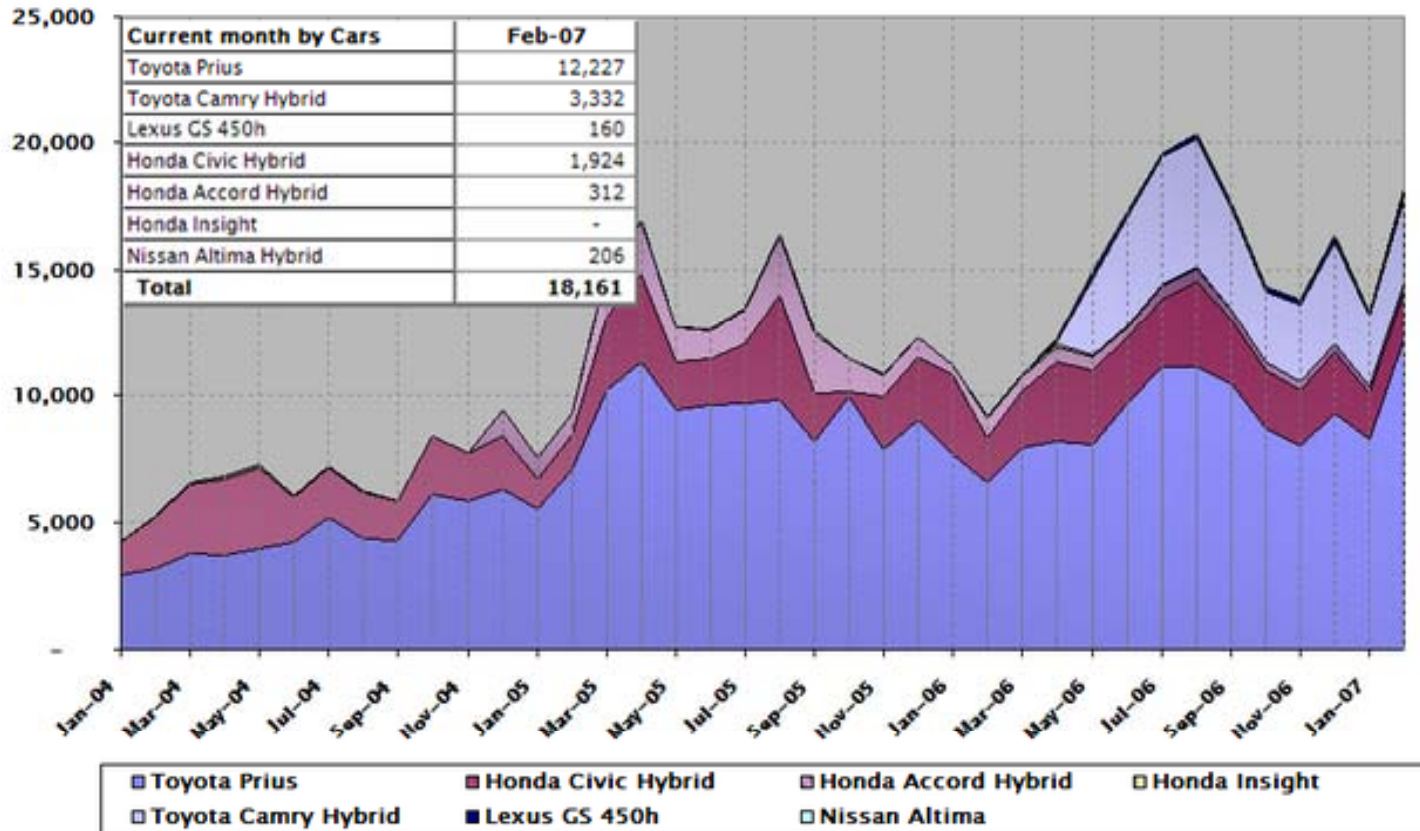


Quelle: Toyota Hybrid System THS II

مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# موتورهای درونسوز پیستونی

## US Hybrid Car Sales 2004-2007



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

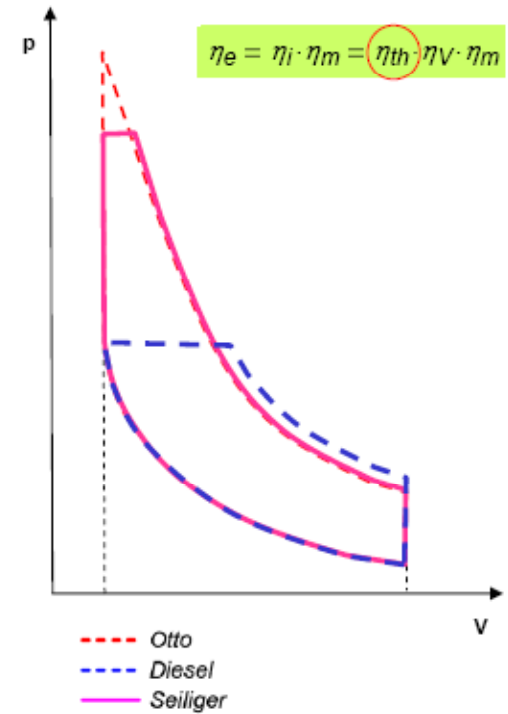
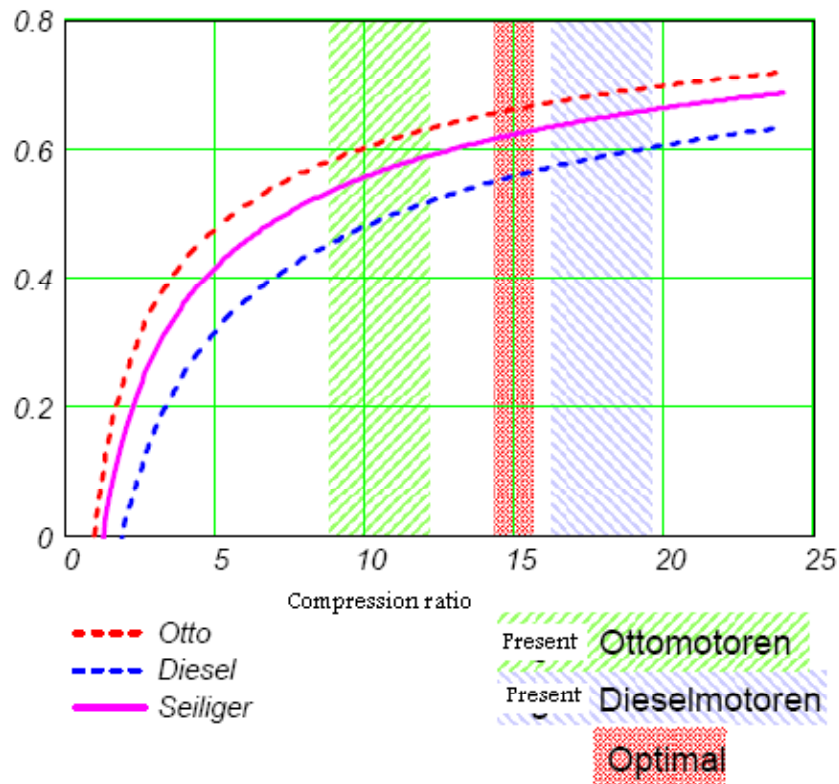
## موتورهای درونسوز پیستونی (Smart Idle Stop System)

A possible new industry standard - is the **Smart Idle Stop System** (SISS). Hybrid vehicles get most of their improved city mileage from idle stop systems. The premise is simple - when a car is sitting still, the engine is burning fuel needlessly. Turning it off when stopped at a light or in heavy traffic can improve fuel mileage by up to 10 per cent. Hybrids use the hundreds of volts available from their big lithium-ion battery packs to spin the starter and thus the engine back to life instantly when you take your foot off the brake.

# موتورهای درونسوز پیستونی

(تأثیر نسبت تراکم بر بازده حرارتی، اتو و دیزل در مقایسه با محدوده بهینه پیشنهادی)

Thermal efficiency

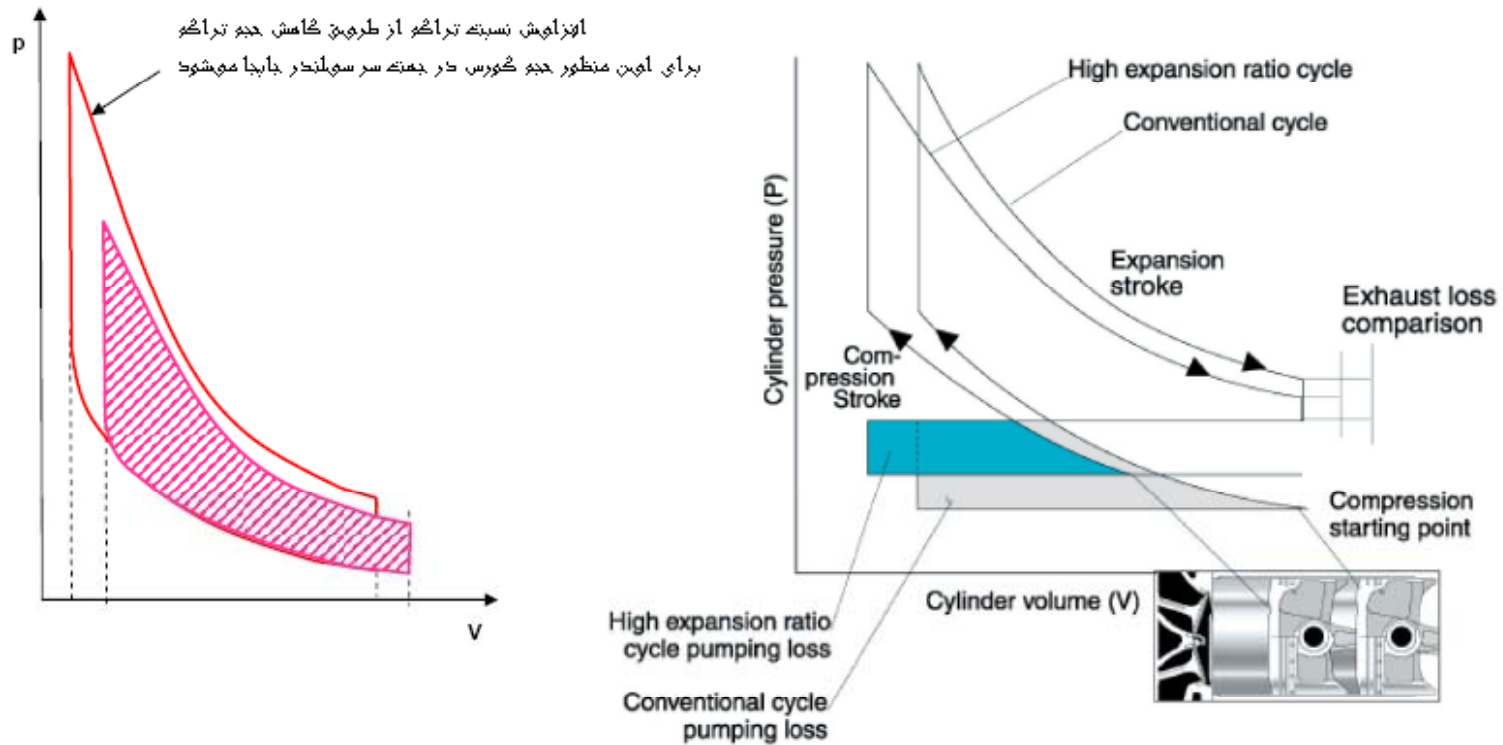


مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر



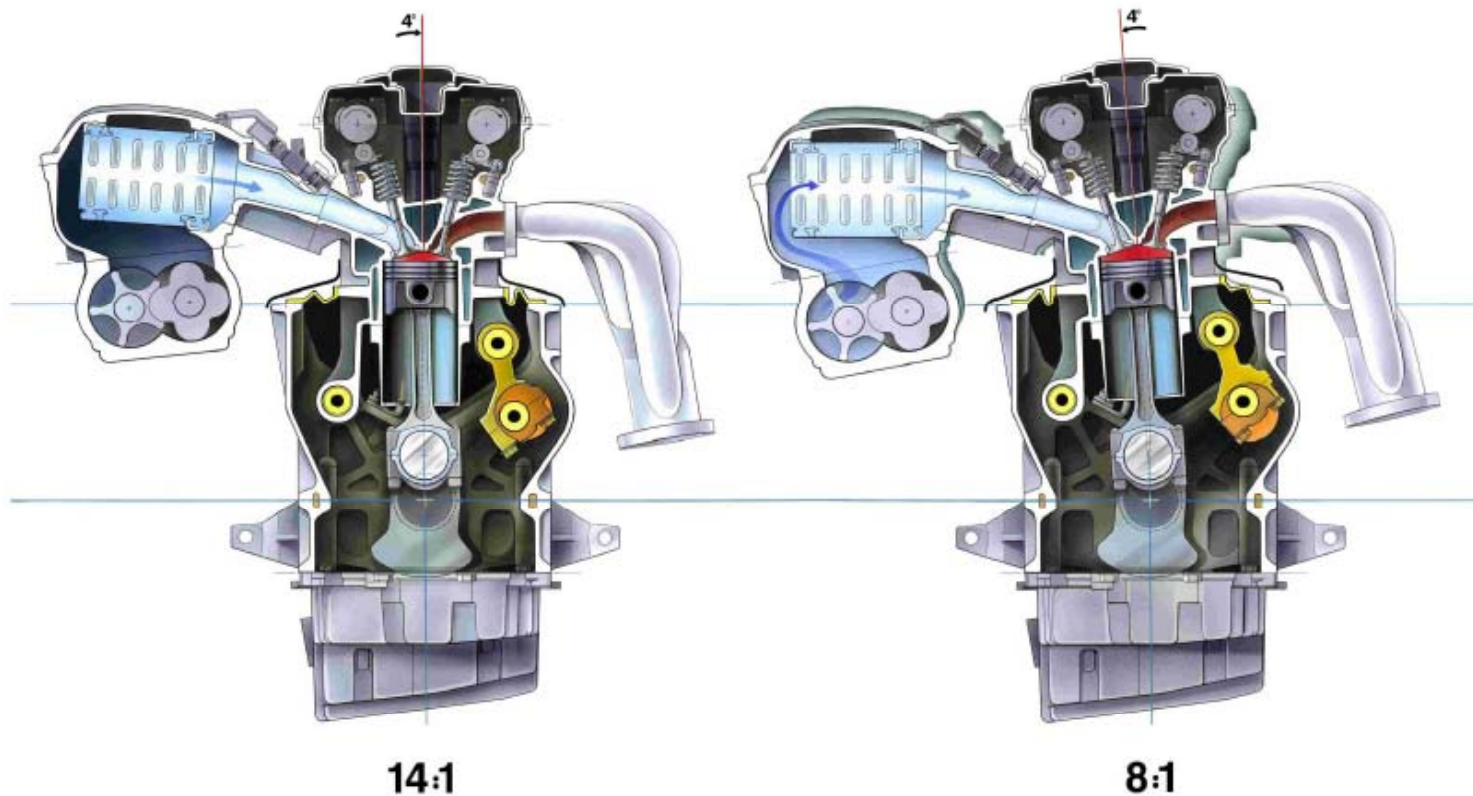
# موتورهای درونسوز پیستونی

(افزایش نسبت تراکم از طریق کاهش حجم تراکم)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

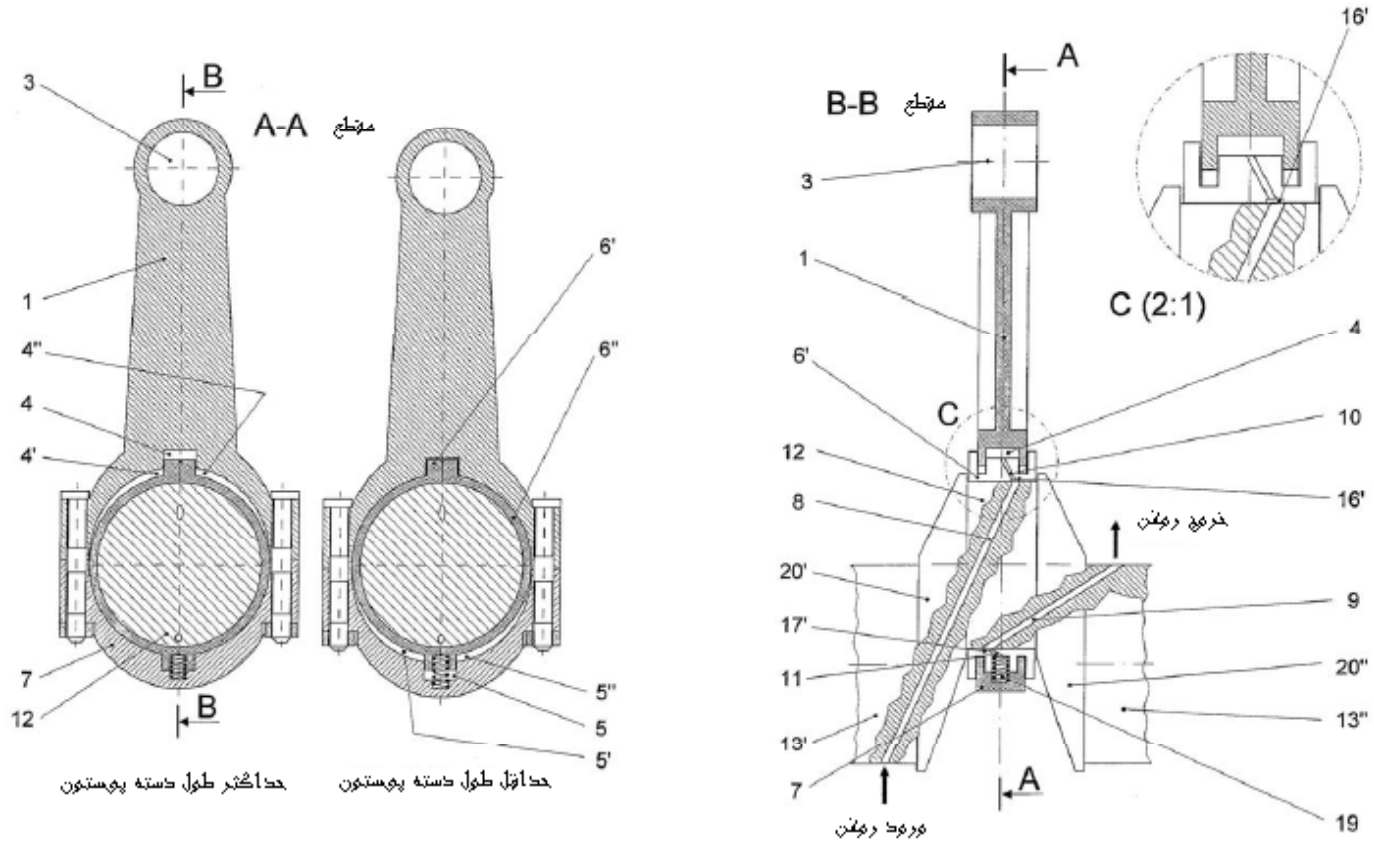
# موتورهای درونسوز پیستونی افزایش نسبت تراکم



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

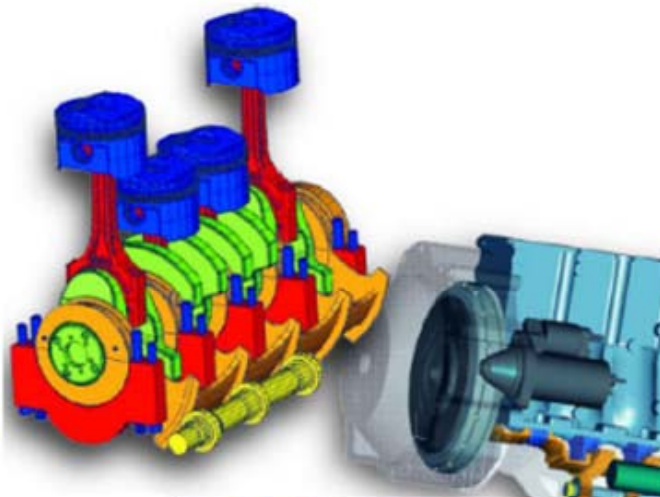
# موتورهای درونسوز پیستونی

(افزایش نسبت تراکم، از طریق تغییر طول دسته پیستون)

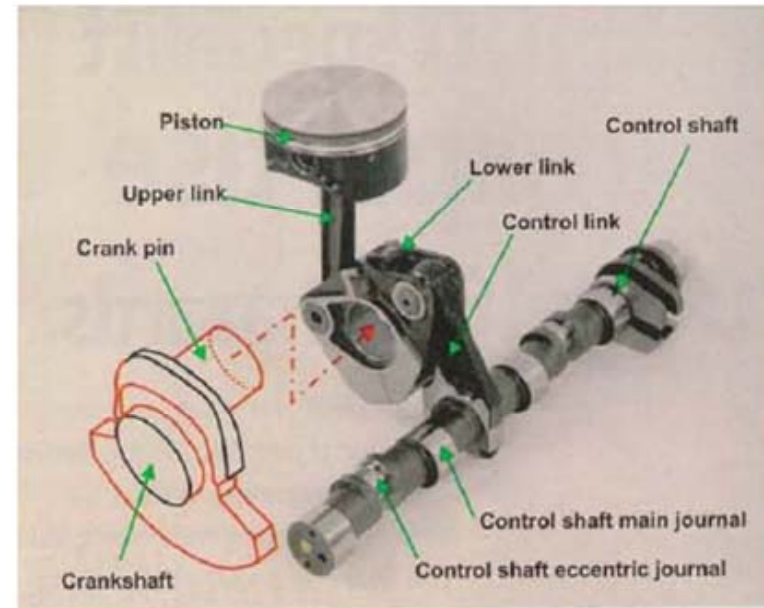


مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# موتورهای درونسوز پیستونی (افزایش نسبت تراکم از طریق جابجائی میل لنگ)

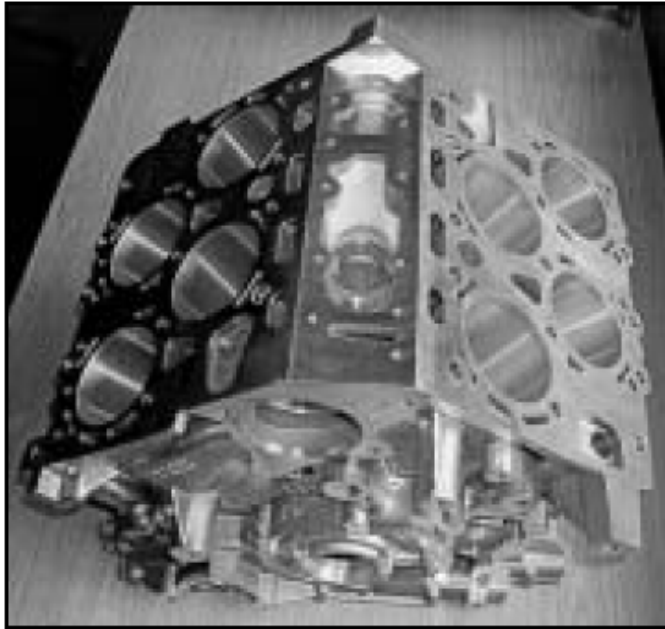


افزایش نسبت  
تراکم از طریق  
جابجائی میل لنگ

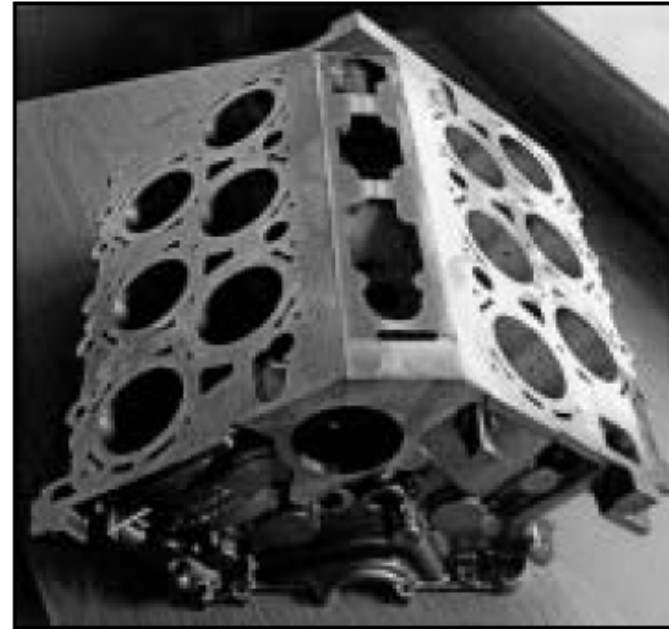


مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# موتورهای درونسوز پیستونی (بدنه سیلندر، موتورهای فلکس واگن)



W 8  
VW Passat W8  
4,0 l  
202 kW (275 PS)



W 12  
VW 01, Audi A8, VW W 12 Coupé  
6,0 l  
309 - 440 kW (420 - 600 PS)

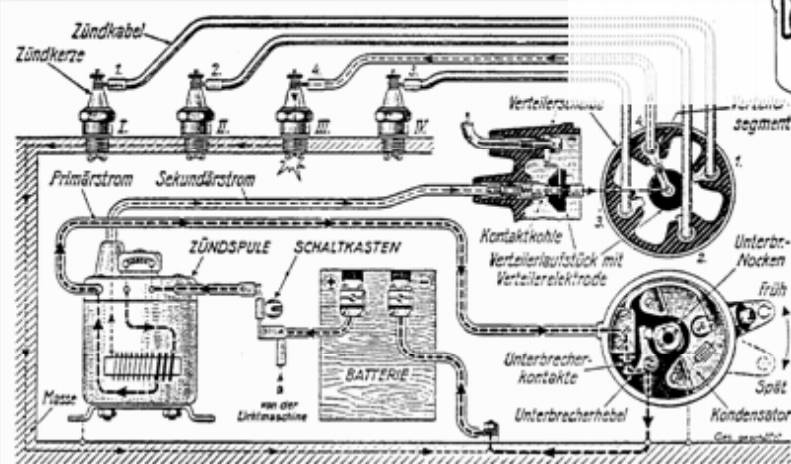
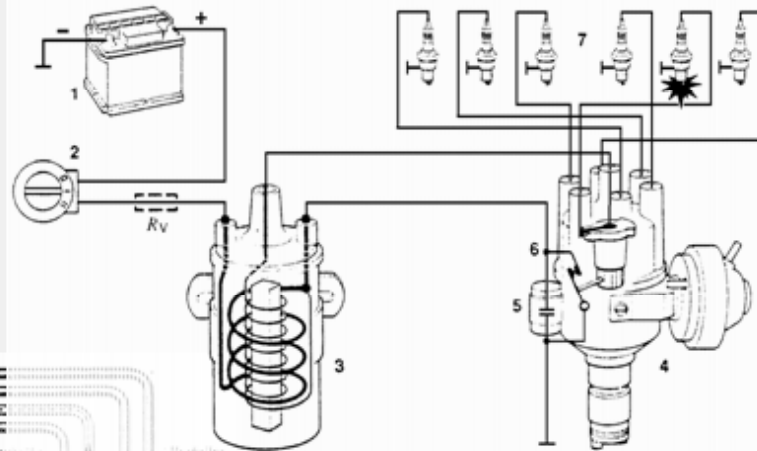
مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر



# موتورهای درونسوز پیستونی (سامانه جرقه با باطری)

- 1 باطری
- 2 کلید استارت
- 3 کوئیل
- 4 تنظیم کننده زمان جرقه
- 5 فیوز یا خازن دلكو
- 6 پلاتین
- 7 شمع

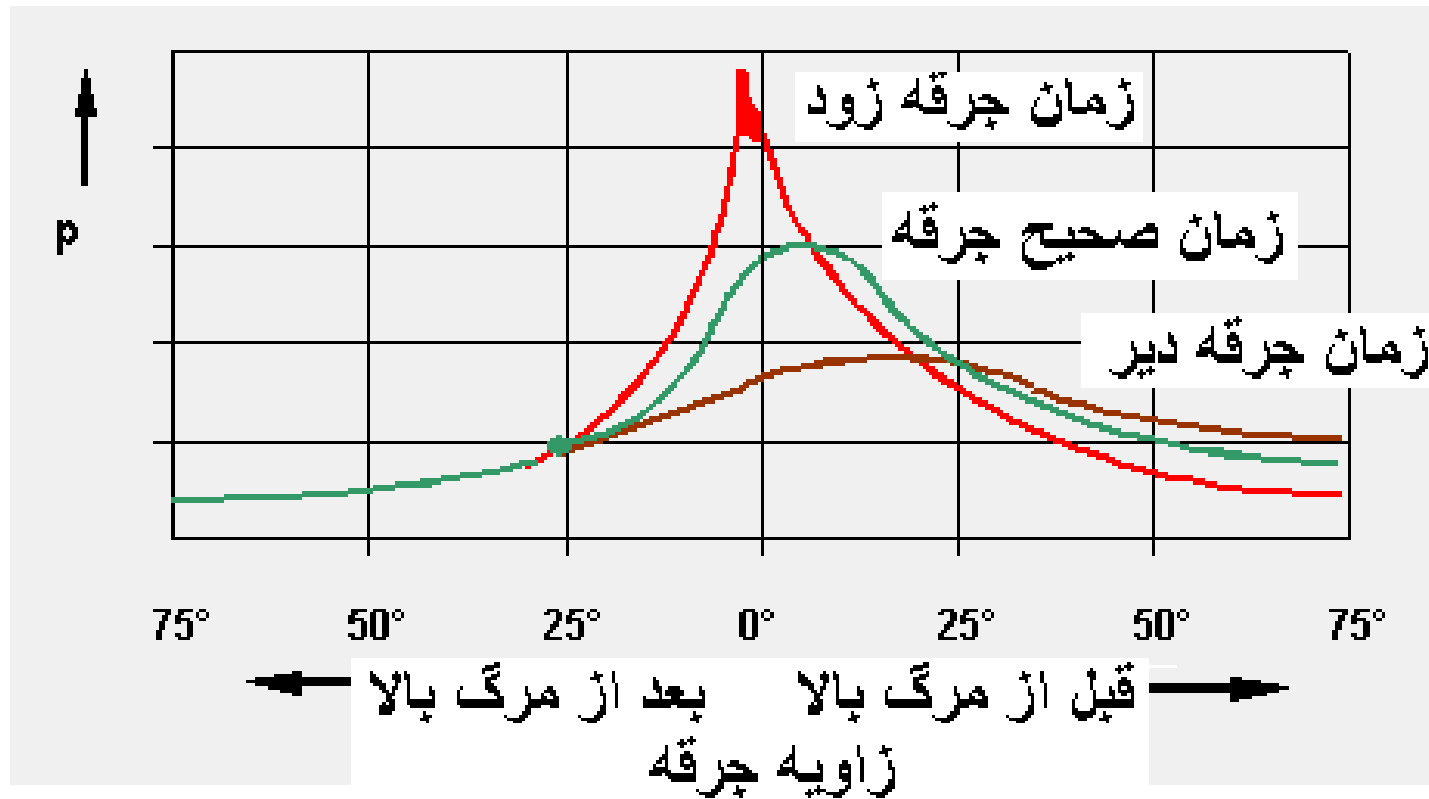
1970



1930

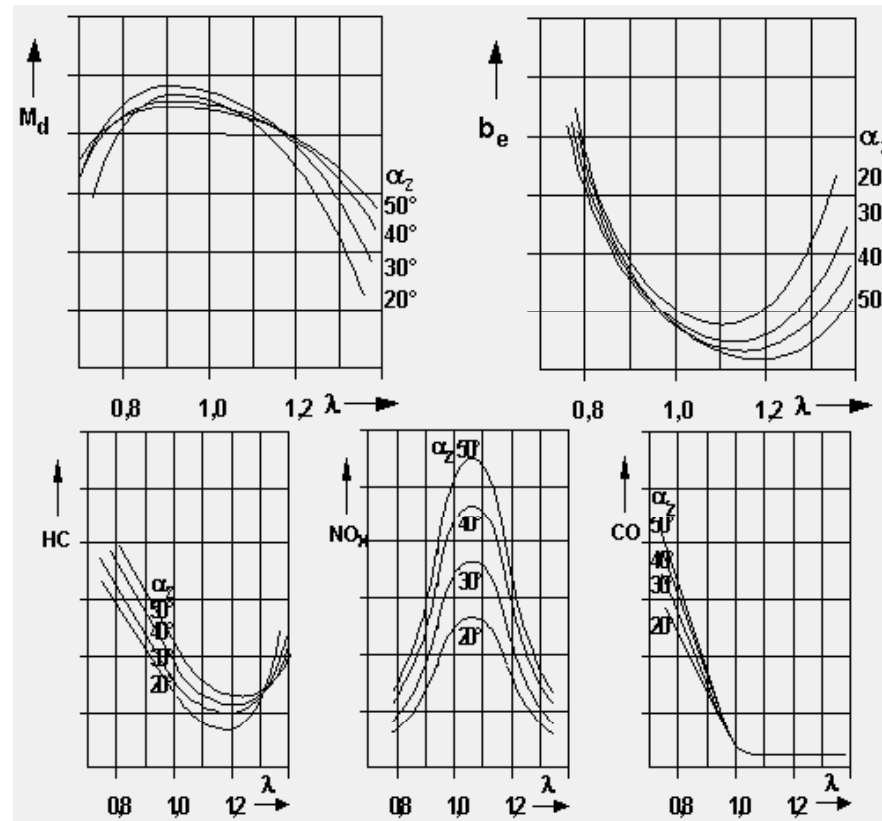
مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# موتورهای درونسوز پیستونی (زمان جرقه و تاثیر آن بر فشار)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# موتورهای درونسوز پیستونی (تاثیر زمان جرقه بر عملکرد موتور)

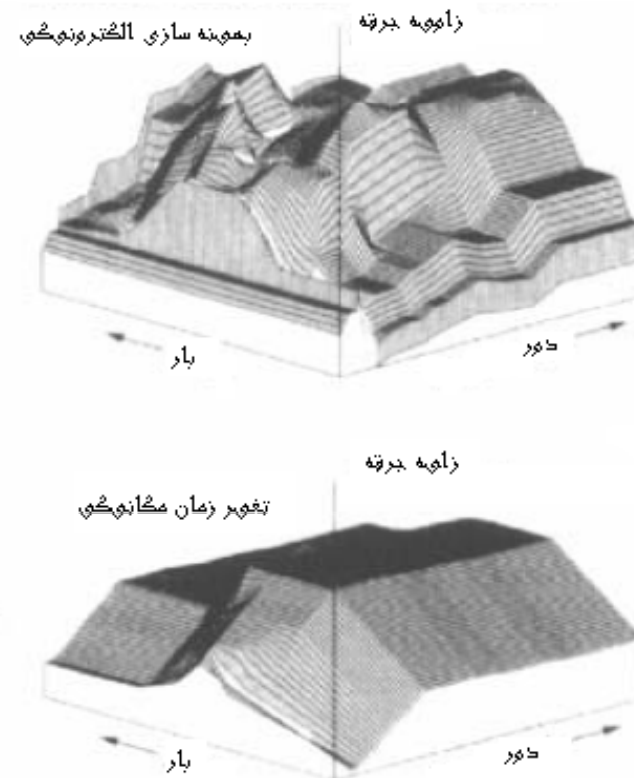
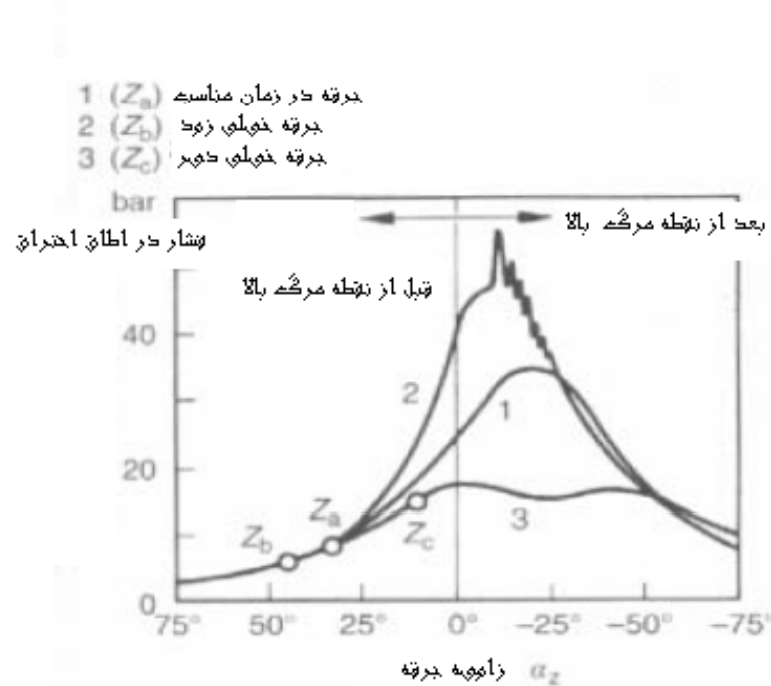


مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر



# موتورهای درونسوز پیستونی

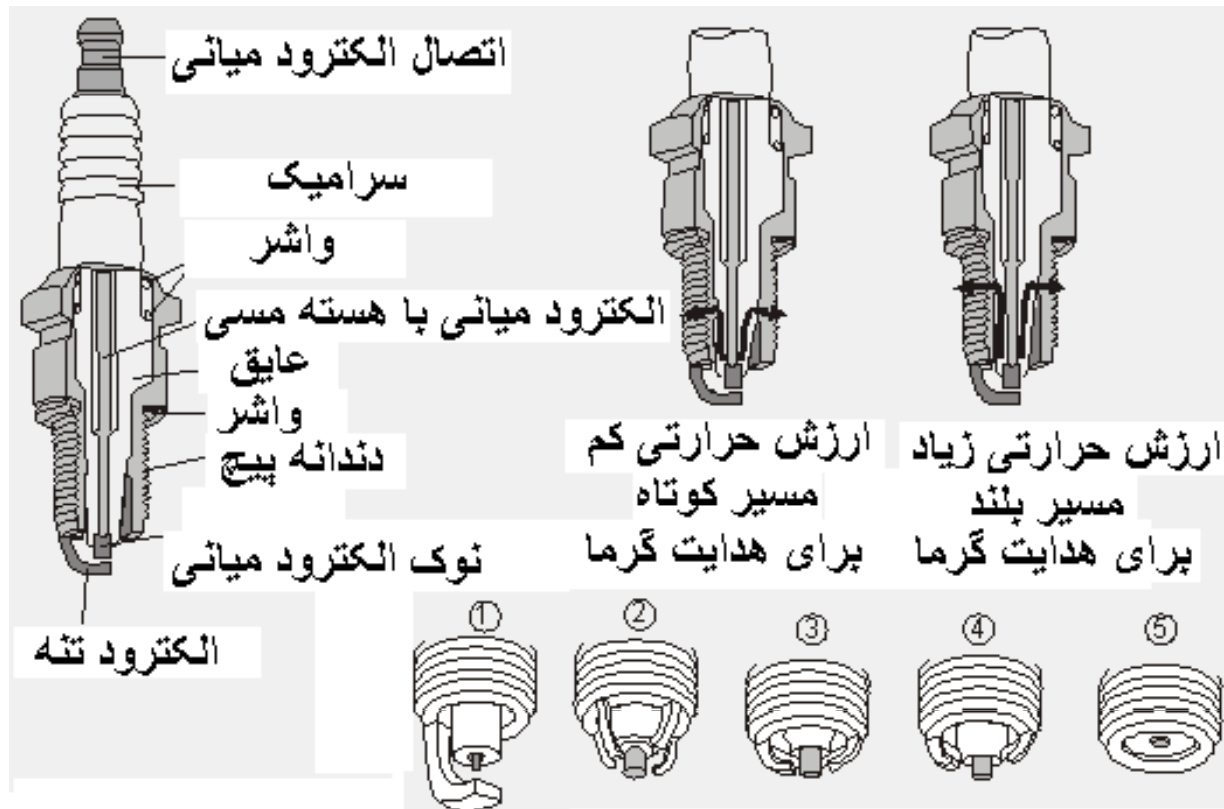
(تاثیر زمان جرقه بر فشار داخل اطاق احتراق، سامانه الکترونیکی و مکانیکی)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# موتورهای درونسوز پیستونی

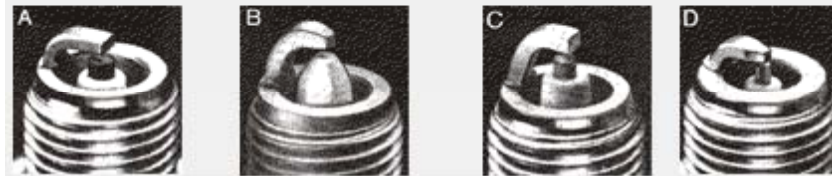
(شمع و ارزش حرارتی، مقاومت در برابر احتراق زودرس)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# موتورهای درونسوز پیستونی (سامانه جرقه، الکتروود شمع)

جنس الکتروود میانی

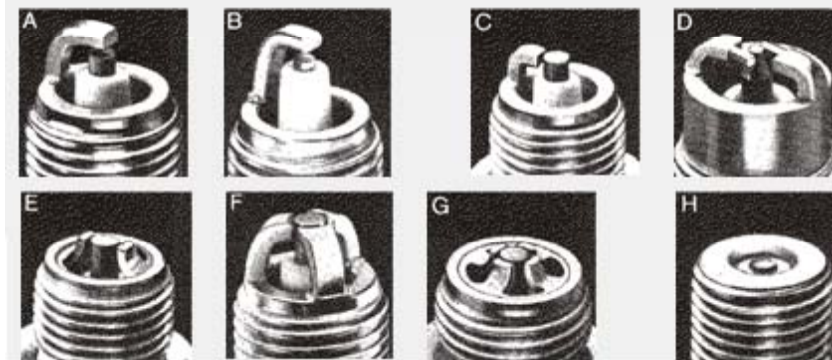


مواد ترکیبی  
با پایه نیکل

پلاتین، مقاوم در  
مقابل خوردگی و  
دمای پزرک کاری






نقره سخت، مقاوم در  
برابر خوردگی و هدایت  
خوب گرما

ترتیب قرارگیری الکتروود تنه  
(مواد: آلیاژ نیکل کروم)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# موتورهای درونسوز پیستونی (سامانه های جرقه، صورت شمع)

Spark plugs image	Possible causes and consequences	Possible remedies
	Beige spark plug: The engine is working properly, the mixture composition is correct, the heat value of the spark plug fits.	No special measures are required. The spark plug should be left in the photo, however soon changed.
	Spark plug burned. Aggressive fuel and oil additions, combustion residue in the combustion chamber, poor fuel quality, defective valves or distributors. Power loss followed by the total failure of the engine.	possible polluter review of other fuel.
	Center electrode burned: Cause: thermal overload by Gluehzuendung, heat value of the candle too low residue in the combustion chamber, formerly ignition timing, faulty valves or distributors, poor fuel quality	Candle exchange ZZZ examine any fuel
	Glazed spark plug: Additions to oil and gasoline are ascheartige deposits. The deposits lead to higher load misfires.	Motor set brand spark plugs.
	Spark plug mechanically damaged: For motor can damage metal shavings deposited on the spark plug or destroy them.	The spark plug should be replaced. With repeated damage is a mechanical defect in the engine.

مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# موتورهای درونسوز پیستونی (سامانه های جرقه، صورت شمع)

Spark plugs image	Possible causes and consequences	Possible remedies
	Carbonized spark plug: Heat value of the spark plug could be too high, fuel mixture is too bold, predominantly used on short haul. long considered to choke (automatic start adjusted), or dirty air filter.	In matching heat value of the spark plug, the mixture composition set (adjust carburetor or injection, possibly starting automatic review)
	Encrusted spark plug: Components of the oil residues can form that are deposited on the spark plug	Maybe oil quality change or engine setting. Worn by high engine components, faulty engine exhaust. Piston rings, valve stem seals, engine breather
	Worn spark plug: Aggressive fuel and oil additions, unfavorable influences flow in the combustion chamber, deposits, and poor fuel quality. The consequences are misfires, especially during acceleration and start bad behavior.	Polluter check fuel grade.
	Spark plug oiling Too much oil in the combustion chamber, piston rings leaking, oil level is too high, spark plug leaking (loosely, defective). In two stroke engine, too much oil in the fuel through false oil/fuel mixing ratio	Adjust spark plugs, engine overhaul. In two-stroke engines: oil/fuel mixing ratio reviewed or cessation of lubrication oil pump check
	Spark plug white: Thermal overload by Gluehzuendung or hot combustion, heat value could be too high or the fuel mixture too lean, engine tends to knock.	In matching heat value of the spark plug, the mixture composition set (adjust carburetor or injection). Maybe octane rating of the fuel

مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# موتورهای درونسوز پیستونی

## مقایسه اتو و دیزل

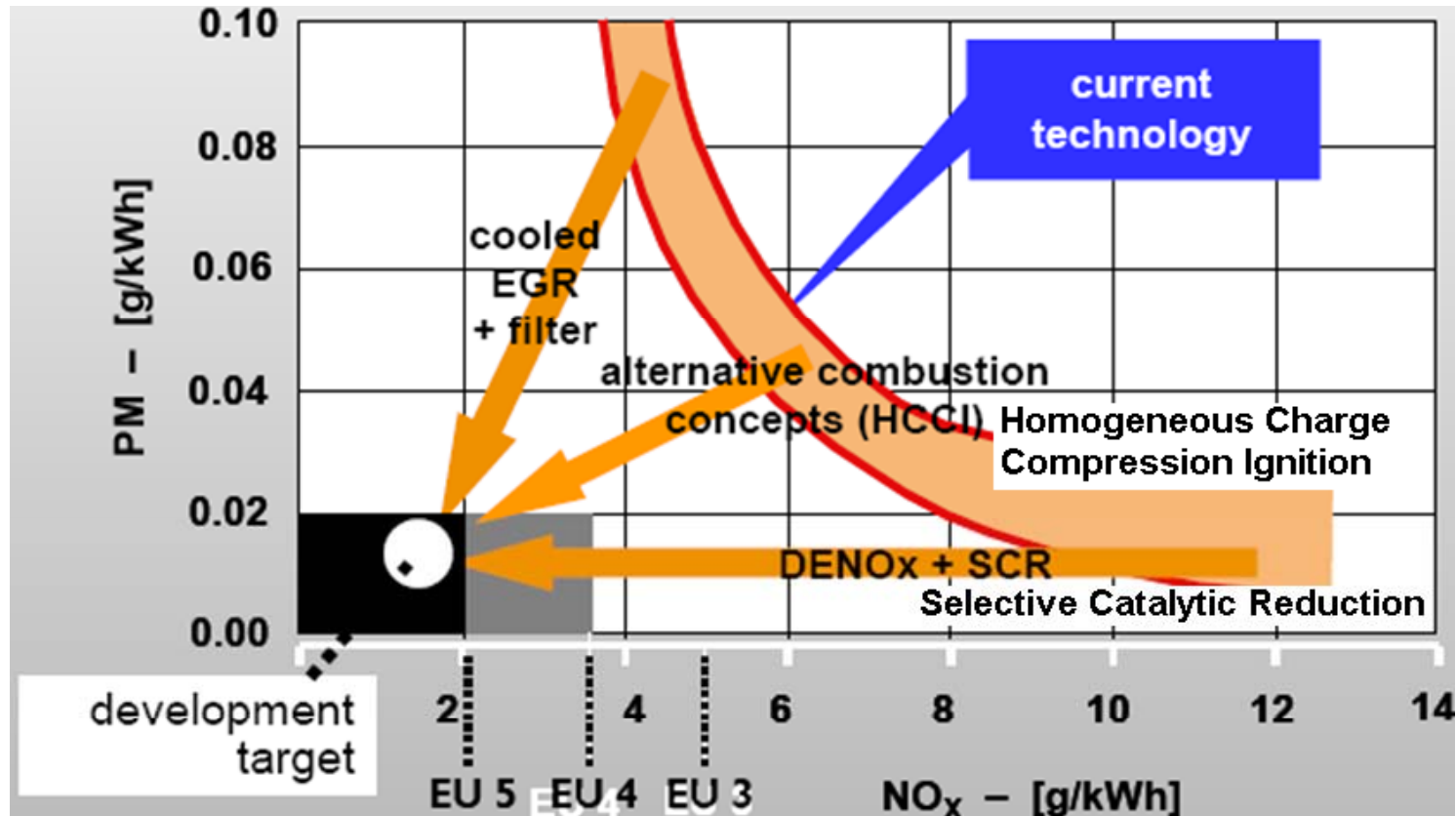
چرا دیزل برای اتومبیل‌های سواری جذابتر است



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# موتورهای درونسوز پیستونی

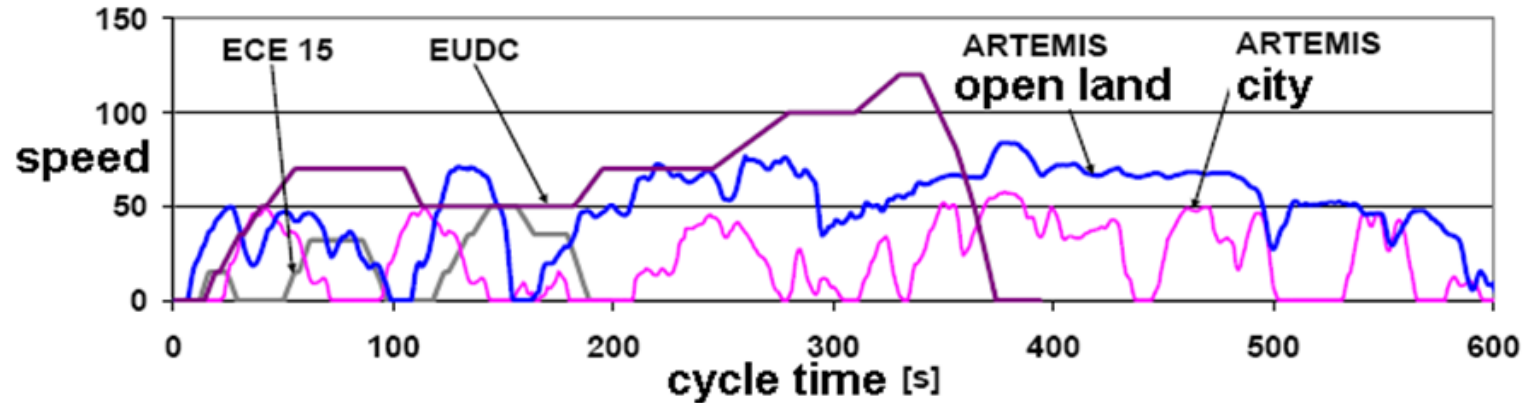
To stabilize HCCI in diesel, gasoline and natural gas engines



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# موتورهای درونسوز پیستونی

## سیکلهای کنترل دود آگزوز



Economic Commission for Europe ECE

Extra Urban Drive Cycle EUDC

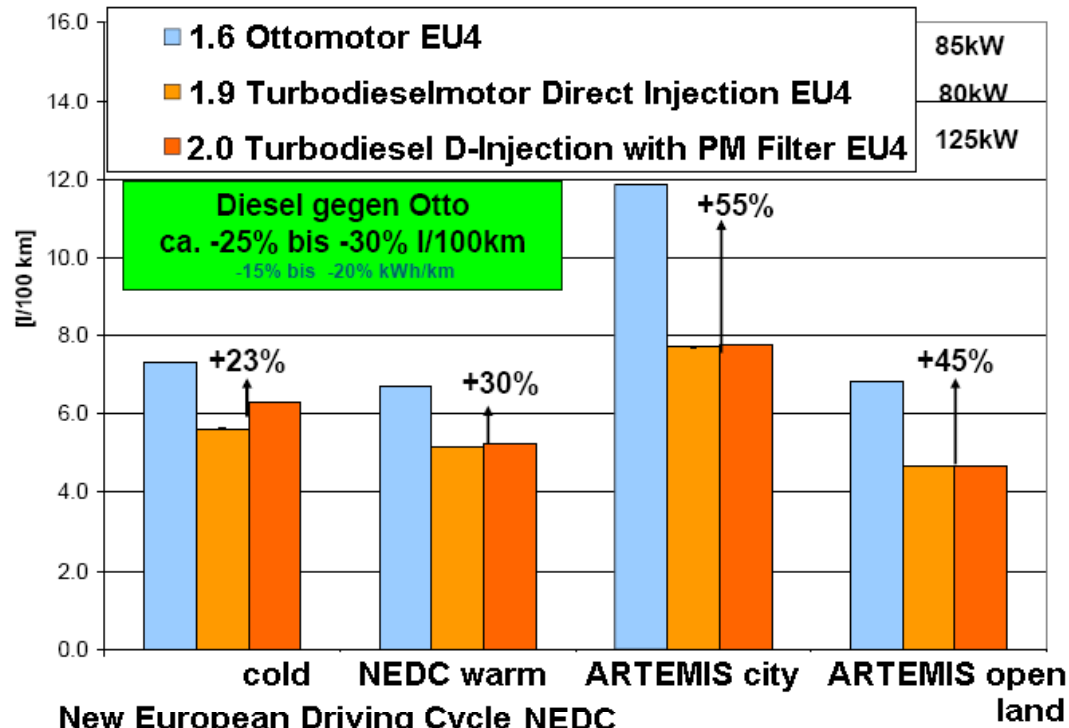
Assessment a. Reliability o. Transport Emission Models a. Inventory Systems ARTEMIS



# موتورهای درونسوز پیستونی

## Diesel compared with Otto

Consumption

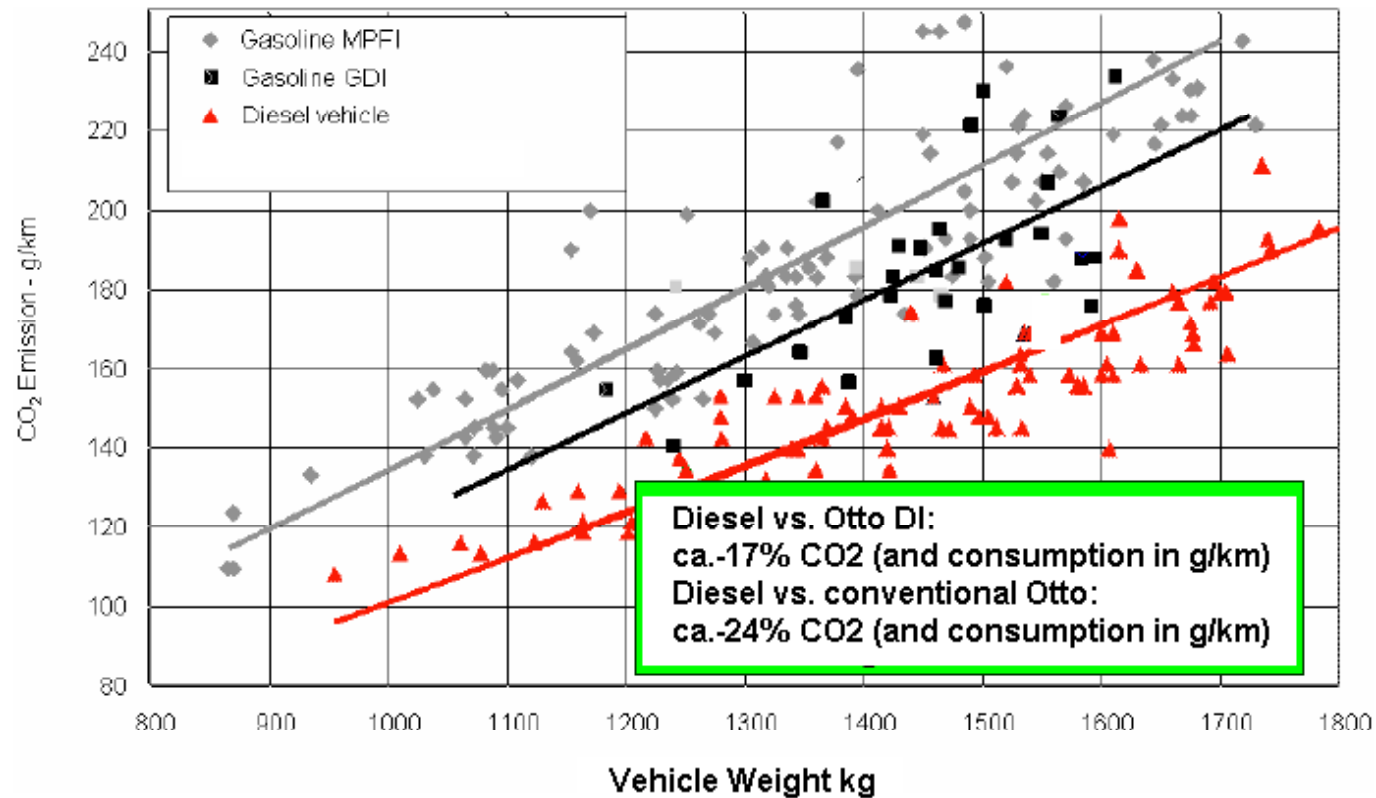


New European Driving Cycle NEDC  
Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems ARTEMIS

مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# موتورهای درونسوز پیستونی

(مقایسه مصرف و دی اکسید کربن، موتور دیزل و اتو)

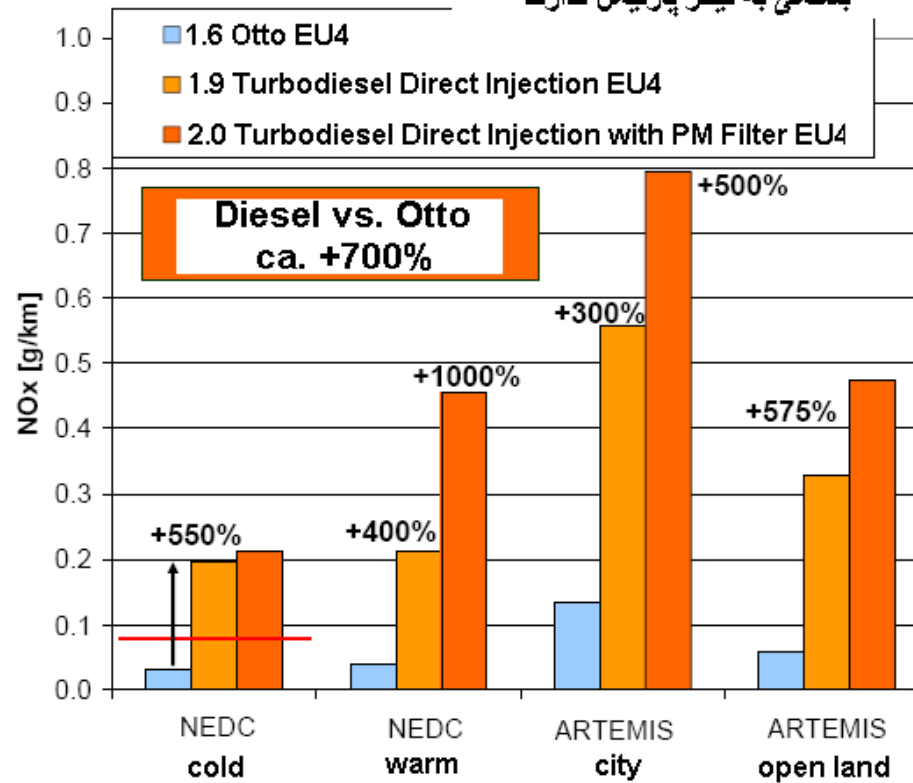


مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# موتورهای درونسوز پیستونی (مقایسه اتو و دیزل، اکسیدهای ازت)

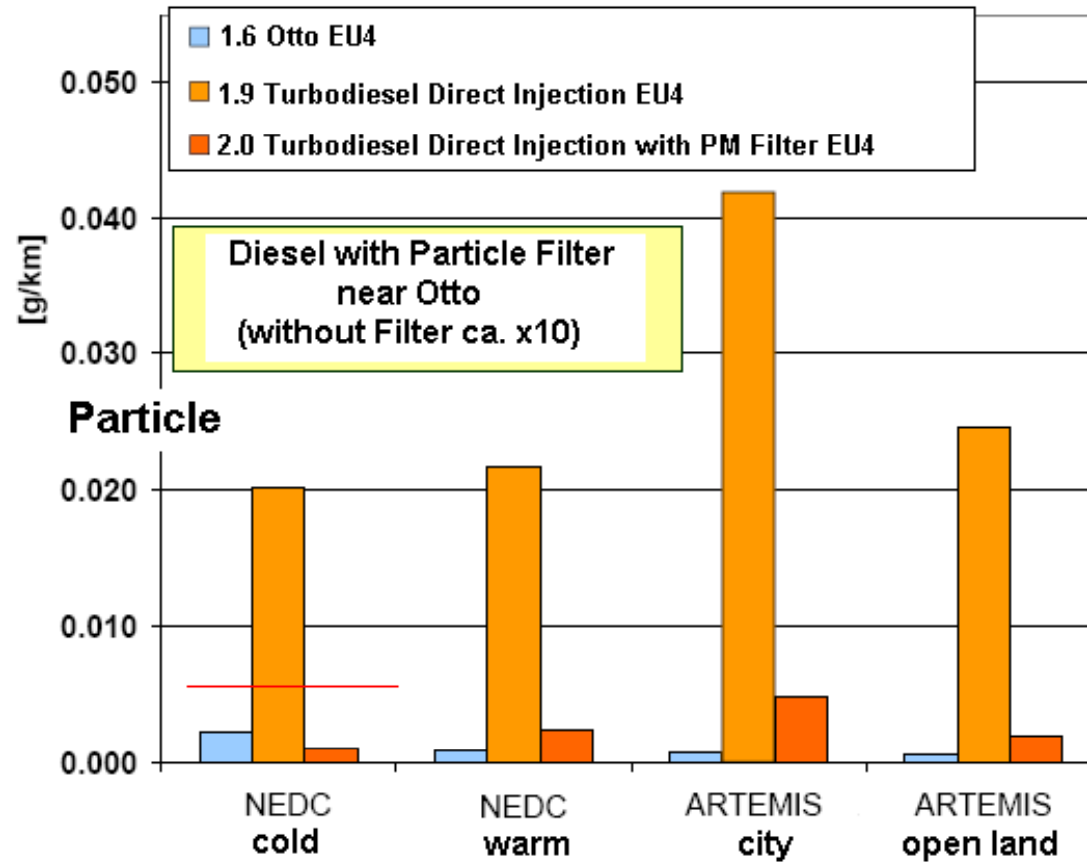
## NOx-Emission

توجه: تفاوت‌های NOx برای سواری دیزل بستگی به فیلتر پارتیکل ندارند



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

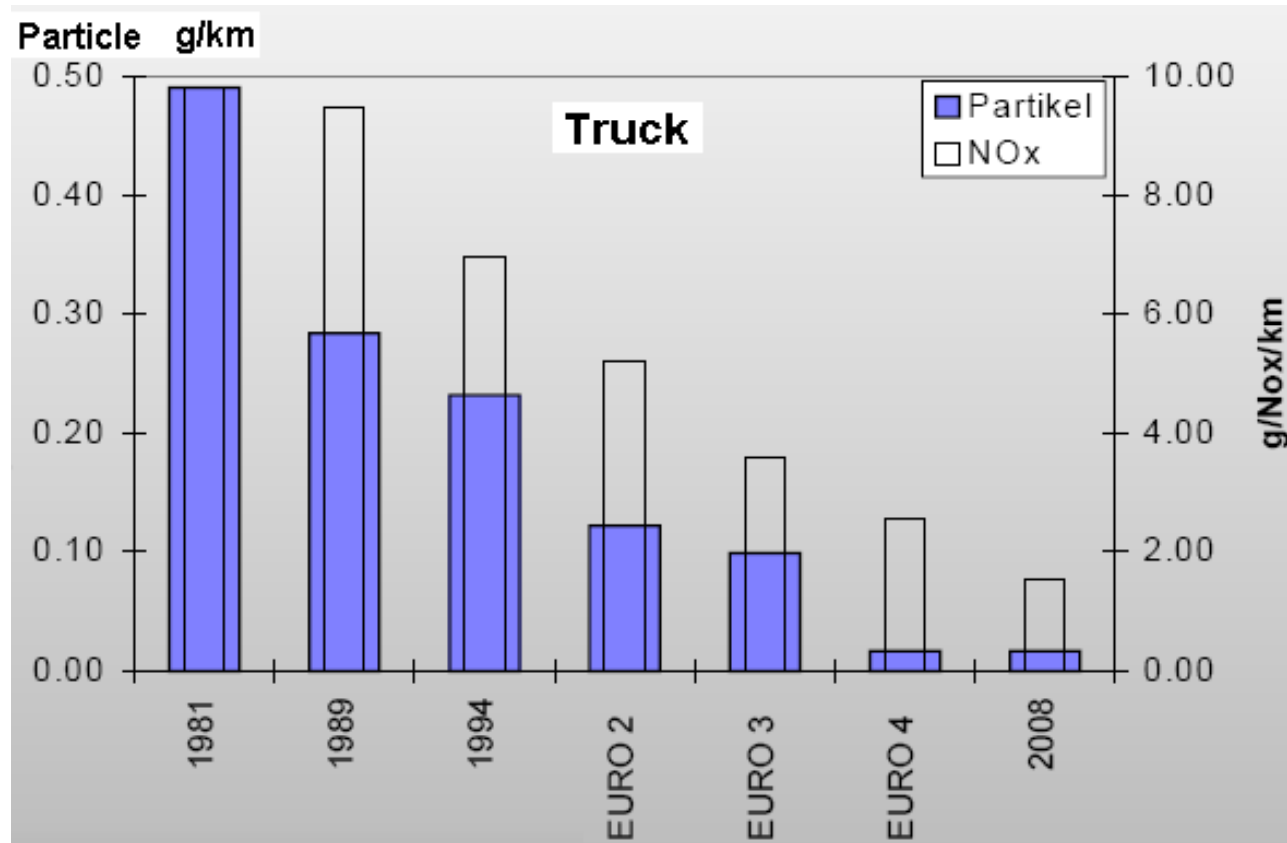
# موتورهای درونسوز پیستونی (مقایسه اتو و دیزل، پارتیکل)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# موتورهای درونسوز پیستونی

(اکسیدهای ازت و پارتیکل، خودروهای بارکش)

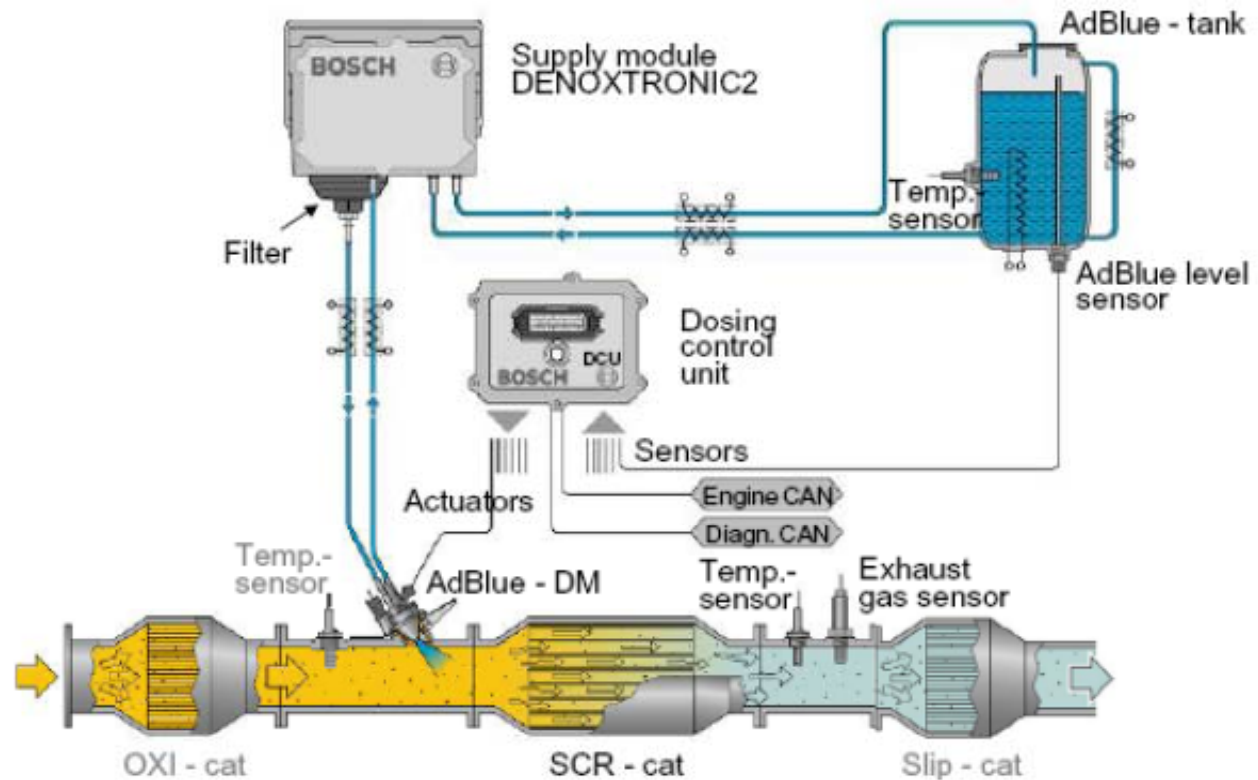


مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# موتورهای درونسوز پیستونی

## Selective Catalytic Reduction (SCR)

AdBlue is used in a process called SCR to reduce emissions of oxides of nitrogen from the exhaust of diesel vehicles



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر

# موتورهای درونسوز پیستونی

(پایان درس، زمان استراحت و نوشیدن یک فنجان چای)



مهدی اخلاقی دانشگاه صنعتی امیرکبیر