

(1)

Subject :

Year . Month . Date . ( )

سوخت و احتراق - استاد افشین عینی راد - نیمسال دوم سال تحصیلی ۹۱-۹۰

حالت اول؛ چهارشنبه؛ ۱۰، ۱۲، ۲۰

مراجع: احتراق (آقای مقیمان) نرم افزار: Premix code chemkin

www.sciencedirect.com & www.civilica.com

سوخت ها: بر سه دسته کلی تقسیم می شوند: (۱) زغال سنگ

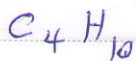
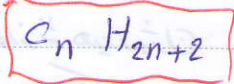
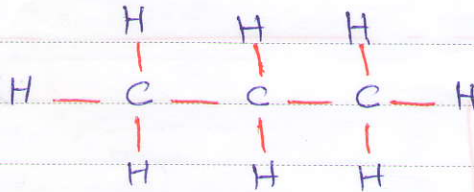
(۲) هیدروکربن های مایع (بنزین)

(۳) هیدروکربن های گازی (متان)

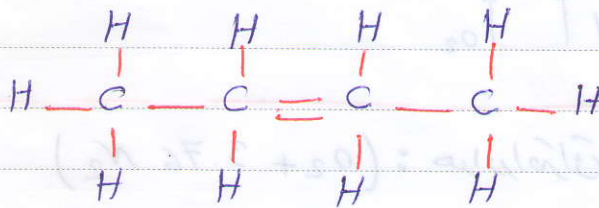
ساختار مولکولی هیدروکربن ها:



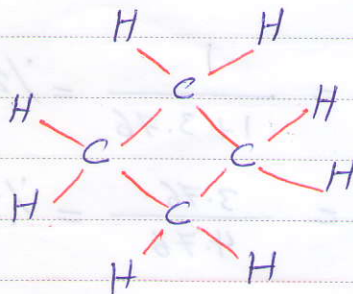
ساختار زنجیره ای اشباع شده

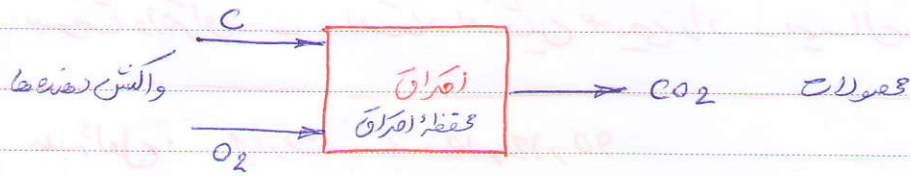


ساختار زنجیره ای اشباع شده

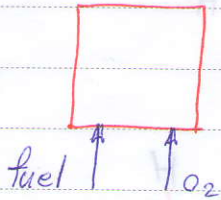


ساختار حلقوی اشباع شده





فردیذ افران ناشی از اکسید شدن اجزای سوخت است

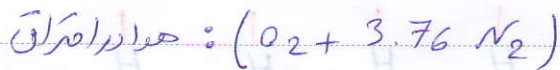


روش موازنه کردن: به ترتیب عبارتند از:

(1) موازنه کربن

(2) موازنه هیدروژن

(3) موازنه اکسیژن



هوای افران:

$$\text{درصد اکسیژن هوا} = \frac{1}{1 + 3.76} = 21\%$$

$$\text{درصد نیتروژن هوا} = \frac{3.76}{4.76} = 79\%$$

(3)

Subject:

Year. Month. Date. ( )

اصطلاح بر رویان به هوا:  $\alpha = 9.8$



نت: فرض می شود در احتراق کامل کربن و هیدروژن به غیر از آنچه در ضریب اتمده است نداریم. در حالی که چنین فرض با حالات واقعی تفاوت دارد.



(1) موازنه کربن  $\alpha = b$

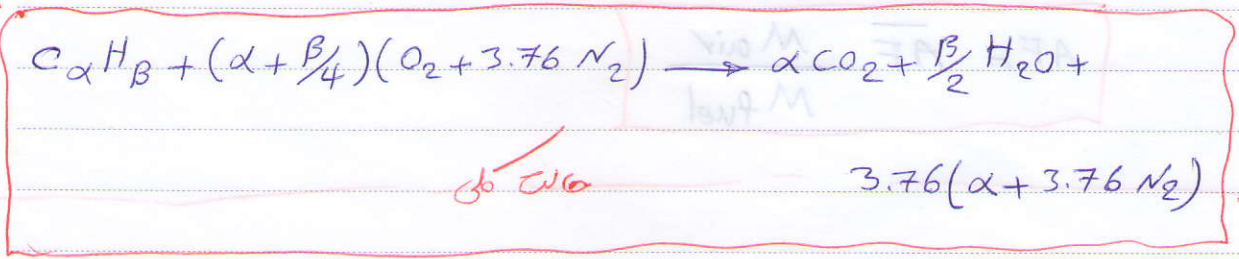
(2) موازنه هیدروژن  $\beta = 2c$   $c = \frac{\beta}{2}$

(3) موازنه نیتروژن  $2a = 2b + c$   $\alpha = b$   $2a = 2\alpha + \frac{\beta}{2}$

$$a = \alpha + \frac{\beta}{4}$$

(4) موازنه اکسیژن  $3.76 a = d$

$$d = (3.76) \left( \alpha + \frac{\beta}{4} \right)$$



if  $\Rightarrow [\alpha = 1.8 \quad \beta = 4]$  then:



$$FA = \frac{1}{AF}$$

تعریف:  $AF$ : نسبت جرم هوا به سوخت

$FA$ : نسبت سوخت به هوا

این نسبت ها معمولاً بر مبنای جرم بیان می شوند (اما گاهی از مبنای مولی هم استفاده می شود):

$$AF(\text{جرمی}) = \frac{\text{جرم هوا}}{\text{جرم سوخت}} = \frac{m_a}{m_f}$$

$$\bar{AF}(\text{مولی}) = \frac{\text{مول هوا}}{\text{مول سوخت}} = \frac{n_{air}}{n_{fuel}}$$

$$n = \frac{m}{M} \Rightarrow m = n M$$

$$AF = \frac{m_{air}}{m_{fuel}} = \frac{n_{air} M_{air}}{n_{fuel} M_{fuel}}$$

$$AF = \bar{AF} \frac{M_{air}}{M_{fuel}}$$

جلسه ۹۵، ۱۲، ۱۷، شماره ۹۵

نسبت هم ارزی: شامل از تقسیم نسبت واقعی سوخت به هوا به نسبت نظری سوخت به هوا است.

$$\phi = \frac{FA}{(FA)_s} = \frac{\bar{FA}}{(FA)_s}$$

اصطلاحاً با  $(FA)_s$ : برهه‌های نظری کوبند در آن فلوط استوکیومتری است. اگر  $\phi = 1$  باشد حالت استوکیومتری می باشد.

نسبت سوخت به هوا در حالت واقعی  
نسبت سوخت به هوا در حالت پایه

اگر نسبت سوخت به هوا در حالت واقعی  
نسبت به حالت پایه بیشتر باشد اصطلاحاً  
فقر سوخت می آید  $\phi < 1$

$\phi > 1$  اصطلاحاً غنی (پر سوخت)

استوکیومتری  $\phi = 1$

$\phi < 1$  اصطلاحاً فقیر (کم سوخت)

حالت پایه (سوخت به اندازه بود هوا وجود داشت یا نسبت از اصطلاحاً نه سوختی باقی ماند نه هوایی)

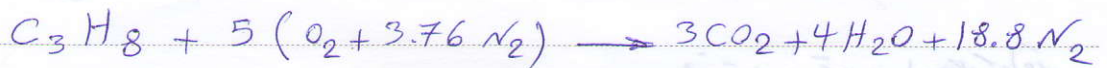
اصطلاحاً کامل (استوکیومتری): اصطلاحاً به با هوای نظری ۱۰۰٪ انجام شود را اصطلاحاً کامل یا استوکیومتری گویند. اگر ۱۵٪ بود بیشتر از هوای مورد نظر هوا وجود دارد و با آن ۸۵٪ بود (نسبت هم ارزی) هوا کمتر از مقدار مورد نیاز وجود داشت.

در حالت استوکیومتری هوا به اندازه ای وجود دارد که سوخت مورد نیاز بطور کامل اکسیداسیون آن انجام شود. حال اگر این مقدار بیشتر (هوا) از ۱۰۰٪ باشد در ضروی مقدار هوای خواهم داشت. اگر مقدار هوا از ۱۰۰٪ کمتر باشد هوای لازم (اکسیدان لازم) برای اکسیداسیون سوخت وجود ندارد و در ضروی (مغولان اصطلاحاً) هیدروکربنهای سوخته خواهم داشت (پر سوخت).

در حالت اصطلاحاً غنی و فقیر حداکثر دمای شعله نسبت به حالت اصطلاحاً کامل (استوکیومتری) کاهش می یابد. (اصطلاحاً به کم سوخت باشد و هیدرو سوخت مورد مطلوب نسبت به کم)

حالت استوکیومتری یا احتراق کامل مورد نظر است (در صنایع از جمله نیروگاه های صنعتی و مجتمع در نیروگاه ها، موتورهای احتراق داخلی، توربین گاز، احتراق با حالت سوخت (احتراق غیر افتد) چون سوخت هدری رود و به صرف نیست) همچنین بدین ارزش ویژه انرژی احتراق با نسبت هم ارزی 1 هم در صنایع مرسوم به صرف نیست و عمده احتراق با نسبت هم ارزی 0.8 در صنایع دیده می شود.

مثال: احتراق پروپان با هوای نظری (150%) را موازنه کنید:



برای موازنه، موازنه حالت استوکیومتری کنید چون در خروجی اکسیژن دیده نمی شود بنابراین احتراق با هوای نظری 100% باشد یعنی  $\phi = 1$



هوا که زیاد داریم یعنی سوخت آن کم شده است. می بینیم در خروجی اکسیژن داریم. بنابراین احتراق با 150% هوای نظری (و 50% هوای اضافی) انجام شده است. 100% هوای نظری (یعنی 800% هوای نظری). در این حالت می دانیم نسبت هم ارزی کمتر از 1 است چون سوخت کمتر از هوا بود (احتراق فقیر)

$$\phi = \frac{1}{1.5} = \frac{2}{3}$$

$$\phi = \frac{1}{\text{مقدار هوای نظری}} = \frac{FA_{\alpha}}{FA_s}$$

$$AF_s = \frac{m_{air}}{m_{fuel}} = \frac{\sum n_i M_i)_{air}}{\sum n_i M_i)_{fuel}} = \frac{(\alpha + \frac{\beta}{4}) M_{O_2} + 3.76(\alpha + \frac{\beta}{4}) M_{N_2}}{\alpha M_C + \beta M_H}$$

نسبت هوا به سوخت در حالت استوکیومتری

نقادمول کربن  
جمع هیدروژن  
نقادمول هیدروژن

(7)

Subject:

Year. Month. Date. ( )

$$AF_s = \frac{(1 + \frac{\beta}{4\alpha}) M_{O_2} + 3.76(1 + \frac{\beta}{4\alpha}) M_{N_2}}{M_C + \frac{\beta}{2} M_H}$$

این صورت و محتاج این رابطه  
لازم نیست نسبت سوخت به  
هوایست که میزنند

چون صدم های مولکولی اکسیژن، نیتروژن، کربن و هیدروژن مقادیر مشخص است، نسبت هوای به سوخت ( $AF_s$ ) یا نسبت سوخت به هوا ( $FA_s$ ) فقط به  $\frac{\beta}{\alpha}$  بستگی دارد.



افتراق مثال:

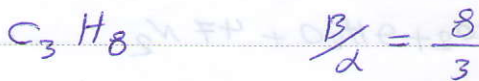
$$AF_s = \frac{(1 + \frac{4}{4}) 32 + 3.76(1 + \frac{4}{4}) 28}{12 + 4(1)} = \frac{(2 \times 32) + (7.52 \times 28)}{16}$$

$AF_s = 17.16$

یعنی اگر  $\phi = 1$  مقدار متان افتراق کاملی داشته باشد به ازای هر یک کیلوگرم متان باید 17.16 kg هوا وجود داشته باشد.

1 kg	$CH_4$
17.16 kg	Air

برای این حالت  $\phi = 1$  است. حال اگر بگوییم به ازای هر یک کیلوگرم متان 40 kg هوا وجود دارد افتراق  $\phi < 1$  خواهد بود.



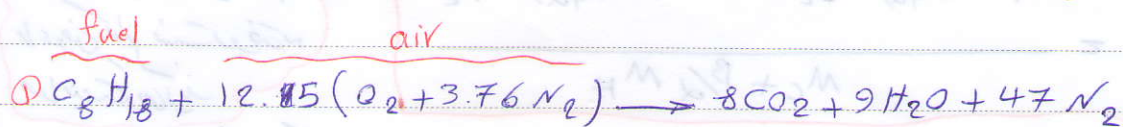
افتراق پروپان:

$$AF_s = \frac{(1 + \frac{8}{12}) 32 + 3.76(1 + \frac{8}{12}) 28}{12 + \frac{8}{3}(1)} = 15.6$$

به ازای هر 1 kg پروپان باید 15.6 kg هوا داشته باشیم  $\phi = 1$



مثال: نسبت تقریبی AF (AF<sub>3</sub>) را با افتراق آنتال بیابید. واکنش حالت استوکیومتری



$$\overline{AF} (\text{موی}) = \frac{n_{\text{air}}}{n_{\text{fuel}}} = \frac{12.85 + 47}{1} = 59.25 \frac{\text{kmol air}}{\text{kmol fuel}}$$

$$AF (\text{جرمی}) = \frac{M_{\text{air}}}{M_{\text{fuel}}} \times \overline{AF}$$

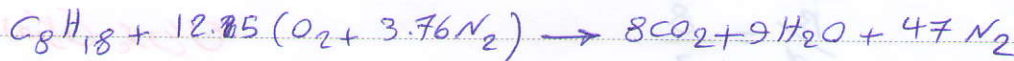
$$M_{\text{air}} = (0.21 \times 32 + 0.79 \times 28) = 28.9$$

$$M_{\text{fuel}} = (8 \times 12) + (18 \times 1) = 114$$

$$AF = \frac{28.9}{114} \times 59.25 = 15.1$$

می‌توان اندویش دیگری را نیز استفاده کرد.

مثال: آنتال (C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>) با هوای تقریبی (200%) و سوزد. فشار ورودی هوای (100 kPa) را بصورت موی بجزیم. و نقطه شبنم فراورده‌ها را بیابید. فشار فراورده‌ها (0.1 MPa) است. ابتدا واکنش را می‌نویسیم: در حالت استوکیومتری (100% هوای تقریبی) (بدون هوای اضافی)



در حالت 200% هوای تقریبی (100% هوای اضافی)



$$x_i = \frac{n_i}{\sum n}$$

کسر موی گونه i ام



(9)

Subject:

Year. Month. Date. ( )

قیمت محصولات مورد نظر است.

$$X_{H_2O} = \frac{\text{کسر مولی بخار آب}}{8+9+12.5+94} = \frac{9}{8+9+12.5+94} = 0.07287$$

$$P_i = X_i P \quad \text{فشار جزئی}$$

$$P_{H_2O} = (0.07287 \times 100) = 7.29 \text{ kPa}$$

با مراجعه به جدول کمودینا سیتی (مای اشباع متناظر به فشار 7.29 kPa) را می‌توانیم:

$$T_{sat} \Big|_{P=7.29 \text{ kPa}} = 39.7^\circ \text{C} \quad \text{مای تقطیر شبنم}$$

(مای گازهای ضروی را نمی‌توان کمتر از این دما کاهش دهیم.)

حاصل به نسوج: ۹۱،۱،۲۳؛ بخار شبنم

**نت:** اغلب برای اختراق از هوای اتمسفر به عنوان آلوده کننده استفاده می‌شود. در این حالت واکنش دهنده‌ها حاوی بخار آب می‌باشند که می‌توان در آن‌ها سبب کاغذ گردد.

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} = \frac{\text{جرم بخار}}{\text{جرم هوا}} \quad \text{(نسبت رطوبت)}$$

$$n_v = \frac{m_v}{M_v} = \frac{\omega m_a}{M_v} = \frac{\omega n_a M_a}{M_v} \Leftrightarrow n_a = \frac{m_a}{M_a}$$

$$n_v = \omega n_a \times \frac{28}{18} \quad \boxed{n_v = 1.55 \omega n_a}$$

هرچه کمتر شود هوای مرطوب تر می‌شود. و انتظار داریم که تعداد مول هوا و بخار هم بیشتر شود.

مثال: میان با هوای اتمسفری سوزد. آنالیز فرآورده ها بر مبنای خشک به شکل زیر است.

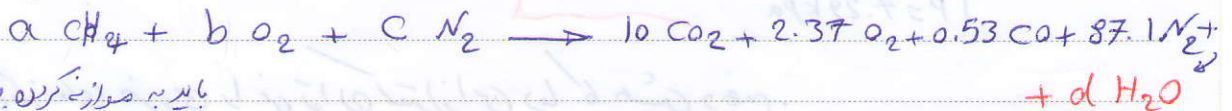
$$CO_2 = 11.0\% \quad , \quad O_2 = 2.37\% \quad CO = 0.53\% \quad N_2 = 87.1\%$$

سنت هوا سفت، هوای تقریبا در صدی را محاسبه و معادله افتراق را بنویسید.

با توجه بدانکه در فرایند  $O_2$  داریم و وقتی لغت آنالیز خشک یعنی در فرایند بخار آب نداریم.  
بنابراین افتراق فقیر است. و وقتی لغت آنالیز تر یعنی باید در فرایند بخار آب داشته باشیم.

حل: معادله افتراق را برای 100 Kmol فرآورده های خشک می نویسیم:

$a$  مول  $CH_4$



باید به موازنه کربن بپردازیم:

$$N_2 \text{ بالانس} \Rightarrow c = 87.1$$

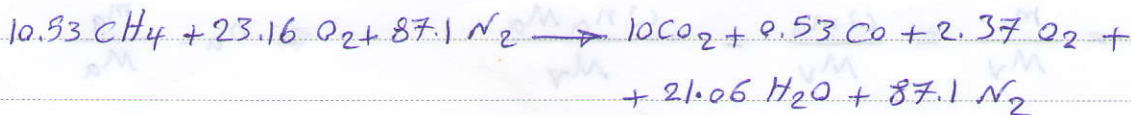
$$C \text{ بالانس (کربن)} \Rightarrow a = 10.53$$

دقت شود که در محصولات افتراق بخار آب  $H_2O$  داریم وی چون لغت آن خشک فقط در فرایند سبک می خوانیم. حال  $d$  مول بخار آب را پیدا می کنیم.

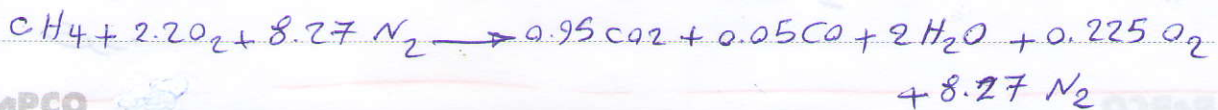
$$2d = 4a$$

$$d = 2a = 2 \times 10.53 = 21.06$$

$$\frac{c}{b} = 3.76 \rightarrow b = \frac{87.1}{3.76} = 23.16$$



اگر بخواهیم معادله را برای 1 kmol  $CH_4$  بنویسیم حل معادله را بر ضریب  $CH_4$  تقسیم می کنیم:



$$\text{تعداد مول هوا} : 2.2 + 8.27 = 10.47$$

$$\text{تعداد مول سوخت} : 1$$

$$\overline{AF} = \overline{A/F} = \frac{n_{\text{air}}}{n_{\text{fuel}}} = 10.47 \quad \text{نسبت هوا به سوخت بر مبنای مول}$$

$$AF = \overline{AF} \frac{M_{\text{air}}}{M_{\text{fuel}}} \quad \text{نسبت هوا به سوخت بر مبنای جرمی} \leftarrow$$

$$AF = 10.47 \times \frac{28.8}{16} = 18.87 \quad \frac{\text{kg air}}{\text{kg fuel}}$$

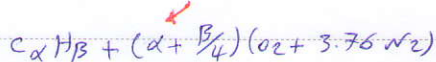
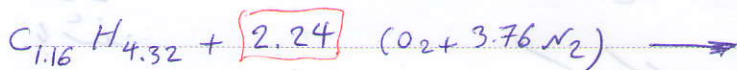
$$AF_s = 17.16 \quad \leftarrow \text{نسبت هوا به سوخت متان (در حالت استوکیومتری)}$$

$$\phi = \frac{AF_s}{AF_a} = \frac{17.16}{18.87} = 0.9$$

۱۰٪ هوای اضافی داریم.

$$\text{درصد هوای نظری} = \frac{1}{\phi} = \frac{AF_a}{AF_s} = 110\%$$

مثال: یک توربین گاز با بار کامل (3950 kW) با نسبت همجاری (0.286) و  
 ری جرمی هوای (15.9 kg/s) کربنی نزدیک سوخت  $C_{1.16} H_{4.32}$  (کازتیس)  
 است. مطلوب است ری جرمی سوخت و نسبت هوا به سوخت کربنی موتور.  
 معادله واکنش در نظر بگیرید:



$$\phi = 0.286 \quad m_{\text{air}} = 15.9 \text{ kg/s}$$

$$AF_s = \frac{\text{جرم مولکولی هوا}}{\text{جرم مولکولی سوخت}} \times \frac{\text{مول هوا}}{\text{مول سوخت}} \quad (\text{تئوری})$$

$$AF_s = \frac{n_{air}}{n_{fuel}} \times \frac{M_{air}}{M_{fuel}} = \frac{4.76 \times 2.24}{1} \times \frac{28.8}{18.28} = 16.82$$

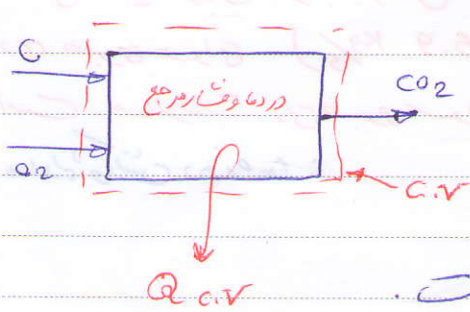
$$AF_a = \frac{AF_s}{\phi} = \frac{16.82}{0.286} = 58.8$$

$$AF_a = \frac{m_a}{m_f} = \frac{\text{جرم هوا}}{\text{جرم سوخت}}$$

$$AF_a = \frac{m_a/t}{m_f/t} = \frac{\dot{m}_a}{\dot{m}_f} \quad \text{از صورت و فدرج را بر زمان تقسیم کنیم دی بدین می آید:}$$

$$58.8 = \frac{15.9}{\dot{m}_f} \rightarrow \dot{m}_f = 0.27 \text{ kg/s}$$

**انباری تشکیل:** فرض کنیم یک محفظه احتراق داریم که کربن و اکسیژن در داخل آن در دسترس یکدیگر قرار می دهند. کربن و اکسیژن وقتی با هم ترکیب شوند در صورتی که  $CO_2$  فراهم داشت. اگر یک حجم کنترل در نظر بگیریم می بینیم مقداری گرما آزاد می شود.



**تعریف: (مجموعه)** مقدار انرژی ای که آزاد و یا جذب می شود هنگامی که ترکیبی از عناصرش بوجود بیاید. همچنین مواد اولیه و محصولات در دسترس در دسترس باشند.

والتس را ساز است.

قانون اول ترمودینامیک را برای یک حجم کنترل می نویسیم:

$$\dot{Q}_{c.v} + \sum \dot{m}_i h_i = \sum \dot{m}_e h_e + \dot{W}_{c.v}$$

کار برای صفر است

$$\dot{Q}_{c.v} + \dot{n}_c \bar{h}_c + \dot{n}_{O_2} \bar{h}_{O_2} = \dot{n}_{CO_2} \bar{h}_{CO_2}$$

$\bar{h} = \text{انرژی بر مبنای مول}$   
KJ/mol

هدف ما نسبت  $\bar{h}_{CO_2}$  است بنا بر این طرفین را بر  $\dot{n}_{CO_2}$  تقسیم می‌کنیم:

$$\bar{h}_{CO_2} = \frac{\dot{Q}_{c.v}}{\dot{n}_{CO_2}} + \frac{\dot{n}_c}{\dot{n}_{CO_2}} \bar{h}_c + \frac{\dot{n}_{O_2}}{\dot{n}_{CO_2}} \bar{h}_{O_2}$$

ما توجه به نکته  $\leftarrow$

**نکته:** برای عناصر و مولکولهای دواتمی مستقر ( $O_2$ )، ( $N_2$ )، انرژی تشکیل آنها در شرایط مرجع صفر است.

$$\bar{h}_{CO_2} = \frac{\dot{Q}_{c.v}}{\dot{n}_{CO_2}}$$

بنا بر این  $\leftarrow$  انرژی تشکیل برای عناصر در شرایط دردمای مرجع برابر صفر است.

(دبی مولی  $CO_2$ )

این مقدار تادمای مرجع می‌باشد و از این به بعد (بالا تر یا پایین تر) مقدار انرژی برای است:

$$\Delta h = \int_{T_1 = T_{ref}}^{T_2} \bar{c}_p dT \quad c_p = \left. \frac{\partial h}{\partial T} \right|_p$$

(مرجع)  $T_{ref}$

$\Delta h$  زمانی بوجود می‌آید که  $T_1$  یا  $T_2$  اختلاف داشته باشد.

$$\Delta h = \int_{T_1 = T_{ref}}^{T_2 = T_{ref}} \bar{c}_p dT = 0$$

در نتیجه می‌توان انرژی هر یک از گونه‌های شیمیایی را چنین نوشت:

$$\bar{h}_{s, \text{وزن}} = [ \bar{h}_f + \Delta h ]$$

به همین اینکه از دما و فشار مرجع حاصله گرفت  $\Delta h$  وارد می‌شود.

در دمای مرجع  $\rightarrow \bar{h}_{\text{وزن}} = \bar{h}_f$  (انرژی تشکیل)



انتالیی تشکیل برای مثال:

ابتدا موازنه می کنیم:

اصرفی مثال در حالت استوکیومتری:



پس از موازنه کردن قانون اول برای نویسیم:

$$\dot{Q}_{c.v} + (1 \times \bar{h}_{CH_4} + 2 \times \bar{h}_{O_2} + 7.52 \times \bar{h}_{N_2}) = (1 \times \bar{h}_{CO_2} + 2 \times \bar{h}_{H_2O} + 7.52 \times \bar{h}_{N_2})$$

\* بدلیل تفاوت در دروازه‌های دهنده ها و محصولات (یا اگر موجودات به نامی) نمی توان مقدار  $\bar{h}_{N_2}$  را در دو طرف مساوی کرد.

هدف این است که بینیم در اصفراق مثال چه مقدار گرما خارج می شود:

$$\dot{Q}_{c.v} = 1 [\bar{h}_f + \Delta \bar{h}]_{CO_2} + 2 [\bar{h}_f + \Delta \bar{h}]_{H_2O} + 7.52 [\bar{h}_f + \Delta \bar{h}]_{N_2} - 1 [\bar{h}_f + \Delta \bar{h}]_{CH_4} - 2 [\bar{h}_f + \Delta \bar{h}]_{O_2} - 7.52 [\bar{h}_f + \Delta \bar{h}]_{N_2}$$

اگر فرضی در شرایط مرجع باشد: \* نویسه های دوازه \* شرایط مرجع

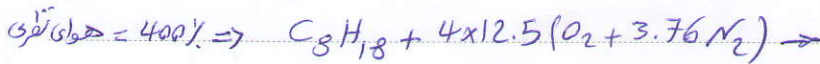
$$\dot{Q}_{c.v} = (\bar{h}_f + \Delta \bar{h})_{CO_2} + 2 [\bar{h}_f + \Delta \bar{h}]_{H_2O} + 7.52 \Delta \bar{h}_{N_2} - \bar{h}_f_{CH_4}$$

جلسه چهارم؛ 30، 1، 91؛ چهارشنبه

مقدار انتقال حرارت در یک فرآیند ثابت در فرآیند ثابت:  $Q = \Delta H$

$$Q = H_p (\text{انتهایی محصولات}) - H_R (\text{انتهایی دهندهها})$$

مثال: در توربین گاز کوچک از  $(C_8H_{18})$  (آکتان) مایع بعنوان سوخت استفاده می شود. هوای تقویری (400%) باشد. هوا و سوخت در شرایط مرجع وارد می شوند و فرآورده های احتراق در  $(900 K)$  خارج می شود. به ازای هر اب بخار ساعت قدرت ضربه ای از توربین  $(0.25 kg/s)$  سوخت مصرف می شود. انتقال حرارت از توربین به ازای هر کیلو مول سوخت را بیابید؛ احتراق را کامل فرض کنید. (متغیر از احتراق کابین ایست که مونتر سیدرین و امثال آنرا ندانیم) ابتدا معادله احتراق را موازنه می کنیم:



$$50 O_2 \rightarrow 8 O_2 + 4.5 O_2 = 12.5 O_2$$

قانون اول ترمودینامیک برای حجم کنترل:  $SSSF$

-250105

$$Q_{c.v} + \sum n_i (\bar{h}_f + \Delta \bar{h}) = W_{c.v} + \sum n_e (\bar{h}_f + \Delta \bar{h})$$

$$n_{O_2} (\bar{h}_f + \Delta \bar{h})_{O_2} + n_{N_2} (\bar{h}_f + \Delta \bar{h})_{N_2} + 1 (\bar{h}_f + \Delta \bar{h})_{C_8H_{18}} = ?$$

$$\bar{h}_f(C_8H_{18}) = -250105$$

$$\sum_p n_e (\bar{h}_f + \Delta \bar{h}) =$$

مجموع انرژی های ورودی ها:

$$n_{CO_2} (\bar{h}_f + \Delta \bar{h})_{CO_2} + n_{O_2} (\bar{h}_f + \Delta \bar{h})_{O_2} + n_{H_2O} (\bar{h}_f + \Delta \bar{h})_{H_2O}$$

$$+ n_{N_2} (\bar{h}_f + \Delta \bar{h})_{N_2}$$

Δh برای هیچ کدام صفر است چون در فرمولی که در جدول آمده است

$$8 (-393522 + 28030) + 37.5 (0 + 19249) + 9 (-241826 + 21892) +$$

$h_f(CO_2)$

$h_f(H_2O)$

$$188 (0 + 18222) = -755769$$

Δh را از جدول برداریم

$$Q_{c.v} = V \quad (\text{kJ})$$



مسئله: مخلوطی از (1 kmol) اتان گازی و (3 kmol) استران (25°C) در حجمی با حجم ثابت واکنش می دهند. با انتقال گرما فرآیند واکنش (600 K) تکمیل می شود. مقدار انتقال گرما را بیابید. در این مسئله حجم ثابت است و فشار ثابت نداریم. در حجم ثابت

کار صفر است بنابراین  $Q = U_p - U_R$   
 از آنجایی که اطلاعات جدول بر اساس  $h$  است باید  $u$  را به  $h$  تبدیل کنیم.  
 $Q = \Delta u$

$H = U + PV$      $h = u + pv$      $h = u + RT$

$\bar{u} = \bar{h} - \bar{R}T$  (منبای موی)     $u = h - RT$  (منبای صریح)

تبدیل (اول برای سیستم بسته) (صبر منترل)  
 $Q - W = \Delta U$      $Q = U_p - U_R$

$Q + \sum_R n(\bar{h}_f + \Delta \bar{h} - \bar{R}T) = \sum_P n(\bar{h}_f + \Delta \bar{h} - \bar{R}T)$

$\sum_R n(\bar{h}_f + \Delta \bar{h} - \bar{R}T) =$  برای واکنش دهنده ها داریم: شرایط مرجع

$= 1(\bar{h}_f - \bar{R}T)_{O_2} + 3(\bar{h}_f - \bar{R}T)_{C_2H_6}$

$= \bar{h}_f|_{O_2} - \bar{R}T|_{O_2} - 3\bar{R}T|_{C_2H_6} = \bar{h}_f|_{O_2} - 4\bar{R}T$

$= 52467 - (4 \times 8.314 \times 298.15) = 42558 \text{ kJ}$      $\bar{h}_f|_{O_2} = 52467$

$\sum_P n(\bar{h}_f + \Delta \bar{h} - \bar{R}T) =$

$= 2(\bar{h}_f + \Delta \bar{h})_{CO_2} + 2(\bar{h}_f + \Delta \bar{h})_{H_2O} - 4\bar{R}T$

$-393522$  (600 K از جدول)     $-241826$  (600 K از جدول)

برای محمولات داریم:  
 معادله اقران اتان را موازنه می کنیم:  
 $C_2H_4 + 3O_2 \rightarrow 2CO_2 + 2H_2O$   
 $2 + \frac{4}{2} = 3$

$$\Delta \bar{h} = \int_{298}^{600} \bar{c}_p dT$$
 اگر مقدار  $c_p$  را دادند با تغییر تپری باید  $\Delta h$  را بدست آورد:

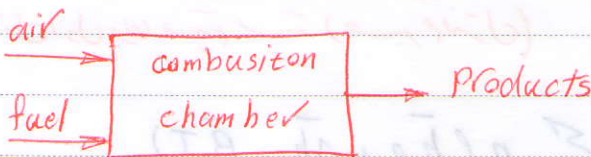
$$\sum_P n(\bar{h}_f + \Delta \bar{h} - \bar{R}T) = 2(-393522 + 12899) + 2(-241826 + 10403) - (4 \times 8.314 \times 600) = -1243927 \text{ kJ}$$

$$Q = -1286477 \text{ kJ}$$

سوفت راهش بر مبنای اصول در نظر میگیریم.

(مای آدیاباتیک شکل)

\* چیزهای بیشترین دمای ضروی را برای



محصولات خواصیم داشت: اگر فرآیند آدیاباتیک باشد و همچنین کاری انجام نشود در این صورت محصولات

بیشترین دما را دارند به آن دمای آدیاباتیک شکل می نویسند. (توان افتراق را نیز می توان از طریق انجام کار از طریق افتراق و یا اختلاف انرژی کاری کنیم به بیشترین میزان افتراق از نظر دمای رسیدیم) که در نمودار قرار:

HP flame و TP flame (شکل)

$$Q - W = \sum n_e h_e - \sum n_i h_i \Rightarrow \sum n_e h_e = \sum n_i h_i$$

$$\sum_P n(\bar{h}_f + \Delta \bar{h}) = \sum_R n(\bar{h}_f + \Delta \bar{h})$$

بر مبنای اصول

هدف پیدا کردن انتالی در فرجه ای است. تمرین: دمای بنویسید که دمای آدیاباتیک شکل را می نویسند.

تعادل شیمیایی: هرگاه تعادلی برای تغییرات ناهمگنی سنت بر زمان وجود نداشته باشد، سیستم تعادل شیمیایی دارد.

تعادل بایدار: اگر تغییر کوچکی در خواص سیستم داده شود و نتواند به حالت اولیه برگردد؛ گوئیم تعادل بایدار دارد.

ملاک تعادل:  $2T - (1500) T$

$\delta Q = du + \delta w$  قانون اول

$ds \geq \frac{\delta Q}{T}$  نتیجه نابرابری کلازیوس  $T ds \geq \delta Q$

$\delta w = P dv$   $\delta Q - du - P dv = 0$

$T ds - du - P dv \geq 0$  رابطه کلی برای هر سیستمی که واکنش انجام می دهد. از این رابطه اثبات می شود انرژی باید افزایش یابد.

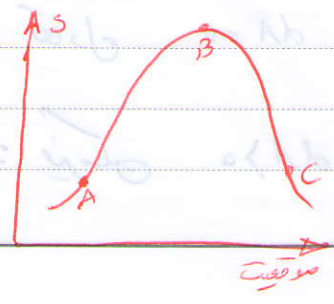
حالت خاص: حجم ثابت، محفظه بسته و با فرض انرژی داخلی بدون تغییر. چون کمترین مقدار دما است.

$T ds - du - P dv \geq 0 \Rightarrow T ds \geq 0 \Rightarrow ds \geq 0$

if  $ds > 0$  then فرآیند خودبخودی و انجام پذیر

if  $ds = 0$  then برگشت پذیر - تعادلی

if  $ds < 0$  then غیر ممکن



A-B : انجام پذیر  
B : تعادلی (شیب صفر)  
B-C : غیر ممکن

تاریخ : 13, 2, 91 بهار

\* اگر دما و حجم و دمای ثابت اتفاق بیافتد تا اثر آن توسط تابع همون بیان می شود

$$A = U - TS$$

اگر از دو طرف معادله دیرفرانسبل کنیم :

$$dA = dU - d(Ts) \Rightarrow dA = dU - SdT - Tds$$

$$dA = dU - Tds$$

دو طرف معادله را در یک عدد صحیح ضرب می کنیم و از دو طرف رابطه مقدار  $PdV$  را کم می کنیم

$$-dA = -dU + Tds$$

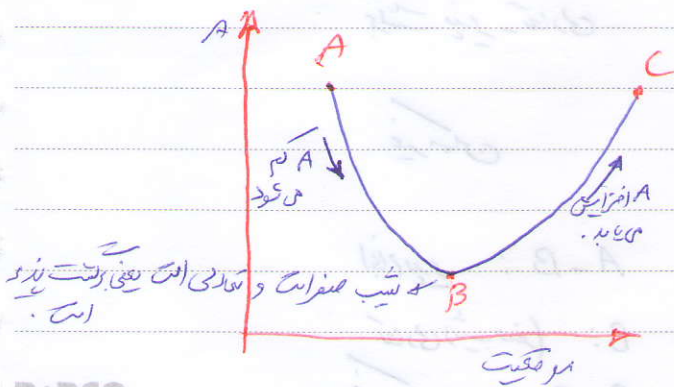
$$-dA - PdV = -dU + Tds - PdV$$

$$\begin{aligned} \delta Q - \delta W &= dU \\ \delta Q - PdV &= dU \\ \delta Q &= PdV + dU \end{aligned}$$

$$-dA - PdV = Tds - \delta Q$$

$$-dA = Tds - \delta Q$$

تا بجا بر کلانوس  $Tds \geq \delta Q \Rightarrow -dA \geq 0 \quad dA \leq 0$



AB : اتفاق دما  $dA < 0$

B : تعادل  $dA = 0$

BC : افزایش  $dA > 0$

\* اگر واکنش در دما و فشار ثابت رخ دهد تا آنکه آن توسط تابع گیبس مورد مطالعه قرار می گیرد.

$G = H - TS \Rightarrow g = h - TS$  تابع گیبس

$dg = dh - d(TS) \Rightarrow dg = dh - Tds - sdT$  (فشار ثابت)

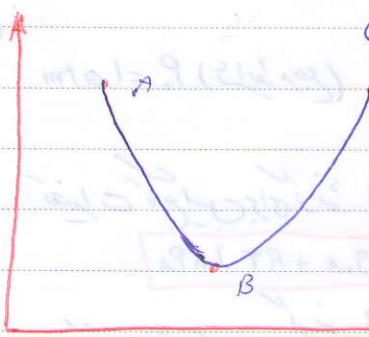
$dg = du + pdv + vdp - Tds$  (فشار ثابت)

$(h = u + Pv)$   
 $dh = du + d(Pv)$   
 $dh = du + PdV + vdp$

$dg = du + pdv - Tds$  در یک منفی ضرب می کنیم:

$-dg = -du - pdv + Tds$  شماره زیر و معادل واکنش

$-dg \geq 0 \quad dg \leq 0$



AB :  $dg < 0$  اتفاق واکنش، برکت ناپذیری و واقعی  
B :  $dg = 0$  تعادل واکنش، برکت پذیر  
BC :  $dg > 0$  غیر ممکن - چون روابط کمورین میک، انقباض می کند.

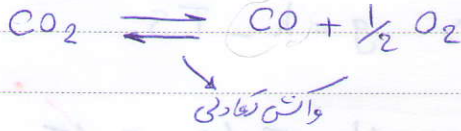
تغادل واکنش اگر بتوان محصولات واکنش را بعد از اصرار برکت داد تولید تعادل واکنش می کند.

1)  $ds = 0$     2)  $dg = 0$     3)  $da = 0$     ← شرط تعادل واکنش ها:

1)  $ds > 0$     2)  $dg < 0$     3)  $da < 0$     ← شرط انجام واکنش ها:

1)  $ds < 0$     2)  $dg > 0$     3)  $da > 0$     ← شرط غیر ممکن بودن واکنش ها:

**انفکاز:** وقتی که دمای محصولات احتراق بسیار بالا باشد خود بخود تجزیه می گردد که برای پدیده انفکاز گویند.  
 یک نمونه از واکنش های انفکازی می توانیم  
 کریک گوئیم می شود.



$$\int_{g_0}^g dg = \int_{P_0}^P v dp$$

می توان ثابت کرد در دمای ثابت:

$$PV = RT$$

$$v = \frac{RT}{P}$$

$$g - g_0 = \int_{P_0}^P RT \frac{dP}{P}$$

$$g - g_0 = RT \ln \frac{P}{P_0}$$

تغییرات تابع گیبس ←



\* برای محاسبه واکنش تابع گیبس با

می نویسیم:

$$g - g_0 = RT \ln P$$

موضوع:  $P_0 = 1 \text{ atm}$  (در رابطه مریض) ←

$$g_A - g_{0,A} = RT \ln P_A$$

تغییرات تابع گیبس برای گونه A

$$g_A = g_{0,A} + RT \ln P_A$$

گونه B

$$g_B - g_{0,B} = RT \ln P_B$$

$$g_L - g_{0,L} = RT \ln P_L$$

گونه L

$$g_M - g_{0,M} = RT \ln P_M$$

گونه M

می خواهیم بررسی کنیم آیا واکنش نوشته شده تبادلی است یا نه. برای این منظور تغییرات تابع گیبس را مورد بررسی قرار می دهیم تا اگر برابر صفر شد می گوئیم تبادلی است.

تغییرات تابع لیسین  $\Delta G = G_P - G_R$

(مع حاصلات متغی)

مع واکنش در حده ها  $\Delta G = (\ell g_L + m g_m) - (a g_A + b g_B)$

$$\Delta G = \left[ \ell (g_{\cdot L} + RT \ln P_L) + m (g_{\cdot M} + RT \ln P_M) \right] -$$

$$\left[ a (g_{\cdot A} + RT \ln P_A) + b (g_{\cdot B} + RT \ln P_B) \right]$$

$$(\Delta G_0 = \ell g_{\cdot L} + m g_{\cdot M} - a g_{\cdot A} - b g_{\cdot B})$$

$P_A$ : فشار جزئی نیتروژن A

$P_B$ : فشار جزئی نیتروژن B

$$\Delta G = \Delta G_0 + RT \ln \frac{P_L^\ell P_M^m}{P_A^a P_B^b}$$

رابطه اصلی تغییرات تابع لیسین برای تمام واکنش ها

شرط تعادل واکنش  $\Delta G = 0$  آن وقت برقرار است:

$$-\Delta G_0 = RT \ln \frac{P_L^\ell P_M^m}{P_A^a P_B^b}$$

بنابراین تعریف می کنند:

$$K = \exp\left(\frac{-\Delta G_0}{RT}\right)$$

$f(x) = \exp(x) = e^x$

$$K = \frac{P_L^\ell P_M^m}{P_A^a P_B^b}$$

$g_{\cdot O_2} = 0$

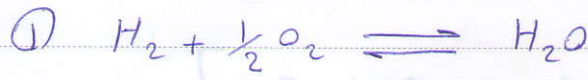


g برای گازها و اتم‌های مولکول مشترک هم فرمالت

اگرچه در مسئله 105 کیلوگرم است:  
 $P_i = X_i P$   $P_{H_2O} = \frac{2}{10.52} \times 10.5$

$$\Delta G_0 = g_{CO_2} + 2g_{H_2O} - g_{CH_4}$$

و به سبب  $\Delta G_0$  می‌توان K را بدست آورد.



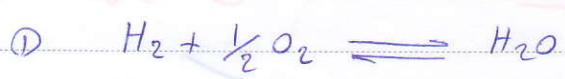
حالت 1

$$K_1 = \frac{P_{H_2O}}{P_{H_2} \cdot P_{O_2}^{1/2}}$$



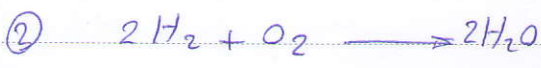
$$K_2 = \frac{P_{H_2} + P_{O_2}^{1/2}}{P_{H_2O}}$$

نکته: اگر جهت انجام فرآیندی عوض شود ثابت تعادل معکوس می‌گردد:  
 $K_1 = \frac{1}{K_2}$



$$K_1 = \frac{P_{H_2O}}{P_{H_2} + P_{O_2}^{1/2}}$$

حالت 2



$$K_2 = \frac{P_{H_2O}^2}{P_{H_2}^2 + P_{O_2}}$$

$$K_2 = K_1^2$$

توجه: اگر تعداد مول‌ها در دو طرف معادله برابر باشد (تعداد گازها) را a بگوییم ثابت تعادل معادله جدید بتواند به توان a برسد.

مثال: تجزیه تعادلی یا انفجار  $CO_2$  را با تغییر دما و فشار در نظر بگیرید:



گرمای صحرایی  $CO_2$  ،  $CO$  ،  $O_2$  در دماهای 1500 K ، 2000 K ، 2500 K  
 و فشارهای 0.1 ، 1 ، 10 ، 100 atm (به سبب ثابت تعادل):



(25)

Subject:

Year. Month. Date. ( )

حالت مورد بررسی: (2500 K ، 1 atm) در حال به 16 حالت حاصل کنیم:

$X_{CO_2}, X_{CO}, X_{O_2} = ?$

کسر مولی حاصلی را که خواسته عبارتند از:

بنابراین برای سه ماده 3 معادله بنویسیم:

مقادیر ضریب تعادل را برای این سه معادله بنویسیم

$$K = \frac{(P_{CO})^1 \cdot (P_{O_2})^{1/2}}{(X_{CO_2} \cdot P)^1} = \frac{(X_{CO} \cdot P)^1 \cdot (X_{O_2} \cdot P)^{1/2}}{(X_{CO_2} \cdot P)^1}$$

$P_i = x_i P$  اثره دالتون

$$P_{CO} = X_{CO} \cdot P \Rightarrow K = \frac{X_{CO} \cdot X_{O_2}^{1/2}}{X_{CO_2}} \cdot \left(\frac{P}{P_0}\right)^{0.5}$$

طبق ششم: 27, 2, 91؛ چهارمین

$$K = \exp\left(\frac{-\Delta G_0}{RT}\right)$$

K را از منابع گیس هم می‌توانیم برد:

$$\Delta G_0 = \left(\frac{1}{2} g_{O_2} + 1 g_{CO} - 1 g_{CO_2}\right) =$$

$$\Delta G_0 = (1 \times (-327245) - (-396152)) = 68907 \frac{kg}{kmol}$$

$$K = \exp\left(\frac{-68907}{8.314 \times 2500}\right) = 0.03635$$

$$0.03635 = \frac{X_{CO} \cdot X_{O_2}^{1/2}}{X_{CO_2}} \quad (I) \text{ 27, 2, 91}$$

نوع نوشتن معادله برای واکنش‌های شیمیایی:

$$\frac{\text{تعداد اتم‌های اکسیژن}}{\text{تعداد اتم‌های کربن}} = \frac{4}{2} = 2 = \frac{X_{CO} + 2X_{CO_2} + X_{O_2}}{X_{CO_2} + X_{CO}} \quad \text{معادله (II)}$$

تعداد گونه‌های کربن در آن اکسیژن وجود دارد را به صورت کربن می‌نویسیم و بر کربن گونه‌هایی که در آن کربن دارند تقسیم می‌کنیم. این یک معادله کربنی است.

معادله سوم: اگر از تعریف خود کربن استفاده کنیم:

$$X_{CO_2} = \frac{n_{CO_2}}{n_{CO} + n_{O_2} + n_{CO_2}}$$

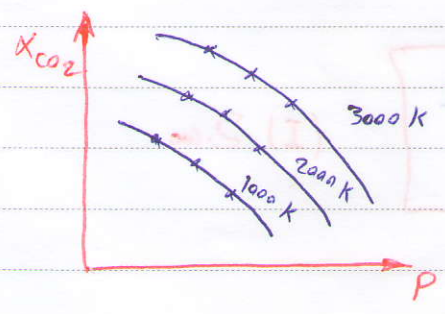
$$X_{CO} = \frac{n_{CO}}{n_{CO} + n_{O_2} + n_{CO_2}}$$

$$X_{O_2} = \frac{n_{O_2}}{n_{CO} + n_{O_2} + n_{CO_2}}$$

$$X_{O_2} + X_{CO_2} + X_{CO} = 1 \quad \text{معادله سوم (III)}$$

با تغییرات شرایط (های و فشار فقط در رابطه) فشار  $P$  مورد نظر را جایگزین می‌کنیم و در رابطه (های مورد نظر را جایگزین می‌کنیم).

$$X_{CO} = 0.1210 \quad X_{CO_2} = 0.8185 \quad X_{O_2} = 0.0605$$



این مثال را برای تمامی حالتها باید بتوانیم کربن و کربن می‌نویسیم.

(27)

Subject:

Year. Month. Date. ( )

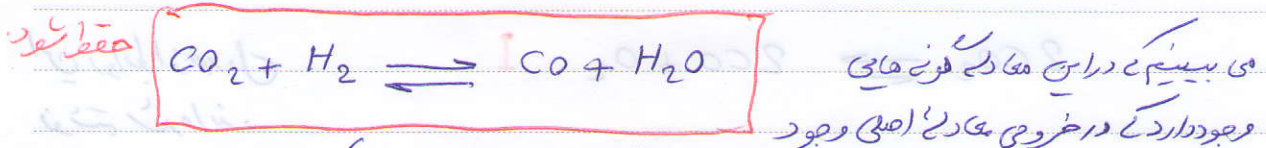


$\alpha, \beta, \gamma$  معلوم هستند.



مجموعه معادلات موازنه دار:  $a, b, c, d, F$ . پنج مجهول داریم ولی 4 اتم (کربن) برای نوشتن موازنه داریم که 4 معادله بدست می آید که نیاز به نوشتن معادله ای دیگر احساس می شود. در جدول A-10 که مودینیک تعدادی از واکنش های تعدادی نوشته شده است و بر حسب دما K راداره است. باید ببینیم که کدام واکنش است که تمامی کربن های موجود در خروجی در آن واکنش وجود دارد. یکی از این واکنش ها واکنش آب-گاز است:

واکنش آب-گاز: *water-gas reaction*



آب مقدار کربن ها در معادله انتخابی کمتر از مقدار کربن های خروجی بود مگر این معادله انتخابی که فقط 4 کربن در خروجی را پوشش می دهد و  $N_2$  ندارد. با قرار دادن  $N_2$  در کنار این معادله مشکل را برطرف می کنیم.

$$K = \frac{X_{CO} + X_{H_2O}}{X_{CO_2} + X_{H_2}}$$

معادله کربن



(معلوم)

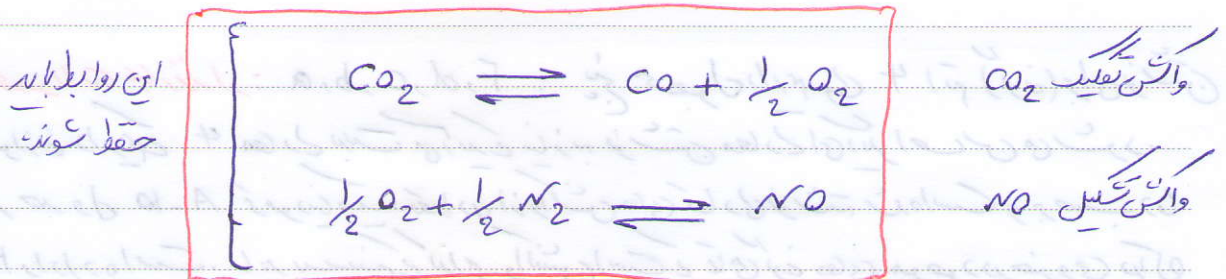
$e, d, c, b, a = ?$  پنج تا مجهول داریم در صورتی که سه تا اتم داریم پس معادله از کربن کافیست می آوریم. نیاز به نوشتن موازنه جدول A-10 رو نگاه کن. انتخاب کنیم یا از معادله های آکسیداسیون استفاده کنیم.

$c \Rightarrow$  موازنه کربن  $1 = a + c$   $c = 1 - a$  I

$0 \Rightarrow$  موازنه اکسیژن  $3 = a + b + 2c + 2d$   $d = \frac{1}{2}(1 + a - b)$  II

$$N \Rightarrow 1 = b + 2e \quad e = \frac{1}{2}(1-b) \quad \text{III}$$

۲ معادله کنگی باید نوشته شود:



گاهی اوقات در مسئله شرایط ورودی تابع مای دههز مثلاً  
بر اساس این شرایط پیش برویم.  
3000 K و 1 atm



این روابط از جدول نوشته شده اند.



$$\text{III} \quad K_1 = \frac{x_{\text{CO}}^2 \cdot x_{\text{O}_2}}{x_{\text{CO}_2}^2} = 2.217 \quad K_1(3000\text{K}) = 2.217$$

$$\text{IIII} \quad K_2 = \frac{x_{\text{NO}}^2}{x_{\text{O}_2} \cdot x_{\text{N}_2}} = 4.205 \quad K_2(3000\text{K}) = 4.205$$

$$n_{\text{tot}} = a + b + c + d + e \quad \text{تعداد مول کل}$$

$$n_{\text{tot}} = a + b + (1-a) + \frac{1}{2}(1+a-b) + \frac{1}{2}(1-b)$$

$$n_{\text{tot}} = \frac{(4+a)}{2}$$

(29)

Subject:

Year:      Month:      Date:      ( )

$$(X_{CO}) \quad X_{CO} = \frac{a}{\frac{4+a}{2}} = \frac{2a}{4+a}$$

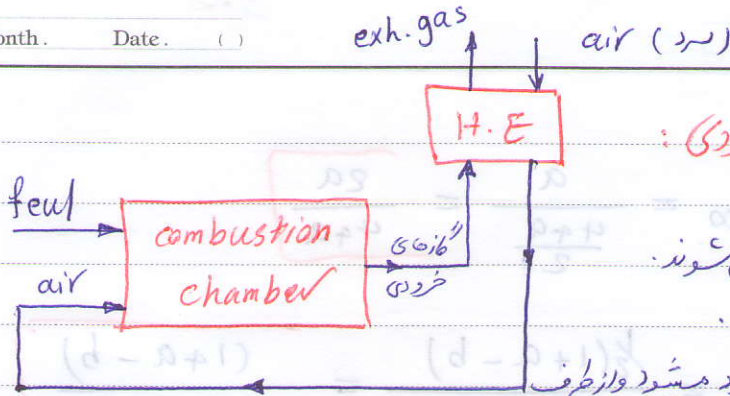
$$X_{O_2} = \frac{d}{\frac{4+a}{2}} = \frac{\frac{1}{2}(1+a-b)}{\frac{4+a}{2}} = \frac{(1+a-b)}{4+a}$$

$$X_{NO} = \frac{2b}{4+a}$$

$$X_{N_2} = \frac{(1-b)}{(4+a)}$$

$$X_{CO_2} = \frac{1-a}{\frac{4+a}{2}}$$

این گرمی های بیش آمده را در  $K_1$  و  $K_2$  جایگزاری می کنیم و دو معادله بر حسب  $a$  و  $b$  بدست می آوریم. با حل این معادله مقدار برابر سه معادله اول جایگزاری می کنیم و محسول را بدست می آوریم.



پیش گرمایش هوای ورودی:

سوفت و هوا دارد محقق می شوند.

و در خروجی گازهای داغ داریم.

در مبدل حرارتی هوای سرد وارد میشود و از طرف

دیگر هوای داغ گازهای خروجی وارد مبدل می شود

تا هوای سرد ورودی به محقق گرم شود تا اثرات افتراق بهتر شود.

یکی از روش های مهم در بهبود کیفیت افتراق (بالا بردن دمای آدیاباتیک و افزایش راندمان) پیش گرمایش هوای ورودی می باشد.

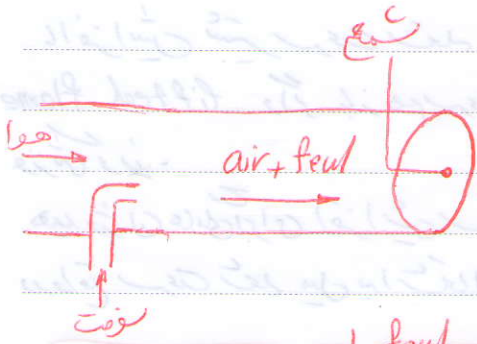
در بسیاری از کاربردهای عملی در مناطق کوهستانی و سردسیر از هیتر (Heater) برای پیش گرمایش هوا استفاده می شود. اما بهره گیری از هیتر موجب افزایش هزینه ها مصرف می گردد. در نتیجه اگر بتوانیم از گرمای گازهای خروجی استفاده کنیم شاهد افزایش راندمان افتراق و کاهش هزینه های مصرف خواهیم بود.

تقریباً: کپولن شان داده شده در شکل با گاز متان کاری کند. کوره در فشار اتمسفر و با نسبت هم ارزی 0.9 کاری کند. متان با دمای  $298\text{ K}$  وارد کوره می شود و هوا قبل از ورود به کوره در مبدل حرارتی پیش گرم می شود.

افتخ: تأثیر پیش گرم کردن هوای ورودی بر روی دمای آدیاباتیک شعله را برای نسبت دمای هوای ورودی از  $298\text{ K}$  تا  $1000\text{ K}$  بررسی کنید. (حر 290 یکی)

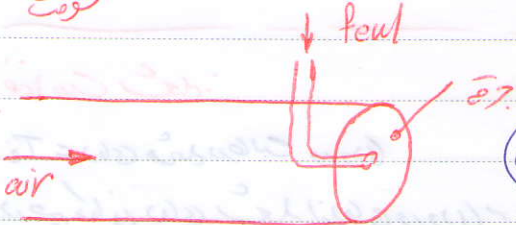
ب) درصد کاهش سوفت را از پیش گرمایش هوا از  $298\text{ K}$  تا  $6000\text{ K}$  حساب کنید.

- انواع سفلها در افتراق:
- (1) پیش آمیخته
  - (2) غیر پیش آمیخته
  - (3) پیش آمیخته جزئی



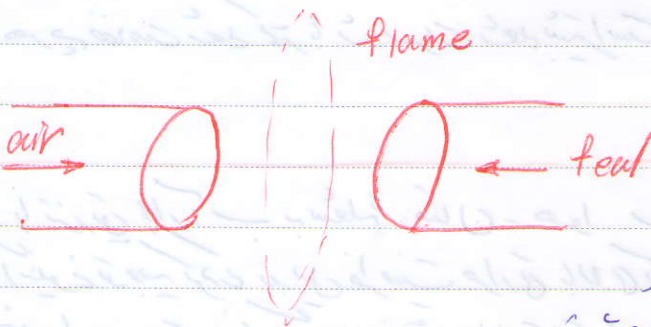
1) حالت پیش از منفج (موتورهای بنزینی)

خطر انفجاری است.



2) حالت غیر پیش از منفج (اجاق گاز موتور دیزل)

خطر انفجاری است.

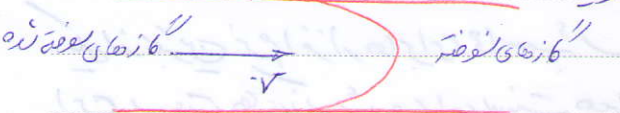


3) حالت پس از منفج (جنزینی)

سوزش و هوا از مجراهای جداگانه ورودی است و پس از مخلوط شدن و ایجاد جرقه مشتعل می شود.

حالتی هفتم؛ 3، 3، 3، 1، 1، 1، 1

صیغه شعله: سطح انرژی بین شعله و گازها

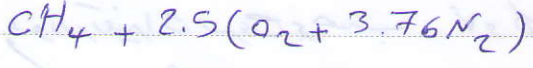


سوخته شده و در شعله های پس از منفج آرام می شود.

سرعت شعله: به سرعت پیش روی شعله در

لبه احتراق گازهای سوخته سرعت شعله

کمیتر. سرعت شعله عموماً یکنواخت است.



احتراق مثال در نسبت هم ارزی 0.8

$X_{CH_4} = \frac{1}{1+11.9} = \frac{1}{12.9} \approx 0.08$

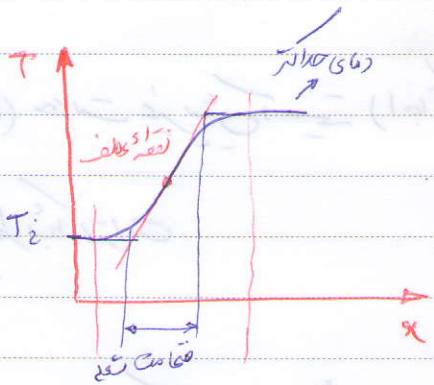
$X_{O_2} = 2.5 \times 0.08 = 0.2$

$X_{N_2} = \frac{3.76 \times 2.5}{12.9}$

$X_{O_2} + X_{N_2} + X_{CH_4} = 1$

با افزایش بیشتر سرعت شعله، شعله از نوک لوله فاصله گرفته که به آن شعله بر فاصله می‌گویند. *Lifted flame* و اگر باز هم سرعت را بیشتر کنیم شعله ناپدید می‌شود و خاموش می‌شود به آن خاموشی می‌گویند.

همدوشی عاملی برای افزایش سرعت شعله و یا بخار آب سرعت شعله را کاهش می‌دهد. در واقع سرعت شعله میل به اشباع می‌شود.



**مقاومت شعله:**

$T_2$  = دمای ورودی محلول در حالت ورودی

در چه مکانی دمای شعله از دمای ورودی به دمای محلول کمتر می‌رود.

هر چه مقاومت شعله کمتر باشد سرعت شعله بیشتر است.

با تزریق بخار آب به شعله میان هوا و سرعت شعله کاهش می‌یابد. علت این می‌تواند اینست که توجه کردن بدلیل فرسایش حرارتی بالای آب در ضمن اقیانوس بخار آب موجود در مخلوط ورودی بخشی از حرارت ناشی از اقیانوس را جذب می‌کند، و منجر به انجام واکنش را کاهش می‌دهد. سرعت اقیانوس میان در حالت تزریق برابر است با

$v = 39.8 \text{ cm/s}$  میان آرزو می‌شود  $v = 42 \text{ cm/s}$  میان (تئوری)

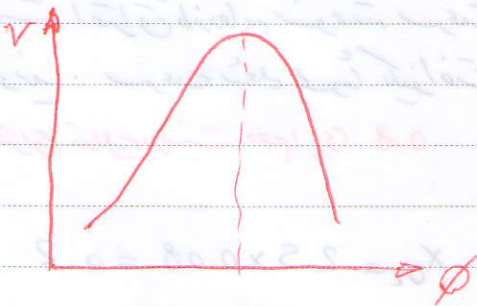
یکی از بزرگترین نرم افزارها برای محاسبه سرعت شعله نرم افزار (chem kin) می‌باشد.

این سرعت های ذکر شده برای نسبت هم ارز می‌باشد.

$\phi$  نوشته شده است.

منو در تغییرات سرعت بر حسب  $v$  و  $\phi$  بدین

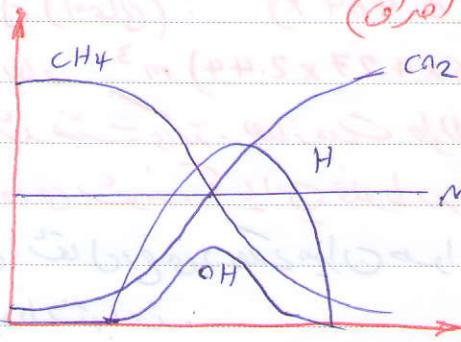
شکل می‌باشد.



$1 = 4H_2O + 2H_2 + 5O_2$



مقدار مقایسه گونه‌ها در ورودی و خروجی (مفهوم احتراق)



- CH4 → در ورودی است ولی در خروجی کم می‌شود
- CO2 → در ورودی نیست - در خروجی است
- N2 → هم در ورودی و هم در خروجی است
- H → نه در ورودی - نه در خروجی ولی به واسطه واکنش‌ها کم می‌کند

حدود اشتعال پذیری: از لحاظ تجربی ثابت شده است که در سطح فقط این دو نمایی مشخص از نسبت هم‌ارزی می‌توانند منتشر شوند.

Rich سوخت  $\langle \phi \rangle$  محدوده اشتعال  $\langle \phi \rangle$  کم سوخت  $\phi < 1$  Lean

سرعت احتراق هیدروژن در حدود  $2.4 \text{ m/s}$  است و عمده‌ترین احتراق هیدروژن با احتیاج

همراه است. برای سوخت‌های متفاوت از لحاظ آکسیژن‌گامی می‌توان حدود بالا و پایین را تعریف کرد.

میان  $\text{CH}_4 \rightarrow \phi_{\min} = 0.46 < \text{CH}_4 < \phi_{\max} = 1.64$

میان  $\text{C}_3\text{H}_8 \rightarrow \phi_{\min} = 0.51 < \text{C}_3\text{H}_8 < \phi_{\max} = 2.83$

میان  $\text{H}_2 \rightarrow \phi_{\min} = 0.14 < \text{H}_2 < \phi_{\max} = 2.54$

میل به واسطه هیدروژن از میان دیگر میان بیشتر میل به واسطه میان از پروپان بیش است. در هیدروژن می‌بینیم که در  $\phi$  پایین مشتعل می‌شود و این افزایش سرعت در هیدروژن به همین خاطر است.

سؤال (استحالی):  $0.464 \text{ kg}$  پروپان از سیتیلرک دارای نشتی می باشد برآنها  
 به ابعاد  $(3.66 \times 4.27 \times 2.44) \text{ m}^3$  که در دمای  $20^\circ \text{C}$  و فشار  $(1 \text{ atm})$   
 می باشد نشت می کند. معادله طولانی پروپان و هوا در اوضاع کاملاً با هم دیگر  
 مخلوط می شوند. آیا این مخلوط در اتاق قابل اشتعال است؟  
 زمانی اشتعال رخ می دهد که میزان هوا و سوخت بر اندازه های مناسب باشد این اندازه را می توان  
 وجود داشته باشد.

رابطه گاز در این حالت:

$$PV = mRT$$

$$P_F (\text{فشار سوخت}) = \frac{m_f \left( \frac{\bar{R}}{M_{wf}} \right) T}{V_{\text{room}}} = \frac{0.464 \times \left( \frac{8.314 \times 10^3}{44} \right) \times 293}{3.66 \times 4.27 \times 2.44}$$

$$P_F = 672.3 \text{ Pa}$$

$$(12 \times 3) + (1 \times 8) = 44 \quad H=1 \quad C_3H_8$$

$$C=12$$

گرمولی سوخت را باید حساب کنیم:

$$X_{\text{fuel}} = \frac{n_i}{n} = \frac{P_i}{P} = \frac{672.3}{101325}$$

$$X_i = \frac{n_i}{n} = \frac{P_i}{P} = \frac{V_i}{V}$$

$$X_{\text{fuel}} = 0.00664$$

$$P_{\text{air}} = P_{\text{mix}} - P_{\text{fuel}} = 101325 - 672.3 =$$

$$P = 1 \text{ atm} \quad \text{بالا، پایین}$$

$$\sum X_i = 1 \Rightarrow X_{\text{fuel}} + X_{\text{air}} = 1$$

$$X_{\text{air}} = 1 - 0.00664 = 0.99336$$

گرمولی هوا

هر چه دمای آتان بیشتر باشد احتمال اشتعال پذیری شود زیرا فت را افزایش یافته و گرمتری  
سوفت هم افزایش می یابد.

$$AF_{ac} = \frac{m_a}{m_f} = \frac{n_a \times M_a}{n_f \times M_f} = \frac{n_a}{n_f} \times \frac{M_a}{M_f} = \frac{\frac{n_a}{n}}{n_f} \times \frac{M_a}{M_f}$$

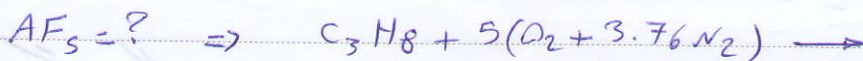
$$= \frac{x_a}{x_f} \times \frac{M_a}{M_f} = \frac{0.99336}{0.00664} \times \frac{28.85}{44} = 98.22$$

$$M_a = (0.79 \times 28 + 0.21 \times 32) = 28.85$$

$$N_2 = 28, O_2 = 32$$

$$\phi = \frac{AF_s}{AF_a} = \frac{FA_a}{FA_s} = \frac{15.6}{98.22} = 0.158$$

مثبت تر شود



تعداد مول هوا

$$AF_s = \frac{5 \times 4.76}{1} \times \frac{28.85}{44} = 15.6$$

تعداد مول هوش

تمرین: برای آنکه مخلوط منفجر شود دمای آتان را تا چه حد باید بالا ببریم:  
برای اینکه افتراق انجام شود  $\phi = 0.51$  را در نظر گرفته و عکس شده قبل حل می کنیم.

نت: می توان حدود اشتعال پذیری را برای مخلوط از گازها بدینگونه کرد:

$$\phi_{min} = \frac{100}{\frac{P_1}{N_1} + \frac{P_2}{N_2} + \dots} \quad \phi_{max} = \frac{100}{\frac{P_1'}{N_1'} + \frac{P_2'}{N_2'} + \dots}$$

$P_1$  و  $P_2$  درصد گازهای قابل افتراق هستند و  $N_1$  و  $N_2$  حدود اشتعال پذیری یا  $N_1$  هر گاز

و  $N_1$  و  $N_2$  حدود استعمال نیتروژن بالای هر کار

متری: آر 25% پروپان و 75% بوتان در محدوده خلوط شوند حدود استعمال نیتروژن باقی و بالای آنها را بدین آورید:

موش های کنترل آلاینده های ناشی از احتراق: اکسیدهای نیتروژن  $NO_x$

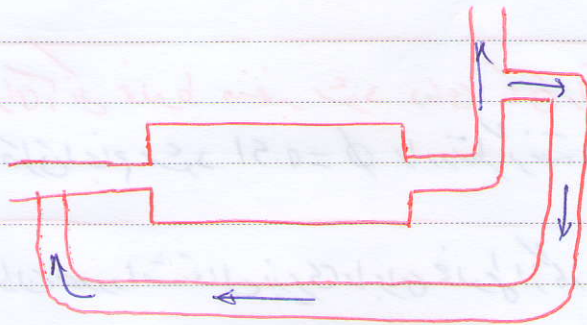


روش های کنترل: (1) چرخش کردن خلوط جریان ورودی به احتراق Swirl air

(2) افتق کردن سوخت ورودی با نیتروژن یا آب یا دی اکسید کربن fuel dilution

(3) برگشت گازهای خروجی به حلقه احتراق Fuel gas recirculation

(4) مدل های گابلسی



کلاس هشتم ؛ 10، 2، 1، 9 ؛ یکشنبه

روش های کنترل آلاینده های محیط زیست :

	CO	} همگروه آلاینده های افراتون :
← اثرات سموم سیدریک ندر می است	CO <sub>2</sub>	
← مضرترین آلاینده که تأثیر مستقیم بر روی سلامتی دارد	NOx	
← عامل اصلی مسطحان است و با تخریب لایه اوزون	PM	
	Soot	
	UHC	
	SOx	

طریقه شکل گیری آکسیدهای نیتروژن :

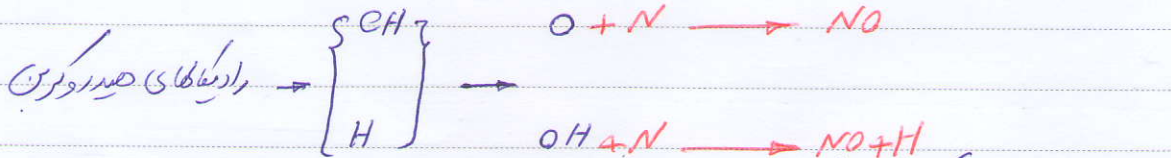
NO ( 40% فوری ،  
50% زلوعی ،  
10% سوخت )

\* NO (فوری) (فنیفور) Prompt NO  
\* NO حرارتی (زلوعی) Thermal NO  
NO سوخت Fuel NO

NO → ( 40% فوری ، 50% زلوعی ، 10% سوخت )

NO می تواند مفرمان به هر سه طریق شکل بگیرد و یا می تواند در نقطه ای خاص فقط از یک طریق شکل بگیرد. مثلاً زمانی NO فوری بوجود می آید که افراتون غنی، یعنی مخلوط غنی داشته باشیم و در سبب های هم ارز با بالا بوجود می آید.

رادیکالها : گونه های آزادی هستند و واکنش پذیری بالایی دارند. CH-H

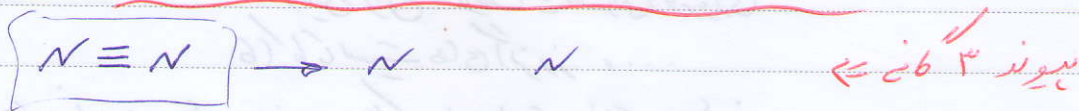
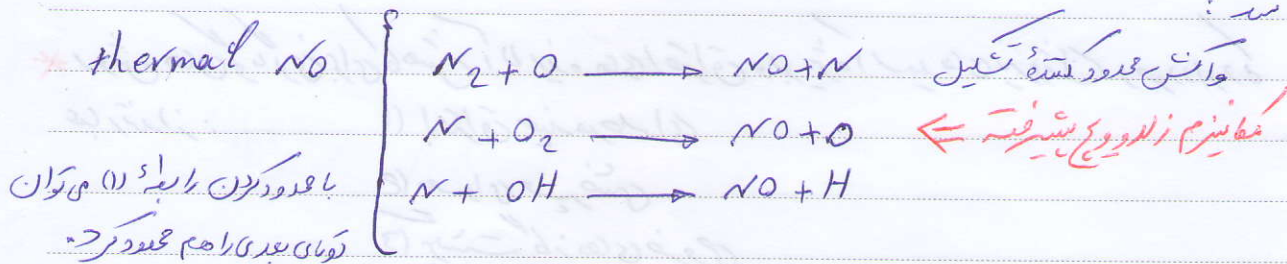


رادیکالهای هیدروکربن با اکسیژن واکنش می دهند.

در شرایط صنعتی و عملی از آنجایی که احتراق بر سوخت یا غنی مقرون به صرفه نمی باشد  
 همواره در اکثر کاربردهای عملی شاهد احتراق فقیر خواهیم بود که در این شرایط فرصت برای  
 (در نیروگاه ها نسبت هم آزری بین 0.8 الی 0.9 می باشد) تشکیل NO فوری مهیا  
 نمی باشد.

**NO سوخت:** در داخل ترکیبات سوخت مثل گازوئیل مقدار کمی نیتروژن وجود دارد. زمانی  
 که سوخت مشتعل می شود NO سوخت بوجود می آید.

سوخت های گازی حاوی نیتروژن نمی باشند (بر خلاف سوخت های مایع) در نتیجه NO  
 سوخت تشکیل نمی شود. در حالت کلی با توجه به اینکه بالا می توان دریافت در احتراق  
 کوره های صنعتی با سوخت گازی NO سوخت و NO فوری زیاد است و کل NO فوری  
 از محضه احتراق را NO حرارتی تشکیل می دهد که در زیر به روش های تولید آن اشاره خواهد  
 شد:



از بین بردن پیوند ۳ گانه خیلی مشکل تر است از  
 پیوند دوگانه و پیوند هارمی توان اعمال گرما از بین برد.  
 (مای احتراق باید آنقدر بالا باشد تا بتواند پیوند ۳ گانه  $N \equiv N$  را شکند)

ثابت های واکنش  $A$

$$[NO] = k_1 k_2 e^{\alpha T} [N_2] [O_2] \cdot t$$

t = زمان  
T = دما

غلظت  $NO$  بر دما، زمان، غلظت  $O_2$  و غلظت  $N_2$  وابسته است که اثر آن خیلی زیاد است زیرا در توان قرار دارد.

هرکاری را که برای کنترل آلاینده ها انجام می دهیم رابطه ای عکس با آنندمان دارند.

\* با توجه به معادلات شریفه؛ زلدوویچ و غلظت  $[NO]$  مستقیم یا رابطه در تشکیل  $NO$   $T$  (دما) می باشد به همین دلیل به آن  $NO$  حرارتی گویند.

در دماهای بالای  $(1500^\circ K)$  به ازای هر  $40^\circ$  کاهش دما تشکیل  $NO$  حرارتی  $1.50$  کاهش می یابد در نتیجه تمامی روش هایی که برای کاهش آلاینده  $NOx$  استفاده می شود بر پایه کاهش دما می باشد.

$t$ : زمان ماند؛ مدت زمانی که طول می کشد واکنش های بالا تشکیل شود (مدت زمانی که نیتروژن، اکسیژن و  $OH$  در کنار هم می مانند)

\* روش های نوآوری برای کاهش آلاینده های احتراق و به ویژه اکسیدهای نیتروژن وجود دارد که عبارتند از:

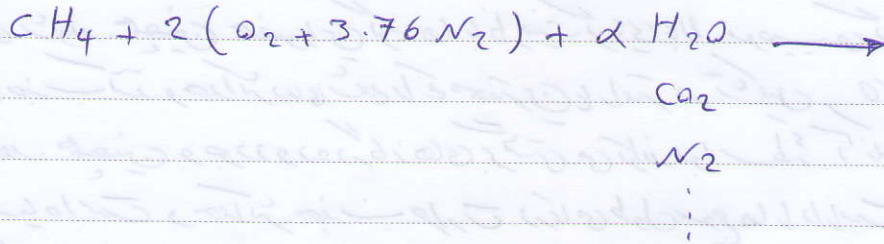
- 1) احتراق چند مرحله ای
- 2) هوای غیر فشرسی
- 3) برکت گازهای خروجی
- 5) رفیق کردن سوخت یا هوای ورودی
- 6) کاتالیزهای آگزوز

روش های نامبرده شده خود به شکل زیر طبق بندی می شوند:

- 1) پیش از احتراق: (روش  $Oxy-Fuel$  یا دوکان سوخت)
- 2) صین احتراق: برکت گازهای خروجی، رفیق سازی سوخت ورودی، جوشن کردن جوی، احتراق مرحله ای
- 3) پس از احتراق: تبدیل کاتالیزتی و ...

روش های کنترل آلاینده ها:

رغبت سازی سوخت ورودی:



$\alpha$  مول  $H_2O$  در صورت ورودی اضافه گرم

با اضافه کردن  $\alpha$  پارامتر:

$$X_{O_2} = \frac{2}{1 + (2 \times 4.76) + \alpha}$$

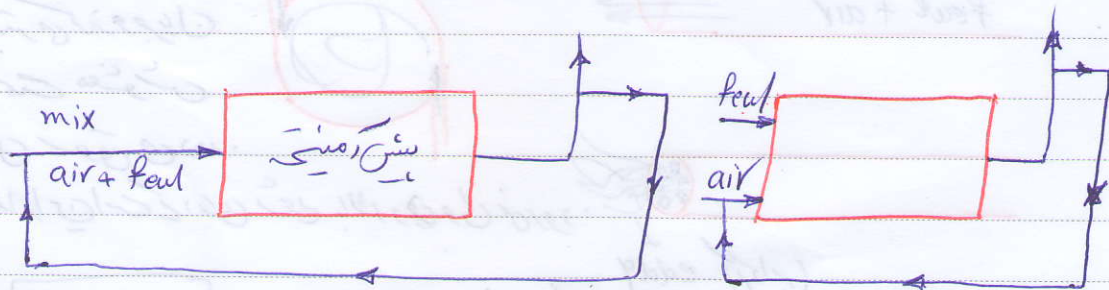
می بینیم که  $X_{O_2}$  کاهش یافته است

همچنین  $X_{N_2}$  هم کاهش می یابد. همچنین در مابقی پارامترها:  $[O_2]$   $[N_2]$

ظرفیت گرمایی آب بالاست و گرمای زیادی از سطح می گیرد و  $T$  را کاهش می دهد  $\downarrow T$   $\downarrow t$   
در نتیجه  $[NO]$  کاهش می یابد.

همچنین ظرفیت حرارتی  $CO_2$  هم بالاست و باعث کم شدن پارامترها می شود.  
اگر  $N_2$  را اضافه کنیم بیوندرین  $N_2$  ها عکس می گردند و از طرف غلظت  $[O_2]$  کم آید  
کنده است کاهش می یابد و ...

بازگشت گازهای فروری (Fuel gas recirculation) FGR



در فروری  $N_2$  /  $H_2O$  /  $CO_2$  در سطح رفیق کنده می شود.



مهمترین گونه های موجود در گازهای خروجی  $CO_2$  ،  $H_2O$  ،  $N_2$  می باشد که هر سه نوع رقیق کننده می باشند. موجب کاهش غلظت آکسیژن ورودی، کاهش زمان ماند، می شوند. همچنین حضور این گونه ها با ظرفیت گرمایی بالا موجب می گردد حرارت ناشی از احتراق را جذب کنند و حداکثر دمای شعله را که مهمترین پارامتر در تشکیل  $NO$  بوده است کاهش دهد. همچنین وجود دوده در گازهای برگشتی می تواند بواسطه آنکه دوده تقریباً بی حجم سیاه است و حداکثر جذب حرارت در تمامی طول موج ها را داراست، موجب کاهش دمای شعله شود.

**مقایسه FGR در رقیق کننده:** اگر چه FGR نوعی رقیق سازی است اما بدلیل آنکه از گونه های خروجی بعنوان گازهای رقیق کننده مصرف و برداری می کنند، هزینه های کمتری داشته و همچنین بدلیل بیش گرمایش هوای ورودی، کاهش در رانندگی الکتریکی رانندگی بر روش رقیق سازی انجام می دهد.  
در گره ها کمی از راه های افزایش رانندگی بیش گرم کردن هوای ورودی است.

EGR (برای سوکوره های احتراق داخلی) ← سرد  
FGR (برای سوکوره ها) ← گرم

**هوای چرخشی (جریان تقوژی): swirl air**



eddy (گرداب)

FGR داخلی می گویند.

