

### SINAVDA UYMANIZ GEREKEN KURALLAR:

- 1) Her ne amaçla ve hangi düzeyde olursa olsun aranızda kesinlikle konuşmayınız.
- 2) Kalem, kalem ucu, silgi, hesap makinesi, kitap, defter vb. şeylerin alış-verişini yapmayınız.
- 3) Cep telefonlarınız kapalı (hatsız) olarak, çantanızda veya cebinizde olacaktır.
- 4) Sınav boyunca yalnız bir kitap açık olabilir.
- 5) Görsel hafızası olan hesap makinaları kullanamazsınız.
- 6) Kopya çektiğiniz tespit edildiği takdirde gerekli işlemler sınav sonrasında yapılacaktır.

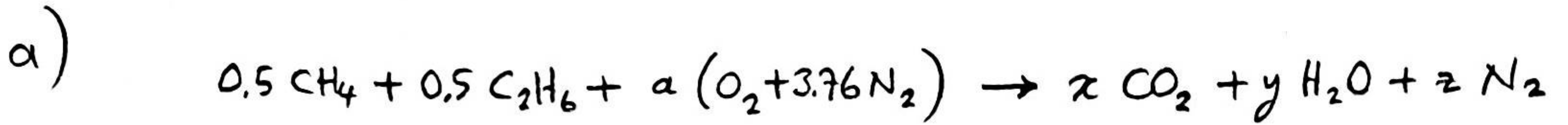
### MAK 411 Yanma Teorisi Arasınav Soruları

- 1) Başlangıçta standart koşullardaki bir çevre ile ısı denge halinde olan, dış ortama tamamen kapalı bir tank içinde bulunan metan ve kuru hava karışımı bulunmaktadır. Tank içindeki bu karışım, dışarıdan doğru bir elektrik kıvılcımı oluşturularak ateşlenmiş ve yakılmıştır. Ateşleme anından sonraki birkaç dakikalık sürede tank içinde; sıcaklık, basınç ve su buharı mol oranının zamanla değişimi nasıl olur? Grafik halinde, şematik olarak çiziniz. (15 puan)
- 2) Hacimsel olarak yarısı metan ( $\text{CH}_4$ ), yarısı etandan ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ) oluşan bir gaz karışımı,  $25^\circ\text{C}$  sıcaklık ve 1 atm basınçta bir yanma odasına sokularak yakılmaktadır. Yanma işleminde kullanılan hava  $27^\circ\text{C}$ 'de ve stokiometrik miktardadır. Yanmanın tam olması ve yanma sonu ürünleri  $900\text{ K}$  sıcaklıkta olması halinde,
  - a) Yanma odasından dışarıya bir kmol yakıt başına olan ısı transferi miktarını bulunuz. (30 p)
  - b) Yanma sonu ürünleri içindeki su buharının yoğuşma sıcaklığını hesaplayınız. (10 puan)
- 3) Hidrojen gazının, sürekli akışlı adyabatik bir yanma odasında, yüzde üçyüz (%300) teorik hava ile tam yanması halinde,
  - a) Yanma sonu ürünlerinin sıcaklığını hesaplayınız. (15 puan)
  - b) Entropi üretimini hesaplayınız. (15 puan)
  - c) Sistemin tersinir işini ve tersinmezliği hesaplayınız. (10 puan)
  - d) Böyle bir yanma işleminde tersinmezliği azaltmak için bir yol öneriniz. (5 puan)

*Ulyribayun*

2) Yarısı metan ( $\text{CH}_4$ ) diğer yarısı etan ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ) olan yakıt  $25^\circ\text{C}$ , 1 atm'de Hava, stokiometrik miktarda ve  $27^\circ\text{C}$ 'de. Yanma tam. Yanma sonu ürünleri  $900\text{ K}$  sıcaklıkta.

- a) 1 kmol yakıt başına yanma odasından çıkan ısı?  
b) Yanma sonu ürünleri içindeki su buharının yoğuşma sıcaklığı?



Karbon dengesi:  $0.5 + 2 \times 0.5 = x$

$x = 1.5$

Hidrojen " :  $4 \times 0.5 + 6 \times 0.5 = 2y$

$y = 2.5$

Oksijen " :  $2a = 2x + y$

$a = 2.75$  Stokiometrik katsayı.

Azot " :  $2a \times 3.76 = 2z$

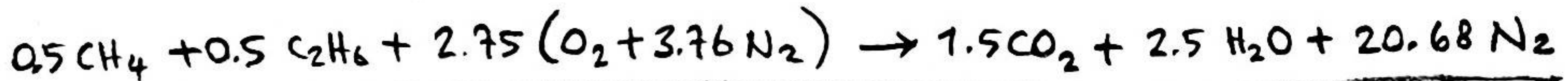
$z = 10.34$

$Q - W = H_{yis} - H_{yig}$   $W = 0 \Rightarrow Q = H_{yis} - H_{yig}$

$Q = \sum n_g (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_g - \sum n_f (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_f$

$\downarrow$  Yakıt için  $25^\circ\text{C}$  (298K)  
 $\downarrow$  Hava için  $30^\circ\text{C}$  (300K)

$\downarrow$  900 K için.



	$\bar{h}_f^\circ$ kJ/kmol	$\bar{h}_{298\text{K}}$ kJ/kmol	$\bar{h}_{300\text{K}}$ kJ/kmol	$\bar{h}_{900\text{K}}$ kJ/kmol
$\text{CH}_4$	-74850	Gerekmiyor	Gerekmiyor	Gerekmiyor
$\text{C}_2\text{H}_6$	-84680	Gerekmiyor	Gerekmiyor	Gerekmiyor.
$\text{O}_2$	0	8682	8736	Gerekmiyor
$\text{N}_2$	0	8669	8723	26890
$\text{CO}_2$	-393520	9364	Gerekmiyor	37405
$\text{H}_2\text{O} (g)$	-241820	9904	Gerekmiyor	31828

$Q = n_{\text{CH}_4} (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_{\text{CH}_4} + n_{\text{C}_2\text{H}_6} (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_{\text{C}_2\text{H}_6} + n_{\text{O}_2} (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_{\text{O}_2} + n_{\text{N}_2} (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_{\text{N}_2}$   
 $- n_{\text{CO}_2} (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_{\text{CO}_2} - n_{\text{H}_2\text{O}} (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_{\text{H}_2\text{O}} - n_{\text{N}_2} (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_{\text{N}_2}$

2 - Devam)

$$Q = 0.5(-74850) + 0.5(-84680) + 2.75(0 + 8736 - 8682) + 10.34(0 + 8723 - 8669) \\ - 1.5(-393520 + 37405 - 9264) - 2.5(-241820 + 31828 - 9904) - 10.34(0 + 26890 - 8669)$$

$$Q = -37425 - 42340 + 2.75(68) + 10.34(54) - 1.5(-365479) \\ - 2.5(-219896) - 10.34(18221)$$

$$Q = -79765 + 187 + 558.36 + 548218.5 + 549740 - 188405.14$$

$$Q = 830533,72 \text{ kJ/kmol yakıt}$$

$$Q \approx 830534 \text{ kJ/kmol yakıt}$$

b) Yanma ürünleri içindeki su buharının yoğunlaşma sıcaklığı?

$$T_g = T_{\text{doy}@P_{i,H_2O}}$$

$$P_{su} = \left( \frac{N_{su}}{N_{\text{top.}}} \right) P_t = \frac{2.5}{1.5 + 2.5 + 10.34} (101,325 \text{ kPa}) = 17,66 \text{ kPa}$$

$$P_{su} = 17,66 \text{ kPa}$$

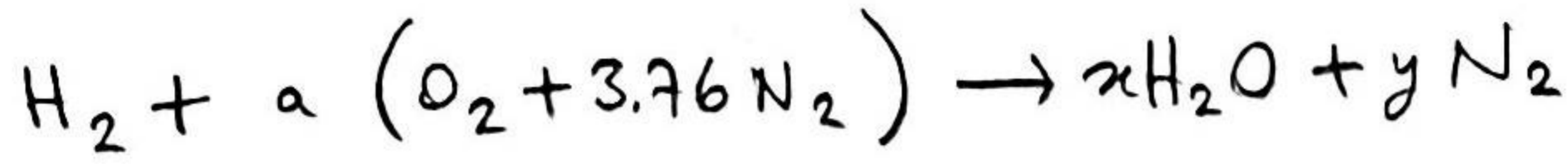
→

$$T_{\text{doy}} = 57,21 \text{ }^\circ\text{C}$$

Bu sıcaklık aynı zamanda yanma ürünlerindeki su buharının yoğunlaşma sıcaklığıdır.

3)

H<sub>2</sub> gazının %300 hava ile tam yanması...



$$\begin{aligned} H: & 2 = 2x \rightarrow x=1 \\ O: & 2a = x \rightarrow a = \frac{1}{2} \\ N: & 3.76a = y \rightarrow y = 1.88 \end{aligned}$$

Stokiyometrik katsayı  $a = \frac{1}{2}$  'dir.  
%300 teorik hava ile yanmada a yerine  $3 \times \frac{1}{2} = 1.5$  gelir.

Gerekli yanma :



a) T<sub>ürün</sub> = ? Adyabatik yanma odası. H<sub>yig</sub> = H<sub>yis</sub>

$$\sum n_g (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_g = \sum n_f (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_f$$

Verilmeyen giriş sıcaklıkları 25°C ve basıncı 1 atm alınabilir.

	$\bar{h}_f^\circ$ kJ/kmol	$\bar{h}_{298K}^\circ$ kJ/kmol	1. Deneme T <sub>1</sub> = 1280 K için entalpi kJ/kmol	2. Deneme T <sub>2</sub> = 1260 K için entalpiler kJ/kmol
H <sub>2</sub>	0	8468	Gerekmiyor	Gerekmiyor
O <sub>2</sub>	0	8682	41312	40594
N <sub>2</sub>	0	8669	39488	38807
H <sub>2</sub> O	-241820	9904	47912	47022

$$n_{H_2} (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_{H_2} + n_{O_2} (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_{O_2} + n_{N_2} (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_{N_2} = n_{H_2O} (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_{H_2O} + n_{O_2} (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_{O_2} + n_{N_2} (\bar{h}_f^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_{N_2}$$

$$0 = (-241820 + \bar{h} - 9904)_{H_2O} + (0 + \bar{h} - 8682)_{O_2} + 5.64(0 + \bar{h} - 8669)_{N_2}$$

$$0 = -251724 + \bar{h}_{H_2O} - 8682 + \bar{h}_{O_2} - 48893.16 + 5.64\bar{h}_{N_2}$$

$$\bar{h}_{H_2O} + \bar{h}_{O_2} + 5.64\bar{h}_{N_2} = 309299.16 \quad \text{(I)}$$

$$n_{toplam} = 1 + 1 + 5.64 = 7.64$$

$$\text{Yaklaşık entalpi} = \frac{309299.16}{7.64} = 40484.2 \text{ kJ/kmol}$$

Bu değer

$$\begin{aligned} N_2 \text{ için } & T \approx 1300 \text{ K} \\ O_2 \text{ için } & T \approx 1260 \text{ K} \\ H_2O \text{ için } & T \approx 1100 \text{ K} \end{aligned}$$

olmaktadır.

Bu değerlerden hareketle ilk deneme değeri olarak T<sub>1</sub> = 1280 K alınabilir.

3-Devamı)

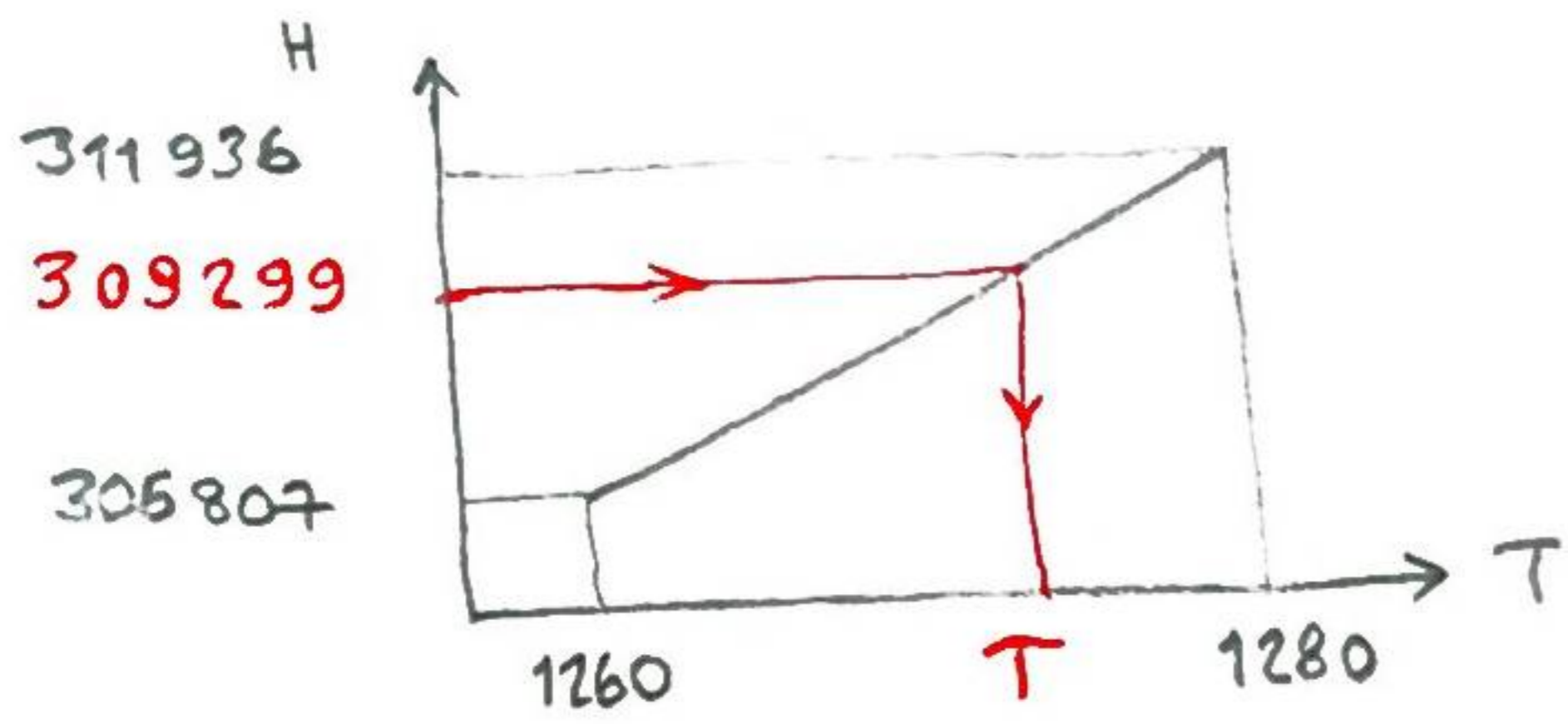
 $T_1 = 1280$  K için entalpi değerleri (I) denkleminde yerine konursa:

$$47912 + 41312 + 5.64 \times 39488 = 311936.32 \text{ kJ} > 309299.16$$

Daha küçük bir sıcaklık için deneme yapılmalıdır. (Ya da 1280 K yaklaşık olarak çözüm kabul edilebilir.)

 $T_2 = 1260$  K için:

$$47022 + 40594 + 5.64 \times 38807 = 306487.48 \text{ kJ} < 309299.16$$



$$T = 1270 \text{ K}$$

$$T_{\text{ürün}} = 1270 \text{ K}$$

b) Yanma sırasında entropi üretimi ( $S_{\text{üret}} = ?$ ):

$$S_{\text{üret.}} = S_q - S_g = \sum n_q \bar{s}_q - \sum n_g \bar{s}_g$$

Herhangi bir gaz bileşeni için  $\bar{s}_i = \bar{s}_i^\circ(T, P_0) - R_u \ln y_i P_{\text{top}}$ 

	$N_i$	$y_i$	$\bar{s}_i^\circ(T, 1 \text{ atm})$	$-R_u \ln y_i P_{\text{top}}$	$N_i \bar{s}_i$
$\text{H}_2$	1	1	130.68	0	130.68
$\text{O}_2$	1.5	0.21	205.04	12.98	327.03
$\text{N}_2$	5.64	0.79	191.61	1.96	1091.73
				$S_g = S_{\text{girdi}}$	1549.44
$\text{H}_2\text{O}$	1	$\frac{1}{1+1+5.64} = 0.13$	242.8325	16.962	259.79
$\text{O}_2$	1	0.13	251.936	16.962	268.90
$\text{N}_2$	5.64	0.74	236.034	2.503	1345.35
				$S_q = S_{\text{ürün}}$	1874.04

$$R_u = 8.314 \frac{\text{kJ}}{\text{kmol} \cdot \text{K}}$$

$$S_{\text{üret.}} = S_q - S_g = 1874.04 - 1549.44 = 324.6$$

$$S_{\text{üret.}} = 324.6 \text{ kJ/kmol H}_2$$

## 3. Devam)

c) Tersinir iş ( $W_{tr}$ ) ve tersinmezlik (J. ya da  $X_{yıkım}$ ) ?

Yanma sırasında meydana gelen kullanılabilirlikteki azalma yani tersinmezlik

$$I = X_{yıkım} = T_0 \dot{S}_{üret} = 298 \times 324,6 = 96730,8$$

$$I = X_{yıkım} \approx 96731 \text{ kJ/kmol H}_2$$

Bu işlem gerçek iş içermediğinden tersinmezlik aynı zamanda tersinir işe eşittir. Dolayısıyla,

$$W_{tr} = 96731 \text{ kJ/kmol H}_2 \text{ olur.}$$

d) Yanma işleminde meydana gelen yüksek miktardaki tersinmezliği azaltmak için yakıtın kimyasal enerjisini doğrudan elektrik enerjisine çeviren yöntemler geliştirilebilir. Yakıt hücreleri (yakıt pilleri) bunlardan biridir.

NOT: 15. Bölüm'ün son konusunu (Yakıt Hücreleri) okuyunuz.