

## MAK 411 Yanma Teorisi Arasınava Sorular ve Çözümleri

### Soru 1

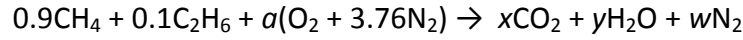
%90 Metan (CH<sub>4</sub>) ve %10 etan'dan (C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>) oluşan, 25 °C sıcaklıktaki bir gaz karışımı; 37 °C sıcaklıktaki %20 fazla hava ile (kuru hava) ile 1 atm basınçta, tam olarak yanmaktadır.

- Bu yanma işlemi için yakıt hava oranını hesaplayınız.
- Adyabatik alev sıcaklığını hesaplayınız.

### Çözüm 1

#### a) Yakıt-Hava oranı:

Yanma işleminin kimyasal denklemi stokiometrik durumda şu şekildedir:

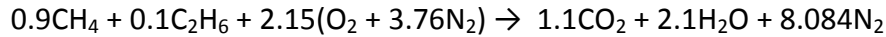


Parantez içindeki terimler kuru havanın bileşimini göstermektedir.  $x$ ,  $y$  ve  $a$  ise hava miktarı ve yanma ürünlerinin bilinmeyen mol miktarlarını göstermektedir.

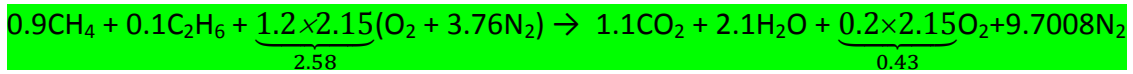
Bilinmeyen  $x$ ,  $y$  ve  $a$  değerleri, her bir element için kütle korunumu ilkesi uygulanarak bulunur. Kütle korunumu ilkesine göre, her element için ayrı ayrı geçerli olmak kaydıyla, elementlerin toplam mol sayısı veya kütleleri yanma işlemi süresince sabit kalır.

$$\begin{aligned} \text{C:} \quad & 0.9+2\times 0.1 = x & \rightarrow & x = 1.1 \\ \text{H:} \quad & 4\times 0.9+6\times 0.1 = 2y \\ & 3.6+0.6 = 2y \\ & 4.2 = 2y & \rightarrow & y = 2.1 \\ \text{O:} \quad & 2a = 2x+y \\ & 2a = 2\cdot 1.1+2.1 \\ & 2a = 2.2+2.1 & \rightarrow & a = 2.15 \\ \text{N}_2: \quad & (a)(3.76) = w \\ & (2.15)(3.76) = w & \rightarrow & w = 8.084 \end{aligned}$$

Bulunan  $a$  değeri ile yanma denklemi aşağıdaki şekilde yazılır:



%20 Fazla hava dikkate alınarak yanma denklemi aşağıdaki şekilde yazılır:



Yakıt-hava oranı,  $YH = (m_{\text{yakıt}}/m_{\text{hava}})$

$$YH = (0.9 \times 12 + 4 \times 0.9 \times 1 + 2 \times 0.1 \times 12 + 6 \times 0.1 \times 1) / (2.58 \times 2 \times 16 + 2.58 \times 3.76 \times 26)$$

$$YH = 17.4 / 334.7808 = 0.051974$$

$$YH = 0.051974$$

$$\text{Hava-Yakıt Oranı, } HY = 1/YH = 1/0.051974 = 19.2404$$

$$HY = 19.2404$$

## b) Adyabatik alev sıcaklığı:

Adyabatik alev sıcaklığı, yanma sırasında alevden çevresine hiç ısı transferi olmaması durumunda alevin ulaşacağı en yüksek sıcaklığı ifade eder. Buna göre,

$$Q = \sum n_{\zeta}(\bar{h}_f^o + \bar{h} - \bar{h}^o)_{\zeta} - \sum n_g(\bar{h}_f^o + \bar{h} - \bar{h}^o)_g = 0$$

$$\underbrace{\sum n_{\zeta}(\bar{h}_f^o + \bar{h} - \bar{h}^o)_{\zeta}}_{\text{Adyabatik alev sıcaklığı için}} = \underbrace{\sum n_g(\bar{h}_f^o + \bar{h} - \bar{h}^o)_g}_{\text{Giriş sıcaklığı için}}$$

$$\underbrace{\sum n_{\zeta}(\bar{h}_f^o + \bar{h} - \bar{h}^o)_{\zeta}}_{\text{Adyabatik alev sıcaklığı için}} = \underbrace{\sum n_{\text{yakıt}}(\bar{h}_f^o + \bar{h} - \bar{h}^o)_{\text{yakıt}}}_{\text{Yakıtın giriş sıcaklığı için}} + \underbrace{\sum n_{\text{hava}}(\bar{h}_f^o + \bar{h} - \bar{h}^o)_{\text{hava}}}_{\text{Havanın giriş sıcaklığı için}}$$

Yanma işlemine giren maddelerin entalpileri:

Madde	$\bar{h}_f^o$ kJ/kmol	$\bar{h}_{298K}$ kJ/kmol	$\bar{h}_{310K}$ kJ/kmol	DENEME-1 T= 2200 K	DENEME-2 T= 1900 K
CH <sub>4</sub> (gaz)	-74850	-	-	-	-
C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (gaz)	-84680	-	-	-	-
O <sub>2</sub>	-	8682	9030	75484	64116
N <sub>2</sub>	-	8669	9014	72040	61220
CO <sub>2</sub>	-393520	9364	-	112939	94793
H <sub>2</sub> O (gaz)	-241820	9904	-	92940	77517

$$\begin{aligned} & n_{CO_2}(\bar{h}_f^o + \bar{h} - \bar{h}^o)_{CO_2} + n_{H_2O}(\bar{h}_f^o + \bar{h} - \bar{h}^o)_{H_2O} + n_{O_2}(\bar{h}_f^o + \bar{h} - \bar{h}^o)_{O_2} \\ & + n_{N_2}(\bar{h}_f^o + \bar{h} - \bar{h}^o)_{N_2} \\ & = n_{CH_4}(\bar{h}_f^o + \bar{h} - \bar{h}^o)_{CH_4} + n_{C_2H_6}(\bar{h}_f^o + \bar{h} - \bar{h}^o)_{C_2H_6} + n_{O_2}(\bar{h}_f^o + \bar{h} - \bar{h}^o)_{O_2} \\ & + n_{N_2}(\bar{h}_f^o + \bar{h} - \bar{h}^o)_{N_2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & 1.1(-393520 + \bar{h} - 9364)_{CO_2} + 2.1(-241820 + \bar{h} - 9904)_{H_2O} + 0.43(0 + \bar{h} - 8682)_{O_2} \\ & + 9.7008(0 + \bar{h} - 8669)_{N_2} \\ & = 0.9 \left( -74850 + \underbrace{\bar{h} - \bar{h}^o}_0 \right)_{CH_4} + 0.1 \left( -84680 + \underbrace{\bar{h} - \bar{h}^o}_0 \right)_{C_2H_6} \\ & + 2.58(0 + 9030 - 8682)_{O_2} + 9.7008(0 + 9014 - 8669)_{N_2} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & 1.1(-402884 + \bar{h})_{CO_2} + 2.1(-251724 + \bar{h})_{H_2O} + 0.43(-8682 + \bar{h})_{O_2} \\ & + 9.7008(-8669 + \bar{h})_{N_2} \\ & = 0.9 \left( -74850 + \underbrace{\bar{h} - \bar{h}^o}_0 \right)_{CH_4} + 0.1 \left( -84680 + \underbrace{\bar{h} - \bar{h}^o}_0 \right)_{C_2H_6} \\ & + 2.58(348)_{O_2} + 9.7008(345)_{N_2} \end{aligned}$$

$$-443172.4 + 1.1(\bar{h})_{CO_2} - 528620.4 + 2.1(\bar{h})_{H_2O} - 3733.26 + 0.43(\bar{h})_{O_2} - 84096.24 + 9.7008(\bar{h})_{N_2} = -67365 - 8468 + 897.84 + 3346.78$$

$$-1059622.3 + 1.1(\bar{h})_{CO_2} + 2.1(\bar{h})_{H_2O} + 0.43(\bar{h})_{O_2} + 9.7008(\bar{h})_{N_2} = -71588.38$$

$$-1059622.3 + 1.1\bar{h}_{CO_2} + 2.1\bar{h}_{H_2O} + 0.43\bar{h}_{O_2} + 9.7008\bar{h}_{N_2} = -71588.38$$

$$1.1\bar{h}_{CO_2} + 2.1\bar{h}_{H_2O} + 0.43\bar{h}_{O_2} + 9.7008\bar{h}_{N_2} = 988034 \text{ kJ}$$

Bu aşamadan sonra seçilen bir sıcaklık için ürünlerin entalpileri üstteki denklemde yerine konular ve eşitliği sağ tarafındaki değere yakın sonuç verip vermediğine bakılır. İlk olarak hangi sıcaklığın seçilmesi hususunda şöyle bir yol izlenebilir:

$$\text{Ürünlerin toplam mol sayısı} = 1.1 + 2.1 + 0.43 + 9.7008 = 13,3308$$

$$\text{Bir mol ürün başına entalpi} = 74117 \text{ kJ/kmol}$$

Ürünler içinde en büyük miktarı  $N_2$  ve  $H_2O$  oluşturmakta; 9.7008 kmol  $N_2$  ve 2.1 kmol  $H_2O$  var. Öncelikle bu iki maddenin 74117 kJ/kmol değerine yakın entalpisi hangi sıcaklıktadır, onlara bakılmalıdır:

$$N_2 \quad \text{için} \quad 2300 \text{ K'de } 75676 \text{ kJ/kmol}$$

$$H_2O \quad \text{için} \quad 1860 \text{ K'de } 75506 \text{ kJ/kmol}$$

O halde ilk denemeye bu iki sıcaklıktan azotunkine daha yakın olandan başlanabilir. Yaklaşık orantı ile

$$(9.7 \times 2300 + 2.1 \times 1860) / 11.8 = 2222 \text{ K}$$

İlk deneme için 2200 K alınabilir.

#### DENEME-1:

$$T_{1.deneme} = 2200 \text{ K için}$$

$$1.1\bar{h}_{CO_2} + 2.1\bar{h}_{H_2O} + 0.43\bar{h}_{O_2} + 9.7008\bar{h}_{N_2} = ?$$

$$1.1 \times 112939 + 2.1 \times 92940 + 0.43 \times 75484 + 9.7008 \times 72040 = 1\,050\,711 \text{ kJ}$$

$$1.1\bar{h}_{CO_2} + 2.1\bar{h}_{H_2O} + 0.2\bar{h}_{O_2} + 9.7008\bar{h}_{N_2} = 1\,050\,711 \text{ kJ}$$

$$1\,050\,711 \text{ kJ} > 988\,034 \text{ kJ}$$

#### DENEME-2:

$$T_{2.deneme} = 1900 \text{ K için}$$

$$1.1\bar{h}_{CO_2} + 2.1\bar{h}_{H_2O} + 0.43\bar{h}_{O_2} + 9.7008\bar{h}_{N_2} = ?$$

$$1.1 \times 94793 + 2.1 \times 77517 + 0.43 \times 64116 + 9.7008 \times 61220 = 888\,511 \text{ kJ}$$

$$1.1\bar{h}_{CO_2} + 2.1\bar{h}_{H_2O} + 0.2\bar{h}_{O_2} + 9.7008\bar{h}_{N_2} = 888\,511 \text{ kJ}$$

$$888\,511 < 988\,034 \text{ kJ}$$

1900 K ile 2200 K arasında doğrusal orantı ile  $T_{adyabatik} = 2110 \text{ K}$  olarak bulunur.

## Soru 2

Çatalağzı Termik Elektrik Santrali'nda (ÇATES) kullanılan TTK Çatalağzı kömürünün elementel analizi yandaki tabloda verildiği gibidir. Bu kömürün teorik tam yanması halinde gerekli en az hava miktarı ile baca gazı (duman gazı) içindeki CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> miktarlarını,

- Birim kg kömür için hacimsel olarak bulunuz. (30 puan)
- Santral, günde 5000 ton kömür yaktığına göre günde atmosfere salınan CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> miktarlarını kg olarak hesaplayınız. (10 puan)

Element	Miktar (kg/kg <sub>kömür</sub> )
C (Karbon)	0.465
H (Hidrojen)	0.027
O (Oksijen)	0.043
N (Azot)	0.006
S (Kükürt)	0.005
Kül	0.454

## Çözüm 2

### a) Birim kg kömür için hacimsel olarak CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> miktarlarını:

[Web sayfasında yayınlanan Tablo\\*](#) doldurularak zaman kaybetmeksizin sonuca varılabilir:

Kömür elementel analizi	Analizde miktarı	Oksijen ihtiyacı		Baca (duman) gazı			
		Oranı için	Miktarı için	Karbondioksit		Kükürtdioksit	
				Oranı için	Miktarı için	Oranı için	Miktarı için
		kg/kg	m <sup>3</sup> /kg	m <sup>3</sup> /kg	m <sup>3</sup> /kg	m <sup>3</sup> /kg	m <sup>3</sup> /kg
	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c = a·b</b>	<b>d</b>	<b>e = a·d</b>	<b>F</b>	<b>g = a·f</b>
Karbon	C	0.465	1.8667	0.8680	1.8667	0.8680	
Kükürt	S	0.005	0.7000	0.0035			0.7000
Hidrojen	H	0.027	5.6000	0.1512			
Azot	N	0.006					
Oksijen	O	0.043	-0.7000	-0.0301			
Su Buharı	W	0.000					
Kül	A	0.454					
		<b>1.000</b>	<b>O<sub>min</sub> =</b>	<b>0.9926</b>		<b>0.8680</b>	<b>0.0035</b>

Minimum hava miktarı  $L_{min} = O_{min} / 0.21 = 0.9926 / 0.21 = 4.7267 \text{ m}^3/\text{kg}$

### b) 5000 ton/gün kömür tüketimine karşılık CO<sub>2</sub> ve SO<sub>2</sub> salınımı:

1 kg kömür yanması durumunda 0.868 m<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> salınıyorsa,  
5000×10<sup>3</sup> kg kömür için  $0.868 \times 5\,000\,000 = 4\,340\,000 \text{ m}^3 \text{ CO}_2$  salınıyor.

1 kmol CO<sub>2</sub> 22.4 m<sup>3</sup> 12+32=44 kg CO<sub>2</sub> 22.4 m<sup>3</sup>  
22.4 m<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> 44 kg ise 1 m<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> = 1.9643 kg CO<sub>2</sub> = 1.9643 kg/m<sup>3</sup>  
4 340 000 m<sup>3</sup> CO<sub>2</sub> = 8 525 000 kg CO<sub>2</sub> olur.

**ÇATES için: 8 525 000 kg CO<sub>2</sub>/gün = 8525 ton CO<sub>2</sub>/gün**

**SO<sub>2</sub> (64 kg/kmol) için de aynı yoldan giderek hesap yapılabilir:**

1 kg kömür yanması durumunda 0.0035 m<sup>3</sup> SO<sub>2</sub> salınıyorsa,  
5000×10<sup>3</sup> kg kömür için 0.0035 × 5 000 000 = 17500 m<sup>3</sup> SO<sub>2</sub> salınıyor.

1 kmol SO<sub>2</sub> (=64 kg)                      22.4 m<sup>3</sup>                      ise                      1 m<sup>3</sup> SO<sub>2</sub> = 2.8571 kg/m<sup>3</sup>  
17500 m<sup>3</sup> SO<sub>2</sub>,                      17500 kg/gün× 2.8571 kg/m<sup>3</sup> = 49999.25 =50000 kg SO<sub>2</sub> eder.

**ÇATES için: 50000 kg SO<sub>2</sub>/gün = 50 ton SO<sub>2</sub> /gün**

---

\*:[http://makina.karaelmas.edu.tr/akademik\\_kadro/meyriboyun/MAK411/elementalanalizde\\_nbacagazihesabi.pdf](http://makina.karaelmas.edu.tr/akademik_kadro/meyriboyun/MAK411/elementalanalizde_nbacagazihesabi.pdf)