

# KİMYASAL REAKSİYONLAR VE ENERJİ

## SİSTEMLER VE ENERJİ TÜRLERİ

**Termokimya:** Fiziksel ve kimyasal değişimlerde meydana gelen ısı değişimlerini inceleyen bilim dalıdır.

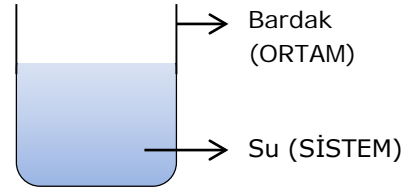
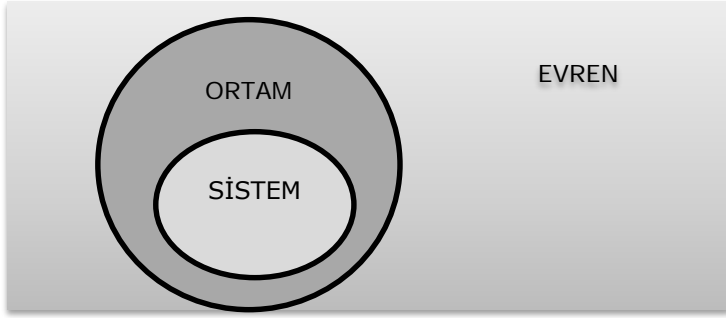
**Termodinamik;** Enerjiyi ve buna bağlı olayların izlediği yolları anlamak için ortaya konulan yasalardır.  
ısı hareket

Değişimleri bir sistem içinde inceler.

## SİSTEM VE ORTAM:

**Sistem:** Üzerinde incelemeler yapılan ve sınırları belli evren parçasıdır.

**Ortam:** Sistemin dışında kalan her şeydir.



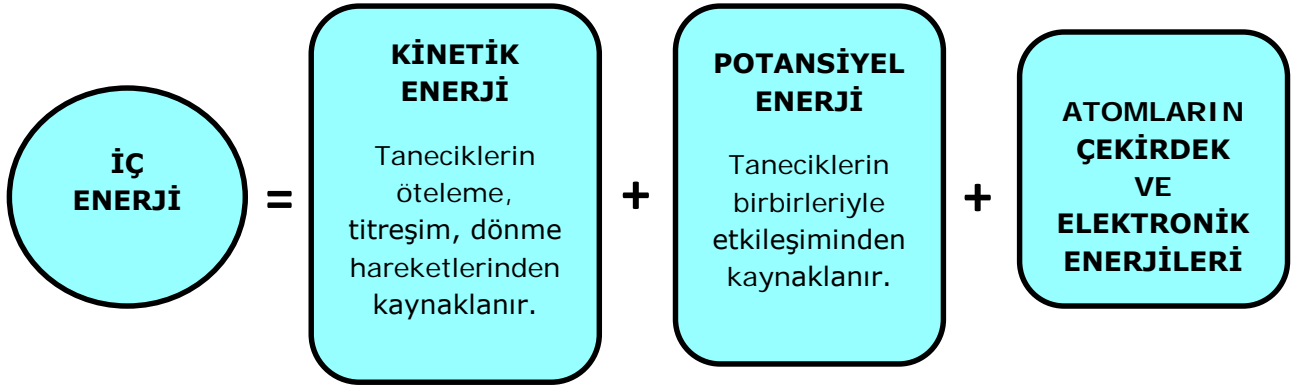
Açık Sistem	Kapalı Sistem	İzole Sistem	İzotermal Sistem	İzokorik Sistem	İzobarik Sistem
<p>- Ortamla madde ve enerji alışverişi var.</p>	<p>- Ortamla enerji alışverişi var, madde alışverişi yok.</p>	<p>- Termos - Ortamla enerji alışverişi ihmal edilecek kadar az. Madde alışverişi yok.</p>	<p>- Sıcaklık sabit - Sağlıklı insan vücudu - Ortamla her türlü enerji ve madde alışverişi var.</p>	<p>- Hacim sabit - Düdüklü tencere - Ortamla enerji alışverişi var, iş alışverişi yok.</p>	<p>- Basınç sabit - Doğadaki olaylar - Ortamla hem enerji hem de iş alışverişi var.</p>

**Ödev Sorusu:** Aşağıda verilen sistemlerin hangi türe ait olduklarını belirtiniz.

- a) Pistonlu kaptaki gaz:
- b) Bardaktaki kahve:
- c) Ağız kapalı tenceredeki çorba:
- d) Isıca yalıtılmış kaptaki su:

### İÇ ENERJİ:

- Bir sistemdeki tüm taneciklerin kinetik enerjileri ile potansiyel enerjilerinin toplamıdır.
- Sembolü "U", birimi Joule "J"dir.



### ISI VE İŞ:

**Isı:** - Sistemle ortam arasındaki sıcaklık farkından dolayı aktarılan enerjidir.  
Termal hareketin sonucu

- Birimi "J"dir.

**İş:** - Sıcaklık farkından bağımsız yollarla aktarılan enerjidir.  
- Sembolü "w"dir.

!

ISI ↔ İŞ dönüşümü ilk defa Benjamin Thomson ortaya koymuş, sonra James Joule tarafından ispatlanmıştır.

- İş, hareket, yer değiştirme vs durumunda yapılmış olur.

\*

Sabit basınçta ısıtılan gaz için;

P sabit;  $T \uparrow \rightarrow V \uparrow \rightarrow$  İŞ YAPILMIŞ OLUR.

$Q_P = \Delta U + w$

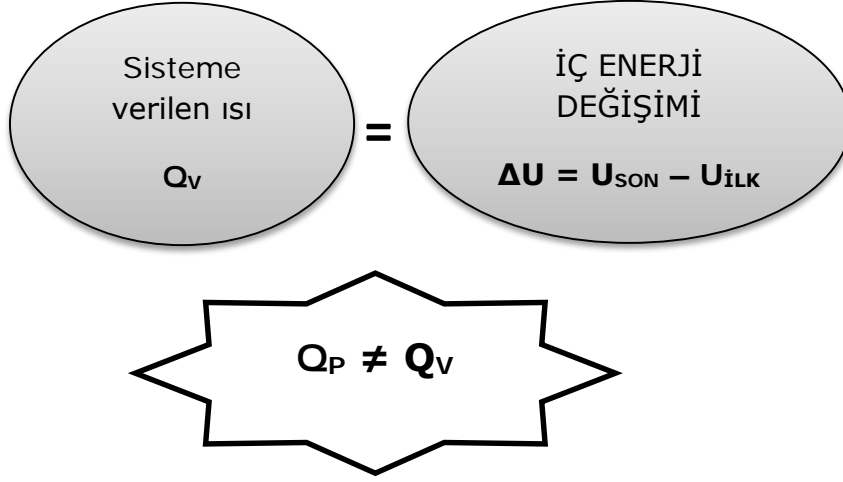


\*

Sabit hacimde ısıtılan gaz için;

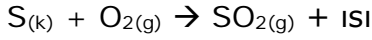
V sabit → İŞ YAPILMIŞ OLMAZ (Hareket yok)

$$Q_V = \Delta U$$



## TERMODİNAMİĞİN 1. KANUNU

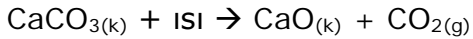
Enerji asla yok edilemez veya yoktan var edilemez.



- $\Delta U = U_{ÜRÜNLER} - U_{GİRENLER}$
- Ortama ısı verildiğine göre  
 $U_{ÜRÜNLER} < U_{GİRENLER}$
- Tepkime ekzotermik. ( $\Delta U < 0$ )

Enerji sistemden ortama verildiğine göre;

$$\Delta U_{EVREN} = \Delta U_{SİSTEM} + \Delta U_{ORTAM} = 0$$



- $\Delta U = U_{ÜRÜNLER} - U_{GİRENLER}$
- Ortamdan ısı alındığına göre  
 $U_{ÜRÜNLER} > U_{GİRENLER}$
- Tepkime endotermik. ( $\Delta U > 0$ )

!

Bir sistemin iç enerjisi hesaplanamaz, ancak enerji değişimi hesaplanabilir.

!

Ortam ısı veya iş olarak enerji kazanırsa  $Q \rightarrow (+)$ ,  $w \rightarrow (+)$

Ortam ısı veya iş olarak enerji kaybederse  $Q \rightarrow (-)$ ,  $w \rightarrow (-)$

!

$$\Delta U = Q + w$$

## TERMODİNAMİĞİN KULLANIM ALANLARI

- Kimyasal reaksiyonlardaki ısı değişimlerinin hesaplanması (Kalorimetre kabı)
- Isıtma, soğutma sistemleri
- Kompresörler
- Otomobillerin ateşleme sistemleri
- Güneş ve rüzgar enerji sistemleri
- Turbo jet motorlarının çalışma prensipleri

Örnek Soru:

Pistonlu bir kaptaki bulunan gaz genişlerken 200 J'lük ısı almaktadır ve ortama 350 J'lük iş yapmaktadır. **Buna göre, gazın iç enerjisindeki değişim kaç kJ'dür?**

**Çözüm:**

$$Q_p = +200 \text{ J (sistem ısı alıyor)} \quad w = -350 \text{ J (sistem iş yapıyor)}$$

$$\Delta U = Q_p + w$$

$$\Delta U = 200 + (-350)$$

$$\Delta U = -150 \text{ J} = -0,15 \text{ kJ}$$

**Ödev Sorusu:**

Bir sistem ortamdaki 75 J ısı alırken aynı zamanda iç enerjisi 225 J azalıyor. **Bu olayda işi yapan sistem midir, yoksa sisteme mi iş yapılır ve yapılan iş kaç J'dür?**

$$(w = -300 \text{ J olduğuna göre sistem iş yapar)}$$

## SİSTEMLERDE ENTALPİ DEĞİŞİMİ

**ENTALPİ (H):** Toplam ısı kapsamı

**ENTALPİ DEĞİŞİMİ ( $\Delta H$ ):**  $\Delta H = Q_p$  (Sabit basınçta ısı değişimi)

**Endotermik tepkimeler:**

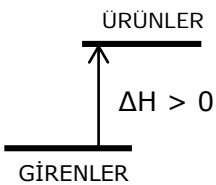
Sistem dışarıdan ısı alır.

H artar.

$$H_{\text{ÜRÜNLER}} > H_{\text{GİRENLER}}$$

$$\Delta H_{\text{TEP}} = H_{\text{ÜRÜNLER}} - H_{\text{GİRENLER}}$$

$$\Delta H_{\text{TEP}} > 0 \quad (+)$$



**Ekzotermik tepkimeler:**

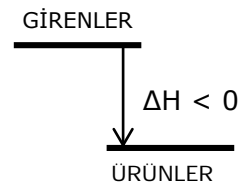
Sistem dışarıya ısı verir.

H azalır.

$$H_{\text{ÜRÜNLER}} < H_{\text{GİRENLER}}$$

$$\Delta H_{\text{TEP}} = H_{\text{ÜRÜNLER}} - H_{\text{GİRENLER}}$$

$$\Delta H_{\text{TEP}} < 0 \quad (-)$$



**Örnekler:**

**Örnekler:**

### Fiziksel değişimler:

Erime, buharlaşma, kaynama

Süblimleşme

Bazı katı ve sıvıların suda çözünmesi...

### Kimyasal değişimler:

Elektroliz

Çoęu bileşiklerin ayrıştırılması

Bağ kırılması

e<sup>-</sup> koparma

N<sub>2</sub> gazının yanması...

### Fiziksel değişimler:

Donma, yoğunlaşma

Desüblimleşme

Gazların suda çözünmesi

### Kimyasal değişimler:

Yanma

Nötrleşme

Bağ ve çoğu bileşiğin oluşumu

e<sup>-</sup> yükleme...

## **TEPKİME ENTALPİSİ**

- Sistemin sıcaklığına ve basıncına,
- Maddelerin fiziksel hallerine,
- Madde miktarına,

bağlıdır.

### **Örnek Soru:**

Sabit hacimli bir kaptaki 1 mol CaO katısının yeterince su ile tepkimesi sonucu 58,25 kJ ısı açığa çıkmaktadır. Aynı tepkime, sabit basınçlı bir kaptaki gerçekleştiğinde ise 64 kJ ısı açığa çıkıyor.

**Buna göre, bu tepkimenin  $\Delta H$ ,  $\Delta U$  ve iş enerjisi değerleri kaç kJ'dür?**

### **Çözüm:**

$$Q_V = \Delta U = -58,25 \text{ kJ}$$

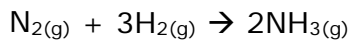
$$Q_P = \Delta H = \Delta U + w = -64 \text{ kJ}$$

$$-64 = -58,25 + w$$

$$w = -5,57 \text{ kJ (Sistem iş yapmıştır)}$$

### **Örnek Soru:**

Sabit basınçlı bir kaptaki



$$\Delta H = -92 \text{ kJ/mol}$$

tepkimesi gerçekleşirken kaptaki 1 mol N<sub>2</sub> ve 3 mol H<sub>2</sub> gazlarının tamamı harcandığında sisteme dışarıdan 24 kJ iş yapılıyor.

**Buna göre, sistemin iç enerjisindeki değişim kaç kJ'dür?**

### **Çözüm:**

1 mol N<sub>2</sub> ve 3 mol H<sub>2</sub> için  $\Delta H = -92 \text{ kJ} = Q_p$

$w = +24 \text{ kJ}$  (Sisteme dışarıdan iş yapılıyor)

$$\Delta U = Q_p + w$$

$$\Delta U = -92 + 24$$

$$\Delta U = -68 \text{ kJ} \text{ (Sistemin iç enerjisindeki değişim)}$$

### Ödev Sorusu:

Sabit basınçlı bir kaptta

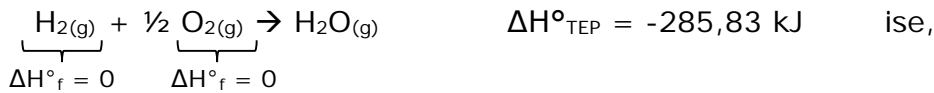


tepkimesi gerçekleşiyor. Sabit sıcaklıkta 0,4 mol N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> gazının tamamı NO<sub>2</sub> gazına dönüştüğünde sistem ortama karşı 4,2 kJ iş yapıyor.

**Buna göre, sistemin iç enerjisindeki değişim kaç kJ'dür?** (30 kJ)

## STANDART OLUŞUM ENTALPİLERİ

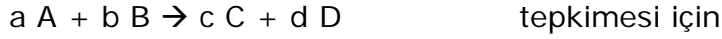
- ❖ H ölçülemez,  $\Delta H$  ölçülebilir.
- ❖ Bir maddenin elementlerinden oluşumu sırasındaki enerji değişimine oluşum entalpisi ( $\Delta H_f = \Delta H_{ol}$ ) denir.
- ❖ Sistemde koşullar;  
 $P = 1 \text{ atm}$  ve  $t = 0$  veya  $25^\circ\text{C}$  ise,  
 $\Delta H_f = \Delta H^\circ_f$  (*standart oluşum entalpisi*) olur.
- ❖ 1 mol maddenin oluşum entalpisine *molar oluşum entalpisi* denir.
- ❖ Elementlerin standart oluşum entalpileri 0 (sıfır) kabul edilir.



olduğuna göre,  $\Delta H^\circ_{TEP} = \Delta H^\circ_{f(\text{H}_2\text{O})} = -285,83 \text{ kJ}$  demektir.

## TEPKİME ENTALPİSİ ( $\Delta H_{TEP}$ ) HESAPLAMA YÖNTEMLERİ

## 1- OLUŞUM ISILARINI (ENTALPİLERİNİ) KULLANARAK $\Delta H_{TEP}$ HESAPLAMA



$$\Delta H_{TEP} = \sum \Delta H_f(\text{ÜRÜNLER}) - \sum \Delta H_f(\text{GİRENLER})$$

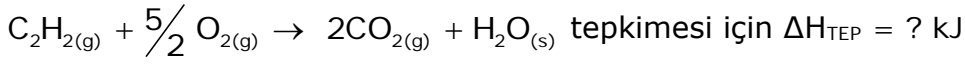
$$\Delta H_{TEP} = [c \cdot \Delta H_f(C) + d \cdot \Delta H_f(D)] - [a \cdot \Delta H_f(A) + b \cdot \Delta H_f(B)]$$

### Örnek Soru:

$$\Delta H_f \left( C_2H_2(g) \right) = + 226,7 \text{ kJ / mol}$$

$$\Delta H_f \left( CO_2(g) \right) = - 393,5 \text{ kJ / mol}$$

$$\Delta H_f \left( H_2O(s) \right) = - 286 \text{ kJ / mol} \quad \text{ise,}$$



### Çözüm:

$$\Delta H_{TEP} = [2\Delta H_f(CO_2) + \Delta H_f(H_2O)] - [\Delta H_f(C_2H_2) + \Delta H_f(O_2)]$$

$$\Delta H_{TEP} = [2(-393,5) + (-286)] - [(+226,7) + (0)]$$

$$\Delta H_{TEP} = -1299,7 \text{ kJ}$$

### Ödev Soruları:

1.  $\Delta H \left( C_2H_4(g) \right) = + 18 \text{ kkal / mol}$

$$\Delta H \left( CO_2(g) \right) = - 94 \text{ kkal / mol}$$

$$\Delta H \left( H_2O(g) \right) = - 58 \text{ kkal / mol} \quad \text{ise}$$

$$C_2H_4(g) \text{ 'nin yanma tepkimesi için } \Delta H = ? \text{ kkal/mol?} \quad (-324 \text{ kkal/mol})$$

2.  $4\text{HI} + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + 2\text{I}_2$  için  $\Delta H_{\text{TEP}} = -140$  kkal ve  $\Delta H_{\text{H}_2\text{O}} = -58$  kkal / mol olduğuna göre,  $\Delta H_{\text{HI}} = ?$  kkal/mol (+6 kkal/mol)

3.

- I.  $\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2$   $\Delta H = -296,8$  kJ/mol  
II.  $\text{N}_2 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{N}_2\text{O}_4$   $\Delta H = +9,16$  kJ/mol  
III.  $\text{C}_2\text{H}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_3\text{CHO}$   $\Delta H = -138$  kJ/mol

**Yukarıda verilen tepkime entalpilerinden hangileri tepkimede oluşan ürünün oluşum entalpisidir?** (I ve II)

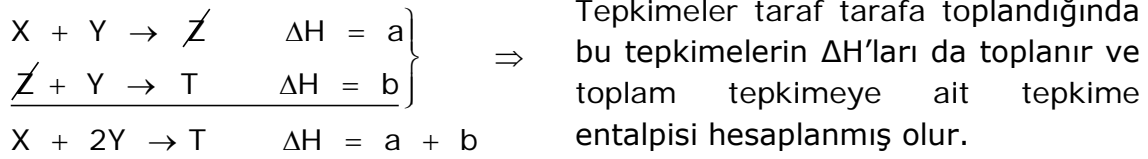
4. 17,6 gram  $\text{C}_3\text{H}_8$  gazının elementlerinden oluşması sırasında 41,6 kJ ısı açığa çıkmaktadır.  
**Buna göre,  $\text{C}_3\text{H}_8$  gazının oluşum entalpisini kaç kJ/mol'dür?**  
(C: 12, H: 1) (-104 kJ/mol)

5.  $\text{H}_2\text{SO}_4(\text{suda}) + 2\text{NaOH}(\text{suda}) \rightarrow \text{Na}_2\text{SO}_4(\text{suda}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{s})$   $\Delta H = -33,5$  kJ/mol  
**tepkimesine göre 0,2 M, 3L NaOH çözeltisi ile yeterince  $\text{H}_2\text{SO}_4$  çözeltisi nötrleştğinde kaç kJ ısı açığa çıkar?** (10,05 kJ)

6.  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  biesiğinin molar yanma entalpisini -1380 kJ/mol'dür.  
**Bir miktar  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ 'ı yakmak için 1,2 mol  $\text{O}_2$  harcanırsa, kaç kJ ısı açığa çıkar?** (552 kJ)

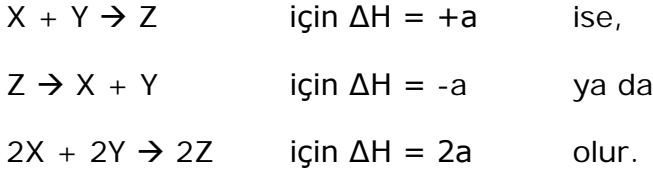


## 2- TEPKİME ISILARININ TOPLANABİLİRLİĞİ (HESS YASASI)

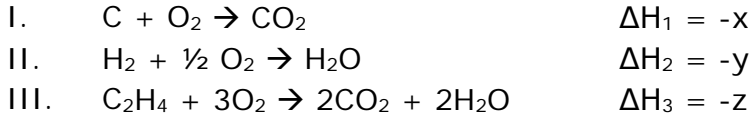


- Bir tepkime ters çevrilirse,  $\Delta H$  işaret değiştirir.
- Bir tepkime herhangi bir katsayı ile çarpılırsa,  $\Delta H$  da aynı katsayı ile çarpılır.

### Örnek:



### Örnek Soru:

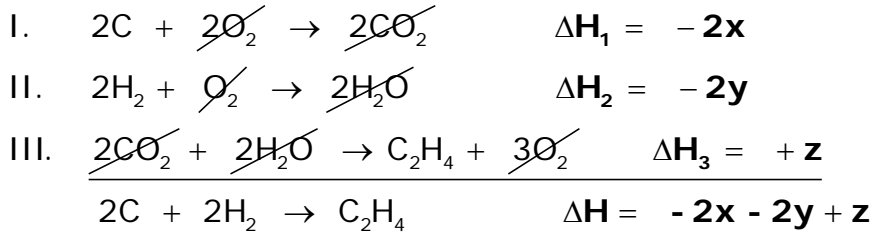


ise,

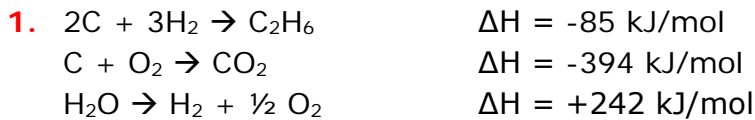


### Çözüm:

I ve II no'lu tepkimeleri 2 ile çarpıp, III no'lu tepkimeyi ters çevirerek taraf tarafa toplarız.

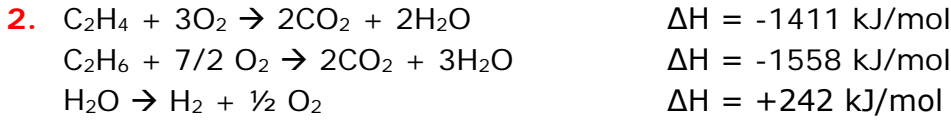


### Ödev Soruları:

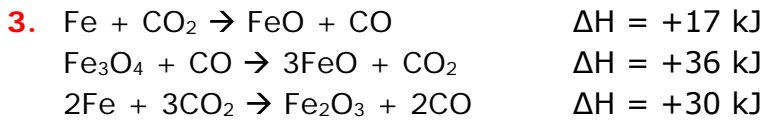


**olduğuna göre, C<sub>2</sub>H<sub>6</sub> bileşiğinin molar yanma entalpisi kaç kJ'dür?**

(-1429 kJ/mol)



ise,  $C_2H_4 + H_2 \rightarrow C_2H_6$  tepkimesinde 11,2 gram  $C_2H_4$ 'ün yeterince  $H_2$  ile doyurulması sırasındaki ısı değişimi kaç kJ'dür? (C: 12, H: 1) (-38 kJ)



olduğuna göre,



### 3- BAĞ ENERJİLERİNİ KULLANARAK $\Delta H$ HESAPLAMA

Kimyasal tepkimelerde önce giren maddelerdeki atomlar arası bağlar kırılır, sonra ürünleri oluşturmak üzere atomlar arasında yeni bağlar oluşur.

Bağ kırılması  $\rightarrow$  Endotermik  $\Delta H = (+)$

Bağ oluşumu  $\rightarrow$  Ekzotermik  $\Delta H = (-)$

- ❖ İki atom arasındaki bağı kırmak için gerekli olan enerjiye *bağ enerjisi* denir.
- ❖ Bağ enerjisi yüksek olan moleküllerde bağlar saha sağlamdır ve molekül daha kararlıdır.

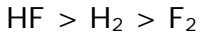
$$\Delta H_{TEP} = \sum \Delta H_{KIRILAN BAĞLAR} - \sum \Delta H_{OLUŞAN BAĞLAR}$$

### Örnek Soru:

Bağ	Bağ enerjisi (kJ/mol)
H – H	436
H – F	568
F – F	158

Tabloda verilen bağ enerjisi değerlerine göre H<sub>2</sub>, HF ve F<sub>2</sub> moleküllerinin kararlılıklarını sıralayınız.

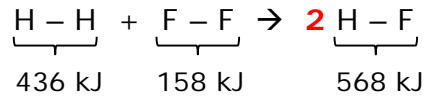
### Çözüm:



**Örnek Soru:** Yukarıdaki soruda verilen bağ enerjisi değerlerine göre,



### Çözüm:

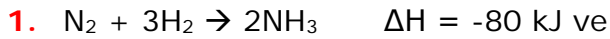


$$\Delta H_{\text{TEP}} = \sum \Delta H_{\text{KIRILAN BAĞLAR}} - \sum \Delta H_{\text{OLUŞAN BAĞLAR}}$$

$$\Delta H_{\text{TEP}} = [436 + 158] - [2 \cdot 568]$$

$$\Delta H_{\text{TEP}} = -542 \text{ kJ}$$

### Ödev Soruları:



Bağ	Bağ enerjisi (kJ/mol)
N $\equiv$ N	x
H – H	436
N – H	389

**olduğuna göre, N  $\equiv$  N bağının enerjisi (x) kaç kJ/mol'dür?** (946 kJ/mol)

2. Aşağıdaki tabloda bazı bağlara ait bağ enerjisi değerleri verilmiştir.

Bağ	Bağ enerjisi (kJ/mol)
C – C	347
C – H	414
C – O	360
O – H	464
O = O	142
H – H	436

Buna göre  $C_3H_7OH$  bileşiğinin oluşum entalpisi kaç kJ/mol'dür?

(-2601 kJ/mol)

## İSTEMLİLİK VE ENTROPİ

**İSTEMLİ OLAY:** Herhangi bir dış etkenin yönlendirmesine ihtiyaç duymadan belirli bir yönde doğada kendiliğinden gerçekleşen olaylardır.

- Serbest bırakılan bir taşın yere düşmesi
- Şelaleden suyun aşağıya doğru akması
- Demirin açık havada paslanması gibi...

**İSTEMSİZ OLAY:** Gerçekleşmesi için mutlaka bir dış etkenin olması gereken olaylardır.

- $CO_2$ 'in su ile birleşerek bütan gazını oluşturması gibi.

❖ İstemli ve istemsiz olaylar endotermik veya ekzotermik olabilir.

### Örnek Soru:

- I. Suyun elektrolizi
- II. Suyun yere doğru akması
- III. Dışarıda bırakılan domatesin çürümesi

**olaylarından hangileri istemlidir?**

**Cevap:** II ve III

### Örnek Soru:

- I. Tabiatte kendiliğinden gerçekleşen olayların tümü istemlidir.
- II. Bütün endotermik tepkimeler istemsiz olaylardır.
- III. İstemli olayın sonucunda oluşan maddelerin enerjisi her zaman azalır.

**yargılarından hangileri doğrudur?**

**Cevap:** Yalnız I

## ENTROPİ VE DÜZENSİZLİK

- ✓ Bir sistemin düzensizliğinin büyüklüğüne ya da sistemi oluşturan taneciklerin gelişigüzel dağılımının büyüklüğüne *entropi* denir.
- ✓ Entropi, bir sistemdeki kullanılmayan termal enerjinin bir ölçüsüdür. (Kullanılmayan termal enerji attıkça, entropi artar.)
- ✓ Entropi "S" ile gösterilir.
- ✓ Entropi birimi J/K.mol'dür.
- ✓ Entropisi artan bir sistemin düzensizliği de artar.
- ✓ Bir sistemin düzensizliğinin artması onun enerji verebilme yeteneğini de artırır.

## FİZİKSEL DEĞİŞİMLER VE ENTROPİ



⇒ Düzensizlik ve entropi artar.



⇒ Düzensizlik ve entropi artar.

- ❖ Erime, buharlaşma, maddenin sıcaklığını arttırma ya da katı/sıvı bir maddeyi bir çözücü içinde çözme olaylarında ENTROPİ ARTAR.

*Entropi Değişimi  $\Delta S_{\text{SİSTEM}} > 0$  olur.*

- ❖ Donma, yoğunlaşma, sıcaklığı azaltma ya da çökme olaylarında ENTROPİ AZALIR.

*Entropi Değişimi  $\Delta S_{\text{SİSTEM}} > 0$  olur.*

### Örnek Soru:

#### Oda koşullarında 1 mol suyun buharlaşması ile ilgili,

- I. Daha düzensiz tanecikler oluşur.
- II. İstemli bir olaydır.
- III. Suyun entropisi artar.

#### yargılarından hangileri doğrudur?

(25°C'de  $\Delta S_{\text{buhar}} = 188,83 \text{ J/mol.K}$ ,  $\Delta S_{\text{su}} = 69,95 \text{ j/mol.K}$ ,  $\Delta H_{\text{buhar}} = 334,4 \text{ kJ/mol}$ )

### Çözüm:

$$\Delta S_{\text{SİSTEM}} = \Delta S_{\text{buhar}} - \Delta S_{\text{su}}$$

$$\Delta S_{\text{SİSTEM}} = 188,83 - 69,95 = 118,88 \text{ J/mol.K}$$

**( $\Delta S_{\text{SİSTEM}} > 0$ ) → Suyun entropisi artar. → Düzensizlik artar → I ve III ✓**

$$\Delta S_{\text{ORTAM}} = -\frac{\Delta H_{\text{SİSTEM}}}{T} = -\frac{334400}{(25 + 273)} = -1122,15 \text{ J / mol.K}$$

$$\begin{aligned}\Delta S_{\text{EVREN}} &= \Delta S_{\text{SİSTEM}} + \Delta S_{\text{ORTAM}} \\ &= 118,88 + (-1122,15) \\ &= -1003,27 \text{ J/mol.K}\end{aligned}$$

**( $\Delta S_{\text{EVREN}} < 0$ ) → Toplam entropi azalır. → Olay istemsizdir. → II x**

## KİMYASAL REAKSİYONLAR VE ENTROPİ DEĞİŞİMİ

**$\Delta S_{\text{SİSTEM}}$**  = Sistemin (reaksiyonun) entropi değişimi

**$\Delta S_{\text{ORTAM}}$**  = Ortamın entropi değişimi

**$\Delta S_{\text{EVREN}}$**  = Toplam entropi değişimi

$$\Delta S_{\text{SİSTEM}} = \sum_{\text{ÜRÜNLER}} S_{\text{ÜRÜNLER}} - \sum_{\text{GİRENLER}} S_{\text{GİRENLER}}$$

$$\Delta S_{\text{ORTAM}} = -\frac{\Delta H_{\text{SİSTEM}}}{T}$$

$$\Delta S_{\text{EVREN}} = \Delta S_{\text{SİSTEM}} + \Delta S_{\text{ORTAM}}$$

**Örnek:** Oda sıcaklığında suyun elektrolizini inceleyelim.



$$\Delta S^{\circ}_{\text{RXN}} = \sum S^{\circ}_{\text{ÜRÜNLER}} - \sum S^{\circ}_{\text{GİRENLER}}$$

$$= \left[ S^{\circ}_{\text{H}_2} + \frac{1}{2} S^{\circ}_{\text{O}_2} \right] - \left[ S^{\circ}_{\text{H}_2\text{O}} \right]$$

$$= \left[ 130,68 + \frac{1}{2} 205,14 \right] - \left[ 69,95 \right]$$

$$= 163,3 \text{ J/mol.K} \quad \rightarrow \quad \text{(Sistemin entropisi arttı.)}$$

**ANCAK**

$$\Delta S^{\circ}_{\text{ORTAM}} = -\frac{\Delta H^{\circ}_{\text{SİSTEM}}}{T} = -\frac{285830}{298} = -959,16 \text{ J / mol.K}$$

$$\Delta S_{\text{EVREN}} = \Delta S_{\text{SİSTEM}} + \Delta S_{\text{ORTAM}}$$

$$= 163,3 + (-959,16)$$

$$= -795,86 \text{ J/mol.K} \quad \rightarrow \quad \text{(Toplam entropi azaldı.)}$$

⇒ **SUYUN ELEKTROLİZİ İSTEMSİZDİR.**

## SONUÇ:

$\Delta S_{EVREN} = 0 \rightarrow$  SİSTEM DENGEDİR

$\Delta S_{EVREN} > 0 \rightarrow$  İSTEMLİ

$\Delta S_{EVREN} < 0 \rightarrow$  İSTEMSİZ

## TERMODİNAMİĞİN 2. KANUNU

**Bütün istemli olaylarda EVRENDEKİ TOPLAM ENTROPİ ARTAR ve EVREN ZAMAN GEÇTİKÇE BİR DENGİ HALİNE DOĞRU YAKLAŞIR.**

$$\Delta S_{EVREN} = \Delta S_{SİSTEM} + \Delta S_{ORTAM}$$

$$\Delta S_{ORTAM} = - \frac{\Delta H_{SİSTEM}}{T}$$

$\rightarrow$  Sabit sıcaklık ve basınçta tersinir bir kimyasal reaksiyonun entropisi

$\Rightarrow \Delta S_{ORTAM}$ ,  $\Delta H$  ile doğru

T ile ters orantılıdır.

- Düşük sıcaklıkta sistem daha düzenli, ortam düzensizdir.
- Yüksek sıcaklıkta sistem daha düzensiz, ortam düzenlidir.
- T arttıkça, SİSTEMİN ENTROPİSİ ARTAR.  
ORTAMIN ENTROPİSİ AZALIR.

**Örnek:** 0°C'de 1 mol buzun, 0°C'de 1 mol suya dönüşümünü inceleyelim.

0°C'de 1 mol buzun entropisi = 43,2 J/mol.K

0°C'de 1 mol suyun entropisi = 65,2 J/mol.K

- Hal değişimi sonucunda sistemin entropi değişimi:

$$\Delta S_{SİSTEM} = \Delta S_{SON(SU)} - \Delta S_{İLK(BUZ)}$$

$$= 65,2 - 43,2$$

$$= 22 \text{ J/mol.K} \quad \rightarrow \Delta S_{SİSTEM} > 0 \rightarrow \text{Sistemin entropisi artmış.}$$

- Sistemin ortamdaki aldığı ısı:

$$Q = m \cdot L_{ERİME}$$

$$Q = 18 \cdot 333 = 5994 \text{ J} \quad \rightarrow \Delta H_{SİSTEM}$$

- Ortamın entropisindeki değişim:

$$\Delta S_{ORTAM} = - \frac{\Delta H_{SİSTEM}}{T} = - \frac{5994}{273} \approx -21,9 \text{ J/mol.K} \rightarrow \text{Ortamın entropisi azalmış.}$$

- $$\Delta S_{\text{EVREN}} = \Delta S_{\text{SİSTEM}} + \Delta S_{\text{ORTAM}}$$

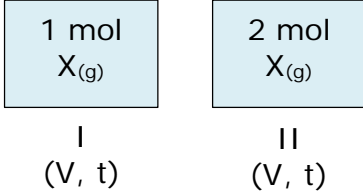
$$= 22 + (-21,9)$$

$$= +0,1 \text{ J}$$

→  $\Delta S_{\text{EVREN}} > 0$  → TOPLAM ENTROPİ ARTTI.  
(OLAY İSTEMLİ)

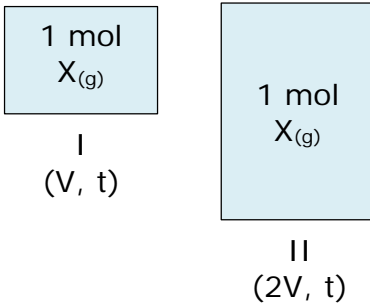
✓ Entropinin artması: Sistemin olası olmayan durumdan daha olası duruma doğru gitmesidir.

**Örnek:**



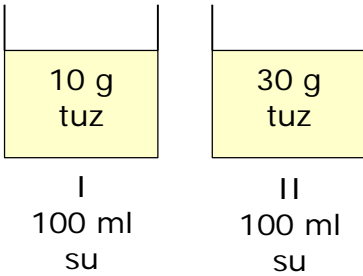
✓ Aynı sıcaklıkta, eşit hacimde farklı kaplarda bulunan gazın entropisi (başka bir değişle düzensizliği) **madde miktarı azaldıkça artar.**  
⇒  $S_I > S_{II}$  (I daha düzensiz)

**Örnek:**



✓ Aynı sıcaklıkta, farklı hacimlerdeki kaplarda bulunan gazın entropisi (başka bir değişle düzensizliği) **hacim arttıkça artar.**  
⇒  $S_{II} > S_I$  (II daha düzensiz)

**Örnek:**



✓ Aynı sıcaklıkta, aynı miktarda çözücü içindeki çözünenin entropisi (başka bir değişle düzensizliği) **çözünen miktarı azaldıkça artar.**  
⇒  $S_I > S_{II}$  (I daha düzensiz)



**ENTROPİ, İŞ YAPMA YETENEĞİ OLMAYAN ENERJİDİR!!!**

## ENTROPİ VE İSTEMLİLİK

İstemli değişimler gerçekleşirken madde tanecikleri daha düzensiz ve gelişigüzel bir yapıya doğru hareket ederler.

➤ Düzensizlik arttıkça entropi artar → İstemli olay gerçekleşir.



### Örnek Soru:

- I.  $C_2H_5OH_{(s)}$  suda çözünürse entropisi artar.
- II. Su buharları soğuk camda yoğunlaşırsa entropileri azalır.
- III. Su elektroliz edilirse entropisi azalır.

### yargılarından hangileri doğrudur?

**Cevap:** I ve II

### Ödev Sorusu:

- I. Pistonlu bir kaptaki gaz ısıtılıyor.
- II. Oda sıcaklığında bırakılan buz eriyor.
- III. Leblebiden leblebi tozu yapılıyor.

### olaylarında entropi nasıl değişir?

**Cevap:** Üçünde de artar.

## TERMODİNAMİĞİN 3. KANUNU

**MUTLAK SIFIR NOKTASINDA BÜTÜN SAF MADDELERİN  
(ELEMENT/BİLEŞİK) KRİSTALLERİ SIFIR ENTROPİYE SAHİPTİR.**

- ❖ **BİR MADDENİN ENTROPİSİ ASLA SIFIR OLAMAZ. BUN EDENLE, MADDELERİN SICAKLIĞI ASLA MUTLAK SIFIR DEĞERİNE DÜŞÜRÜLEMEZ.**
- ❖ Mutlak sıfır sıcaklık değerine yaklaşıldığında, sistemin entropisi de sabit bir değer alır. Bu değer sabit olması, bütün hareketlerin durması ve kristal olmayan maddelerin molekül dizilimlerinin farklı olmasından kaynaklanan bir belirsizliğin hala var olması yüzündendir.
- ❖ Mükemmel kristallerin titreşim hareketleri mutlak sıfırda tamamen durur. (Mükemmel kristaller, kristal yapıları bozulmaya uğratılmayan ve en düşük enerjiye sahip, mutlak entropinin sıfır olduğu maddelerdir.)
- ❖ Mutlak sıfırdan itibaren ısıtılmaya başlanan tüm kristallerdeki entropi artışı, entalpileri ve hal değişim ısıları ölçülerek bulunur.
- ❖ Maddelerin 1 atm basınç ve 25°C sıcaklıkta ölçülen entropi değerlerine *standart mutlak entropi* denir ve  $S^\circ$  ile gösterilir.

## GİBBS SERBEST ENERJİSİ

$$\Delta S_{\text{EVREN}} = \Delta S_{\text{TOPLAM}} = \Delta S_{\text{SİSTEM}} + \Delta S_{\text{ORTAM}} > 0 \text{ (İSTEMLİ OLAY)}$$

$$\Delta S_{\text{TOPLAM}} = \Delta S_{\text{SİSTEM}} - \frac{\Delta H_{\text{SİSTEM}}}{T} \quad (\text{Denklemi } T \text{ ile çarpalım})$$

$$T \cdot \Delta S_{\text{TOPLAM}} = T \cdot \Delta S_{\text{SİSTEM}} + \cancel{\mathcal{X}} \cdot \frac{\Delta H_{\text{SİSTEM}}}{\cancel{\mathcal{X}}} > 0 \quad (\text{Denklemi } (-) \text{ ile çarpalım})$$

$$-T \cdot \Delta S_{\text{TOPLAM}} = -T \cdot \Delta S_{\text{SİSTEM}} - (-\cancel{\mathcal{X}}) \cdot \frac{\Delta H_{\text{SİSTEM}}}{\cancel{\mathcal{X}}} < 0$$

$$-T \cdot \Delta S_{\text{TOPLAM}} = -T \cdot \Delta S_{\text{SİSTEM}} + \Delta H_{\text{SİSTEM}} < 0 \quad (\text{olur ve yeniden adlandırılır})$$

$$\underbrace{-T \cdot \Delta S_{\text{TOPLAM}}}_{\text{EVRENDEKİ SERBEST ENERJİ DEĞİŞİMİ (\Delta G)}} = -T \cdot \Delta S_{\text{SİSTEM}} + \Delta H_{\text{SİSTEM}} < 0$$

**SONUÇ:**

$$\Delta G = \sum \Delta G_{\text{SİSTEM}} - \sum \Delta G_{\text{SİSTEM}}$$

→  $\Delta G < 0 \rightarrow$  İSTEMLİ (Sistem ortalama iş yapabilecek enerji verir)

$\Delta G = 0 \rightarrow$  SİSTEM DENGEDİR

$\Delta G > 0 \rightarrow$  İSTEMSİZ

**SERBEST ENERJİ:** İş yapmaya hazır enerji demektir.

**Ödev Sorusu:** MEB Ders Kitabı – Sy: 52 – Öğrendiklerimizi Uygulayalım

➤ Bir sistemdeki (reaksiyondaki) serbest enerji değişimi:

$$\Delta G = \sum \Delta G_{\text{ÜRÜNLER}} - \sum \Delta G_{\text{GİRENLER}} \text{ ile de hesaplanabilir.}$$

❖ Gibbs Serbest enerjisi, değişimlerin istemliliğini etkileyen 2 faktörü birleştirir:

1. Minimum enerjili olma durumu
2. Maksimum düzensizlik eğilimi (Entropi artışı)

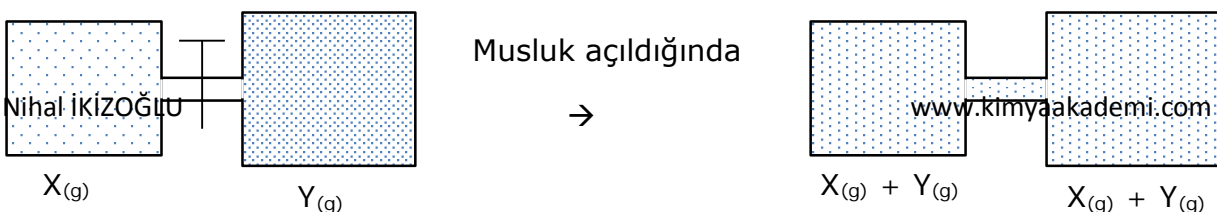


Bir olayın, herhangi bir yönde istemli olması maksimum düzensizlik eğilimi ile minimum enerji eğiliminin aynı yönde olması ile artar.

⇒ Bir değişim sürecinde bu eğilimler zıt yönde ise tepkime tersinir (çift yönlü) olabilir. Özelliğine sahiptir.

Bu tür tepkimelerde  $\Delta G = 0$ 'dır.

**Örnek:**



Gazlar difüzyonla birbirine karışır.

Gazlar ideal ise, bu olayda sistemin iç enerjisi ne artar, ne de azalır. (Yani değişmez.)

Yani, sistem ile ortam arasında ısı alışverişi olmaz. ( $\Delta G = 0$ )

Bu durumda, ortamın entropisi değişmez. ( $\Delta S_{\text{ORTAM}} = 0$ )

Gaz taneciklerinin arasındaki uzaklık arttığından sistemin düzensizliği ve entropisi artar.

$$\Delta S_{\text{TOPLAM}} = \Delta S_{\text{SİSTEM}} + \underbrace{\Delta S_{\text{ORTAM}}}_{0}$$

$$\Delta S_{\text{TOPLAM}} = \Delta S_{\text{SİSTEM}}$$



İstemli bir olay sırasında enerji değişimi olmazsa, entropi azalması asla olmaz. (Termodinamiğin 2. kanununa – istemli olaylarda evrenin entropisi daima artar – yeni bir bakış açısı da denebilir.)

### ÖZETLE;

Bir reaksiyonun kendiliğinden olabilmesi için  $\Delta G < 0$  olması gerekir.

$\Delta G < 0$  iken  $\Delta H < 0$  veya  $\Delta S > 0 \rightarrow$  Rxn her sıcaklıkta kendiliğinden gerçekleşir.

$\Delta H < 0$  ve  $\Delta S < 0 \rightarrow$  Rxn düşük sıcaklıkta kendiliğinden oluşur.

$\Delta H > 0$  ve  $\Delta S > 0 \rightarrow$  Rxn yüksek sıcaklıkta kendiliğinden oluşur.

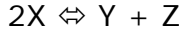
$\Delta G > 0$  iken  $\Delta H$  ve  $\Delta S$  ne olursa olsun, rxn kendiliğinden oluşmaz.

### ÜNİVERSİTE SINAVLARINDA ÇIKMIŞ SORULAR

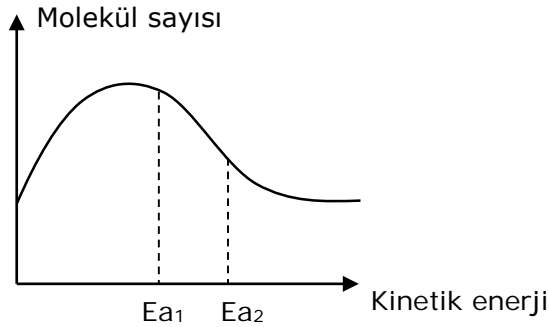
1.  $C_2H_4(g) + H_2(g) \rightarrow C_2H_6(g)$  tepkimesine göre, 2 mol  $C_2H_6(g)$ 'nin gazının oluşması sırasında 65,4 kkal ısı açığa çıkmaktadır.  $C_2H_4(g)$ 'nin oluşma ısı 12,5 kkal/mol olduğuna göre,  $C_2H_6(g)$ 'nin oluşma ısı kaç kkal/mol'dür? (1994-ÖYS)

- A) -45,2      B) 45,2      C) -20,2      D) 20,2      E) -32,7

2. X maddesinin belirli bir sıcaklıktaki kinetik enerji dağılımı şekildeki gibidir. Bu X maddesinin,



tepkimesi ile ilgili iki ayrı durumdaki aktifleşme enerjileri  $E_{a1}$  ve  $E_{a2}$ 'dir.



**Bu durumlardan biri katalizörsüz, diğeri katalizörlü olduğuna göre,**

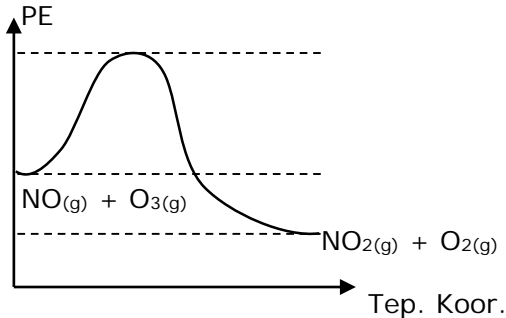
- I. Her iki durumda da etkin çarpışma sayısı aynıdır.  
II.  $E_{a1}$  katalizörlü tepkimenin aktifleşme enerjisidir.  
III. Aktifleşme enerjisi  $E_{a2}$  olan tepkimenin hızı daha küçüktür.

**yargılarından hangilerinin doğru olması beklenir?**

(1994-ÖYS)

- A) Yalnız I      B) Yalnız II      C) Yalnız III  
D) II ve III      E) I, II ve III

3.



Tek basamakta olduğu bilinen,



tepkimesinin potansiyel enerji diyagramı şekildeki gibidir.

**Bu tepkime ile ilgili olarak,**

- I. Isıveren (ekzotermik) dir.  
II. Tepkime hızı =  $k[\text{NO}][\text{O}_3]$   
III. Hız sabiti (k) sıcaklıkla artar.

**yargılarından hangileri doğrudur?**

(1995-ÖYS)

A) Yalnız I

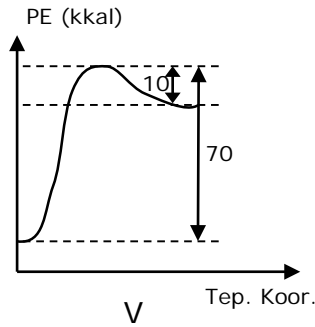
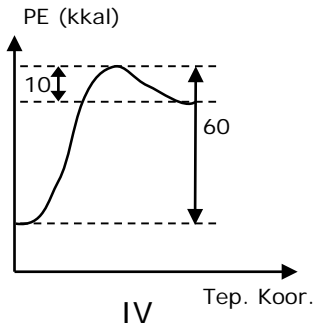
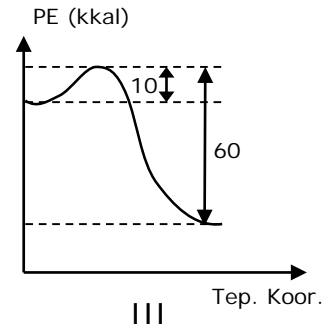
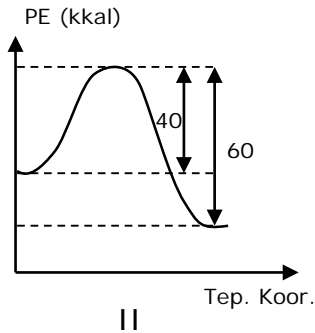
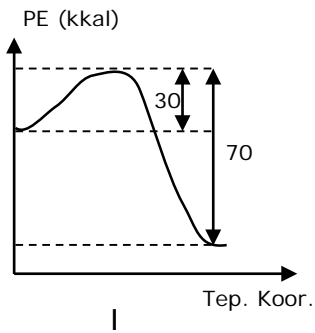
B) Yalnız II

C) Yalnız III

D) I ve II

E) I, II ve III

4. Aşağıdaki diyagramlar, eşit kütleli beş farklı maddenin oksijenle oluşan tepkimelerinin, tepkime süresince potansiyel enerji (PE) değişimlerini göstermektedir.



**Bu diyagramlardan hangisi, diğerlerine göre, yakıt özelliği en iyi (yanma ısı en büyük) olan maddeye aittir?**

(1995-ÖYS)

A) I

B) II

C) III

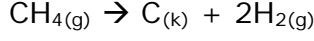
D) IV

E) V

5.  $\text{CH}_4(\text{g}) + 2\text{O}_2(\text{g}) \rightarrow \text{CO}_2(\text{g}) + 2\text{H}_2\text{O}(\text{s})$  denkleminde göre 3,2 gram  $\text{CH}_4$ 'ün yanmasından 42,6 kkal ısı açığa çıkmaktadır.



**Bu bilgilere göre,**



**tepkimesinin  $\Delta H$ 'si kaç kkal'dir?**

(1996-ÖYS)

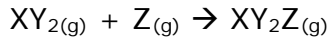
( $\text{CH}_4$ : 16, tepkimeler aynı koşullardadır.)

- A) -34      B) -17      C) +8,5      D) +17      E) +34

6.  $2\text{XY}_2(\text{g}) + \text{Z}_2(\text{g}) \rightarrow 2\text{XY}_2\text{Z}(\text{g})$

Tepkimesi iki basamakta gerçekleşmektedir.

**Bu tepkimenin hızlı basamağı**



**olduğuna göre, tepkimenin hızı aşağıdakilerden hangisine eşittir?**

(1996-ÖYS)

- A)  $k[\text{XY}_2][\text{Z}]$       B)  $k[\text{XY}_2][\text{Z}_2]$       C)  $k[\text{XY}_2]^2[\text{Z}_2]$   
D)  $k[\text{XY}_2\text{Z}][\text{Z}]$       E)  $k[\text{XY}_2\text{Z}]$

7. **Isı veren (ekzotermik) tepkimelerde,**

I. Toplam entalpi azalır.

II. Açığa çıkan ısı, ürünlerin toplam entalpileri ile giren maddelerin entalpileri arasındaki fark kadardır.

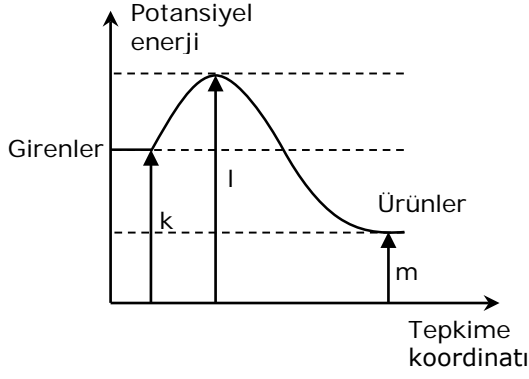
III. Aktifleşmiş kompleksin enerjisi, ileri ve geri tepkimelerde aynıdır.

**yargılarından hangileri doğrudur?**

(1996-ÖYS)

- A) Yalnız I      B) Yalnız II      C) I ve II  
D) II ve III      E) I, II ve III

8.



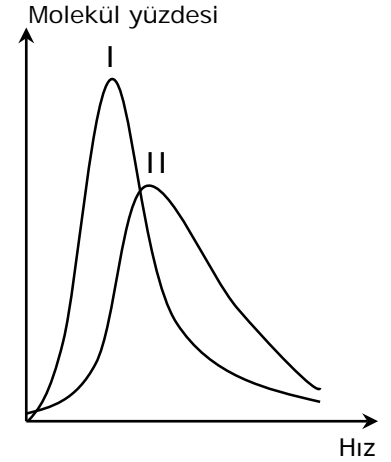
Yukarıda bir tepkimenin potansiyel enerji diyagramı verilmiştir.

**Diyagrama göre, bu tepkime ile ilgili aşağıdaki ifadelerden hangisi doğrudur?** (1997-ÖYS)

- A) İleri tepkimenin ısı m'dir.
- B) İleri tepkimenin aktifleşme enerjisi geri tepkimeninkinden büyüktür.
- C) Ürünlerin potansiyel enerji toplamı girenlerinkinden küçüktür.
- D) İleri tepkime, ısı alandır (endotermik).
- E) Geri tepkimenin aktifleşme enerjisi I – k dir.

9. Şekildeki iki eğri kapalı bir kaptaki bulunan bir gaz örneğindeki moleküllerin, I ve II koşullarındaki hız dağılımını göstermektedir. **Buna göre, gaz örneği ile ilgili aşağıdaki karşılaştırmalardan hangisi doğrudur?** (1997-ÖYS)

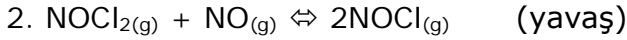
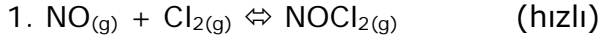
- A) Sıcaklığı, I ve II'de aynıdır.
- B) Sıcaklığı, I'de II'dekinden yüksektir.
- C) Ortalama kinetik enerjisi, I'de II'dekinden büyüktür.
- D) Molekülleri arası çekme kuvvetleri, I'de II'dekinden küçüktür.
- E) Moleküllerinin saniyedeki ortalama çarpışma sayısı, I'de II'dekinden azdır.



**10. Aşağıdaki değişimlerin hangisindeki  $\Delta H$ 'nin (enerji değişimi) adı yanlış verilmiştir?** (1997-ÖYS)

Değişim	$\Delta H$
A) $X_{(k)} \rightarrow X_{(g)}$	Süblimleşme enerjisi
B) $X_{(s)} \rightarrow X_{(g)}$	Buharlaştırma enerjisi
C) $X_{(g)} + e^- \rightarrow X^-_{(g)}$	İyonlaşma enerjisi
D) $HX_{(suda)} \rightarrow H^+_{(suda)} + X^-_{(suda)}$	Asit iyonlaşma enerjisi
E) $X_{(k)} + H_2O_{(s)} \rightarrow X_{(suda)}$	Çözünme enerjisi

**11.** Bir tepkimenin mekanizması,



basamakları ile gösterilmektedir.

**Bu tepkime ile ilgili,**

I. Denklemi,  $2\text{NO}_{(g)} + \text{Cl}_{2(g)} \rightleftharpoons 2\text{NOCl}_{(g)}$  dir.

II. Hızı,  $k[\text{Cl}_2][\text{NO}]$  ya eşittir.

III. Birinci basamağının aktifleşme enerjisi ikincisinininkinden küçüktür.

**yargılarından hangileri doğrudur?**

(1997-ÖYS)

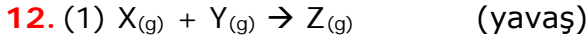
A) Yalnız I

B) Yalnız II

C) Yalnız III

D) I ve III

E) I, II ve III



Aynı sıcaklıkta oluşan yukarıdaki tek basamaklı (1) ve (2) tepkimelerinin hızları birbirinden farklıdır.

**Bu tepkimelerle ilgili,**

I. (1) tepkimesinin aktifleşme enerjisi (2) tepkimesinininkinden büyüktür.

II. Her iki tepkimenin denge sabitleri farklıdır.

III. Her iki tepkimenin tepkime ısıları aynıdır.

**yargılarından hangileri doğrudur?**

(1998-ÖYS)

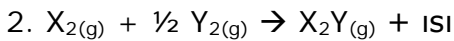
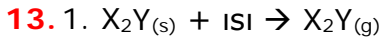
A) Yalnız I

B) Yalnız III

C) I ve III

D) II ve III

E) I, II ve III



**Yukarıda verilen 1 ve 2 tepkimeleriyle ilgili,**

I. 1 fiziksel, 2 ise kimyasal tepkimedir.

II. 1 deki ısının mutlak değeri 2 dekinden büyüktür.

III. 2 oluşurken potansiyel enerji azalır.

**yargılarından hangilerinin doğru olması beklenir?**

(1999-ÖSS)

**14.** Bir  $\text{X}_2$  gazının 0,5 molü, aynı mol sayısında  $\text{Y}_2$  gazıyla tam olarak birleşip potansiyel enerjisi 70 kkal/mol olan  $\text{X}_2\text{Y}_2$  bileşiğini oluşturmuş ve tepkime sonucunda 200 kkal ısı açığa çıkmıştır.

**Buna göre,**

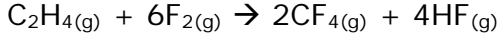


- I.  $X_2Y_2$  bileşiminin oluşum entalpisi 400 kkal/mol' dür.  
II. Tepkimeye girenlerin potansiyel enerjisi 470 kkal'dir.  
III. Tepkime ısısı ( $\Delta H$ ) 200 kkal/mol'dür.

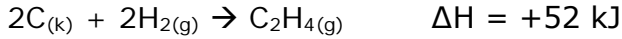
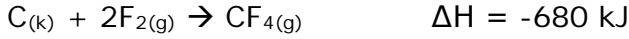
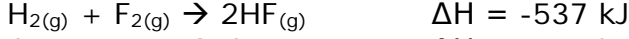
**yargılarından hangileri doğrudur?**

(2006-ÖSS)

- 15.** Etilen gazının flor gazı ile tepkimesi aşağıdaki gibidir.



**Buna göre, tepkimenin standart tepkime ısısı ( $\Delta H$ ) kaç kJ'dir?**



(2008-ÖSS)

A) -2486

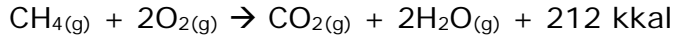
B) -2382

C) -1165

D) -1113

E) +1165

- 16.** Metan gazının yanma tepkimesi aşağıda verilmiştir.



32 gram  $CH_4$  gazı yakıldığında açığa çıkan ısı  $25^\circ C$ 'deki 8 litre suyun ısıtılmasında kullanılmıştır.

**Buna göre  $25^\circ C$ 'deki suyun sıcaklığı kaç  $^\circ C$ 'ye çıkar?**

(2010-LYS)

( $CH_4 = 16 \text{ g/mol}$ ,  $d_{su} = 1 \text{ g/mL}$ ,  $c_{su} = 1 \text{ kal/g}^\circ C$ )

A) 78

B) 63

C) 58

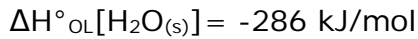
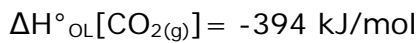
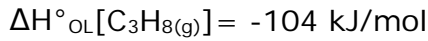
D) 43

E) 35

- 17.**  $C_3H_8(g) + 5O_2(g) \rightarrow 3CO_2(g) + 4H_2O(s)$

**Yukarıda verilen tepkimenin standart tepkime ısısı ( $\Delta H^\circ$ ) kaç kJ'dür?**

(2010-LYS)



A) +784

B) +476

C) -784

D) -2222

E) -2326