

# KMU 202

# TERMODINAMİK

The background is a gradient from light yellow at the top to orange at the bottom. On the right side, there are several parallel white lines that start from the top right and extend towards the bottom left, creating a sense of motion or a stylized graphic element.

# BÖLÜM III

## Sabit Sıcaklık Prosesi, T=sbt, dT=0

Izotermal proseslerde ideal gazın iç enerjisi değişmez.

$$dU = dQ + dW = 0 \Rightarrow Q = -W$$

Akış olmayan mekanik olarak tersinir bir proses için

$$Q = -W = \int PdV = \int RT \frac{dV}{V} = RT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{V_2}{V_1}$$

$$Q = -W = RT \ln \frac{P_1}{P_2}$$

$$T = \text{sbt.}$$

# BÖLÜM III

## Tersinir Adyabatik Proses, $Q=sbt, dQ=0$

Bu proseslerde sistem ve çevre arasında ısı alış-verişi yoktur

Akış olmayan mekanik olarak tersinir bir proses için

$$dU = dW = 0 \Rightarrow dU = -PdV$$

$$C_V dT = -RT \frac{dV}{V} \Rightarrow \frac{dT}{T} = -\frac{R}{C_V} \frac{dV}{V}$$

$$\gamma = \frac{C_P}{C_V} \quad \text{ve} \quad C_P = C_V + R$$

$$\gamma = \frac{C_V + R}{C_V} = 1 + \frac{R}{C_V}$$

$$\gamma - 1 = \frac{R}{C_V}$$

elde edilir. Eğer  $\gamma$  sabitse

$$\ln \frac{T_2}{T_1} = -(\gamma - 1) \ln \frac{V_2}{V_1} \quad \text{olur.}$$

# BÖLÜM III

## Tersinir Adyabatik Proses, Q=sbt, dQ=0

$\gamma$  ideal gazlar için sabit, bu durumda ısı kapasiteleri de sabit kabulü yapılabilir. Isı kapasiteleri sabit olduğunda,  $C_p - C_v = R$  dir. Ancak  $C_p$  ve  $C_v$  sıcaklıkla artar, fakat oran ( $\gamma$ ) gazlarda fazla değişmez.

$$\left(\frac{T_2}{T_1}\right) = \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^{\gamma-1} \quad \text{ve} \quad \left(\frac{T_2}{T_1}\right) = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad \text{yazılabilir.}$$

### Adyabatik proseslerde iş:

$$W = \Delta U = C_v \Delta T = \frac{R}{\gamma-1} \Delta T$$

$$W = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{\gamma-1}$$

# BÖLÜM III

## Tersinir Adyabatik Proses, $Q=sbt$ , $dQ=0$

Yukarıdaki eşitlikte  $V_2$  elimine edilebilir:

$$W = \frac{P_1 V_1}{\gamma - 1} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right] = \frac{RT_1}{\gamma - 1} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} - 1 \right]$$

# BÖLÜM III

## Politropik Proses

$$W = -\int PdV$$

İntegralin çözümü için P ve V arasındaki ilişkinin bilinmesi gerekir, P ve V arasında  $PV^\delta = K$  şeklinde bir ilişkinin olduğu proses politropik süreçtir.

$\delta$ : politropik üs, adyabatik proses için türetilen iş ifadesinde  $\gamma=\delta$  yazılarak;

$$W = \frac{RT_1}{\delta - 1} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\delta-1}{\delta}} - 1 \right]$$

Sabit ısı kapasitesinde Q için çözülürse

$$Q = \frac{(\delta - \gamma)RT_1}{(\delta - 1)(\gamma - 1)} \left[ \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{\delta-1}{\delta}} - 1 \right]$$

bulunur.

# BÖLÜM III

## Kübik Hal Eşitlikleri:

Virial eşitliğinin kullanımı sınırlıdır, gaz ve buhar için iyi sonuçlar vermektedir. Gaz ve buharın yanısıra sıvılar için de uygun sonuçlar veren hal denkleminde gereksinim vardır.

## van der Waals Eşitliği:

İlk kübik eşitlik **J.D. van der Waals** tarafından 1873 yılında verilen eşitliktir.

$$\left( P + \frac{n^2 a}{V^2} \right) (V - nb) = nRT$$

1 mol için P'ye göre düzenlenirse;

$$P = \frac{RT}{V - b} - \frac{a}{V^2}$$

Burada a ve b pozitif katsayılarıdır eğer bunlar sıfır olursa ideal gaz denklemini elde edilir.

$$a = \frac{27R^2T_c^2}{64P_c} \quad b = \frac{RT_c}{8P_c}$$

# BÖLÜM III

## Kübik Hal Eşitlikleri:

Redlich/Kwong eşitliği (1949):

**van der Waals** eşitliği temel alınarak türetilmiştir.

$$P = \frac{RT}{V - b} - \frac{a}{T^{1/2}V(V + b)}$$

$$a = \frac{0.42748R^2T_c^{2.5}}{P_c} \quad b = \frac{0.08664RT_c}{P_c}$$

Bu eşitlik diğer kübik hal eşitliklerine benzer, köklerden ikisi kompleks olabilen üç hacim köküne sahiptir. Denklem iteratif yöntemlerle bilgisayar yardımıyla çözülebilir.



# BÖLÜM III

## Kübik Hal Eşitlikleri:

Genel (generic) kübik hal denklemi

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{\theta(V-\eta)}{(V-b)(V^2 + \delta V + \varepsilon)}$$

Burada  $b$ ,  $\theta$ ,  $\delta$ ,  $\eta$  ve  $\varepsilon$  parametreler olup, genelde sıcaklık ve bileşime (karışımlar için) bağlıdırlar.

# BÖLÜM III

## Kübik Hal Eşitlikleri:

**Benedict/Webb/Rubin eşitliği** : Daha hassas bir eşitliktir.

$$P = \frac{RT}{V} + \frac{B_0RT - A_0 - C_0/T^2}{V^2} + \frac{bRT - a}{V^3} + \frac{a\alpha}{V^6} + \frac{C}{V^3T^2} \left( 1 + \frac{\gamma}{V^2} \right) \exp \frac{-\gamma}{V^2}$$

$A_0, B_0, C_0, a, b, c, \alpha$  ve  $\gamma$  sabitlerdir. Bu eşitlik petrol, doğal gaz ve hafif hidrokarbonlar için oldukça uygundur.

# KAYNAKLAR

Ders kitabı: J. M. Smith, C. Van Ness, M. M. Abbott, **Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics**, Fifth Edition, McGraw-Hill International Editions, 1996.

## Diğer Kaynaklar:

Stanley I. Sandler, **Chemical and Engineering Thermodynamics**, Third edition **John Wiley & Sons Inc, 1998**.

M. David Burghardt, **Engineering Thermodynamics with Application**, Third Ed. Harper & Row Inc, 1986.

G. J. Van Wylen, R. E. Sonntag, **Fundamentals of Classical Thermodynamics**, Third Ed. John Wiley & Sons Inc, 1985

Y. A. Çengel, Michael A.Boles, **Thermodynamics: An Engineering Approach**, ISE Edition, McGraw-Hill, 1997.