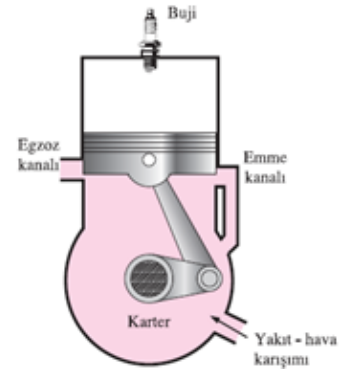
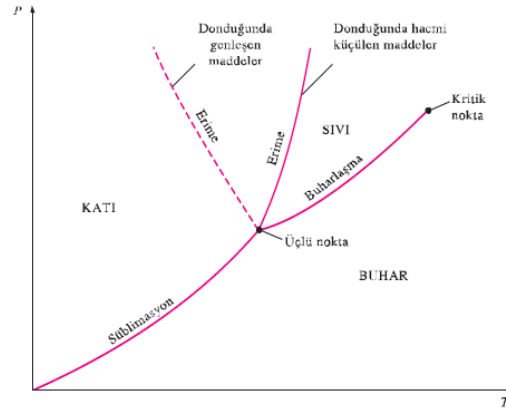
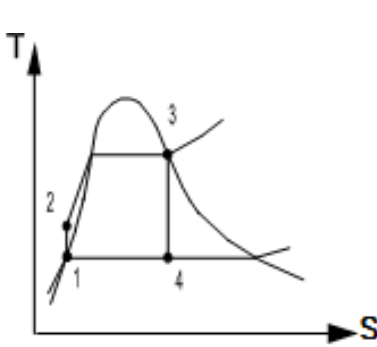




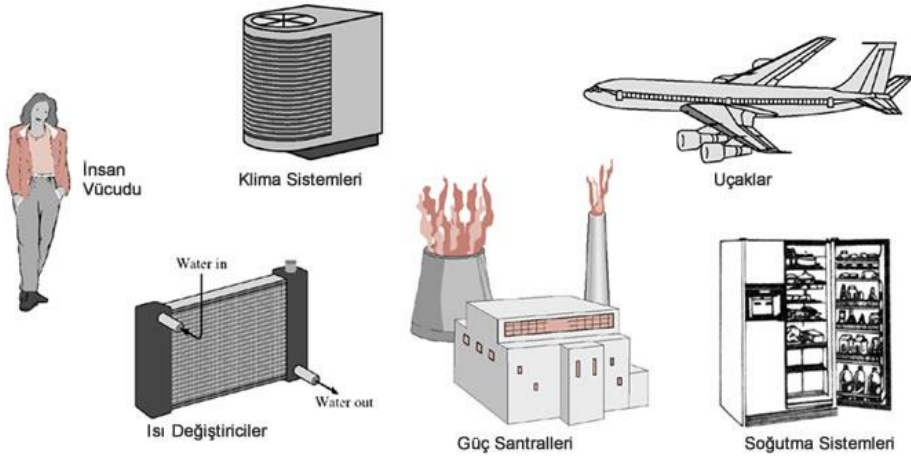
# Harran Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü



$$Q - W = \dot{m} * \Delta h$$

## ÇÖZÜMLÜ TERMODİNAMİK PROBLEMLERİ

Prof.Dr. Hüsamettin BULUT



Şanlıurfa, 2017



## Önsöz

Enerjinin bilimi olan Termodinamik, lisans öğrencilerinin zorlandığı temel bir derstir. Bu kitapta 1993 yılından beri sınavlarda sorduğum soruların cevaplarını bulabilirsiniz. Uygulamaya yönelik, analitik ve Termodinamik prensip ve kanunları kullanan sorular tercih edilmiştir. Böylelikle çözümlü problemlerle öğrenciler Termodinamiğin somut konularla ilgilendiğini net bir şekilde görmüş olacaklardır. Ayrıca bu çözümlü sorularla öğrencilere sınavlara hazırlanmış olacaklardır.

Kitabın hazırlanmasında katkıları olan Prof. Dr. Bülent YEŞİLATA, Doç. Dr. M. Azmi AKTACİR, Arş. Gör. Harun ÇİFCİ, Arş. Gör. Yusuf İŞİKER, Arş. Gör. Nesrin İLGİN BEYAZIT, Arş. Gör. Yunus DEMİRTAŞ ve Elçin DUMAN'a teşekkür ederim.

Prof. Dr. Hüsamettin BULUT

Şanlıurfa, 03 Temmuz 2017.

# Ç NDEK LER

Bölüm 1 - Temel Kavramlar, Sıcaklık, Basınç .....	1
Bölüm 2 - Saf Madde ve Gazlar .....	11
Bölüm 3 -Termodinamiğin 1. Kanunu: Kapalı Sistem .....	33
Bölüm 4 - Termodinamiğin 1. Kanunu: Açık Sistem .....	69
Bölüm 5 - Termodinamiğin 2. Kanunu: Isı ve Soğutma Makinası.....	116
Bölüm 6 - Entropi .....	139
Bölüm 7 - Ekserji.....	172
Bölüm 8 - Hava Güç Çevrimleri: Otto, Dizel, Brayton.....	200
Bölüm 9 - Buhar Güç Çevrimi: Rankine .....	237
Bölüm 10 - Soğutma Çevrimi.....	261
Bölüm 11 -Yakıtlar ve Yanma .....	261
Kaynaklar.....	267
Termodinamik Tablolar ve Ekler.....	268

## TEMEL KAVRAMLAR

**Enerjinin korunumu prensibi:** Bir etkileşim esnasında, enerji, bir formdan başka bir forma dönüşebilir, ama enerjinin toplam miktarı, sabit kalır.

**Termodinamiğin birinci yasası:** Enerjinin korunumu ilkesini ifade eder. Birinci yasa enerjinin termodinamik ile ilgili bir özellik olduğunu öne sürer.

**Termodinamiğin ikinci yasası:** Enerjinin niceliğinin (miktarının) yanı sıra niteliğinin (kalitesinin) de dikkate alınması gerektiği üzerinde durur ve doğadaki değişimlerin enerjinin niteliğinin azaldığı yönde gerçekleştiğini belirtir. **Sistem:** Belirli bir kütleli veya uzayın incelenmek üzere ayrılan bir bölgesini belirtir. **Çevre:** Sistemin dışında kalan kütle veya bölgedir. **Sınır:** Sistemi çevresinden ayıran gerçek veya hayali yüzeydir. Sistemin sınırları sabit veya hareketli olabilir. Sistemler kapalı veya açık diye nitelendirilirler. **Açık sistem(kontrol hacmi):** Problemin çözümüne uygun bir şekilde seçilmiş uzayda bir bölgedir. Genellikle kompresör, türbin, lüle gibi içinden kütle akımının olduğu bir makineyi içerir. Hem kütle hem de enerji kontrol hacmi sınırlarını geçebilir. **Kontrol yüzeyi:** Kontrol hacminin sınırlarına kontrol yüzeyi adı verilir ve gerçek ya da hayali olabilirler. **Özellik:** Herhangi bir sistemin karakteristiğidir. Bazı özellikler basınç P, sıcaklık T, hacim V ve kütle m'dir. Özellikler ya yerinde ya da yaygın olarak dikkate alınır. **Yerel özellikler:** Sıcaklık, basınç, yoğunluk gibi sistemin kütlelerinden bağımsızdır. **Yaygın özellikler:** Sistemin kütlesiyle (büyükölçülü) orantılıdır. **Özgül özellikler:** Birim kütle için yaygın özellikler özgül olarak ifade edilir. Termodinamik denge halleri ile ilgilidir. **Denge:** Bir uzayın halini tanımlar. Denge halinde bulunan bir sistem içinde, dışarıdan zorlayan etkilenmemiş bir potansiyel (ya da itici kuvvet) yoktur. **Isıl denge:** Sistemin her noktasında sıcaklık aynı ise, **Mekanik denge:** Sistemin herhangi bir noktasında basıncın zamana göre değişmediği anlamına gelir. **Faz dengesi:** Eğer bir sistemde iki faz bulunup, her fazın kütlesi bir denge düzeyine eriştiğinde orada kalıyorsa, **Kimyasal denge:** sistemin kimyasal bileşiminin zamanla değişmemesi, başka bir deyişle sistemde kimyasal reaksiyon olmaması anlamına gelir. Bazı hal değişimlerinde özelliklerden biri sabit kalabilir ve izo-önelik hal değişimi ile birlikte kullanılır. **izotermal hal değişimi:** Bir hal değişimi sırasında T sıcaklığı sabit kalır. **izobarik hal değişimi:** Bir hal değişimi sırasında P basıncı sabit kalır. **izokorik (veya izometrik) hal değişimi:** Bir hal değişimi sırasında özgül hacminin sabit kalır. **Çevrim:** Bir sistem geçirdiği bir dizi hal değişimi sonunda yeniden ilk haline dönmesine denir.

**Termodinamiğin sıfıncı yasası:** İki ayrı cismin bir üçüncü cisimle ısı dengede olması durumunda, birbirleri ile de ısı dengede olduklarını belirtir. Üçüncü cisim bir termometre ile yerleştirilirse, sıfıncı yasa şu şekilde yazılabilir: her ikisi de aynı sıcaklık değerine sahip iki cisim birbirleriyle temas etmeseler bile ısı dengededirler.

Celsius ölçeği: SI birim sisteminde

Fahrenheit ölçeği: İngiliz birim sisteminde

Termodinamik sıcaklık ölçeği: herhangi bir madde veya maddelerin özelliklerinden bağımsız bir sıcaklık ölçeğine denir. Kelvin ölçeği (SI) Rankine ölçeği (E).

Kelvin ölçe i ile hemen hemen aynı olacak ekilde olu turulan bir sıcaklık ölçe i de ideal gaz sıcaklık ölçe i dir. Bu ölçekte sıcaklıklar sabit hacimli gaz termometresi ile ölçülür

$$T(\text{K}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273.15$$

$$T(\text{R}) = T(^{\circ}\text{F}) + 459.67$$

**Basınc:** bir akı kanın birim alana uyguladı ı kuvvet.

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N/m}^2$$

**Mutlak basınc:** Verilen bir konumdaki gerçek basınca mutlak basınc denir ve mutlak vakuma (yani mutlak sıfır basınca) göre ölçülür.

**Etkin basınc:** Mutlak basınçla yerel atmosferik basınc arasındaki farktır. Bununla birlikte ço u basınc ölçme cihazları ile atmosferde sıfıra kalibre edilir. Dolayısıyla bu cihazlar mutlak basınc ile yerel atmosferik basınc arasındaki farkı gösterir. Bu farka etkin basınctır.

**Vakum basıncı:** Atmosferik basıncın altındaki basınçlar

$$P_{\text{gage}} = P_{\text{abs}} - P_{\text{atm}}$$

$$P_{\text{vac}} = P_{\text{atm}} - P_{\text{abs}}$$

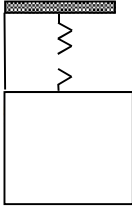
$$\Delta P = P_2 - P_1 = \rho g \Delta z = \gamma_s \Delta z$$

$$P_{\text{atm}} + \rho_1 g h_1 + \rho_2 g h_2 + \rho_3 g h_3 = P_1$$

Sıkça kullanılan bir ba ka basınc birimi de, standart yerçekimi ivmesi ( $g = 9.807 \text{ m/s}^2$ ) altında,  $0^{\circ}\text{C}$ 'deki 760 mm civa sütununun ( $\rho = 13,595 \text{ kg/m}^3$ ) tabanına yaptı ı basınc olan standart atmosferik basınctır.

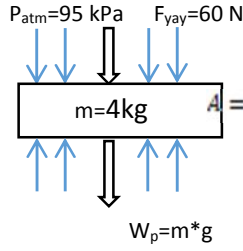
$$P_{\text{atm}} = \rho g h$$

S-1)



Şekilde görüldüğü gibi pistonlu bir silindirde bir gaz bulunmaktadır. Pistonun kütlesi 4 kg ve kesit alanı 35 cm<sup>2</sup> dir. Pistona yay tarafından 60 N kuvvet uygulanmaktadır. Atmosfer basıncı 95 kPa ise silindir içindeki gazın basıncını bulunuz.

C-1)



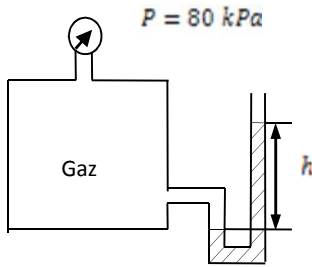
$$F_{yay} + W_p + P_{atm} * A = P_{gaz} * A \quad (1)$$

1 denklemine göre verilen yerine konulursa

$$P_{gaz} * 35 * 10^{-4} m^2 = 60 N + 39.24 N + 332.5 N$$

$$P_{gaz} = 123354.28 Pa = 123.354 kPa$$

S-2)



Şekilde görüldüğü gibi bir tanka hem ibreli hem de tüplü manometre takılmıştır. Eğer ibreli manometre basıncı 80 kPa olarak gösteriyorsa tüplü manometredeki akışkan yüksekliğini

a) Su için,

b) Civa için hesaplayınız

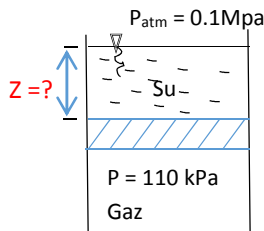
C-2) İbreli manometre basınç, efektif basıncı gösterir.

$$P = P_{ef} = \rho * g * h \quad P = 80 kPa = 80.000 Pa$$

$$a) 80.000 = 1000 + 9.81 * h_{su} \Rightarrow h_{su} = 8.15 m$$

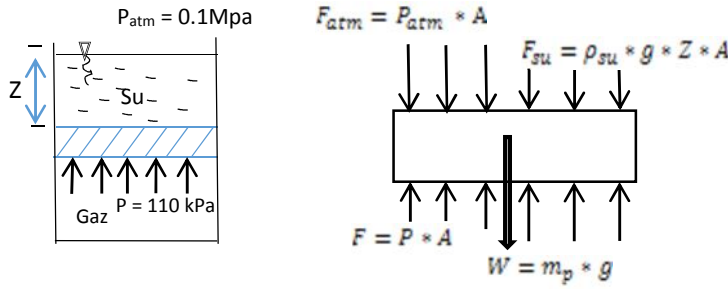
$$b) 80.000 = 13600 + 9.81 * h_{civa} \Rightarrow h_{civa} = 0.5996 m$$

S-3)



Şekilde görülen, kesit alanı 200 cm<sup>2</sup> olan bir silindirin içinde 10 kg kütlesinde sızdırmaz ve sürtünmesiz pistonun alt tarafında 110 kPa basınçta bir gaz bulunmaktadır. Yerçekimi ivmesi 9.8 m/s<sup>2</sup>, atmosfer basıncı 0.1 MPa ve suyun yoğunluğu 965 kg/m<sup>3</sup> olduğuna göre suyun yüksekliğini ve kütlesini bulunuz.

C-3)



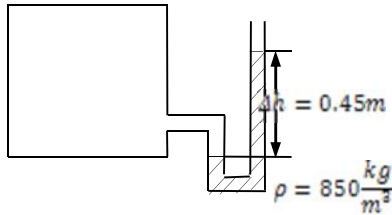
$$F = F_{su} + F_{atm} + W$$

$$P * A = \rho_{su} * g * Z * A + P_{atm} * A + m_p * g$$

$$Z = 0.54 \text{ m} , \quad m = \rho * V = \rho * Z * A , \quad m = 965 * 0.54 * 200 * 10^{-4} = 10.42 \text{ kg}$$

S-4) İçi hava dolu bir kab içerisindeki basınç, yoğunluğu  $850 \text{ kg/m}^3$  olan yağla dolu bir manometre bağlanarak ölçülmektedir. Manometrede sütunlar arasındaki yükseklik farkı  $45 \text{ cm}$  ve atmosfer basıncı  $98 \text{ kPa}$  olduğuna göre kabtaki havanın mutlak hesaplayınız.

C-4)



$$P_{mut} = P_{ef} + P_{atm}$$

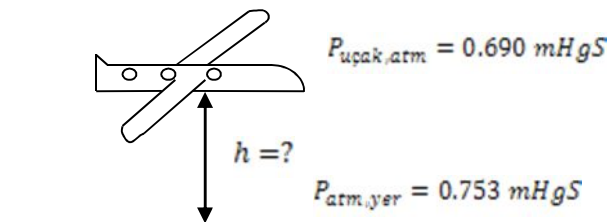
$$P_{ef} = \rho * g * \Delta h = 850 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0.45 \text{ m}$$

$$P_{ef} = 3752.325 \text{ Pa} = 3.752325 \text{ kPa}$$

$$P_{mut} = 98 + 3.752 = 101.752 \text{ kPa}$$

S-5) Barometre, uçaklarda yerden yüksekliği ölçmek için de kullanılır. Yer kontrolünün, barometre basıncını  $753 \text{ mmHgS}$  olarak bildirdiği bir anda havada bulunan uçakta pilotun barometresi  $690 \text{ mmHgS}$  değerini göstermektedir. Uçağın yerden **yüksekliğini** hesaplayınız. Havanın yoğunluğu ortalama  $1.2 \text{ kg/m}^3$ , yerçekim ivmesini  $9.8 \text{ m/s}^2$  ve civanın yoğunluğunu  $13600 \text{ kg/m}^3$  alınız.

C-5)





$$P_{yer} - P_{uçak} = \rho_{hava} * g * h$$

$$P_{yer} = \rho_{civa} * g * h_{civa} = 13600 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2} * 0.753 m = 100460 Pa$$

$$P_{uçak} = \rho_{civa} * g * h_{civa} = 13600 \frac{kg}{m^3} * 9.81 \frac{m}{s^2} * 0.690 m = 92060 Pa$$

$$(100460 - 92060) Pa = 1.2 \frac{kg}{m^3} * 9.8 \frac{m}{s^2} * h \Rightarrow h = 714 m$$

**S-6)** 100 litre hacmindeki bir otomobil lastiği kışın sıcaklık 0 °C iken içerisindeki basınç manometreden 210 kPa oluncaya kadar azot gazı ile şişirilmektedir. Buna göre a) Lastiğe basılan azot miktarını belirleyiniz. b) Yazın sıcaklığın 37 °C olduğu zamanda aynı lastiğin basıncı manometreden ne okunur? Not: Atmosfer basıncını 100 kPa ve lastikten azot kaçağı olmadığını ve lastik hacminin değişmediğini kabul ediniz.  $R_{Azot}=0.2968$  kJ/kgK

$$\text{C-6)} V_1 = 0.1 m^3 = 100 lt, T_1 = 0 + 273 = 273 K, P_{göst1} = 210 kPa, P_{mut} = 310 kPa$$

$$m_1 = m_2 = \frac{(P_{mut} * V_1)}{R * T_1} = \frac{310 * 0.1}{0.2968 * 273} = 0.3826 kg$$

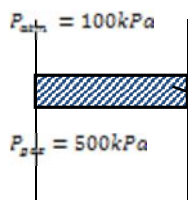
$$P_2 = \frac{m_2 * R * T_2}{V_1} = \frac{(0.3826 * 0.2968 * 310K)}{0.1}$$

$$P_2 = 352 kPa \Rightarrow P_{göst} = P_{mut} - P_{atm} = 352 - 100$$

$$P_{göst} = 252 kPa$$

**S-7)** Sürtünmesiz dikey bir piston-silindir düzeneğinde 500 kPa basınçta gaz bulunmaktadır. Atmosfer basıncı 100 kPa, piston kesit alanı 30 cm<sup>2</sup> olduğuna göre **pistonun kütesini** hesaplayınız. Yerçekimi ivmesi 9.81 m/s<sup>2</sup>'dir.

**C-7)**



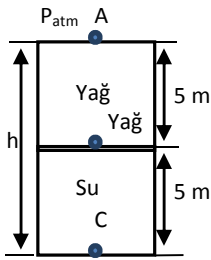
$$P_{gaz} = P_{atm} + \frac{m_{piston} * g}{A}$$

$$A = 30 cm^2 = 30 * P_{gaz} - P_{atm} = \frac{m_{piston} * g}{A}$$

$$400000 Pa = \frac{m_{piston} * 9.81}{30 * 10^{-4} m^2} \Rightarrow m_{piston} = 122.32 kg$$

**S-8)** 10 m yüksekliğindeki silindirik bir kabın alt yarısı su ile ( $\rho_{su}=1000$  kg/m<sup>3</sup>), üst yarısı ise özgül ağırlığı 0.85 olan bir yağla doludur. Silindirin tabanıyla tavanı arasındaki basınç farkını hesaplayınız. Yerçekimi ivmesi 9.81 m/s<sup>2</sup>'dir.

C-8)



$$P_A = P_{atm}$$

$$P_C = \rho_{yağ} * g * h_{yağ} + \rho_{su} * g * h_{su} + P_{atm}$$

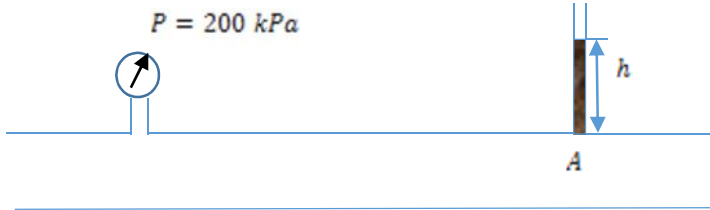
$$P_C - P_A = g * (\rho_{yağ} * h_{yağ} + \rho_{su} * h_{su})$$

$$P_C - P_A = g * \frac{h}{2} * (\rho_{yağ} + \rho_{su})$$

$$P_C - P_A = 9.81 * \frac{10}{2} * (850 + 1000) = 90.7425 \text{ kPa}$$

**S-9)** İçerisinden su akan bir boruya bağlı manometre 200 kPa göstermektedir. **a-** Boru delindiğinde ve deliğe ucu açık şeffaf bir tüp bağlandığında su ne kadar yükseğe çıkabilir? **b-** Atmosfer basıncı 100 kPa ise su borusundaki mutlak basınç ne kadardır. **c-** Metre Civa sütünü (mHgS) cinsinden gösterge basıncını hesaplayınız. **Not:** Civa yoğunluğu  $13600 \text{ kg/m}^3$ , su yoğunluğu  $1000 \text{ kg/m}^3$ , yerçekimi ivmesi  $9.81 \text{ m/s}^2$  alınabilir.

C-9)



$$\text{a) } P_{mutlak} = P_{gösterge} + P_{atm} = \rho_{su} * g * h + P_{atm}$$

$$200000 \text{ Pa} = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 * h \Rightarrow h = 20.387 \text{ m}$$

$$\text{b) } P_{mutlak} = P_{gösterge} + P_{atm} = 200 + 100 = 300 \text{ kPa}$$

$$\text{c) } 200000 = 13600 * 9.81 * h \Rightarrow h = 1.5 \text{ mHgS}$$

**S-10)** Atmosfer sıcaklığı yüksekliğin fonksiyonu olarak Kelvin cinsinden  $T_{hava} = 293 - 0.0067xZ$  denklemi ile ifade edilmektedir. Denklemdaki Z metre cinsinden deniz seviyesinden olan yüksekliktir. 10 000 m yükseklikte seyahat eden bir uçağın etrafındaki sıcaklığı Santigrad Derece ( $^{\circ}\text{C}$ ), Fahrenheit (F) ve Rankine cinsinden hesaplayınız.

$$\text{C-10) } T_{hava} = 293 - 0.0067 * Z , \quad [K], \quad Z = 10000m$$

$$T_{hava} = 226 K , \quad T[^{\circ}C] + 273.15 = T[K]$$

$$T_{hava}[^{\circ}C] = 226K - 273.15 = -47.15^{\circ}C$$

$$T[F] = 1.8 * [T(^{\circ}C)] + 32 = -52.87 F$$

$$T[R] = 1.8 * T[K] = 406.8 R$$

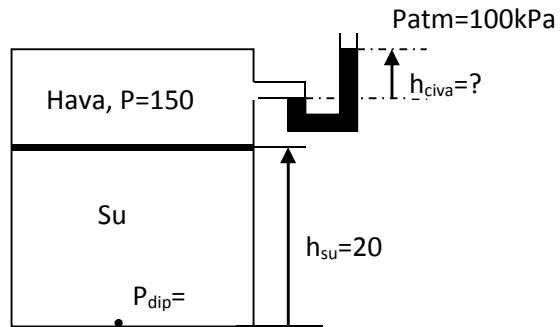
**S-11)** Bir LPG tankının gaz basıncı bir basınç göstergesi ile ölçüldüğünde göstergeden okunan değer 0.75 bar'dır. Aynı tankın basıncı U-manometre ile ölçülürse akışkanının sütunları arasındaki yükseklik farkını bulunuz. **Not:** Manometrede kullanılan akışkan civa ( $\rho=13600\text{kg/m}^3$ )'dir.  $g=9.81 \text{ m/s}^2$

$$\text{C-11) } P_{ef} = P_{gaz} = 0.75 \text{ bar} = 75 \text{ kPa} , \quad \rho_{civa} = 13600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} , \quad g = 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$P_{ef} = \rho * g * h \Rightarrow h = \frac{P_{ef}}{\rho * g} = \frac{75 \text{ kPa} * \frac{1000}{\text{k}}}{13600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0.56 \text{ m}$$

**S-12)** Kapalı bir tankın 20 m'lik alt kısmında su (yoğunluk  $1000 \text{ kg/m}^3$ ), üst kısmında ise 150 kPa basıncında hava bulunmaktadır. Yerel atmosferik basınç 100 kPa ve  $g=9.81 \text{ m/s}^2$ . ise,

- Tankın dibindeki basıncı hesaplayınız.
- Eğer tankın hava tarafına basıncı ölçmek için civalı (yoğunluk  $13600 \text{ kg/m}^3$ ) bir U-manometresi bırakıldığında manometredeki sıvı yüksekliği ne olur?



$$\text{C-12) a) } P_{dip} = P_{hava} + P_{su} \Rightarrow P_{dip} = P_{hava} + \rho_{su} * g * h_{su}$$

$$P_{dip} = 150000 \text{ Pa} + 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 20\text{m}$$

$$P_{dip} = 150000 \text{ Pa} + 196200 \text{ Pa} = 346200 \text{ Pa} = 346.2 \text{ kPa}$$

$$\text{b) } \rho_{hava} = \rho_{civa} * g * h_{civa} + P_{atm} \Rightarrow P_{hava} - P_{atm} = \rho_{civa} * g * h_{civa}$$

$$h_{civa} = \frac{P_{hava} - P_{atm}}{\rho_{civa} * g} = \frac{150000 - 100000 \text{ Pa}}{13600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 0.3747 \text{ m} = 37.47 \text{ cm}$$

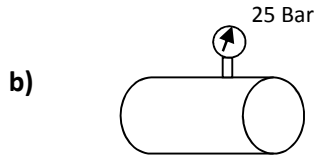
**S-13) a)** Şanlıurfa'da 24 Kasım 2008 tarihinde tahmin edilen en yüksek dış hava sıcaklığı **18 °C'dir**. Bu sıcaklık değerini **Kelvin ve Fahrenheit** ölçeğindeki birimler cinsinden ifade ediniz.

**b)** Otogaz sistemlerinde kullanılan silindirik tip LPG yakıt tankının işletme basıncı 25 bar olarak ölçülmüştür. Tank içindeki **mutlak basıncı** metre su sütünü (**mSS**) ve milimetre civa sütünü (**mmHgS**) cinsinden ifade ediniz.

**Not:** Yerçekimi ivmesi  $9.8 \text{ m/s}^2$ , suyun yoğunluğu  $1000 \text{ kg/m}^3$  ve civanın yoğunluğu  $13600 \text{ kg/m}^3$  alınabilir. Atmosferik basınç  $100 \text{ kPa}$  olarak ölçülmüştür

$$\text{C-13) a) } T_{\text{kasım}} = 18^\circ\text{C} \Rightarrow T(\text{Kelvin}) = T(^{\circ}\text{C}) + 273.15 = 291.15^\circ\text{C}$$

$$T(^{\circ}\text{F}) = 1.8 * [T(^{\circ}\text{C})] + 32 = 64.4^\circ\text{F}$$



$$P_{ef} = 25 \text{ Bar} = 2500 \text{ kPa} \quad (1 \text{ Bar} = 100 \text{ kPa})$$

$$P_{atm} = 100 \text{ kPa}$$

$$P_{mutlak} = P_{ef} + P_{atm} = 2500 + 100 = 2600 \text{ kPa}$$

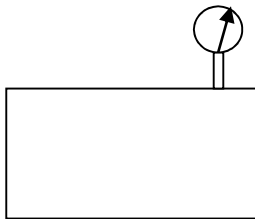
$$P_{mutlak} = 2600000 \text{ Pa} = \rho_{sivi} * g * h_{sivi}$$

$$\text{su için} \Rightarrow 2600000 = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.8 * h_{su} \Rightarrow h_{su} = 265.31 \text{ mSS}$$

$$\text{civa için} \Rightarrow 2600000 = 13600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 * h_{civa} \Rightarrow h_{civa} = 19.5 \text{ mHgS}$$

**S-14)** Bir buhar kazanındaki basınç manometreden 7 bar olarak okunmuştur. Atmosfer basıncı  $100 \text{ kPa}$  ise kazan içindeki mutlak basıncı ve doymuş buhar halindeki suyun sıcaklığını tespit ediniz.

$$\text{C-14) } 1 \text{ Bar} = 100 \text{ kPa}$$



$$P_{gös} = 7 \text{ bar} = 700 \text{ kPa}$$

$$P_{atm} = 100 \text{ kPa}$$

$$P_{mut} = P_{gös} + P_{atm} = 700 + 100 = 800 \text{ kPa} = 0.8 \text{ MPa}$$

$$\text{Buhar tablosundan } P = 0.8 \text{ MPa} \rightarrow T_{doyma} = 170.4^\circ\text{C}$$

**S-15)** Bir buhar kazanı üzerindeki manometreden basınç **8 bar** olarak okunmuştur. Atmosfer basıncı **720 mmHg** (mm Cıva Sütunu) ise kazandaki **mutlak basıncı kPa** cinsinden hesaplayınız.

$$\text{C-15) } P_{atm} = 720 \text{ mmHg}$$

$$P_{atm} = \rho gh = 13600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \cdot 720 \text{ mm} \cdot \frac{1 \text{ m}}{1000 \text{ mm}}$$

$$P_{atm} = 96059 \text{ Pa} = 96 \text{ kPa}$$

$$P_{gösterge} = 8 \text{ bar}$$

$$P_{gösterge} = 8 \text{ bar} \cdot \frac{100 \text{ kPa}}{1 \text{ bar}} = 800 \text{ kPa}$$

$$P_{mut} = P_{gös} + P_{atm}$$

$$P_{mut} = 800 \text{ kPa} + 96 \text{ kPa} = 896 \text{ kPa}$$

**S-16)** Bir sıvı madde ısıtılarak sıcaklığında 18 Fahrenheit ( $^\circ\text{F}$ ) artış olmuştur. Bu sıcaklık artışını ( $\Delta T$ ),  $^\circ\text{C}$  ve K sıcaklık ölçekleri cinsinden ifade ediniz.

$$\text{C-16) } \Delta T(^\circ\text{F}) = 1.8 * \Delta T(^\circ\text{C})$$

$$\Delta T(^\circ\text{C}) = \frac{18}{1.8} = 10^\circ\text{C} = \Delta T(K)$$

**S-17)** Bir kalorifer kazanı üzerindeki manometreden basınç 100 kPa olarak okunmuştur. Atmosfer basıncı 90 kPa ise kazandaki mutlak basıncı, kPa ve mSS ( metre su sütunu ) birimleri cinsinden hesaplayınız.

$$\text{C-17) } P_{gösterge} = 100 \text{ kPa}, P_{atm} = 90 \text{ kPa}$$

$$P_{mut} = P_{gös} + P_{atm} = 100 \text{ kPa} + 90 \text{ kPa}$$

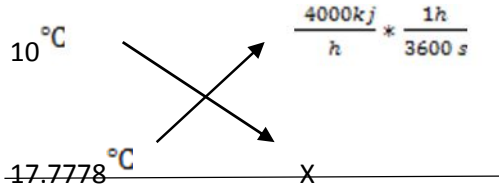
$$P_{mut} = 190 \text{ kPa}$$

$$h = \frac{P}{\rho_{su} \times g} = \frac{190000 \text{ Pa}}{1000 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} = 19.368 \text{ mSS}$$

**S-18)** Bir evin ısı kaybı iç ve dış ortam arasındaki  $10^\circ\text{C}$  sıcaklık farkı için 4000 kJ/h'tır. Bu evin iç ve dış sıcaklık farkı  $32^\circ\text{F}$  (Fahrenheit) ise ısı kaybını kW olarak hesaplayınız?

$$\text{C-18) } \Delta T(^{\circ}\text{C}) = \frac{\Delta T(^{\circ}\text{F})}{1.8} = \Delta T(^{\circ}\text{F}) = 1.8\Delta T(^{\circ}\text{C})$$

$$\frac{32^{\circ}\text{F}}{1.8} = \Delta T(^{\circ}\text{C}) \rightarrow \Delta T(^{\circ}\text{C}) = 17.7778$$



$$X = \text{Isı Kaybı} = 1.9753 \text{ kW}$$

**S-19)** Atmosfer basıncının 750mmHg olduğu bir yerde Azot tankının içerisindeki mutlak basınç 0.8 MPa ise tank üzerindeki manometrenin göstereceği basınç kaç **bar** olur?

$$\text{C-32) } P_{atm} = \rho gh = 13600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} 750\text{mmHg} \frac{1\text{m}}{1000\text{mm}}$$

$$P_{atm} = 100062 \text{ Pa} = 100.062\text{kPa}$$

$$P_{mutlak} = P_{atm} + P_{gösterge}$$

$$P_{mutlak} = 0.8\text{MPa} = 800\text{kPa}$$

$$800\text{kPa} = 100.062 + P_{gösterge}$$

$$P_{gösterge} = 699.908\text{kPa} * \frac{1\text{bar}}{100\text{kPa}} = 6.999\text{bar}$$

$$P_{gösterge} \cong 7 \text{ bar}$$

## SAF MADDE VE GAZLAR

**Saf madde:** Her noktasında aynı ve değişmeyen bir kimyasal bileşime sahip olan maddeye denir. Hava değişik gazlardan oluşan bir karışımdır, kimyasal bileşiminin her noktada aynı ve değişmez olmasından dolayı saf maddedir.

**Sıkıştırılmış sıvı (soğutulmuş sıvı):** Henüz buharlaşma aşamasına gelmediği bir durumdur.

**Doymuş sıvı:** Buharlaşma başlangıcı olan hale denir.

**Doymuş buhar:** Yoğuşmanın sınırında olan buhara.

**Doymuş sıvı-buhar karışımı:** Bu durumda sıvı ve buhar fazları bir arada ve dengede bulunur.

**Kızgın buhar:** Yoğuşma sınırında olmayan (yani doymuş buhar gibi değil) buhara denir.

**Doyma sıcaklığı  $T$  doyma:** Verilen bir basınçta saf maddenin faz değişimlerine başladığı sıcaklıktır.

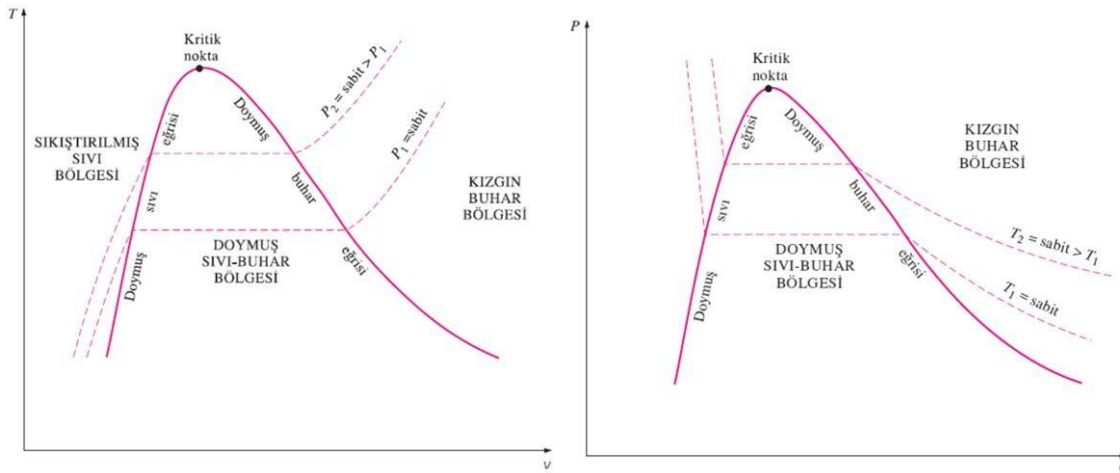
**Doyma basıncı  $P$  doyma:** Verilen bir sıcaklıkta, saf maddenin faz değişimlerine başladığı basınçtır.

**Kuruluk derecesi,  $x$ :** Karışımdaki sıvı ve buhar fazlarının oranıdır. Değeri her zaman 0 ile 1 arasındadır. Doymuş sıvı halinde 0. Doymuş buhar halinde 1' dir. Doymuş sıvının özelliklerinin, tek başına da olsa, doymuş buharla bir karışım içinde de olsa değişmediği vurgulanmalıdır. Saf maddelere ait P-v ve T-v diyagramları aşağıda gösterilmiştir.

$$x = \frac{m_{\text{vapor}}}{m_{\text{total}}}$$

$$u_{\text{avg}} = u_f + xu_{fg} \quad (\text{kJ/kg})$$

$$h_{\text{avg}} = h_f + xh_{fg} \quad (\text{kJ/kg})$$



Doymuş buhar eğrisinin sağındaki bölgede ve kritik noktasal sıcaklığın üzerindeki sıcaklıkta madde kızgın buhardır. Kızgın buhar bölgesi tek fazlı (sadece buhar fazı) bir bölge olduğundan, sıcaklık ve basınç artık birbirlerine bağlı değildir. Sıkıştırılmış sıvıya ilişkin bilgilerin yokluğunda, sıkıştırılmış sıvı özelliklerini doymuş sıvı özelliklerine eşit almak, genellikle benimsenen bir uygulamadır.

$$y \cong y_f @ T$$

Sıkıştırılmış sıvı bölgesinde özellikler:

Yüksek basınçlar (verilen bir sıcaklık  $T$ 'de  $P > P_{\text{doyma}}$ )  
 Düşük sıcaklıklar (verilen bir basınç  $P$ 'de  $T < T_{\text{doyma}}$ )  
 Düşük özgül hacimler (verilen bir sıcaklık  $T$  veya basınç  $P$ 'de  $v < v_f$ )  
 Düşük iç enerjiler (verilen bir sıcaklık  $T$  veya basınç  $P$ 'de  $u < u_f$ )  
 Düşük entalpiler (verilen bir sıcaklık  $T$  veya basınç  $P$ 'de  $h < h_f$ )

Kızgın buhar bölgesinde özellikler:

Düşük basınçlar (verilen bir sıcaklık  $T$ 'de  $P < P_{\text{doyma}}$ )  
 Yüksek sıcaklıklar (verilen bir basınç  $P$ 'de  $T > T_{\text{doyma}}$ )  
 Yüksek özgül hacimler (verilen bir sıcaklık  $T$  veya basınç  $P$ 'de  $v > v_g$ )  
 Yüksek iç enerjiler (verilen bir sıcaklık  $T$  veya Basınç  $P$ 'de  $u > u_g$ )  
 Yüksek entalpiler (verilen bir sıcaklık  $T$  veya basınç  $P$ 'de  $h > h_g$ )

**Hal denklemi:** Bir maddenin basıncı, sıcaklığı ve özgül hacmi arasındaki ilişkiyi veren herhangi bir bağıntıya denir. Bu denklemlerin en basit ve en çok bilineni mükemmel gaz hal denklemidir. Bu denklem belirli sınırlar içinde gazların P-v-T ilişkisini oldukça hassas bir biçimde verir.

**Mükemmel gaz hal denklemi;**

$$Pv = RT$$

Düşük basınç ve yüksek sıcaklıklarda bir gazın yoğunluğu azalır ve mükemmel gaz gibi davranır. Mükemmel gaz bağıntısı çoğu zaman gerçek gazlar için uygulanabilir değildir, bu nedenle bağıntının kullanılacağı durum iyi etüt edilmelidir. **Sıkıştırılabilirlik çarpanı Z:** Verilen bir sıcaklık ve basınçta mükemmel gaz davranışından sapma sıkıştırılabilirlik çarpanı Z adı verilen bir parametre kullanılarak giderilebilir.

$$Z = \frac{Pv}{RT}$$



**S-1)**  $0.4 \text{ m}^3$  hacminde 6 bar basınçta 2 kg sıvı-buhar karışımı dengeli olarak bir kaptadır.

a) Karışımdaki sıvının hacim ve kütesini,

b) Karışımdaki buharın hacim ve kütesini hesaplayınız.

$$\text{C-1)} \quad \left. \begin{array}{l} P = 6 \text{ bar} = 0.6 \text{ MPa} \\ \text{Doymuş sıvı - buhar karışımı} \end{array} \right\} \begin{array}{l} v_b = 0.3157 \text{ m}^3/\text{kg} \\ v_s = 0.001101 \text{ m}^3/\text{kg} \end{array}$$

$$V = 0.4 \text{ m}^3, m = 2 \text{ kg} \quad V_1 = m * v_1 \Rightarrow v_1 = \frac{0.4}{2} = 0.2 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$V_1 = v_s + x_1 * v_{sb} \Rightarrow x_1 = \frac{0.2 - 0.001101}{0.3146} = 0.6322$$

$$\text{a)} m_s = m_t - m_b = 0.7355 \text{ kg} \quad \text{sıvı miktarı}$$

$$V_s = m_s * v_s = 0.7355 * 0.001101 = 8.09 * 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\text{b)} x = \frac{m_b}{m_t} = m_b = 0.6322 * 2 = 1.2644 \text{ kg} \quad \text{buhar miktarı}$$

$$V_{\text{buhar}} = m_b * v_b = 1.2644 * 0.3157 = 0.3991 \text{ m}^3$$

**S-2)** 80 litrelik bir kap 4 kg soğutucu akışkan olan ve basıncı 160 kPa olan Freon-12 içermektedir. Soğutucu akışkanın;

a) Kuruluk derecesini, b) entalpisini, c) Buhar ve sıvı fazlarının kapladıkları hacimleri hesaplayınız.

(P = 160 kPa için Freon-12 tablosundan  $v_b = 0.0006876 \text{ m}^3/\text{kg}$ ,  $v_g = 0.1031 \text{ m}^3/\text{kg}$ ,  $h_s = 19.18 \text{ kJ/kg}$ ,  $h_{sg} = 160.23 \text{ kJ/kg}$ )

$$\text{C-2)} V = 80 \text{ lt} = 80 * 10^{-3} \text{ m}^3, \quad m = 4 \text{ kg}$$

$$v = \frac{V}{m} = \frac{80 * 10^{-3} \text{ m}^3}{4 \text{ kg}} = 0.02 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\text{a)} x = \frac{v - v_f}{v_{fg}} = \frac{0.02 - 0.0006876}{0.1031 - 0.0006876} = 0.1887$$

$$\text{b)} h = h_f + x * h_{fg}, \quad h = (19.18 + 0.1887 * 160.23) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 49.42 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\text{c)} m_g = x * m_t = 0.7548 \text{ kg}, \quad V_g = 0.7548 * 0.1031 = 0.07781 \text{ m}^3$$

$$V_f = V - V_g = 2.18 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

S-3) Su için aşağıdaki tabloyu tamamlayınız.

	T, °C	P, kPa	h, kJ/kg	X	Faz Durumu
a		325		0.4	
b	160		1682		
c		950		0.0	
d	800	500			
e		800	3161.7		

C-3)

	T, °C	P, kPa	h, kJ/kg	X	Faz Durumu
a	136.3	325	1435.55	0.4	Doymuş sıvı – buhar karışımı
b	160	617.8	1682	0.4832	Doymuş sıvı – buhar karışımı
c	177.69	950	753.02	0.0	Doymuş sıvı
d	800	500	4156.9	-	Kızgın buhar
e	350	800	3161.7	-	Kızgın buhar

a)  $x = 0.4$  olduğundan doymuş sıvı – buhar karışımı.

$$P = 325 \text{ kPa} \Rightarrow T = 136.3 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$h = h_s + x * h_{sb} = 573.25 + 0.4 * (2729 - 573.25) = 1435.55 \text{ kJ/kg}$$

b)  $T = 160^\circ\text{C}$  sıcaklık tablosundan,  $h_s = 675.55$ ,  $h_b = 2758.1 \text{ kJ/kg}$

$h_s < h < h_b$  olduğundan doymuş sıvı – buhar karışımı

c)  $x = 0.0$  olduğundan doymuş sıvıdır.  $P = 950 \text{ kPa} \Rightarrow T = 177.69^\circ\text{C}$ ,  $h = h_s = 753.02 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

d)  $P = 500 \text{ kPa} = 0.5 \text{ MPa} \Rightarrow T_{\text{doy}} = 151.86 \Rightarrow T > T_{\text{doy}}$  olduğundan kızgın buhar bölgesi

$$T = 800^\circ\text{C}, \quad P = 0.5 \text{ MPa} \text{ için } h = 4156.9 \text{ kJ/kg}$$

e)  $P = 800 \text{ kPa} = 0.8 \text{ MPa} \Rightarrow h_b = 2769.1$ ,  $h > h_b$  olduğundan kızgın buhar,  $T = 350^\circ\text{C}$

S-4) a) Su için aşağıdaki tabloyu tamamlayınız.

T, °C	P, kPa	u, kJ/kg	Faz durumu
130		2300	
	600		Doymuş sıvı
400	500		
90	700		

b) 1 MPa ve 300°C deki kızgın buhar sabit hacimde sıcaklık 150°C ye düşünceye kadar soğutulmasına izin verilmektedir. Son durumdaki suyun

a- Basıncını    b-Kuruluk derecesini    c- Entalpisini bulunuz.

d- Bu soğuma işlemini T – v diyagramında gösteriniz.

C-4) a)

T, °C	P, kPa	u, kJ/kg	Faz durumu
130	0.2701	2300	x = 0.879
158.85	600	669.9	Doymuş sıvı
400	500	2963.2	Kızgın buhar
90	700	376.85	Aşırı soğutulmuş sıvı

**b)1.Durum**

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 1 \text{ MPa} \\ T_1 = 300^\circ\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} v_1 = 0.2579 \text{ m}^3/\text{kg} \\ h_1 = 3051.2 \text{ kJ/kg} \\ u_1 = 2793.2 \text{ kJ/kg} \end{array} \quad \text{Kızgın Buhar}$$

**2.Durum**

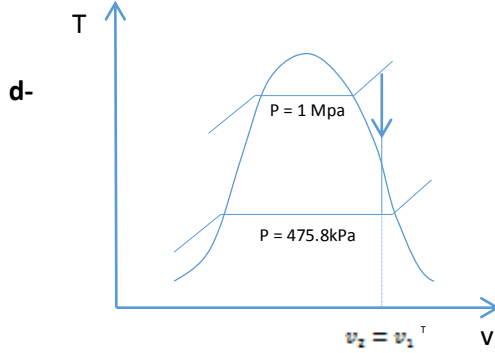
$$\left. \begin{array}{l} T_2 = 150^\circ\text{C} \\ v_2 = v_1 = 0.2579 \text{ m}^3/\text{kg} \end{array} \right\} \begin{array}{l} P_2 = 0.4758 \text{ MPa} = 475.8 \text{ kPa} \\ v_b = 0.3928 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}, \quad v_s = 0.001091 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \\ h_b = 2746.5 \text{ kJ/kg}, \quad h_s = 632.2 \text{ kJ/kg}, \quad h_{sb} = 2114.3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \end{array}$$

Doymuş sıvı – buhar karışımı

$$a-P_2 = 475.8 \text{ kPa}$$

$$b-v_2 = v_f + x_2 * v_{fg} \Rightarrow x_2 = \frac{v_2 - v_f}{v_{fg}} = \frac{0.256809}{0.391709} = 0.6556$$

$$c-h_2 = h_f + x_2 * h_{fg} \Rightarrow h_2 = 2018.33 \text{ kJ/kg}$$



**S-5) a-** 200 litre hacimli bir kaptta 150 kPa basınçta 5 kg su bulunmaktadır. Suyun sıcaklığı, toplam entalpisini, sıvı ve buhar fazının kütle miktarlarını hesaplayınız.

**b-** 0.5 m<sup>3</sup> hacimli bir kaptta -20 °C sıcaklıkta 10 kg soğutucu akışkan Freon-12 bulunmaktadır. Freon-12'nin basıncını, iç enerjisini ve sıvı fazının kapladığı hacmi hesaplayınız.

$$C-5) a) V = 200 \text{ lt} = 0.2 \text{ m}^3, P = 150 \text{ kPa}, m = 5 \text{ kg}$$

$$P = 150 \text{ kPa için } T_{doy} = T = 111.37 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$v_f = 0.001053, v_g = 1.1593 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}, h_f = 467.11, h_{fg} = 2226.5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$v = \frac{V}{m} = \frac{0.2 \text{ m}^3}{5 \text{ kg}} = 0.04 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$v = v_f + x * v_{fg} \Rightarrow x = \frac{v - v_g}{v_g - v_f} = \frac{0.04 - 0.001053}{1.1593 - 0.001053} \Rightarrow x = 0.0336$$

$$h = h_f + x * h_{fg} = 467.11 + 0.0336 * 2226.5 = 541.98 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$x = \frac{m_b}{m_t} \Rightarrow m_b = 0.168 \text{ kg}$$

$$m_{sıvı} = m_t - m_b \Rightarrow m_s = 4.832 \text{ kg}$$

$$b) V = 0.5 \text{ m}^3, T = -20^\circ\text{C}, m = 10 \text{ kg } R - 12$$

$$v = \frac{V}{m} = \frac{0.5}{10} = 0.05 \frac{m^3}{kg}$$

$$T = -20^\circ C \text{ için } v_f = 0.0006855, \quad v_g = 0.10885 \frac{m^3}{kg}$$

$$P_{doyma} = P = 0.15093 \text{ MPa} \quad v_f < v < v_g \text{ olduğundan karışım bölgesi}$$

$$x = \frac{v - v_f}{v_g - v_f} = \frac{0.05 - 0.0006855}{0.10885 - 0.0006855} = 0.4559$$

$$x = \frac{m_b}{m_t} \Rightarrow m_b = 4.5592 \text{ kg} \Rightarrow m_{sivi} = 5.44 \text{ kg}$$

$$V_{sivi} = m_{sivi} * v_f = 3.73 * 10^{-3} = 0.00373 \text{ m}^3$$

$$u = u_f + x * u_{fg} = 17.72 + 0.4559 * (162.31 - 17.72) = 836.3 \text{ kJ}$$

S-6) Su için aşağıdaki tabloyu tamamlayınız.

	T [°C]	P [kPa]	u [kJ/kg]	x	Faz Durumu
a-		325	2452		
b-	170				Doymuş Buhar
c-	190	2000			
d-		4000	3040		

C-6) a)  $P = 325 \text{ kPa}$  basınç tablosundan

$$u_f = 527.9 \frac{kJ}{kg}, \quad u_g = 2546.4 \frac{kJ}{kg}, \quad T_d = 136.3^\circ C$$

$u_f < u < u_g$  olduğundan karışım bölgesindedir.

$$x = \frac{u - u_f}{u_g - u_f} = \frac{2452 - 527.9}{2546.4 - 527.9} = 0.952$$

b)  $T = 170^\circ C$  sıcaklık tablosundan  $P_d = 0.7917 \text{ MPa}$

$$x = 1 (\text{Doymuş buhar}) \quad u = u_g = 2576.5 \text{ kJ/kg}$$

c)  $P = 2000 \text{ kPa} = 2 \text{ MPa}$  basınç tablosunda  $T_d = 212.42^\circ C$

$T = 190^\circ C < T_d = 212.42^\circ C$  olduğundan sıkıştırılmış sıvı

$$T = 190^\circ C \text{ sıcaklık tablosundan } u \cong u_f = 806.19 \frac{kJ}{kg}$$

$$d) P = 4000 \text{ kPa} = 4 \text{ MPa basınç tablosundan } u_g = 2602.3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$u > u_g$  olduğundan karışım kızgın buhar

Kızgın buhar tablosundan

$\underline{I}$	$\underline{u}$	}	$u = 3040 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \Rightarrow T = 466.68^\circ\text{C}$
450	3010.2		
500	3099.5		

	T, °C	P, kPa	U, kJ/kg	x	Faz durumu
a	136.3	325	2452	0.952	Doymuş sıvı-buhar
b	170	791.7	2576.5	x=1	Doymuş buhar
c	190	2000	806.19	-	Sıkıştırılmış sıvı
d	466.68	4000	3040	-	Kızgın buhar

**S-7)** Sabit hacimli bir kapta 20 °C sıcaklık ve 150 kPa basınçta 10 kg hava bulunmaktadır. Kaba hava basılmakta ve sonuçta basınç 250 kPa ve sıcaklık 30 °C çıkmaktadır. Kaba basılan havanın kütlelerini hesaplayınız. **Not:** Hava için  $R=0.287 \text{ kJ/kgK}$ .

**C-7)**

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 150 \text{ kPa} \\ T_1 = 20 + 273.15 = 293.15 \text{ K} \\ m = 10 \text{ kg} \\ R = 0.287 \text{ kJ/kgK} \end{array} \right\} \begin{array}{l} P_1 * V_1 = m_1 * R * T_1 \\ V_1 = \frac{m_1 * R * T_1}{P_1} = 10 * 0.287 * 293.15 \\ V_1 = 5.509 \text{ m}^3 \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 250 \text{ kPa} \\ T_2 = 30 + 273.15 = 303.15 \text{ K} \\ V_1 = V_2 = 5.609 \text{ m}^3 \end{array} \right\} \begin{array}{l} m_2 = \frac{P_2 * V_2}{R * T_2} = \frac{250 * 5.609}{0.287 * 303.15} \\ m_2 = 16.117 \text{ kg} \end{array}$$

$$\text{Basılan hava } \Delta m = m_2 - m_1 = 6.117 \text{ kg}$$

**S-8)** Hacmi  $2 \text{ m}^3$  olan bir buhar kazanında  $200 \text{ kPa}$  basınçta doymuş sıvı-buhar karışımı su bulunmaktadır. Kazan hacminin %20'si sıvı ve %80'i buhar olduğuna göre karışımın **a-** Sıcaklığını **b-** Toplam kütle **c-** Kuruluk derecesini **d-** Özgül hacmini **e-** Entalpisini hesaplayınız.

**C-8)**  $P = 200 \text{ kPa} = 0.2 \text{ MPa}$  basınç tablosundan

$$T_d = 120.23^\circ\text{C}, \quad v_f = 0.001061 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}, \quad v_g = 0.8857 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$h_f = 504.7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, \quad h_{fg} = 2201.9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, \quad h_g = 2706.7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$V = 2 \text{ m}^3$$

$$V_g = 0.8 * V = 1.6 \text{ m}^3, \quad V_f = 0.2 * V = 0.4 \text{ m}^3$$

$$m_f = \frac{V_f}{v_f} = \frac{0.4}{0.001061} = 377 \text{ kg}, \quad m_g = \frac{V_g}{v_g} = \frac{1.6}{0.8857} = 1.80648$$

$$\text{a) } T = T_d = 120.23^\circ\text{C}$$

$$\text{b) } \text{Toplam kütle, } m_t = m_f + m_g = 378.806 \text{ kg}$$

$$\text{c) } x = \frac{m_g}{m_t} = \frac{1.80648}{378.806} = 0.00477$$

$$\text{d) } v = \frac{V}{m_t} = \frac{2}{378.806} = 0.00528 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$v = v_f + x * v_{fg} = 0.001061 + 0.00477 * (0.8857 - 0.001061)$$

$$v = 0.00528 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\text{e) } h = h_f + x * h_{fg} = 504.7 + 0.00477 * 2201.9 = 515.2031 \text{ kJ/kg}$$

S-9) Sabit hacimli bir kapta 900 kPa basınç ve 80 °C sıcaklıkta 2 kg soğutucu akışkan-12 bulunmaktadır. Kabin hacmini ve soğutucu akışkan-12'nin toplam iç enerjisini hesaplayınız.

C-9)

$$\begin{array}{l} P = 900 \text{ kPa} \\ T = 80^\circ\text{C} \\ m = 12 \text{ kg} \\ \text{R-12} \end{array}$$

$$V = ? , U = ?$$

$$P = 0.9 \text{ MPa için } T_{\text{doy}} = 37.37^\circ\text{C}$$

$$T = 80^\circ\text{C} > T_{\text{doy}} = 37.37^\circ\text{C} \text{ Kızgın buhar}$$

$$v = 0.02407 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} , u = 212.37 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$V = m * v = 2 \text{ kg} * 0.02407 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = 0.04814 \text{ m}^3$$

$$U = m * u = 2 \text{ kg} * 212.37 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 424.74 \text{ kJ}$$

S-10) 20 m<sup>3</sup> hacmindeki bir rijit tankta 25 °C ve 800 kPa basınçta Azot gazı bulunmaktadır. Tankta basıncın 600 kPa ve sıcaklığın 20 °C olabilmesi için tanktan dışarı atılması gereken Azot miktarını hesaplayınız. **Not:** Azot için R=0.2968 kJ/kgK.

C-10)

$$\left. \begin{array}{l} V_1 = 20 \text{ m}^3 \\ T_1 = 25 + 273 = 298 \text{ K} \\ P_1 = 800 \text{ kPa} \\ R = 0.2968 \text{ kJ/kgK} \end{array} \right\} m_1 = \frac{P_1 * V_1}{R * T_1} = 180.9 \text{ kg}$$

$$\left. \begin{array}{l} V_2 = V_1 = 20 \text{ m}^3 \\ T_2 = 20 + 273 = 293 \text{ K} \\ P_2 = 600 \text{ kPa} \end{array} \right\} m_2 = \frac{P_2 * V_2}{R * T_2} = \frac{600 * 20}{0.2968 * 293} = 137.99$$

$$\text{Atılan azot} = \Delta m = m_2 - m_1 = 42.91 \text{ kg}$$

S-11) 60 litre hacminde bir kap içerisinde 40 °C sıcaklıkta soğutucu akışkan-12 bulunmaktadır. Başlangıçta kap içindeki sıvı hacmi, buhar hacmine eşittir. Kaba, sıcaklık 40 °C'de tutularak soğutucu akışkan-12 ilave edilmekte ve toplam soğutucu akışkan-12 kütlesi 50 kg olmaktadır. Bu durumda kaba eklenen soğutucu akışkan-12 **kütlesini** ve son halde kap içerisindeki **kuruluk derecesini** hesaplayınız.



$$\text{C-11)} V = 60 \text{ lt} * \frac{10^{-3} \text{ m}^3}{1 \text{ lt}} = 0.06 \text{ m}^3, \quad x = 0.5, \quad T = 40^\circ \text{C}$$

$$T = 40^\circ \text{C} \text{ için sıcaklık tablosundan } v_f = 0.000798 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}, \quad v_g = 0.01817 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$m_1 = m_{\text{sıvı}} + m_{\text{buhar}} = m_1 = \frac{V_{\text{sıvı}}}{v_f} + \frac{V_{\text{buhar}}}{v_g}$$

$$m_1 = \frac{0.03}{0.000798} + \frac{0.03}{0.01817} = 37.59 + 1.65 = 39.4 \text{ kg}$$

$$m_2 = 50 \text{ kg} \Rightarrow \Delta m = 50 - 39.4 = 10.76 \text{ kg}$$

$$v_2 = \frac{V}{m_2} = \frac{0.06}{50} = 0.012 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = v_f + x_2 * v_{fg} \Rightarrow x_2 = 0.0231$$

**S-12)** Bir buhar kazanındaki manometreden kazan basıncı 5 MPa okunmaktadır. Aynı anda atmosfer basıncı, yoğunluğu  $13600 \text{ kg/m}^3$  olan civalı bir barometrede 75 cmHgS olarak okunduğuna göre kazan içindeki doymuş buharın sıcaklığını tespit ediniz.

**C-12)** Kazan içindeki mutlak basınç hesaplanıp, su tablosundan doyma sıcaklığı bulunur.

$$P_{\text{mut}} = P_{\text{göst}} + \rho_{\text{civa}} * g * h$$

$$P_{\text{mut}} = 5000000 \text{ Pa} + 13600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 75 \text{ cm} * \frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}}$$

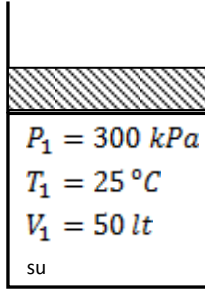
$$P_{\text{mut}} = 5100062 \text{ Pa} = 5100.062 \text{ kPa}$$

*Basınç tablosundan*

P, kPa	T, °C		
5000	263.94	} $\Delta P = 1000 \text{ kPa} \quad \Delta T_1 = 11.65^\circ \text{C}$	
→ 5100			} $\Delta P = 100 \text{ kPa} \quad x$
6000	275.59		
		$T \cong 265^\circ$	

**S-13)** Bir piston-silindir düzeneğinde başlangıçta  $25^\circ \text{C}$  sıcaklık ve 300 kPa basınçta 50 litre su bulunmaktadır. Daha sonra su sabit basınçta tümüyle buharlaşana da ısıtılmaktadır. Buna göre, **a)** Suyun Kütlesini, **b)** Son haldeki sıcaklığını, **c)** Suyun buharlaşması işleminde suya verilen ısıyı, **d)** Son haldeki hacmi, **e)** Bu işlemi T-v (Sıcaklık-Özgül hacim) diyagramında gösteriniz.

C-13)

**1.Durum**

$$\begin{aligned}
 P_1 = 300 \text{ kPa} & \left. \begin{array}{l} P_1 = 300 \text{ kPa} \Rightarrow T_{\text{doy}} = 133.55^\circ\text{C} \\ T_1 = 25^\circ\text{C} \end{array} \right\} T_1 < T_{\text{doy}} \text{ olduğundan sıkıştırılmış sıvı} \\
 v_1 \cong v_f & = 0.001003 \text{ m}^3/\text{kg} \\
 h_1 \cong h_f & = 104.89 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

**2.Durum**

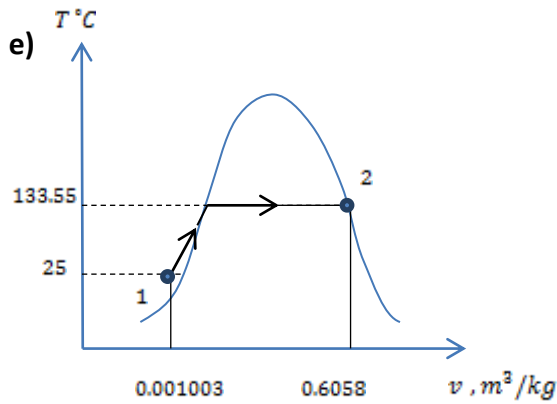
$$\begin{aligned}
 P_1 = P_2 = 300 \text{ kPa} & \left. \begin{array}{l} P_2 = 300 \text{ kPa} \Rightarrow T_{\text{doy}} = 133.55^\circ\text{C} \\ \text{Doymuş buhar} \end{array} \right\} \\
 v_2 \cong v_g & = 0.6058 \text{ m}^3/\text{kg} \\
 h_2 \cong h_g & = 2725.3 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

$$\text{a) } T_2 = T_{\text{doy}} = 133.55^\circ\text{C}$$

$$\text{b) } m = \frac{V_1}{v_1} = \frac{50 \cdot 10^{-3}}{0.001003} = 49.85 \text{ kg}$$

$$\text{c) } Q = m \cdot (h_2 - h_1) \Rightarrow Q = 49.85 \cdot (2725.3 - 104.89) = 130627.44 \text{ kJ} = 130.627 \text{ MW}$$

$$\text{d) } V_2 = m_2 \cdot v_2 = 49.85 \text{ kg} \cdot 0.6058 = 30.2 \text{ m}^3$$



**S-14)** Soğutucu akışkan-12 (R-12) için aşağıdaki tabloyu **cevap kâğıdında** doldurunuz.

No	T, °C	P, kPa	v, m <sup>3</sup> /kg	Faz Durumu
1	-10	600		
2	20		0,022	
3		320		Doymuş buhar
4	100	600		

**C-14)**

No	T, °C	P, kPa	v, m <sup>3</sup> /kg	Faz durumu
1	-10	600	$v=v_f=0.007$	Aşırı soğutulmuş sıvı
2	20	567.29	0.022	Doymuş sıvı-buhar
3	1.1	320	0.05351	Doymuş buhar
4	100	600	0.04032	Kızgın buhar

1)  $P = 600 \Rightarrow T_{doy} = 22^\circ\text{C} > T = 10^\circ\text{C}$  olduğundan Aşırı soğutulmuş sıvı  $v = v_f = 0.0007$

2)  $T = 20 \Rightarrow v_f = 0.0007525, v_g = 0.03078$ , karışım bölgesi

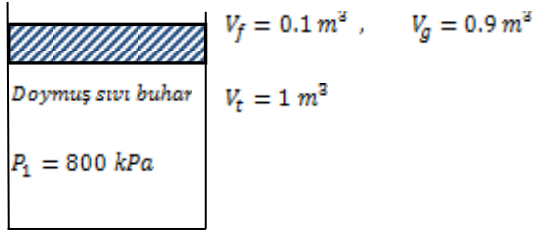
3)  $P = 0.32 \text{ MPa} \Rightarrow T = T_{doy} = 1.1^\circ\text{C}, v = v_g = 0.05351 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$

4)  $P = 0.6 \text{ MPa} \Rightarrow T = T_{doy} = 22^\circ\text{C} < T$  olduğundan kızgın buhar

**S-15)** 800 kPa basınçta doymuş sıvı-buhar karışımı su bir piston-silindir düzeneğinde bulunmaktadır. Sıvı fazının hacmi 0.1 m<sup>3</sup>, buhar fazının hacmi ise 0.9 m<sup>3</sup>tür. Daha sonra sisteme sabit basınçta ısı geçişi olmakta ve sıcaklık 350 °C'ye yükselmektedir. Buna göre suyun;

**a-** İlk haldeki sıcaklığını, **b-** Toplam kütleini, **c-** Son Haldeki hacmini hesaplayınız. **d-** Hal değişimini P-v diyagramında gösteriniz.

C-15)



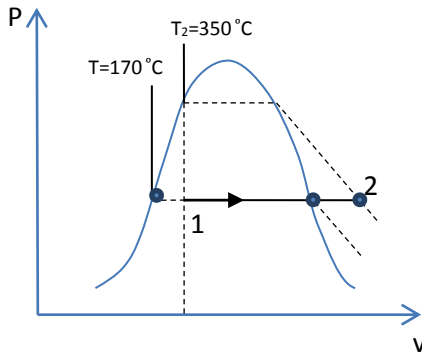
a)  $P_1 = 800 \text{ kPa} \Rightarrow T_1 = T_{\text{doyma}} = 170.43^\circ\text{C} \Rightarrow v_f = 0.001115$  ,  $v_g = 0.2404$

b)  $m_f = \frac{V_f}{v_f} = 89.686 \text{ kg}$  ,  $m_g = \frac{0.9}{0.2404} = 3.7437$

$m_{\text{top}} = m_f + m_g = 93.4297$

c)  $P_2 = 0.8 \text{ MPa} = P_1$  } Kızgın buhar  
 $T_2 = 350^\circ\text{C}$  }  $v = 0.3544$

d)



S-16) 1MPa ve 300 °C'deki kızgın buhar sabit hacimde sıcaklık 150 °C'ye düşünceye kadar soğumasına izin verilmektedir Son durumdaki suyun, a- Basıncını b- Kuruluk derecesini c- Entalpisini bulunuz. d- Bu işlemi T-v (Sıcaklık-Özgül hacim) diyagramında gösteriniz.

C-16)

1.Durum

$P_1 = 1 \text{ MPa}$  }  $v_1 = 0.2579 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$  ,  $h_1 = 3051.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$  ,  $u_1 = 2793.2 \text{ kJ/kg}$   
 $T_1 = 300^\circ\text{C}$  }

2.Durum

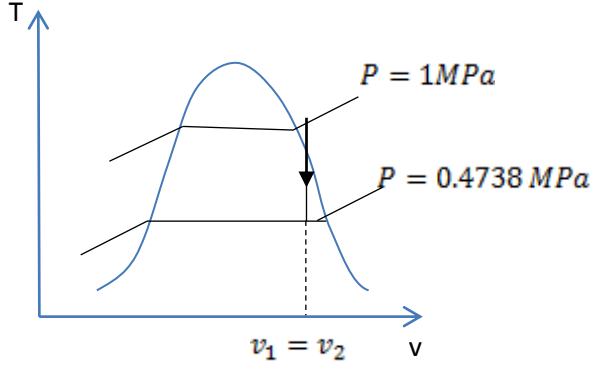
$T_2 = 150^\circ\text{C}$  }  $P_2 = 0.47 \text{ MPa}$  ,  $v_g = 0.3928$  ,  $v_f = 0.001091 \text{ m}^3/\text{kg}$   
 $v_2 = v_1 = 0.2579$  }  $h_g = 2746.5$  ,  $h_f = 632.2 \text{ kJ/kg}$   
 Doymuş sıvı buhar }  
 Karışımı tablosundan }

a)  $P_2 = 475.8 \text{ kPa}$

b)  $x = \frac{v_2 - v_f}{v_g - v_f} = 0.6556$

c)  $h = h_f + x * (h_g - h_f) = 2018.33 \text{ kJ/kg}$

d)



$$\text{Yapılan iş} \Rightarrow W_{12} = \int_1^2 P * dV \neq 0$$

**S-17)** İki bölmesi ince bir membran ile ayrılmış olan bir kaptan, ilk bölmede  $0.4 \text{ m}^3$  ve  $0.45 \text{ kg}$  hava, ikinci bölmede  $1.2 \text{ m}^3$  ve  $1.6 \text{ kg}$  hava bulunmaktadır. Membranın yırtılmasından sonra içerideki hava uniform bir yapıya geldiğinde, son durumdaki havanın yoğunluğunu ve özgül hacmini hesaplayınız

**C-17)**

1. Durum

$V_1 = 0.4 \text{ m}^3$	$V_2 = 1.2 \text{ m}^3$
$m_1 = 0.045 \text{ kg}$	$m_2 = 1.6 \text{ kg}$

2. Durum

$V = V_1 + V_2 = 1.6 \text{ m}^3$
$m = m_1 + m_2 = 2.05 \text{ kg}$

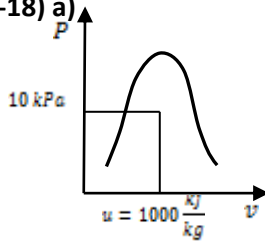
$$\rho_{hava} = \frac{m_{hava}}{V_{hava}} = \frac{2.05 \text{ kg}}{1.6 \text{ m}^3} = 1.28125 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$v_{hava} = \frac{1}{\rho_{hava}} = 0.78048 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

**S-18)** Aşağıda bazı özellikleri verilen maddelerin faz durumlarını belirleyip entalpi ve yoğunluklarını tespit ediniz ve Sıcaklık-Özgül hacim (T-v) diyagramında yerini gösteriniz.

- a)  $10 \text{ kPa}$  basınç ve iç enerji  $1000 \text{ kJ/kg}$ 'de su ( $\text{H}_2\text{O}$ )  
b)  $0.18 \text{ MPa}$  basınç ve  $50 \text{ }^\circ\text{C}$  sıcaklıkta R-134a soğutucu akışkan

C-18) a)



$$su \Rightarrow P = 10 \text{ kPa} \Rightarrow \left. \begin{array}{l} u_f = 191.79 \\ u_g = 2437.2 \end{array} \right\} u_f < u < u_g \text{ doymuş karışım}$$

$$x = \frac{u - u_f}{u_g - u_f} = \frac{1000 - 191.79}{2437.2 - 191.79} = 0.36$$

$$h = h_f + x * h_{fg} = 191.81 + 0.36 * (2392.1) = 1052.97 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$v = v_f + x * (v_g - v_f) = 0.001010 + 0.36 * (14.670 - 0.001010) = 5.28 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\rho = \frac{1}{v} = 0.189 \text{ kg/m}^3$$

b)

0.18 MPa, 50°C R - 134a, Kızgın bölge

$$v = 0.1423 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \Rightarrow \rho = \frac{1}{v} = 7.027 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$h = 296.98 \text{ kJ/kg}$$

**S-19)** Bir otomobil lastiği içindeki havanın gösterge basıncı 210 kPa ve sıcaklığı 25 °C'dir. Lastiğin hacmi 0.025 m<sup>3</sup> olduğuna göre, hava sıcaklığı 50 °C'ye yükseldiğinde lastik içindeki basınç ne olur? Bu sıcaklıkta basıncı ilk haline getirmek için ne kadar hava dışarı atılmalıdır, hesaplayınız. **Not:** Atmosfer basıncı 100 kPa'dır. R<sub>hava</sub>=0.287 kJ/kgK, Lastiğin hacmi tüm işlem boyunca sabit kabul edilecektir.

$$\text{C-19) } P_1 = 210 \text{ kPa} , T_1 = 25^\circ\text{C} = 298 \text{ K} , V_1 = V_2 = 0.025 \text{ m}^3$$

$$\text{a) } T_2 = 50^\circ\text{C} = 323 \text{ K} , P_{atm} = 100 \text{ kPa} , P_2 = ?$$

$$\text{b) } P_2 = P_1 = 310 \text{ kPa} , \Delta m = m_2 - m_1 = ?$$

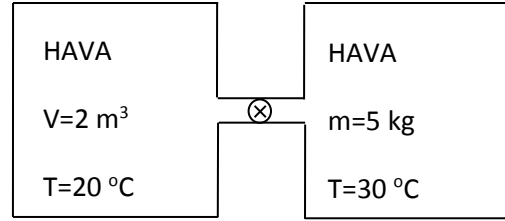
$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{T_1}{T_2} \Rightarrow P_2 = \frac{P_1 * T_2}{T_1} = \frac{310 \text{ kPa} * 323 \text{ K}}{298 \text{ K}} = 336 \text{ kPa}$$

$$m_1 = \frac{P_1 * V_1}{R * T_1} = \frac{310 \text{ kPa} * 0.025 \text{ m}^3}{0.287 * 298 \text{ K}} = 0.0906 \text{ kg}$$

$$m_2 = \frac{P_2 * V_2}{R * T_2} = \frac{310 \text{ kPa} * 0.025 \text{ m}^3}{0.287 * 323 \text{ K}} = 0.0836 \text{ kg}$$

$$\Delta m = m_1 - m_2 = 0.007 \text{ kg}$$

**S-20)** Şekilde gösterildiği gibi içinde 20 °C sıcaklıkta ve 500 kPa basınçta hava bulunan 2 m<sup>3</sup> hacminde kapalı bir kapla, içinde 30 °C sıcaklıkta ve 200 kPa basınçta 5 kg hava bulunan başka bir kapalı kap, üzerinde vana bulunan bir boruyla birleştirilmiştir. Vana başlangıçta kapalıdır. Daha sonra vana açılmakta ve sistem hem kendi içinde mekanik dengeye hem de 17 °C sıcaklıktaki çevreyle ısı dengeye gelmektedir. İkinci kabın hacmini ve son haldeki havanın basıncını hesaplayın.  $R_{\text{hava}}=0.287 \text{ kJ/kgK}$



$$\mathbf{C-20)} m_A = \frac{P_A \cdot V_A}{R \cdot T_A} = \frac{500 \text{ kPa} \cdot 2 \text{ m}^3}{0.287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \cdot 293 \text{ K}} = 11.89 \text{ kg}$$

$$V_B = \frac{m_B \cdot R \cdot T_B}{P_B} = \frac{5 \text{ kg} \cdot 0.287 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot 303 \text{ K}}{200 \text{ kPa}} = 2.174 \text{ m}^3$$

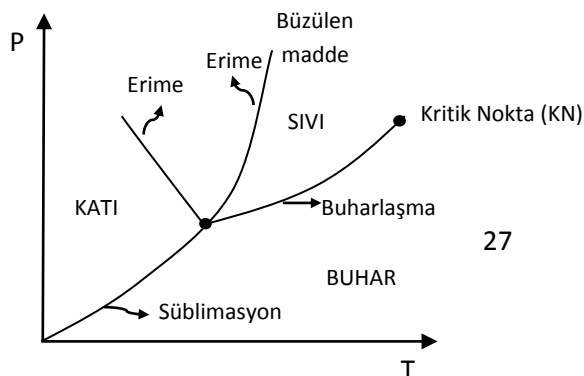
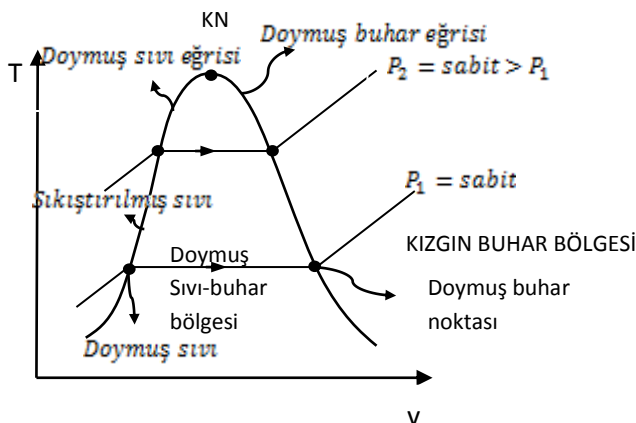
$$V_{\text{Toplam}} = V_A + V_B = 2 + 2.174 \text{ m}^3 = 4.174 \text{ m}^3$$

$$m_{\text{Toplam}} = m_A + m_B = 11.89 + 5 = 16.89 \text{ kg}$$

$$P_{\text{son}} = \frac{m_{\text{Toplam}} \cdot R \cdot T_{\text{son}}}{V_{\text{Toplam}}} = \frac{16.89 \text{ kg} \cdot 0.287 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot 290 \text{ K}}{4.174 \text{ m}^3} = 336.79 \text{ kPa}$$

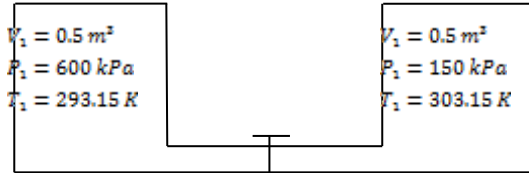
**S-21)** Bir saf madde için T-v (Sıcaklık-Özgül hacim) ve P-T (Basınç-Sıcaklık) diyagramlarını çizip diyagramlardaki nokta, eğri ve bölgeleri belirtiniz.

**C-21)**



**S-22)** Hacimleri 0.5'er m<sup>3</sup> olan, sabit hacimli iki kapalı kap bir boru ile birleştirilmiş ve araya bir vana konmuştur. Vana kapalı iken kaplardan birinde 600 kPa basınç ve 20 °C sıcaklıkta, diğerinde ise 150 kPa basınç ve 30 °C sıcaklıkta hidrojen gazı bulunmaktadır. Vana açıldıktan sonra sistem kendi içinde mekanik dengeye ve 15 °C sıcaklıktaki çevreyle ısı dengeye gelmektedir. Son haldeki sistemin **basıncını** hesaplayınız. **Not:** Hidrojenin gaz sabiti 4.124 kJ/kgK alınabilir.

**C-22)**



$$P_1 * V_1 = m_1 * R * T_1 \Rightarrow m_1 = \frac{600 * 0.5}{4.124 * 293.15K} = 0.2482 \text{ kg}$$

$$P_2 * V_2 = m_2 * R * T_2 \Rightarrow m_2 = \frac{150 * 0.5}{4.124 * 303.15} = 0.06 \text{ kg}$$

$$m_{son} = m_1 + m_2 = 0.3082 \text{ kg}$$

$$V_{son} = V_1 + V_2 = 1 \text{ m}^3, \quad T_{son} = 15^\circ C + 273.15 = 288.15 \text{ K}$$

$$P_{son} * V_{son} = m_{son} * R * T_{son} \Rightarrow P_{son} = 366.2 \text{ kPa}$$

**S-23)** Şekilde gösterilen bir hava kompresörün tank hacmi 500 litredir. Tank tam dolu iken tank üzerindeki manometre 7 bar'ı göstermektedir. Tank içindeki hava sıcaklığı 20°C'dir. Buna göre

a- Tank içindeki havanın kütleini hesaplayınız.

b- Basıncılı hava kullanılıp manometre 4 bar basınca düştüğünde kullanılan hava miktarını hesaplayınız.

**Not:** Hava için R=0.287 kJ/kgK, Atmosfer basıncı 100 kPa

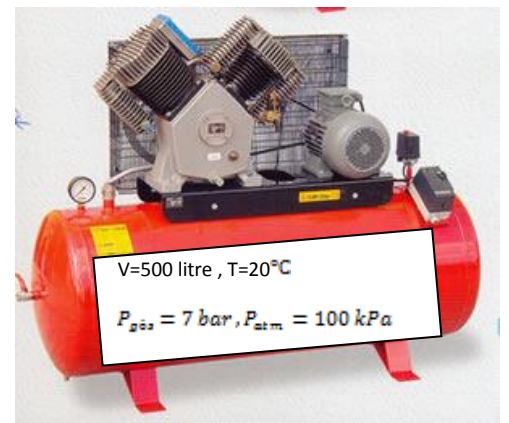
$$\text{C-23) } P_{gös} = 7 \text{ bar} = 700 \text{ kPa}$$

$$V = 500 \text{ lt} * \frac{1 \text{ m}^3}{1000 \text{ lt}} = 0.5 \text{ m}^3$$

$$T = 20^\circ C + 273 = 293 \text{ K}$$

$$\text{a) } PV = mRT$$

$$P_{mut} = P_{gös} + P_{atm} = 700 + 100 = 800 \text{ kPa}$$





$$m_1 = \frac{P_{mut}V_1}{RT_1} = \frac{800 \text{ kPa} \cdot 0.5 \text{ m}^3}{0.287 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot 293 \text{ K}} = 4.757 \text{ kg}$$

$$\text{b) } P_{gös} = 4 \text{ bar} \cdot \frac{100 \text{ kPa}}{1 \text{ bar}} = 400 \text{ kPa}$$

$$V_1 = V_2, T_1 = T_2$$

$$P_{mut12} = P_{gös12} + P_{atm} = 400 + 100 = 500 \text{ kPa}$$

$$\text{Kullanılan hava miktarı} = m_2 - m_1 = 4.757 \text{ kg} - 2.973 \text{ kg} = 1.784 \text{ kg}$$

**S-24)** Aşağıda bazı özellikleri verilen maddelerin faz durumlarını belirleyip iç enerji ve yoğunluklarını tespit ediniz ve Sıcaklık-Özgül hacim (T-v) diyagramında yerini gösteriniz.

a) 1.2 Mpa basınç ve 300°C'de su ( $H_2O$ )

b) -20°C sıcaklık ve x=0.5 kuruluk derecesinde R-134a soğutucu akışkan

**C-24)**

a) Su için basınç tablosundan  $P = 1.2 \text{ Mpa}$  için  $T_{doyma} = 188^\circ\text{C} < T = 300^\circ\text{C}$  olduğundan KIZGIN

BUHAR

Kızgın buhar tablosundan iç enerji  $u = 2789.2 \text{ kJ/kg}$  ve özgül hacim  $v = 0.2138 \text{ m}^3/\text{kg}$

$$v = 1/\rho, \rho = 1/0.2138 = 4.677 \text{ kg/m}^3$$

b) x=0.5 olduğundan DOYMUŞ SIVI-BUHAR KARIŞIMI, R-134a için sıcaklık tablosundan

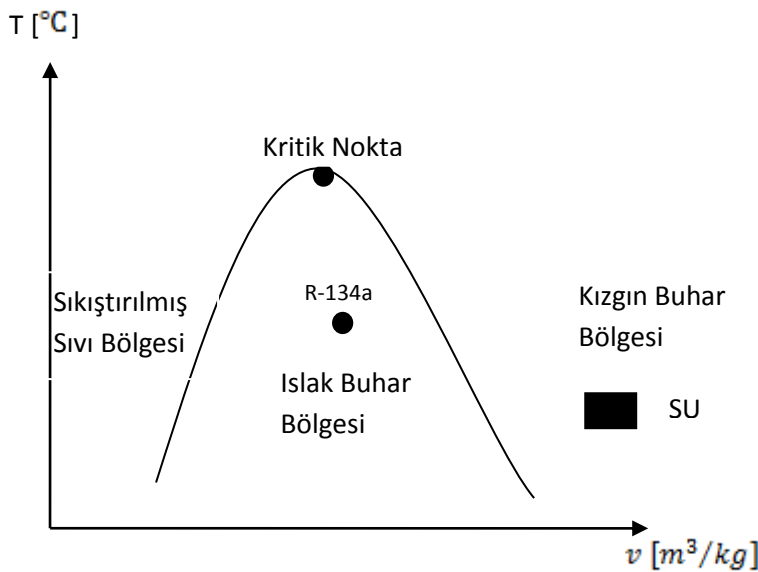
$$u_f = 24.17 \text{ kJ/kg}, u_g = 215.844 \text{ kJ/kg}, u_{fg} = u_g - u_f = 191.67 \text{ kJ/kg}$$

$$v_f = 0.0007361 \text{ m}^3/\text{kg}, v_g = 0.1464 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$u = u_f + x \cdot u_{fg} = 24.17 + 0.5 \cdot 191.67 = 120 \text{ kJ/kg}$$

$$v = v_f + x \cdot v_{fg} = 0.0007361 + 0.5 \cdot (0.1464 - 0.0007361) = 0.07356 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\rho = 1/v = 13.59 \text{ kg/m}^3$$



S-25)  $70^{\circ}\text{C}$  sıcaklık ve iç enerji  $1500\text{kJ/kg}$ 'de suyun ( $\text{H}_2\text{O}$ ) faz durumunu belirleyerek entalpi ve yoğunluklarını tespit ediniz ve Sıcaklık-Özgül hacim (T-v) diyagramında yerini gösteriniz.

C-25)

ÇENGEL TABLOSU KULLANILMIŞTIR

$$\left. \begin{array}{l} T = 70^{\circ}\text{C} \\ u = 1500 \text{ kJ/kg} \end{array} \right\} \begin{array}{ll} u_f = 293.04 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} & v_f = 0.001023 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \\ u_g = 2468.9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} & v_g = 5.0396 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \\ u_{fg} = 2175.8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} & \\ h_f = 293.07 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} & h_{fg} = 2333 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \end{array}$$

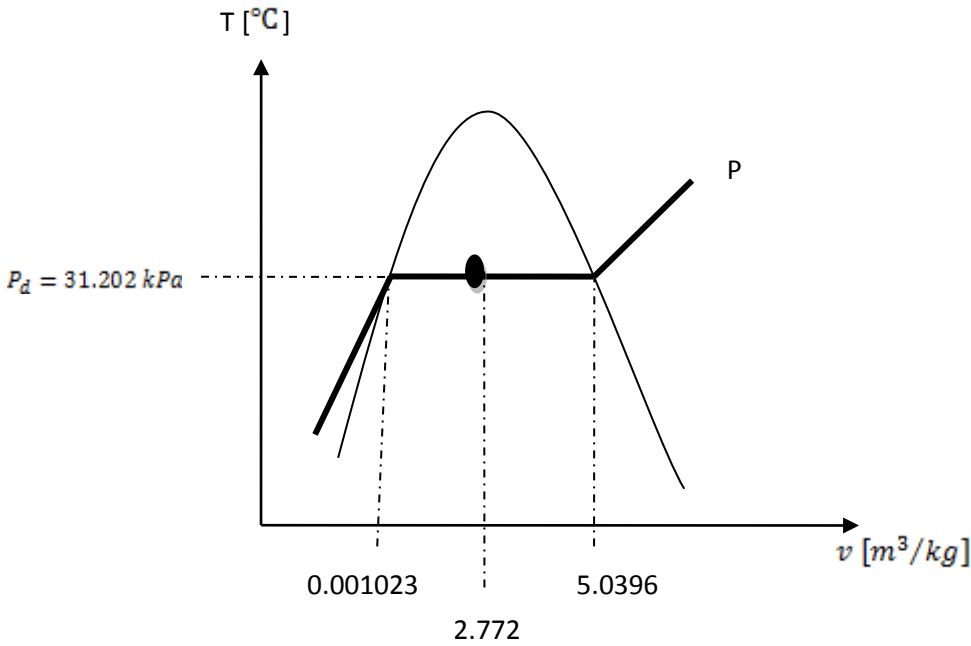
$u_f < u < u_g$  olduğu için,

$$x = \frac{u - u_f}{u_g - u_f} = \frac{1500 - 293.04}{2468.9 - 293.4} \approx 0.55$$

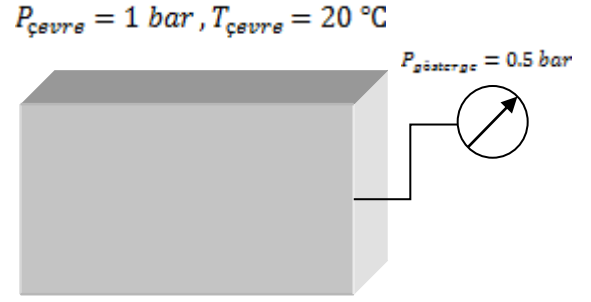
$$v = v_f + x(v_g - v_f) = 0.001023 + 0.55(5.0396 - 0.001023)$$

$$v = 2.772 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \quad \rho = \frac{1}{v} = \frac{1}{2.772} = 0.361 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$h = h_f + x(h_{fg}) = 293.07 + 0.55(2333) = 1576.22 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$



**S-26)** Şekilde şematik olarak gösterilen sızdırmaz 200 kg kütlede bir tankın içerisi hava ile doludur. Tankın uzunluğu 8 m, yüksekliği 6 m ve genişliği 6 m olup; tanka bağlı manometreden okunan basınç değeri ise 0.5 bar'dır. İdeal gaz koşullarına sahip havanın yoğunluk değeri  $1.16 \text{ kg/m}^3$  gaz sabiti değeri  $0.287 \text{ kJ/kgK}$  olarak verilmektedir. Mevcut verileri kullanarak;



- Tank içindeki havanın kütleini (ton birimi cinsinden) ve özgül hacmini (lt/gr birimi cinsinden),
- Tankın hava ile birlikte toplam ağırlığını (kN birimi cinsinden ),
- Tank içindeki havanın sıcaklığını  $^\circ\text{C}$ ,  $^\circ\text{F}$  ve  $\text{K}$  birimleri cinsinden hesaplayınız,
- Tank içindeki hava sıcaklığı ile çevre sıcaklığı arasındaki farkı  $^\circ\text{C}$ ,  $^\circ\text{F}$  ve  $\text{K}$  birimleri cinsinden hesaplayınız.

**C-26)**

$$\text{a) } T_{\text{çevre}} = 20^\circ\text{C}, P_{\text{çevre}} = 1 \text{ bar}, P_{\text{gösterge}} = 0.5 \text{ bar}$$

$$V_{\text{tank}} = 8 * 6 * 6 = 288 \text{ m}^3, \rho = 1.16 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, \rho = \frac{m}{v}$$

$$m_{\text{hava}} = 288 \text{ m}^3 * 1.16 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} = 334.08 \text{ kg}$$

$$m_{\text{hava}} = 334.08 \text{ kg} * \frac{1 \text{ ton}}{1000 \text{ kg}} = 0.33408 \text{ ton}$$

$$v = \frac{1}{\rho} = \frac{1}{1.16} = 0.862 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} * \frac{1 \text{ kg}}{1000 \text{ gr}} * \frac{1000 \text{ lt}}{1 \text{ m}^3} = 0.862 \frac{\text{lt}}{\text{gr}}$$

$$\text{b) } m_{\text{toplam}} = m_{\text{tank}} + m_{\text{hava}} = 200 \text{ kg} + 334.08 \text{ kg} = 534.08 \text{ kg}$$

$$W = m * g = 534.08 * 9.81 = 5239.32 \text{ N} = 5.23932 \text{ kN}$$

$$\text{c) } P_{\text{tank}} = P_{\text{gösterge}} + P_{\text{çevre}} = 0.5 + 1 = 1.5 \text{ bar} = 150 \text{ kPa}$$

$$m_{\text{hava}} = 334.08 \text{ kg}, V_{\text{tank}} = 288 \text{ m}^3$$

$$T = \frac{P * V}{m * R} = \frac{150 \text{ kPa} * 288 \text{ m}^3}{334.08 \text{ kg} * 0.287} = 450.55 \text{ K}$$

$$T(^{\circ}\text{C}) = 450.55 - 273.15 = 177.4^\circ\text{C}$$

$$T(^{\circ}\text{F}) = 1.8 * T(^{\circ}\text{C}) + 32 = 351.32 \text{ }^\circ\text{F}$$

$$\text{d) } \Delta T = T_{\text{tank}} - T_{\text{çevre}} = 177.4 - 20 = 157.4^\circ\text{C}$$

$$\Delta T(^{\circ}\text{C}) = \Delta T(\text{K}) = 157.4 \text{ K}$$

$$\Delta T(^{\circ}\text{F}) = 1.8 \Delta T(^{\circ}\text{C}) = 283.32 \text{ }^\circ\text{F}$$

S-27) Toplam hacmi  $2 \text{ m}^3$  ve basıncı 200 kPa olan bir buhar kazanında, hacmin %20'si sıvı ve %80'i buhar olduğuna göre kazandaki su buharının ;

a- Sıcaklığını, b- Toplam kütleini, c- Kuruluk derecesini, d- Özgül hacmini, e- Entalpisini hesaplayınız.

C-27)

$V = 2 \text{ m}^3$ $P = 200 \text{ kPa}$ %20 Sıvı %80 Buhar
---

$$V_f = 0.2 * V = 0.4 \text{ m}^3, V_g = 0.8 * V = 1.6 \text{ m}^3, v_f = 0.001061 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}, v_g = 0.8857 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$h_f = 504.7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, h_g = 2706.6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, h_{fg} = 2201.9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\text{a) } T = 120.2^\circ\text{C}$$

$$\text{b) } m_f = \frac{V_f}{v_f} = \frac{0.4}{0.001061} = 377 \text{ kg} \quad m = m_f + m_g$$

$$m_g = \frac{V_g}{v_g} = \frac{1.6}{0.8857} = 1.8065 \text{ kg} \quad m = 378.8 \text{ kg}$$

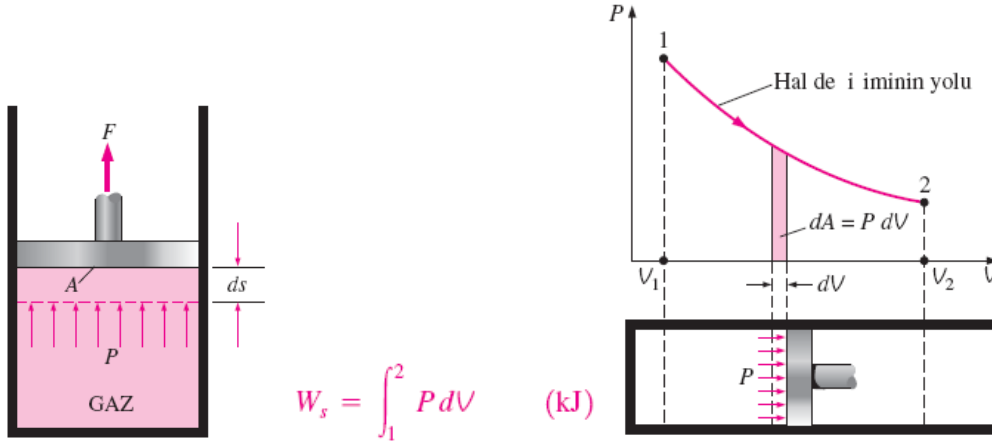
$$\text{c) } v = \frac{V}{m} = \frac{2 \text{ m}^3}{378.8 \text{ kg}} = 0.005279 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\text{d) } x = \frac{v - v_f}{v_g - v_f} = 0.004769$$

$$\text{e) } h = h_f + x * h_{fg} = 504.7 + 0.004769 * 2201.9 = 514.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

## KAPALI SİSTEMLERİN ENERJİ ANALİZİ

**Hareketli sınır işi ( $P dV$  işi):** Bir gazın piston-silindir düzeneğinde genişlemesi veya sıkıştırılması sırasında gerçekleşir.



P-V diyagramında hal değişimi eğrisi altında kalan alan işi gösterir.

**Politropik, İzotermal ve İzobarik hal değişimi**

$$P = CV^{-n}$$

$$W_s = \int_1^2 P dV = \int_1^2 CV^{-1} dV = PV \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

Mükemmel gaz için;

$$W_s = \frac{mR(T_2 - T_1)}{1 - n} \quad n \neq 1$$

Sabit basınç durumunda;

$$W_s = \int_1^2 P dV = P_0 \int_1^2 dV = P_0(V_2 - V_1)$$

## KAPALI SİSTEMLER İÇİN ENERJİ DENGESİ

$$\underbrace{E_{\text{giren}} - E_{\text{çıkan}}}_{\text{Isı, iş ve kütle ile net enerji transferi}} = \underbrace{\Delta E_{\text{sistem}}}_{\text{İç enerji, kinetik ve potansiyel enerjilerdeki değişim}} \quad (\text{kJ})$$

$$\underbrace{\dot{E}_{\text{giren}} - \dot{E}_{\text{çıkan}}}_{\text{Isı, iş ve kütle ile net enerji transferi oranı}} = \underbrace{dE_{\text{sistem}}/dt}_{\text{İç enerji, kinetik ve potansiyel enerjilerdeki değişim oranı}} \quad (\text{kW})$$

Kapalı sistemler için birinci yasanın değişik yazılış biçimleri;

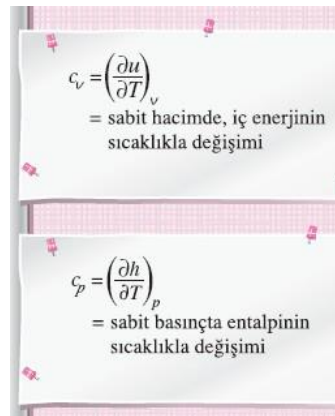


Sabit Basıncı bir genişleme ve sıkıştırma işlemi için Enerji denkliği;

$$\Delta U + W_s = \Delta H$$

**Sabit hacimde özgül ısı,  $c_v$ :** Maddenin birim kütesinin sıcaklığını sabit hacimde bir derece yükseltmek için gerekli enerji.

**Sabit basınçta özgül ısı,  $c_p$ :** Maddenin birim kütesinin sıcaklığını sabit basınçta bir derece yükseltmek için gerekli enerji.



**Mükemmel gazların iç enerji, entalpi ve özgül ısıları;**

Mükemmel gazlar için  $u$ ,  $h$ ,  $c_v$  ve  $c_p$  sadece sıcaklıkla değişir.

$$\left. \begin{array}{l} h = u + Pv \\ Pv = RT \end{array} \right\} h = u + RT$$

$$\Delta u = u_2 - u_1 = \int_1^2 c_v(T) dT$$

$$\Delta h = h_2 - h_1 = \int_1^2 c_p(T) dT$$

Düşük basınçlarda, tüm gerçek gazlar mükemmel gaz davranışına yaklaşırlar, bu nedenle özgül ısıları sadece sıcaklığın fonksiyonu olur.

Gerçek gazların düşük basınçlarda özgül ısıları mükemmel-gaz veya sıfır basınç özgül ısısı diye adlandırılır ve  $c_{p0}$  ,  $c_{v0}$  ile gösterilir.

 **$\Delta u$  ve  $\Delta h$  'ı hesaplamak için kullanılan üç yol**

- Tablolarla verilmiş  $u$  ve  $h$  değerleri kullanılabilir. Tablolar bulunabiliyorsa en hassas ve en kolay yol budur.
- $c_v$  ve  $c_p$  değerlerini sıcaklığın fonksiyonu olarak veren bağıntıları kullanarak integral alınabilir. El hesapları için bu yol zaman alıcıdır, ancak bilgisayarda yapılan hesaplar için çok elverişlidir. Elde edilen sonuçlar çok hassastır.
- Ortalama özgül ısı değerleri kullanılabilir. Bu yol kolayca uygulanabilir ve özellik tabloları bulunamadığı zaman çok uygundur. Sıcaklık aralığı çok büyük olmadığı sürece sonuçlar oldukça hassastır.

**S-1)** Bir piston silindir çifti  $0.085 \text{ m}^3$  hacminde  $1.032 \text{ bar}$  basınçta ve  $38^\circ\text{C}$  sıcaklığında gaz içermektedir. Gaz  $P * V^{1.3} = \text{sabit}$  olarak basınç  $5.5 \text{ bar}$  oluncaya kadar sıkıştırılmaktadır. Bu işlem boyunca yapılan veya verilen işi hesaplayınız.

$$\begin{array}{l} \text{C-1)} \quad P_1 = 1.032 \cdot 10^5 \text{ Pa} \\ \quad \quad T_1 = 38 + 273 = 311 \text{ K} \\ \quad \quad V_1 = 0.085 \text{ m}^3 \\ \quad \quad P_2 = 5.5 \cdot 10^5 \text{ Pa} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{l} P_1 \\ T_1 \\ V_1 \\ P_2 \end{array}} \right\} P_1 * V_1^{1.3} = P_2 * V_2^{1.3}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^{1.3} = 0.1876 = V_2^{1.3} * 24.6465$$

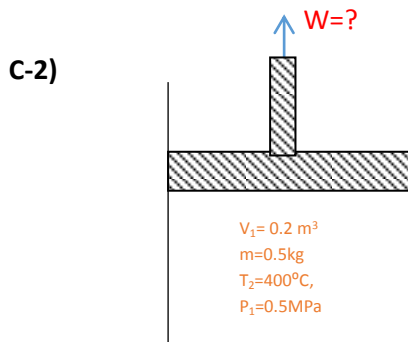
$$V_2 = 0.02346 \text{ m}^3$$

$$W_{12} = \frac{P_2 * V_2 - P_1 * V_1}{1 - n} = -13770 \text{ j}$$

**S-2)** Bir pistonlu silindir içerisinde  $0.2 \text{ m}^3$  hacminde  $0.5 \text{ MPa}$  basınçta ve  $0.8 \text{ kg}$  buhar bulunmaktadır. Sabit basınçta buharın sıcaklığı  $400^\circ\text{C}$  oluncaya kadar silindire ısı transfer edilmektedir. Potansiyel ve kinetik enerjideki değişimleri ihmal ederek

a) Yapılan işi

b) Silindire transfer edilen ısıyı bulunuz.



### 1. Durum

$P_1 = 0.5 \text{ MPa}$  doymuş sıvı – buhar karışımı

$v_s = 0.001093 \text{ m}^3/\text{kg}$  ,  $v_b = 0.3749 \text{ m}^3/\text{kg}$

$u_s = 639.68 \text{ kJ/kg}$  ,  $u_{sb} = 1921.6 \text{ kJ/kg}$  ,  $u_b = 2561.2 \text{ kJ/kg}$

$$V_1 = m * v_1 \Rightarrow v_1 = \frac{0.2}{0.8} = 0.25 \text{ m}^3/\text{kg}$$



$$x_1 = \frac{v_1 - v_s}{v_{sb}} = \frac{0.25 - 0.001093}{0.3749 - 0.001093} = \frac{0.248907}{0.3738} = 0.6658$$

$$u_1 = u_s + x_1 * u_{sb} = 1919 \text{ kJ/kg}$$

## 2.Durum

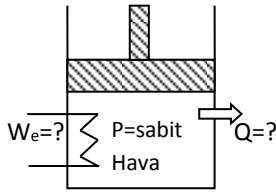
$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 0.5 \text{ MPa} \\ T_1 = 400^\circ \text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} v_2 = 0.6173 \text{ m}^3/\text{kg} \\ u_2 = 2963.2 \text{ kJ/kg} \end{array}$$

Kızgın buhar

$$\text{a) } W_{12} = m * P * (v_2 - v_1) = 0.8 \text{ kg} * 500 \text{ kPa} * (0.6173 - 0.25) = 146.92 \text{ kJ}$$

$$\text{b) } Q_{12} = W_{12} + \Delta U = 146.92 + 0.8 \text{ kg} * (2963.2 - 1919) = 982.28 \text{ kJ}$$

## S-3)



Bir piston silindir çifti içerisindeki 15 kg hava, 25°C den 77°C ye 300 kPa basınçta içerisindeki bir elektrik rezistansı vasıtasıyla ısıtılmaktadır. Bu işlem boyunca silindirden ısı kaybı 60 kJ olarak tespit edilmiştir. Buna göre elektrik rezistansının çektiği enerjiyi hesaplayınız.  $R=0.287 \text{ kJ/kgK}$ ,  $C_v=0.718 \text{ kJ/kgK}$

$$\text{C-3) } \left. \begin{array}{l} T_1 = 25^\circ \text{C} \\ P_1 = 300 \text{ kPa} \\ m = 15 \text{ kg} \\ T_2 = 77^\circ \text{C} \\ P_2 = 300 \text{ kPa} \end{array} \right\} \begin{array}{l} P_1 * V_1 = m * R * T_1 \Rightarrow V_1 = \frac{15 \text{ kg} * 0.287 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * 298 \text{ K}}{300 \text{ kPa}} \\ V_1 = 4.2793 \text{ m}^3 \end{array}$$

$$P_2 * V_2 = m * R * T_2$$

$$V_2 = \frac{15 * 0.287 * 350}{300} = 5.0225 \text{ m}^3, \quad W_{12} = P * (V_2 - V_1) = 223.86 \text{ kJ}$$

$$Q_{net} - W_{net} = \Delta U \Rightarrow m * C_v * \Delta T = 560.04 \text{ kJ}$$

$$-60 \text{ kJ} - (223.8 - W_{elekt}) = 560.04 \text{ kJ} \Rightarrow W_{elekt} = 843.84 \text{ kJ}$$

**S-4)**  $0.2 \text{ m}^3$  hacminde kapalı bir kap içerisinde  $300 \text{ kPa}$  basınçta  $0.5 \text{ kg}$  sıvı – buhar karışımı su bulunmaktadır. Kap doymuş buhar ile doluncaya kadar sabit hacimde ısıtılmaktadır. Buna göre kaba verilen ısı miktarını bulunuz.

**C-4)1.Durum**

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 300 \text{ kPa} \\ V_1 = 0.2 \text{ m}^3 \\ m = 0.5 \text{ kg} \end{array} \right\}$$

$P = 300 \text{ kPa}$  doymuş sıvı – buhar karışımı tablosundan

$$v_s = 0.001073 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}, \quad v_b = 0.6058 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$u_s = 561.15 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, \quad u_{sb} = 1982.4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$v_1 = \frac{V_1}{m} = \frac{0.2}{0.5} = 0.4 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}, \quad v_1 = v_s + x_1 * v_{sb} \Rightarrow x_1 = 0.6597$$

$$u_1 = u_s + x_1 * u_{sb} \Rightarrow u_1 = 1868.9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

**2.Durum**

$$v_1 = v_2 = 0.4 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

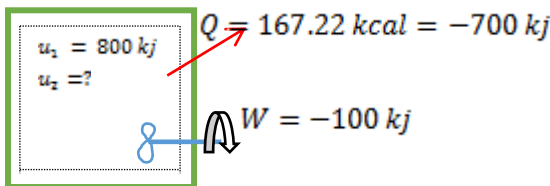
Doymuş sıvı – buhar tablosundan interpolasyon uygulanırsa

$$u_2 = 2558.89 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{12} = m * (u_2 - u_1) = 0.5 * (2558.89 - 1868.9) = 345 \text{ kJ}$$

**S-5)** Bir rijit tank, bir pervane tarafından soğutulan sıcak bir akışkan içermektedir. Başlangıçta akışkanın iç enerjisi  $800 \text{ kJ}$  dir. Soğutma işlemi boyunca akışkan  $167.22 \text{ kcal}$  ısı kaybetmiştir. Pervaneye verilen iş  $100 \text{ kJ}$  olduğunda göre son durumdaki akışkanın iç enerjisini hesaplayınız.

**C-5)**



$$Q - W = U_2 - U_1 = -700 + 100 = U_2 - 800 \Rightarrow U_2 = 200 \text{ kJ}$$

**S-6)**  $5\text{ m}^3$  hacminde rijit bir tank  $0.1\text{ MPa}$  basınçta  $0.05\text{ m}^3$  doymuş sıvı ve  $4.95\text{ m}^3$  doymuş buhar içermektedir. Tank doymuş buhar ile doluncaya kadar ısı transfer edilmektedir. Bu işlem boyunca tanka transfer edilen ısıyı hesaplayınız.

**C-6) 1.Durum**

$$\left. \begin{array}{l} 0.1\text{ MPa} \\ \text{Doymuş sıvı-buhar} \\ \text{tablosundan} \end{array} \right\} \begin{array}{l} v_f = 0.001043 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}, \quad v_g = 1.6940 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \\ u_f = 417.36, \quad u_g = 2506.1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \end{array}$$

$$m_s = \frac{V_f}{v_f} = \frac{0.05}{0.001043} = 47.93\text{ kg}, \quad m_g = \frac{V_g}{v_g} = \frac{4.95}{1.694} = 2.92\text{ kg},$$

$$x_1 = \frac{m_g}{m_t} = \frac{2.92}{50.85} = 0.057, \quad v_1 = v_f + x_1 * v_{fg} = 0.09754 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$u_1 = u_f + x_1 * u_{fg} = 536.4159\text{ kJ/kg}$$

**2.Durum**

$$\left. \begin{array}{l} v_2 = v_1 = 0.975 \text{ m}^3/\text{kg} \\ \text{Doymuş buhar - sıvı tablosundan} \end{array} \right\} u_2 = 2601.77 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q = m * (u_2 - u_1) = 50.85(2601.77 - 536.4159) = 105.02\text{ MJ}$$

**S-7)** Aşağıdaki işlemler için sınır işini hesaplayan ifadeleri çıkarınız.

- a) İzobar işlemde      b) İzometrik işlemde  
c) İzotermal işlemde      d) Politropik işlemde ( $P * V^n = \text{sabit}$ )

**C-7) a)** İzobar işlemde  $P = \text{sabit}$

**b)** İzometrik işlemde  $V = \text{sabit}$ ,  $V_2 = V_1$

$$W_{12} = \int_{v_1}^{v_2} P * dV = P * (V_2 - V_1)$$

$$W_{12} = \int_{v_1}^{v_2} P * dV = P * (V_2 - V_1) = 0$$

**c)** İzotermal işlemde  $T = \text{sabit}$

$$P * V = P_1 * V_1 = P_2 * V_2 = \text{sabit} \Rightarrow P = \frac{P_1 * V_1}{V}$$

$$W_{12} = \int_{v_1}^{v_2} P * dV = \int_{v_1}^{v_2} \frac{P_1 * V_1}{V} * dV = P_1 * V_1 * \ln V, \quad W_{12} = P_1 * V_1 * \ln \frac{V_2}{V_1}$$

**d)** Politropik işlemde  $P * V^n = P_1 * V_1^n = P_2 * V_2^n = \text{Sabit} = C$

$$W_{12} = \int_{v_1}^{v_2} P * dV = \text{Sabit} * \int_{v_1}^{v_2} \frac{dV}{V^n} = C * \int_{v_1}^{v_2} V^{-n} * dV$$

$$P = \frac{\text{Sabit}}{V^n} = \frac{C}{V^n}$$

$$W_{12} = C * \frac{V^{-n+1}}{1-n} \Big|_{v_1}^{v_2} = \frac{C}{1-n} * (V_2^{1-n} - V_1^{1-n})$$

$$C = P_1 * V_1^n = P_2 * V_2^n \Rightarrow W_{12} = \frac{P_2 * V_2^n * V_2^{1-n} - P_1 * V_1^n * V_1^{1-n}}{1-n}$$

$$W_{12} = \frac{P_2 * V_2 - P_1 * V_1}{1-n}$$

**S-8)** Küre şeklinde özel bir balonun içinde 5 kg hava, 200 kPa basınçta ve 500 K sıcaklığında bulunmaktadır. Balondaki basınç  $P=K.D^2$  olarak değişmektedir. D küre çapı ve K bir katsayıdır. Balonun hacmi iki katına çıkarıldığında K sayısını ve yapılan işi hesaplayınız. **Not:** Hava için  $R=0.287$  kJ/kgK.

$$\text{C-8) } V = \frac{\pi * D^3}{6}, \quad P_1 * V_1 = m * R * T_1 \Rightarrow V_1 = \frac{m * R * T_1}{P_1} = \frac{5 * 0.287 * 500}{200} = 3.5875 m^3$$

$$V_1 = 3.5875 m^3, \quad V_2 = 2 * V_1 = 7.175 m^3, \quad D_1 = 1.8993 m$$

$$P = K * D^2 \Rightarrow P_1 = K * D_1^2 \Rightarrow K = 55.44 \frac{kPa}{m^2}$$

$$W_{12} = \int_{V_1}^{V_2} P * dV = \int_{V_1}^{V_2} K * D^2 * dV$$

$$V = \frac{\pi * D^3}{6} \Rightarrow \left( \frac{6 * V}{\pi} \right)^{\frac{1}{3}} = D$$

$$W_{12} = \int_{V_1}^{V_2} K * \left( \frac{6 * V}{\pi} \right)^{\frac{2}{3}} * dV = 85.34 \int_{3.5875}^{7.175} V^{\frac{2}{3}} * dV = 85.34 * \frac{V^{\frac{5}{3}}}{\frac{5}{3}} \Big|_{V_1}^{V_2}$$

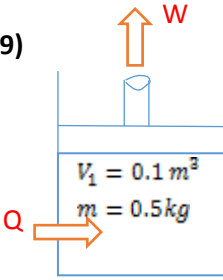
$$W_{12} = 937 \text{ kJ}$$

Veya

$$W_{12} = \int_{D_1}^{D_2} K * D^2 * \frac{\pi * D^2}{2} = \frac{\pi * K * D^5}{10} \Big|_{D_1}^{D_2} = 937 \text{ kJ}$$

S-9) 0.1 m<sup>3</sup> hacminde pistonlu bir silindir 0.4 MPa basınçta 0.5 kg su içermektedir. Sabit basınçta buharın sıcaklığı 300 °C oluncaya kadar silindire ısı transfer edilmektedir. Kinetik ve potansiyel enerjideki değişmeyi ihmal edip bu işlem için **a-** Yapılan işi **b-** Transfer edilen ısıyı hesaplayınız. **c-** İşlemi T-v (Sıcaklık-Özgül hacim) diyagramında gösteriniz.

C-9)



**1.Durum**  
 $P_1 = 0.4 \text{ MPa}$   
 $v_1 = \frac{V_1}{m} = \frac{0.1}{0.5} = 0.2 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$

Basınç tablosundan  
 $v_f = 0.001084 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}, v_g = 0.4625 \text{ m}^3/\text{kg}$

$v_f < v < v_g$  olduğundan karışım bölgesinde

$$v_1 = v_f + x_1 * (v_g - v_f) \Rightarrow x_1 = 0.4311$$

$$u_1 = u_f + x_1 * u_{fg} = 604.31 + 0.4311 * 1949.3 = 1444.6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

**2.Durum**

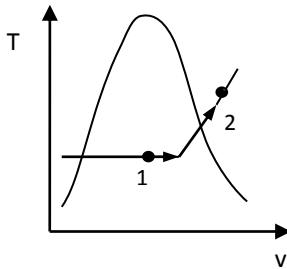
$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 0.4 \text{ MPa} \\ T_2 = 300^\circ\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} P_1 = 0.4 \text{ MPa}, T_{\text{doy}} = 143.63^\circ\text{C} \\ T_2 > T_{\text{doy}} \text{ Kızgın buhar} \end{array}$$

$$u_2 = 2804.8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, v_2 = 0.6548 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\text{a) } W_{12} = m * P * (v_2 - v_1) = 0.5 \text{ kg} * 400 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} * (0.6548 - 0.2) \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = 90.96 \text{ kJ}$$

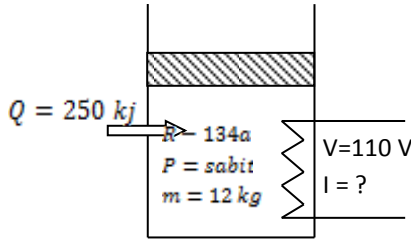
$$\text{b) } Q_{12} - W_{12} = m * (u_2 - u_1) \Rightarrow Q_{12} = 90.96 + 0.5 * (2804.8 - 1444.6) = 921.06 \text{ kJ}$$

c)



**S-10)** Bir piston-silindir içerisinde 200 kPa'da 12 kg R-134a akışkanı doymuş buhar olarak bulunmaktadır. Sabit basınçta akışkana 250 kJ ısı transfer edilmekte, bu arada 110 V'luk bir ısıtıcı 6 dakika çalışmaktadır. Şayet son sıcaklık 70 °C ise elektrik ısıtıcısından geçen akımı hesaplayınız.

**C-10)**



$$\dot{Q} - W_{elek} = m * (h_2 - h_1)$$

**1.Durum**

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 0.2 \text{ MPa} \\ \text{Doymuş buhar} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Tablodan} \\ h_g = h_1 = 241.30 \text{ kJ/kg} \end{array}$$

**2.Durum**

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 0.2 \text{ MPa} \\ T_2 = 70 \text{ }^\circ\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Kızgın buhar } T_2 > T_{doyma} \\ h_2 = 314.02 \text{ kJ/kg} \end{array}$$

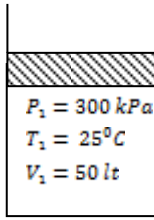
$$250 - W_{elek} = 12 * (314.02 - 241.30)$$

$$W_{elek} = 622.64 \text{ kJ} \Rightarrow W_{elek} = V * I * \Delta t = 110 * I * 6 \text{ dk} * \frac{60 \text{ sn}}{1 \text{ dk}}$$

$$622640 \text{ j} = 110 * I * 360 \Rightarrow I = 15.7 \text{ A}$$

**S-11)** Bir piston-silindir düzeneğinde başlangıçta 25 °C sıcaklık ve 300 kPa basınçta 50 litre su bulunmaktadır. Daha sonra su sabit basınçta tümüyle buharlaşana da ısıtılmaktadır. Buna göre, **a)** Suyun Kütlesini, **b)** Son haldeki sıcaklığını, **c)** Suyun buharlaşması işleminde suya verilen ısıyı, **d)** Son haldeki hacmi, **e)** Bu işlemi T-v (Sıcaklık-Özgül hacim) diyagramında gösteriniz.

C-11)

**1.Durum**

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 300 \text{ kPa} \\ T_1 = 25^\circ\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} P_1 = 300 \text{ kPa} \Rightarrow T_{\text{doy}} = 133.55^\circ\text{C} \\ T_1 < T_{\text{doy}} \text{ olduğundan sıkıştırılmış sıvı} \end{array}$$

$$T_1 = 25^\circ\text{C} \Rightarrow v_1 \cong v_f = 0.001003 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$h_1 \cong h_f = 104.89 \text{ kJ/kg}$$

**2.Durum**

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = P_2 = 300 \text{ kPa} \\ \text{Doymuş buhar} \end{array} \right\} \begin{array}{l} P_2 = 300 \text{ kPa} \Rightarrow T_{\text{doy}} = 133.55^\circ\text{C} \\ h_2 = h_g = 2725.3 \text{ kJ/kg} \\ v_2 = v_g = 0.6058 \text{ m}^3/\text{kg} \end{array}$$

$$\text{a) } T_2 = T_{\text{doy}} = 133.55^\circ\text{C}$$

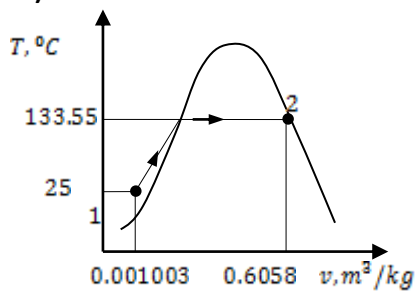
$$\text{b) } m = \frac{V_1}{v_1} = \frac{50 \cdot 10^{-3}}{0.001003} = 49.85$$

$$\text{c) } Q = m \cdot (h_2 - h_1) \Rightarrow Q = 49.85 \text{ kg} \cdot (2725.3 - 104.89) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q = 130627.44 \text{ kJ} = 130.627 \text{ MW}$$

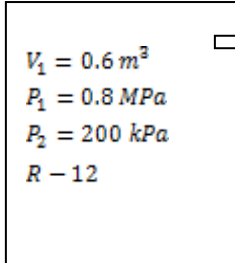
$$\text{d) } V_2 = m_2 \cdot v_2 = 49.85 \text{ kg} \cdot 0.6058 = 30.2 \text{ m}^3$$

e)



**S-12)** 0.6 m<sup>3</sup> sabit hacimli kapalı bir kaptaki başlangıçta 0.8 Mpa basınçta doymuş soğutucu akışkan-12 buharı bulunmaktadır. Daha sonra soğutucu akışkandan çevreye ısı transferi olmakta ve basınç 200 kPa'a düşmektedir. Hal değişimini doyma eğrilerini de göstererek P-v diyagramında çizdikten sonra; **a-** son haldeki sıcaklığı **b-** yoğuşan soğutucu akışkanın kütlesini **c-** bu işlem sırasında dışarı transfer edilen ısıyı hesaplayınız.

**C-12)**



**1.Durum**

$$P_1 = 0.8 \text{ MPa}$$

Doymuş buhar

$$T_{doy} = 32.74^\circ\text{C}$$

$$v_1 = v_g = 0.02188 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$u_1 = u_g = 183.13 \text{ kJ/kg}$$

**1.Durum**

$$P_2 = 200 \text{ kPa}$$

$$v_2 = v_1 = 0.02188 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$P_2 = 200 \text{ kPa} = 0.2 \text{ MPa için } v_f = 0.0006862 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_g = 0.08354 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$v_f < v_2 < v_g$  olduğundan karışım.

$$u_f = 24.43 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, u_g = 165.36 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$v_2 = v_f + x_2 * v_{fg} \Rightarrow x_2 = \frac{0.02188 - 0.0006862}{0.08354 - 0.0006862} \Rightarrow x_2 = 0.2558$$

$$u_2 = u_f + x_2 * u_{fg} = 60.48 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\text{a) } P_2 = 0.2 \text{ MPa} \Rightarrow T_{doy} = T_2 = -12.53^\circ\text{C}$$

$$\text{b) } m_t = \frac{V}{v} = \frac{0.6}{0.02188} = 27.42 \text{ kg}, x_2 = \frac{m_g}{m_t} \Rightarrow m_g = 7.014 \text{ kg}$$

$$m_f = m_t - m_g = 20.4 \text{ kg yoğuşan R-12}$$

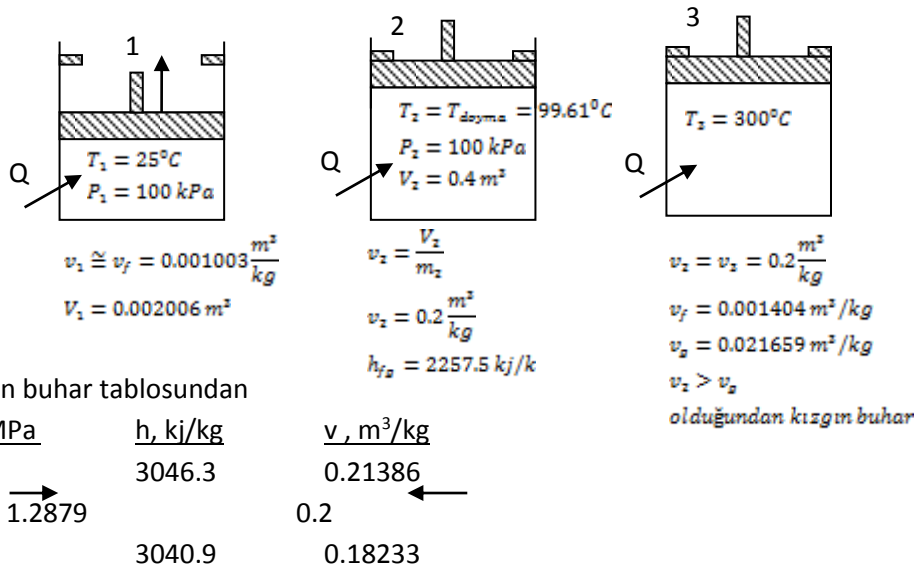
c) Kapalı sistemler için termodinamiğin 1. Kanunu

$$Q = m * (u_2 - u_1) = 27.42 \text{ kg} * (60.48 - 183.13) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \Rightarrow Q = -3363 \text{ kJ}$$

**S-13)** Bir piston-silindir düzeneğinde başlangıçta 25 °C sıcaklık ve 100 kPa basınçta 2 kg su bulunmaktadır. Daha sonra suya hacmi 0.4 m<sup>3</sup> olana kadar ısı verilmektedir. Bu noktada silindirdeki piston bir durdurucu ile sabitlenmekte, fakat silindirdeki suya sıcaklığı 300 °C oluncaya kadar ısı verilmeye devam edilmektedir. Bu göre **a)** Suyun son haldeki basıncını **b)** Suyu verilen ısı miktarını, **c)** Pistonun yaptığı işi hesaplayınız. **d)** Bu işlemleri T-v (Sıcaklık-Özgül hacim) diyagramında gösteriniz.



C-13)



İnterpolasyon yapılarak  $P = 1.2879 \text{ MPa}$  bulunur.

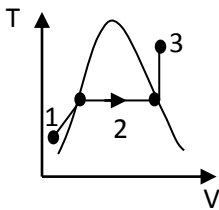
$$b) Q = Q_{12} + Q_{23} = m_{su} * C_{su} * (T_2 - T_1) + m_{su} * h_{fg} + m_{su} * (h_3 - h_g)$$

$$Q = 2 \text{ kg} * 4.18 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} (99.61 - 25)^\circ\text{C} + 2 \text{ kg} * 2257.5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 2 \text{ kg} * (3043.9 - 2675)$$

$$Q = 5877.5 \text{ kJ}$$

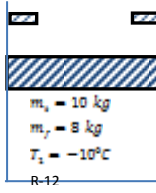
$$W_{piston} = P * (V_2 - V_1) = 100 \text{ kPa} * (0.2 - 0.002006) \frac{m^3}{kg}$$

$$W_{piston} = 19.7944 \text{ kJ}$$

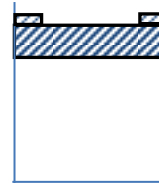


**S-14)** Bir piston-silindir düzeneğinde 10 kg soğutucu akışkan-12 bulunmaktadır. Başlangıçta soğutucu akışkanın 8 kg'ı sıvı fazında olup sıcaklığı  $-10^\circ\text{C}$ 'dir. Daha sonra silindire ısı verilmekte ve piston hacim 400 lt olana kadar yükselmektedir. Bu duruma göre; **a-** son durumdaki sıcaklığı bulunuz. **b-** Bu işlem boyunca yapılan işi hesaplayınız. **c-** İşlemi basınç-hacim (P-V) diyagramında gösteriniz.

C-14) 1 .Durum



2 .Durum



$$m_g = m_t - m_f = 2 \text{ kg}$$

$$V_2 = 0.4 \text{ m}^3$$

$$x = \frac{m_g}{m_t} = \frac{2}{10} = 0.2$$

$$P_2 - P_1 = 219.2 \text{ kPa}$$

$$T_1 = -10^\circ\text{C} \text{ için}$$

$$\text{a) } T_1 = -10^\circ\text{C} = T_{\text{doyma}}$$

$$P_1 = P_{\text{doyma}} = 219.12 \text{ kPa}$$

$$\text{b) } W_{12} = \int_1^2 P * dV$$

$$v_f = 0.007 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$W_{12} = 219.2 \text{ kPa} * (V_2 - V_1)$$

$$v_g = 0.07665 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_1 = v_f + x * v_{fg} = 0.01589 \text{ m}^3/\text{kg}$$

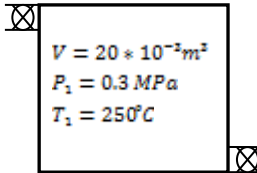
$$W_{12} = 219.2 \text{ kPa} * (0.4 - 0.1589) \text{ m}^3 = 52.6 \text{ kJ}$$

$$V_1 = m * v_1 = 10 * 0.01589$$

$$V_1 = 0.1589 \text{ m}^3$$

S-15) Hacmi 20 litre olan ve içerisinde 300 kPa ve 250 °C sıcaklıkta kızgın su buharı bulunan ve giriş ve çıkış vanaları kapalı olan bir radyatör odaya konulmaktadır. Radyatör odaya ısı vererek basıncı 100 kPa'a düşmektedir. Buna göre, **odaya transfer edilen ısıyı** ve bu işlemi P-v diyagramında çiziniz.

C-15)



Kapalı Sistem

$$Q - W = m * (u_2 - u_1)$$

1.Durum

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 0.3 \text{ MPa} \\ T_1 = 250^\circ\text{C} \end{array} \right\}$$

Kızgın buhar

$$u_1 = 2728.7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$v_1 = 0.7964 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

2.Durum

$$\left. \begin{array}{l} v_2 = v_1 = 0.7964 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \\ P_2 = 0.1 \text{ MPa} \end{array} \right\}$$

Kızgın buhar

$$v_f < v_2 < v_g$$

$$v_f = 0.001043 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$v_g = 1.6940 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$x_2 = \frac{v_2 - v_f}{v_g - v_f} = 0.4638$$

$$u_2 = u_f + x_2 * u_{fg} = 1398.63 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$m = \frac{V}{v} = \frac{20 * 10^{-3}}{0.7964} = 0.02511 \text{ kg} , \quad u_f = 417.36 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} , \quad u_{fg} = 2088.7 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q = 0.02511 \text{ kg} * (1398.63 - 2728.7) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = -33.39 \text{ kJ}$$

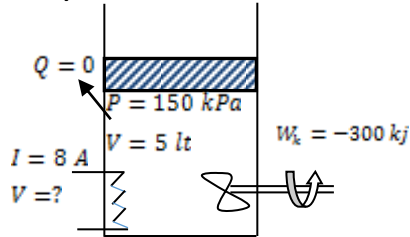
**S-16)** Bir piston silindir düzeneğinde kullanılan CO<sub>2</sub> gazı 0.3 m<sup>3</sup>'ten 0.1 m<sup>3</sup> hacme sıkıştırılmaktadır. Hal değişimi sırasında basınçla hacim arasındaki ilişki, P= a V<sup>-2</sup> bağıntısıyla verilmektedir. Burada a= 8 kPa.m<sup>6</sup> olmaktadır. CO<sub>2</sub> üzerinde yapılan işi (sıkıştırma işini) hesaplayınız.

$$\text{C-16)} \quad W = \int_1^2 P * dV = \int_1^2 a * V^{-2} * dV = a \int_1^2 V^{-2} * dV$$

$$W = a * \frac{V^{-1}}{-1} \Big|_1^2 = -\frac{1}{V} \Big|_1^2 = a * \left( -\frac{1}{V_2} + \frac{1}{V_1} \right) = 8 * \left( \frac{1}{0.3} - \frac{1}{0.1} \right) = -53.33 \text{ kJ}$$

**S-17)** Yalıtılmış bir piston-silindir düzeneğinde başlangıçta P=150 kPa'da V=5 lt doymuş sıvı su bulunmaktadır. Silindir içinde bir elektrikli ısıtıcıyla bir karıştırıcı bulunmaktadır. Daha sonra su 45 dakika süreyle 8 Amper akım geçen ısıtıcıyla ısıtılmakta ve karıştırıcı ise 300 kJ iş harcamaktadır. Sabit basınçta gerçekleşen ve sıvının yarısının buharlaştığı bu işlemde, elektrikli ısıtıcının potansiyel farkını Volt olarak hesaplayınız.

**C-17)**



**1.Durum**

$$\begin{aligned} P &= 150 \text{ kPa} \\ u_1 &= u_f = 466.94 \\ v_1 &= v_f = 0.001053 \\ m &= \frac{V}{v} = \frac{5 * 10^{-3}}{0.001053} \\ m &= 4.7483 \text{ kg} \end{aligned}$$

**2.Durum**

$$\begin{aligned} x &= 0.5 \\ u_2 &= u_f + x * u_{fg} \\ u_2 &= 1493 \\ v_2 &= 0.5801 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \end{aligned}$$

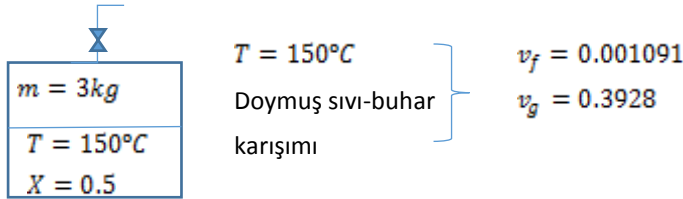
$$Q - W = m * (u_2 - u_1) \Rightarrow -(W_s + m * P * (v_2 - v_1) - 300 \text{ kJ}) = m * (u_2 - u_1)$$

$$W_s = -4985.837 \text{ kJ} , \quad W_s = V * I * \Delta t$$

$$4985.837 \text{ kJ} * \frac{10^3}{1\text{k}} = V * 8\text{A} * 45\text{dk} * \frac{60\text{sn}}{1\text{dk}} , \quad V = 230.82 \text{ Volt}$$

**S-18)** Rijit bir kap içerisinde 3 kg doymuş sıvı buhar karışımı su bulunmaktadır. Kaptaki sıcaklık  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  ve kuruluk derecesi %50'dir. Kabinin üst tarafında bulunan vana açılarak 0.3 kg buharın çıkmasına izin verilmektedir. Bu işlem boyunca sıcaklık sabit  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ 'de kalmaktadır. Buna göre **a-** Kabinin hacmini, **b-** son durumdaki suyun kuruluk derecesini, **c-** Bu işlem boyunca yapılan işi hesaplayınız.

**C-18)**



$$v = v_f + x * v_{fg} = 0.001091 + 0.5 * (0.3928 - 0.001091) \Rightarrow v = 0.196946 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\text{a) } V = m * v = 3 \text{ kg} * 0.196946 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = 0.590838 \text{ m}^3$$

$$\text{b) } m_{\text{buhar},2} = m_{\text{buhar},1} - 0.3 = 1.5 \text{ kg} - 0.3 = 1.2 \text{ kg}$$

$$m_2 = m_1 - 0.3 = 3 - 0.3 = 2.7 \text{ kg}$$

$$x_2 = \frac{m_{\text{buhar},2}}{m_2} = \frac{1.2}{2.7} = 0.4444$$

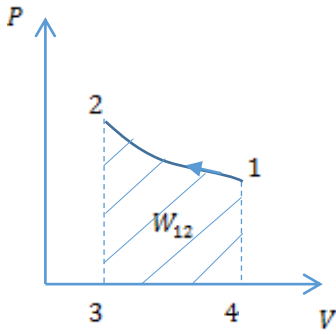
$$\text{c) } W_{12} = \int_1^2 P * dV = 0 \text{ kJ}$$

**S-19)** Helyum gazı bir piston silindir çiftinde hacmi ilk hacmin yarısı oluncaya kadar izotermal bir işlem ile sıkıştırılmaktadır. İşlem sırasında silindir hacmi  $0.2 \text{ m}^3$  iken basınç  $600 \text{ kPa}$  olarak ölçülmüştür. Buna göre **a-** Sıkıştırma işini hesaplayınız. **b-** İşlemi P-V diyagramında gösteriniz.

**C-19)**  $P * V = \text{sabit}$  (izotermal işlem)

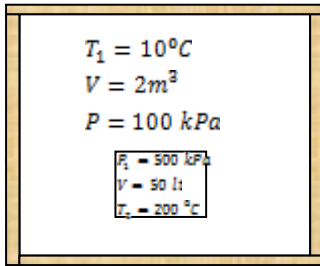
$$W_{12} = \int_1^2 P * dV = P * V * \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = 600 \text{ kPa} * 0.2 \text{ m}^3 * \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

$$\frac{V_2}{V_1} = 0.5 \Rightarrow W_{12} = -83.177 \text{ kJ}$$



**S-20)** 2 m<sup>3</sup> hacminde, 100 kPa basınç ve 10 °C sıcaklığında olan tamamen yalıtımlı bir odanın içerisine kapalı rijit bir kap içinde 50 litre kızgın su buharı koyulmaktadır. Başlangıçta suyun basıncı 500 kPa ve sıcaklığı 200 °C'dir. Kapalı kap içerisindeki kızgın su ısıyı odaya vererek basıncı oda basıncına düşmektedir. Buna göre; **a-** Odadaki havanın kütlesini, **b-** Kaptaki suyun kütlesini, **c-** Kızgın suyun odaya verdiği ısıyı, **d-** Odanın son durumdaki sıcaklığını hesaplayınız.

**C-20)**



$$\text{a) } P_1 * V_1 = m_{\text{hava}} * R * T_1$$

$$m_{\text{hava}} = \frac{100\text{ kPa} * 2\text{ m}^3}{0.287 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 283\text{K}} = 2.4624\text{ kg}$$

$$\text{b) } P_1 = 0.5\text{ MPa}, T_1 = 200^\circ\text{C} \Rightarrow v_1 = 0.4249 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}, u_1 = 2642.9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$m_{\text{su}} = \frac{V_{\text{su}}}{v_1} = \frac{(50 * 10^{-3}\text{ m}^3)}{0.4249 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}} = 0.11767\text{ kg}$$

$$\text{c) } Q - W = m_{\text{su}} * (u_2 - u_1) \Rightarrow Q = m_{\text{su}} * (u_2 - u_1)$$

**2.Durum**

$$\left. \begin{array}{l} v_2 = 0.4249 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \\ P_2 = 100\text{ kPa} \end{array} \right\} \begin{array}{l} v_f = 0.001043, v_g = 1.6949 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \\ v_g > v_2 > v_f \text{ karışım bölgesi} \end{array}$$

$$x_2 = \frac{0.4249 - 0.001043}{1.6940 - 0.001043} = 0.25$$

$$u_2 = u_f + x_2 * u_{fg} = 417.36 + 0.25 * 2088.7 = 939.535 \frac{kJ}{kg}$$

$$Q = -200.44 \text{ kJ}$$

Oda için

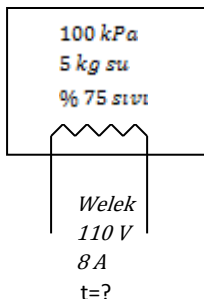
$$Q - \dot{W} = \Delta U$$

$$Q = m_{hava} * C_v * (T_2 - T_1)$$

$$200.44 = 2.4624 * 0.718 \frac{kJ}{kgK} * (T_2 - 10), \quad T_2 = 123.37^\circ C$$

**S-21)** Yalıtılmış bir tank, 100 kPa basınçta doymuş sıvı-buhar karışımı fazında 5 kg su içermekte olup kütlelerinin %75'i sıvıdır. 110 V gerilim ve 8 A akım çeken bir elektrik ısıtıcısı vasıtasıyla tanktaki su tümüyle buhar fazına geçene kadar ısıtılmaktadır. Uygulanan ısıtma işleminin süresini hesaplayınız.

**C-21)**



**1- Karışım bölgesi**

$$x = \frac{m_b}{m_t} = 0.25$$

$$u_f = 417.4 \text{ kJ/kg}$$

$$u_g = 2505.6 \text{ kJ/kg}$$

$$u_{fg} = 2088.6 \text{ kJ/kg}$$

$$u_1 = u_f + x * u_{fg} = 939.45 \frac{kJ}{kg}$$

Kapalı sistem için T.D 1.K

**2.Durum**

Doymuş sıvı (100kPa)

$$u_2 = u_g = 2505.6 \text{ kJ/kg}$$

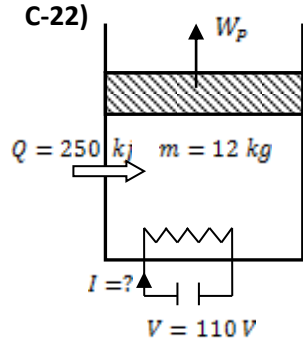
$$Q - W = \Delta E = \Delta U \Rightarrow W_{elek} = \Delta U = m * (u_2 - u_1)$$

$$W_{elek} = V * I * t$$

$$\Delta U = W_{elek} = 7830.75 \text{ kJ}$$

$$t = \frac{m * (u_2 - u_1)}{V * I} = \frac{5 \text{ kg} * (2505.6 - 939.45)}{110 \text{ V} * 8 \text{ A} * \left(\frac{1 \text{ k}}{1000}\right)} \Rightarrow t = 8898.6 \text{ saniye}$$

**S-22)** Bir piston-silindir içerisinde 200 kPa'da 12 kg Soğutucu akışkan-134a doymuş buhar olarak bulunmaktadır. Sabit basınçta akışkana 250 kJ ısı transfer edilmekte, bu arada 110 V'luk bir ısıtıcı 6 dakika çalışmaktadır. Şayet son sıcaklık 70 °C ise elektrik ısıtıcısından geçen akımı hesaplayınız. **İpucu:** Piston için sınır işi de hesaba katılarak kapalı sistemler için Termodinamiğin I. Kanunu analiz edilecektir. Yani iş olarak elektrik ve pistonun işi vardır.

**1.Durum**

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 0.2 \text{ MPa} \\ \text{Doymuş buhar} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Soğutucu akışkan R-134a tablosundan} \\ u_1 = u_g = 221.43 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, v_1 = v_g = 0.0993 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \\ h_1 = h_g = 243.3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, T_{\text{doy}} = -10.09 \text{ } ^\circ\text{C} \end{array}$$

**2.Durum**

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = P_2 = 0.2 \text{ MPa} \\ T_2 = 70^\circ\text{C} \\ \text{Kızgın buhar} \end{array} \right\} \begin{array}{l} T_2 > T_d \text{ olduğundan kızgın buhar} \\ v_2 = 0.13639 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}, u_2 = 286.74 \text{ kJ/kg} \\ h_2 = 314.02 \text{ kJ/kg} \end{array}$$

$$W_p = m * P * (v_2 - v_1)$$

$$W_p = 12 \text{ kg} * 200 \text{ kPa} * (0.13639 - 0.0993) \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = 89.016 \text{ kJ}$$

$$W = -W_{el} + W_p$$

$$Q - W = m * (u_2 - u_1) \Rightarrow 250 \text{ kJ} - W = 12 * (286.74 - 221.43) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

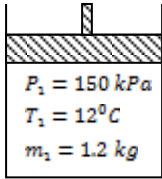
$$250 \text{ kJ} + W_{el} - 89.016 \text{ kJ} = 783.72 \Rightarrow W_{el} = 622.72 \text{ kJ}$$

$$W_{el} = V * I * \Delta t = 622.72 \text{ kJ} = 110 \text{ V} * I * 6 \text{ dk} * \frac{60 \text{ sn}}{1 \text{ k}} \Rightarrow 622.720 \text{ j} = 110 * 360 * I$$

$$I = 15.72 \text{ Amper}$$

**S-23)** 150 kPa basınç ve 12 °C sıcaklıkta ve 1.2 kg hava, sızdırmaz ve sürtünmesiz bir piston-silindir düzeneğinde bulunmaktadır. Hava, basınç 600 kPa olana kadar sıkıştırılmaktadır. Bu işlem sırasında çevreye ısı geçişi olmakta ve silindir içindeki sıcaklık sabit kalmaktadır. Bu işlem boyunca yapılan işi hesaplayınız.

**C-23)**1.Durum

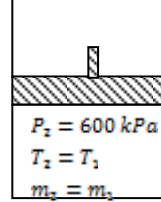


$$P_1 * V_1 = m_1 * R * T_1$$

$$V_1 = \frac{1.2 * 0.287 * 285.15}{150}$$

$$V_1 = 0.6547 \text{ m}^3$$

2.Durum



$$P_2 * V_2 = m_2 * R * T_2$$

$$V_2 = \frac{1.2 * 0.287 * 285.15}{600}$$

$$V_2 = 0.163676 \text{ m}^3$$

*Sabit sıcaklık için (izotermal işlem için)*

$$W_p = P_1 * V_1 * \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = 150 \text{ kPa} * 0.6547 * \ln\left(\frac{0.163676}{0.6547}\right)$$

$$W_p = -136.140 \text{ kJ}$$

**S-24)** Bir kompresörde CO<sub>2</sub> gazı 140 kPa ,10 °C ve 100 litre hacminde emilip, **Politropik bir işlemle** basıncı 700 kPa, sıcaklığı 280 °C oluncaya kadar sıkıştırılmaktadır. Buna göre a) Bu işlem için CO<sub>2</sub> gazının politropik katsayısını, n b) Bu işlemi gerçekleştirmek için gerekli işi hesaplayınız. R<sub>CO2</sub>=0.1889 kJ/kgK

**C-24) a)**  $P_1 = 140 \text{ kPa}$  ,  $T_1 = 283 \text{ K}$  ,  $V_1 = 0.1 \text{ m}^3$

$$m_1 = \frac{P_1 * V_1}{R * T_1} = \frac{140 \text{ kPa} * 0.1 \text{ m}^3}{0.1889 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 283 \text{ K}} = 0.2618 \text{ kg}$$

$$P_1 * V_1^n = P_2 * V_2^n \quad , \quad V_2 = \frac{m_2 * R * T_2}{P_2} = \frac{0.2618 * 0.1889 * 553}{700} = 0.03907 \text{ m}^3$$

$$m_1 = m_2 \quad , \quad P_2 = 700 \text{ kPa}$$



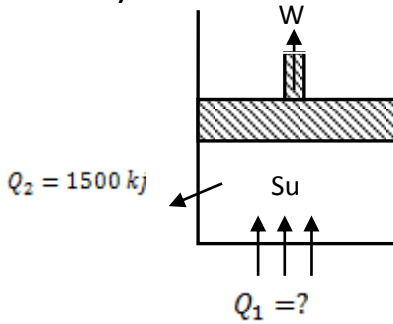
$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^n \Rightarrow 0.2 = 0.3907^n \Rightarrow \log(0.2) = n * \log(0.3907)$$

$$n = 1.7125$$

$$\text{b) } W_{12} = \frac{P_2 V_2 - P_1 V_1}{1-n} = \frac{13.49}{1-1.7125} = -18.74 \text{ kJ}$$

**S-25)** Bir piston-silindir düzeneğinde başlangıçta 26 °C sıcaklık ve 300 kPa basınçta 20 litre su bulunmaktadır. Daha sonra su sabit basınçta tümüyle buharlaşana da ısıtılmaktadır. Bu işlem sırasında çevreye silindirden 1500 kJ ısı kaybı olmaktadır. Buna göre; **a)** Suyun kütesini, **b)** Son haldeki suyun sıcaklığını, **c)** Suyun buharlaşması işleminde suya verilen ısıyı, **d)** Pistondan alınacak işi hesaplayınız. **e)** Bu işlemi T-v (Sıcaklık-Özgül hacim) diyagramında gösteriniz

**C-25)**



**1.Durum**

$$T_1 = 26^\circ\text{C}$$

$$P_1 = 300 \text{ K}$$

$$V_1 = 0.02 \text{ m}^3$$

Su sıcaklık tablosundan

$$P_{\text{doy}} = 0.00336 \text{ MPa} = 3.36 \text{ kPa}$$

$P_1 > P_{\text{doy}}$  olduğundan sıkıştırılmış sıvı

$$v_1 \cong v_f = 0.0010033 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\text{a) } m_1 = \frac{V_1}{v_1} = 19.93 \text{ kg}$$

$$h_f \cong h_1 = 109.010 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, \quad u_f \cong u_1 = 109.010 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

**b) 2.Durum**

$$P_1 = P_2 = 300 \text{ K}$$

$$v_2 = v_g \text{ (doymuş buhar)}$$

Basınç tablosundan

$$T_{\text{doy}} = T_2 = 133.52^\circ\text{C}$$

$$u_2 = 2543.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, \quad h_2 = 2724.9 \text{ kJ/kg}$$

$$v_2 = 0.60576 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\text{c) } T. D. 1. \text{ Kanunu Kapalı Sistem} \Rightarrow Q - W = m * (u_2 - u_1)$$

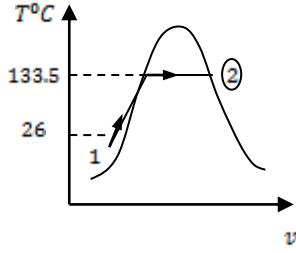
$$Q_1 \cong m * h_{fg} = 19.93 \text{ kg} * (h_2 - h_1) = 52134.7 \text{ kJ}$$

$$\text{d) } (Q_1 - Q_2) - W = m * (u_2 - u_1)$$

$$(52134.7 - 1500) \text{ kJ} - W = 19.93 \text{ kg} * (2543.2 - 109.01)$$

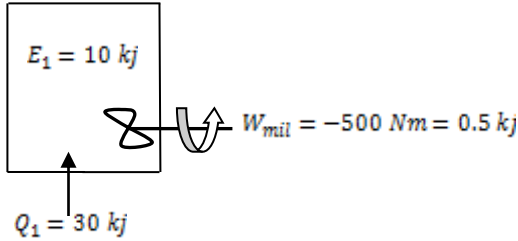
$$W = 2121.3 \text{ kJ}$$

e)



**S-26)** Su, kapalı bir kaptan bir taraftan ısıtılırken diğer taraftan da karıştırılmaktadır. Hal değişimi sırasında ocaktan suya 30 kJ, sudan çevreye ise 5 kJ ısı geçmektedir. Karıştırma yoluyla yapılan iş 500 N.m'dir. Sistemin başlangıçtaki enerjisi 10 kJ olduğuna göre, **son haldeki enerjisini** hesaplayınız.

C-26)



$$Q - W = E_2 - E_1 \Rightarrow (30 - 5) - (-0.5) = E_2 - 10$$

$$E_2 = 35.5 \text{ kJ}$$

**S-27)** 100 litre hacminde bir piston silindir düzeneği 140 kPa basınçta, 10 °C sıcaklıkta Argon gazı içermektedir. Gaz politropik işlem olarak 700 kPa basınca sıkıştırılmakta ve sıcaklığı 280 °C olmaktadır. Bu işlemin **politropik katsayısını** ve bu işlem sırasında **yapılan işi** hesaplayınız.

**C-27)** Politropik işlem  $P_1 * V_1^n = P_2 * V_2^n = P * V^n = \text{sabit}$

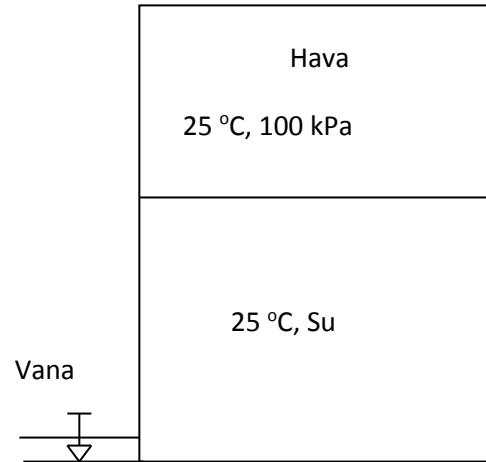
$$P_1 * V_1 = m * R * T_1 \Rightarrow m * R = \frac{P_1 * V_1}{T_1} = \frac{140 * 0.1}{283} = 0.0495 \text{ kJ/K}$$

$$P_2 * V_2 = m * R * T_2 \Rightarrow V_2 = \frac{m * R * T_2}{P_2} = \frac{0.0495 * 553}{700} = 0.0391 \text{ m}^3$$

$$P_1 * V_1^n = P_2 * V_2^n \Rightarrow \frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{V_2}{V_1}\right)^n \Rightarrow \frac{140}{700} = \left(\frac{0.0391}{0.1}\right)^n \Rightarrow n = 1.714$$

$$W_{12} = \frac{P_2 * V_2 - P_1 * V_1}{1 - n} = \frac{(m * R * (T_2 - T_1))}{1 - n} = -18.72 \text{ kJ}$$

**S-28)** Toplam 5 m<sup>3</sup> sabit hacminde bulunan kapalı bir deponun yarısı 25 °C sıcaklıkta su bulunmaktadır. Deponun üst kısmında ise 100 kPa ve 25 °C'de hava bulunmaktadır. Depoya 25 °C sıcaklıkta 1500 kg su deponun altındaki musluktan doldurulursa, a) Deponun üst kısmındaki hava basıncı ne olur? b) Bu işlem için harcanan işi hesaplayınız. R<sub>hava</sub>=0.287 kJ/kgK



$$\text{C-28) } T = 25^\circ\text{C}, v = v_f = 0.001033 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}, \rho = \frac{1}{v} = 968 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}, R = 0.287 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$V_{su} = 2.5 \text{ m}^3 = \frac{V_{top}}{2}, m_{su} = \frac{V_{su}}{v} = 2420.135 \text{ kg}$$

$$m_{su,2} = 1500 \text{ kg} = \frac{V_{kaplama}}{v_{su}}$$

$$1500 \text{ kg suyun kapladığı hacim} = 1500 \text{ kg} * 0.001033 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$V_{kaplama,su} = 1.5495 \text{ m}^3$$

$$m_{hava} = \frac{P_1 * V_1}{R * T_1} = \frac{100 * 2.5}{0.287 * 298} \Rightarrow m_{hava} = 2.923 \text{ kg}$$

$$V_{hava,son} = V_{ilk} - V_{kaplama,su} = 2.5 \text{ m}^3 - 1.5495 \text{ m}^3 = 0.9505 \text{ m}^3$$

$$P_{hava,son} = \frac{(m_{hava} * R * T_2)}{V_{hava,son}} = 263 \text{ kPa}$$

$$W_{12} = P_1 * V_1 * \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) \quad (\text{sabit sıcaklıkta iş})$$

$$W_{12} = 100 \text{ kPa} * 2.5 * \ln\left(\frac{0.9505}{2.5}\right) = -241.76 \text{ kJ}$$

**S-29)** Hava politropik bir işlemle 50 °C ve 120 kPa'dan, 275 °C ve 300 kPa basınca kadar sıkıştırılmaktadır. Bu politropik işlemin "n" politropik katsayısını ve birim kütle için sıkıştırma işini hesaplayınız.

$$\text{C-29) } P_1 = 120 \text{ kPa}, T_1 = 50^\circ\text{C} + 273.15 = 323.15 \text{ K}$$

$$P_2 = 300 \text{ kPa}, T_2 = 275^\circ\text{C} + 273.15 = 548.15 \text{ K}$$

Politropik işlem

$$P * V^n = \text{sabit} \Rightarrow P_1 * V_1^n = P_2 * V_2^n, \left(\frac{V_1}{V_2}\right)^n = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)$$

$$P_1 * v_1 = R * T_1, P_2 * v_2 = R * T_2, \frac{v_1}{v_2} = \frac{T_1}{T_2} * \frac{P_2}{P_1}$$

$$\left(\frac{T_1}{T_2} * \frac{P_2}{P_1}\right)^n = \frac{P_2}{P_1} \Rightarrow \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^n = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{1-n}$$

$$\frac{323.15}{548.15} = \left(\frac{300}{120}\right)^{1-n} \Rightarrow 0.58953^n = 2.5^{1-n} \Rightarrow 2.5^n = \frac{2.5}{0.58958}$$

$$2.5^n = 4.24 \Rightarrow n * \log 2.5 = \log 4.24 \Rightarrow n = 1.5765$$

Politropik iş

$$W_{12} = \frac{P_2 * V_2 - P_1 * V_1}{1 - n} = \frac{m * R * (T_2 - T_1)}{1 - n}$$

$$R_{\text{hava}} = 0.287 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}, m = 1 \text{ kg}$$

$$W_{12} = (0.287 * \frac{275 - 50}{1 - 1.5765}) = -112 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

**S-30)** Bir silindir içerisindeki hava, izotermal bir işlem olarak hacmi  $100\text{m}^3$ 'ten  $10\text{m}^3$  olacak şekilde sıkıştırılmaktadır. Başlangıçta basınç  $300\text{ kPa}$  ve sıcaklık  $37\text{ }^\circ\text{C}$  ' dir. Bu izotermal sıkıştırma işini hesaplayınız.

**C-30)**

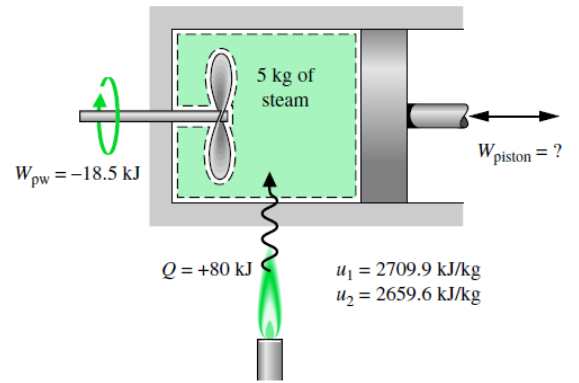
$$P_1 = 300\text{ kPa}, \quad V_1 = 100\text{ m}^3, \quad V_2 = 10\text{ m}^3, \quad T_1 = T_2 = 37^\circ\text{C}$$

İzotermal için iş

$$W_{12} = P_1 * V_1 * \ln \frac{V_2}{V_1} = 300\text{ kPa} * 100\text{ m}^3 * \ln \frac{10}{100}$$

$$W_{12} = -69.08\text{ MJ (Sıkıştırma işi)}$$

**S-31)** Şekilde gösterildiği gibi bir piston silindir deney düzeneği içerisinde  $5\text{ kg}$  buhar bulunmaktadır. Buharın başlangıçtaki iç enerjisi  $u_1 = 2709.9\text{ kJ/kg}$  ikinci durumda ise  $u_2 = 2659.6\text{ kJ/kg}$  'dir. Bu işlem boyunca buhara  $80\text{ kJ}$  ısı transfer edilmektedir. Bununla birlikte buhara bir pervane yardımıyla  $18.5\text{ kJ}$  iş yaptırılmaktadır. Kinetik ve potansiyel enerjiyi ihmal ederek bu işlem sonucunda pistonun yaptığı işi hesaplayınız.



**C-31)**

$$\Delta KE + \Delta PE + \Delta U = Q - W$$

$$W = Q - \Delta U$$

$$W = W_p + W_{per}$$

$$W_p + W_{per} = Q - \Delta U$$

$$W_p - 18.5 = 80 - 5(2659.6 - 2709.9)$$

$$W_p = 350\text{ kJ}$$

S-32) Bir piston silindir düzeneğinde havanın basıncı 6 bar, sıcaklığı  $50^{\circ}\text{C}$ 'dir. İzobar işlemde silindire ısı verilerek silindir hacmi ilk hacmin iki katına çıkartılıyor. a) Bu işlem sonundaki sıcaklığı, b) Silindir içinde 500 gr hava varsa pistonun yaptığı işi, c) işlem boyunca silindire verilen ısıyı hesaplayınız?

C-32)

$$P_1 = P_2, \quad V_2 = 2 * V_1$$

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \Rightarrow T_2 = \frac{T_1 P_2 V_2}{P_1 V_1} = 2T_1 = 2 * 323.15 = 646.3\text{K}(373.15^{\circ}\text{C})$$

$$b) V_1 = \frac{mRT_1}{P_1} = 0.0773\text{m}^3, \quad V_2 = 2 * V_1 = 0.1546\text{m}^3$$

$$W_{12} = P(V_2 - V_1) = 600\text{kPa} * (0.1546 - 0.0773)\text{m}^3 = 46.38\text{kJ} \text{ (Genişleme işi)}$$

T.D.I. Kanunu Kapalı sistemler için

$$Q - W = m\Delta u = mC_v(T_2 - T_1) \Rightarrow Q = W + mC_v(T_2 - T_1)$$

$$Q = 46.38\text{kJ} + 0.5\text{kg} * 0.718 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * (646.3 - 323.15)\text{K}$$

$$Q = 46.38 + 116.01 = 162.39\text{kJ}$$

S-33) Kat yüksekliği 2.7m ve taban alanı  $20\text{m}^2$  olan tamamen yalıtımlı bir odanın iç hava sıcaklığı  $10^{\circ}\text{C}$ 'dir. Oda havası 15 dakikada  $20^{\circ}\text{C}$ 'ye getirmek için kullanılacak ısıtıcının gücünü hesaplayınız.

C-33) Oda havası ideal gaz kabul edilebilir.

$$V_{hava} = 2.7\text{m} * 20\text{m}^2 = 54\text{m}^3$$

$$P_{atm} = P_{oda} = 100\text{kPa}$$

$$R_{hava} = C_p - C_v = 1005 - 718 = 287 \frac{\text{J}}{\text{kgK}} = 0.287 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$T_{hava} = 10^{\circ}\text{C} + 273 = 283\text{K}$$

İdeal gaz denkleminde odadaki havanın kütlesi

$$m_{hava} = \frac{PV}{RT} = \frac{100 * 54}{0.287 * 283} = 66.5\text{kg}$$

Havayı  $10^{\circ}\text{C}$ den  $20^{\circ}\text{C}$ 'ye çıkarmak için gerekli enerji;

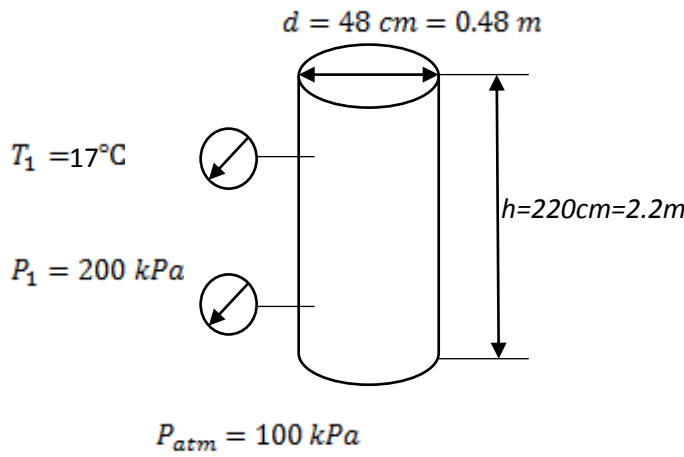
$$Q = m_{hava} * C_v(T_{ilk} - T_{son}) = 66.5 * 0.718 * (20 - 10) = 477.5\text{kJ}$$

Isıtıcının Gücü;

$$\dot{Q} = \frac{Q}{\Delta t} = \frac{477.5 \text{ kJ}}{15 \text{ dk} * \frac{60\text{s}}{1 \text{ dk}}} = 0.530 \text{ kW} = 530 \text{ Watt} = \dot{W}_{\text{elektrik}}$$

S-34) Çapı 48 cm ve yüksekliği 220 cm olan bir silindirik çelik tüp içerisindeki oksijen gazı bulunmaktadır. Tüpün üzerindeki manometre 200 kPa ve termometre 17°C'yi göstermektedir. a) Tüpün içindeki oksijen miktarını hesaplayınız. b) Bu tüpün emniyet sınırları içerisinde kalması için gösterge basıncını 150 kPa indirmek için izotermal bir işlemle tüpten boşaltılması gereken oksijen miktarını belirleyiniz.  $R_{O_2} = 0.2598 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$ ,  $P_{atm} = 100 \text{ kPa}$

C-34)



$$P_{\text{mutlak}} = P_{\text{gösterge}} + P_{\text{atm}}$$

$$P_{\text{mutlak1}} = 200 + 100 = 300 \text{ kPa}$$

$$P_{\text{mutlak2}} = 150 + 100 = 250 \text{ kPa}$$

$$V_1 = V_2 = \frac{\pi * d^2}{4} * h = 0.3981 \text{ m}^3$$

$$T_1 = T_2 = 17^\circ\text{C} + 273 = 290 \text{ K}$$

a)

$$m_1 = \frac{P_1 * V_1}{R * T_1} = \frac{300 \text{ kPa} * 0.3981 \text{ m}^3}{0.2598 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 290 \text{ K}} = 1.585 \text{ kg}$$

b)

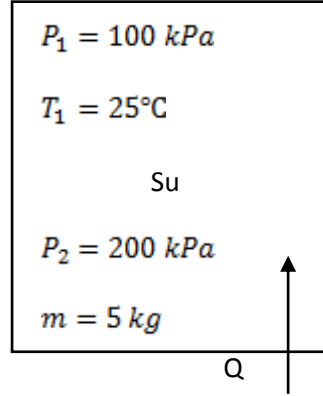
$$P_1 * V_1 = m_1 * R * T_1, \quad P_2 * V_2 = m_2 * R * T_2$$

$$m_1 = \frac{P_1 * V_1}{R * T_1}, \quad m_2 = \frac{P_2 * V_2}{R * T_2}$$

$$\Delta m = \frac{V_1 * (P_1 - P_2)}{R * T_1} = \frac{0.3981 \text{ m}^3 * 50 \text{ kPa}}{0.2598 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 290 \text{ K}} = 0.2642 \text{ kg}$$

S-35) 100 kPa ve 25°C sıcaklıkta bulunan 5 kg su kapalı bir kaptta 200 kPa basınçta kuruluk derecesi  $x=0.8$  olan ıslak buhar haline getirilmek isteniyor. Buna göre; a) Son halde kabın içerisindeki sıvı-buhar karışımının sıcaklığını, b) Bu işlem için verilmesi gerekli olan ısı miktarını belirleyiniz. c) Bu işlemi Sıcaklık-ölgül hacim (T-v) diyagramında gösteriniz.

C-35)



1.Durum:

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 100 \text{ kPa} \\ T_1 = 25^\circ\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Sıkıştırılmış sıvı } T_1 < T_{doyma} = 99.6^\circ\text{C} \\ v_1 \cong v_f = 0.001003 \text{ m}^3/\text{kg} \\ u_1 \cong u_f = 104.9 \text{ kJ/kg} \end{array}$$

2.Durum:

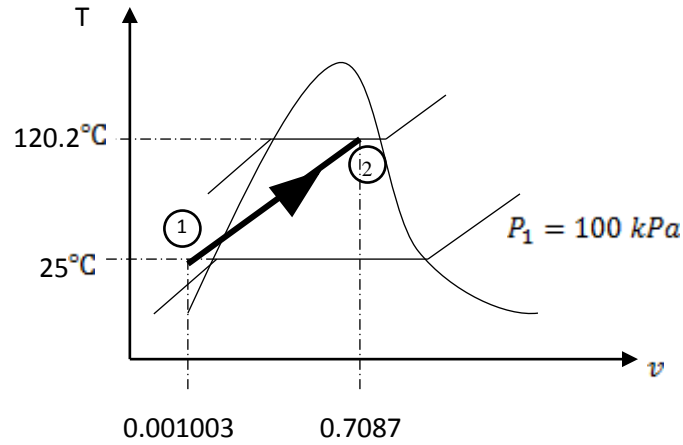
$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 200 \text{ kPa} \\ x = 0.8 \end{array} \right\} \begin{array}{l} v_f = 0.001061 \text{ m}^3/\text{kg}, \quad v_g = 0.8857 \text{ m}^3/\text{kg} \\ u_f = 504.5 \text{ kJ/kg}, \quad u_g = 2529.5 \text{ kJ/kg} \\ v_2 = v_f + x v_{fg} = 0.7087 \text{ m}^3/\text{kg} \\ u_2 = u_f + x * u_{fg} = 2124.5 \text{ kJ/kg} \\ T_2 = T_{doyma} = 102.2^\circ\text{C} \end{array}$$

$$Q - \cancel{W} = m(u_2 - u_1)$$

$$Q = 5 \text{ kg} * (2124.5 - 104.9) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

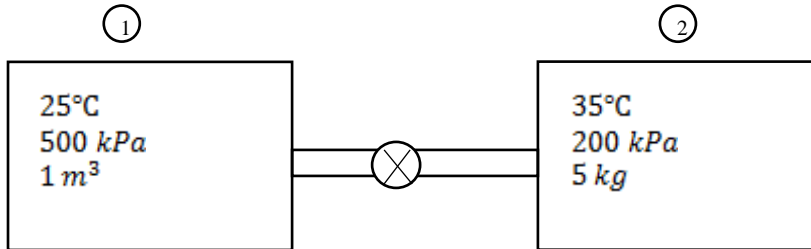
$$Q = 10098 \text{ kJ}$$





S-36) 25°C sıcaklık ve 500 kPa basınçta hava bulunan 1 m<sup>3</sup> hacminde kapalı bir tank ile 35°C sıcaklık ve 200 kPa basınçta 5 kg hava bulunan diğer kapalı tank üzerinde vana bulunan boru ile birleştirilmiştir. Vana başlangıçta kapalı durumdadır. Daha sonra vana açılarak tank 20°C çevre ile termal dengeye gelmektedir. a) İkinci kabın hacmini, b) kabın son basıncını bulunuz.  $R=0.287$  kJ/kgK

C-36)



$$a) P_1 * V_1 = m_1 * R * T_1$$

$$m_1 = \frac{500 \text{ kPa} * 1 \text{ m}^3}{0.287 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * (273 + 25) \text{ K}} = 5.85 \text{ kg}$$

$$P_2 * V_2 = m_2 * R * T_2$$

$$V_1 = \frac{5 \text{ kg} * 0.287 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * (273 + 35) \text{ K}}{200 \text{ kPa}} = 2.21 \text{ m}^3$$

$$b) T_{son} = 20 + 273 = 293K$$

$$m_{son} = m_1 + m_2 = 5.85 + 5 = 10.85 \text{ kg}$$

$$V_{son} = V_1 + V_2 = 1 + 2.21 = 3.21 \text{ m}^3$$

$$P_{son} = \frac{m_{son} * R * T_{son}}{V_{son}} = \frac{10.85 \text{ kg} * 0.287 \text{ kJ/kgK} * 293 \text{ K}}{3.21 \text{ m}^3} = 284.23 \text{ kPa}$$

S-37) Hacmi 20 litre olan ve içerisinde 120 kPa basınçta doymuş su buharı bulunan ve giriş ve çıkış vanaları kapalı olan bir radyatör odaya konulmaktadır. Radyatör ısı vererek sıcaklığı 40°C 'ye düşmektedir. Buna göre buharın, a) ilk durumdaki sıcaklık ve kuruluk derecesini ve son durumdaki basınç ve kuruluk derecesini tespit ediniz. b) Odaya transfer edilen ısıyı belirleyiniz. c) Bu işlemi T-v diyagramında çiziniz.

C-37)

1.Durum:

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 120 \text{ kPa} \\ \text{Doymuş buhar} \end{array} \right\} \begin{array}{l} v_1 \cong v_g = 1.428 \text{ m}^3/\text{kg} \\ u_1 \cong u_g = 2512.1 \text{ kJ/kg} \end{array}$$

$$m = \frac{V_1}{v_1} = \frac{0.02 \text{ m}^3}{1.428 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}} = 0.014 \text{ kg}$$

2.Durum:

$$\left. \begin{array}{l} T_2 = 40^\circ\text{C} \\ v_1 = v_2 \end{array} \right\} \begin{array}{l} v_f = 0.001008 \text{ m}^3/\text{kg}, \quad v_g = 19.52 \text{ m}^3/\text{kg} \\ u_f = 167.5 \text{ kJ/kg}, \quad u_g = 2430.1 \text{ kJ/kg} \end{array}$$

$$x_2 = \frac{v_2 - v_f}{v_g - v_f} = \frac{1.428 - 0.001008}{19.52 - 0.001008} = 0.0731$$

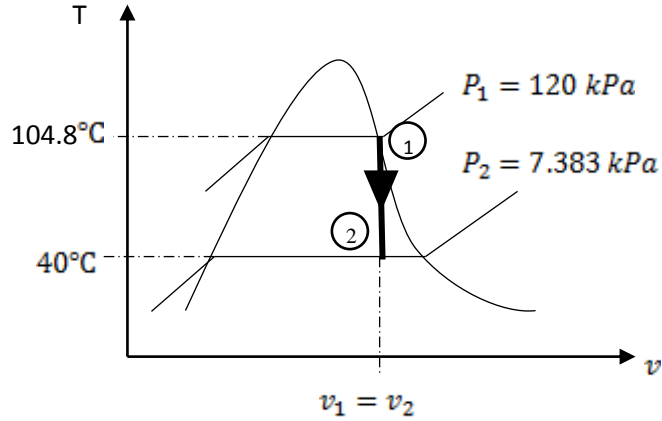
$$u_2 = u_f + x * u_{fg} = 332.896 \text{ kJ/kg}$$

$$P_2 = 0.007383 \text{ MPa} = 7.383 \text{ kPa}$$

$$Q - \cancel{W} = m(u_2 - u_1)$$

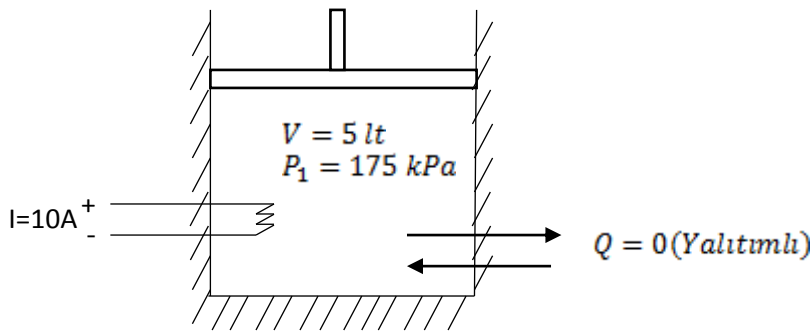
$$Q = 0.14 \text{ kg} * (332.896 - 2512.1) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q = -30.5 \text{ kJ} \Rightarrow Q_{\text{oda}} = 30.5 \text{ kJ}$$



S-38) Yalıtılmış bir piston silindir düzeneğinde başlangıçta 175 kPa sabit basınçta 5 litre doymuş sıvı bulunmaktadır. Silindir içinde bir elektrikli ısıtıcıyla, 40 dakika süresince 10 A akım ile ısıtılmaktadır. Sabit basınçta gerçekleşen bu hal değişimi sırasında sıvının yarısı buharlaşmaktadır. Buna göre; a) Hal değişimini T-v diyagramında gösteriniz, b) Suyun kütlesini ve sıcaklığını bulunuz, c) Elektrik kaynağının gerilimi kaç volt'tur, hesaplayınız.

C-38)



1. Durum:

$$P_1 = 175 \text{ kPa}$$

Doymuş sıvı

$$h_1 = h_f = 486.75 \text{ kJ/kg}, \quad h_{fg} = 2213.6 \text{ kJ/kg}$$

$$v_1 = v_f = 0.001057 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$T_1 = T_{\text{doyma}} = 116^\circ\text{C}$$

2.Durum:

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 175 \text{ kPa} \\ x_2 = 0.5 \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_2 = h_f + x_2 * h_{fg} = 486.75 + 0.5 * 2213.6 \\ h_2 = 1593.5625 \text{ kJ/kg} \end{array}$$

$$m = \frac{V}{v} = \frac{5 * 10^{-3} \text{ m}^3}{0.001057 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}} = 4.73 \text{ kg}$$

$$\cancel{Q} - W_{\text{diğer}} = m(h_2 - h_1)$$

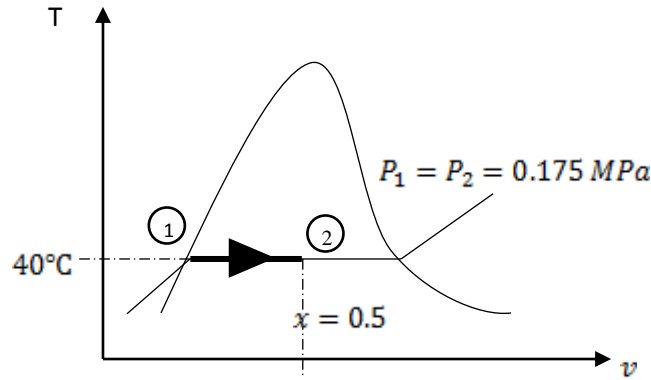
$$-W_{\text{diğer}} = 4.73 \text{ kg} * (1593.56.25 - 486.75) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$W_{\text{diğer}} = -5235.22 \text{ kJ}$$

$$W_{\text{elektrik}} = V * I * \Delta t = W_{\text{diğer}}$$

$$-5235.22 \text{ kJ} = V * 10A * 40dk * \frac{60s}{1dk}$$

$$V = 218.13 \text{ Volt}$$



S39) Kapalı tank içerisinde bulunan havanın sıcaklığını, 30 dakikada  $20^{\circ}\text{C}$ 'den  $55^{\circ}\text{C}$ 'ye yükseltmek için bir elektrikli ısıtıcı kullanılmaktadır. Tankın hacmi 25 litre ve içerisinde 110 kPa basınçta hava bulunmaktadır. Tanktan çevreye kaybedilen ısı 16 kJ olduğuna göre a) Tankta bulunan havanın kütleini b) Elektrikli ısıtıcının gücünü hesaplayınız.

C39)

$$a) P * V = m * R * T$$

$$m = \frac{P * V}{R * T} = \frac{110 \text{ kPa} * 25 * 10^{-3} \text{ m}^3}{0.287 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 298 \text{ K}} = 0.032 \text{ kg}$$

$$b) Q - W = \Delta U = m * C_v * \Delta T$$

$$\Delta U = m * C_v * \Delta T = 0.032 \text{ kg} * 0.717 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 30 \text{ K} = 0.69 \text{ kJ}$$

$$Q_{\text{kayıp}} - W = \Delta U$$

$$W = \Delta U + Q_{\text{kayıp}} = 0.69 \text{ kJ} + 16 \text{ kJ} = 16.69 \text{ kJ}$$

Elektrik Gücü:

$$W_{\text{elektrik}} = \frac{W}{\Delta t} = \frac{16.69 \text{ kJ}}{30dk * \frac{60s}{1dk}} = 0.0093 \text{ kW} = 9.3 \text{ W}$$

S-40) Bir piston-silindir sistemi içerisinde bulunan  $100^{\circ}\text{C}$  ve 4 MPa koşullarındaki hava izotermal olarak genişlemekte ve son basıncı 0.1 MPa değerine düşmektedir. Buna göre a) Havanın son/ilk hacim oranını, b) Genişleme işlemi sırasında gerçekleşen iş ve ısı transferi miktarlarını hesaplayınız.

C-40)

$$a) \frac{V_2}{V_1} = \frac{P_2}{P_1} = \frac{0.4 \text{ MPa}}{0.1 \text{ MPa}} = 4$$

$$b) W_{12} = \int_1^2 P dV = \int_1^2 \frac{m \cdot R \cdot T}{V} dV = m \cdot R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right)$$

$$w_{12} = \frac{W_{12}}{m} = R \cdot T \cdot \ln\left(\frac{V_2}{V_1}\right) = 0.278 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot (100 + 273) \text{K} \cdot \ln(4) = 148.4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$q_{net} = w_{net} = 148.4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

S-41) Bir piston silindir çiftinin içerisinde 2 kg, 27°C ve 100 kPa basınçta hava bulunmaktadır. Hava,  $PV^{1.4} = \text{Sabit}$  şeklinde politropik işleme sıkıştırılarak basıncı 500 kPa olmaktadır. Buna göre; a) Havanın ilk hacmini ve son hacmini, b) Bu işlem için harcanan iş miktarını c) Havanın iç enerjisinin değişimini, d) İşlem sırasındaki ısı transfer miktarını hesaplayınız.

C-41)

$$m = 2 \text{ kg}, T_1 = 27^\circ\text{C} = 300 \text{ K}, P_1 = 100 \text{ kPa}, P_2 = 500 \text{ kPa}, P \cdot V^{1.4} = \text{Sabit}$$

$$a) V_1 = \frac{mRT_1}{P_1} = \frac{2 \cdot 0.287 \cdot 300}{100} = 1.722 \text{ m}^3$$

$$P_1 \cdot V_1^{1.4} = P_2 \cdot V_2^{1.4} \Rightarrow V_2 = 0.545 \text{ m}^3$$

$$b) W_{12} = \frac{P_2 \cdot V_2 - P_1 \cdot V_1}{1-n} = -251.3 \text{ kJ} \text{ (Sıkıştırma işi negatif)}$$

$$c) \Delta U = m(u_2 - u_1) = mC_v(T_2 - T_1)$$

$$T_2 = \frac{P_2 \cdot V_2}{m \cdot R} = \frac{500 \cdot 0.545}{2 \cdot 0.287} = 474.74 \text{ K}$$

$$\Delta U = 2 \text{ kg} \cdot 0.733 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} (474.74 - 300) \text{ K} = 256.16 \text{ kJ}$$

$$d) Q - W = \Delta U$$

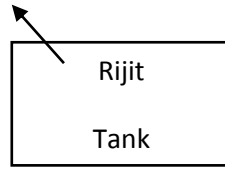
$$Q - (-251.3) = 256.16$$

$$Q = 4.86 \text{ kJ}$$

S-42) Rijit bir hava tankının içerisinde 100 litre hacminde ve 100 kPa basınçta bulunan havanın sıcaklığını, 20 dakikada 25°C 'den 65°C'ye yükseltmek için bir elektrikli ısıtıcı kullanılmaktadır. Tanktan çevreye kaybedilen ısı 20 kJ olduğuna göre a) Tankta bulunan havanın kütesini, b) Tankın son basıncını, c) Elektrikli ısıtıcının gücünü Watt olarak hesaplayınız.

C-42)

$$Q = -20 \text{ kJ}$$



$$V_1 = V_2 = 100 \text{ lt} = 0.1 \text{ m}^3$$

$$P_1 = 100 \text{ kPa}$$

$$T_1 = 25 + 273 = 298 \text{ K}$$

$$T_2 = 65 + 273 = 338 \text{ K}$$

$$a) \quad m = \frac{P_1 V_1}{R T_1} = \frac{100 \text{ kPa} \cdot 0.1 \text{ m}^3}{0.287 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \cdot 298 \text{ K}} = 0.1169 \text{ kg}$$

$$b) \quad P_2 = \frac{m R T_2}{V_2} = \frac{0.1169 \cdot 0.287 \cdot 338}{0.1} = 113.422 \text{ kPa}$$

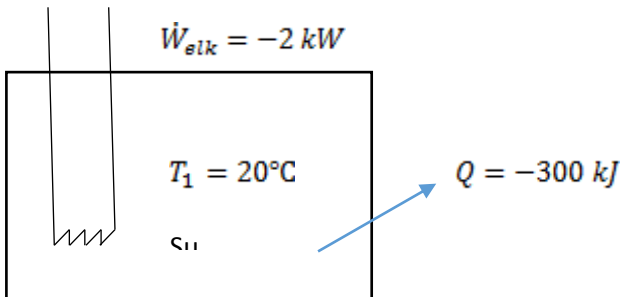
$$c) \quad Q - W = m \cdot C_v (T_2 - T_1) \Rightarrow -20 - W = 0.1169 \cdot 0.717 (65 - 25)$$

$$W = 23.353 \text{ kJ}$$

$$\dot{W} = \frac{W}{\Delta t} = \frac{23.353 \text{ kJ}}{2 \text{ dk} \cdot \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ dk}}} = 0.0194 \text{ kW} = 19.4 \text{ Watt}$$

S-43) 2kW gücündeki bir elektrik rezistansı içerisinde 10 litre su bulunan bir kaba 20 dakika boyunca daldırılmaktadır. Bu arada kaptan çevreye 300 kJ ısı kaybı olmuştur. Kaptaki suyun ilk sıcaklığı 20°C olduğuna göre son sıcaklığını tespit ediniz.

C-43)



$$W_{elk} = \dot{W}_{elk} * \Delta t = -2 * 20 * 60 = -2400 \text{ kJ}$$

$$V = 10 \text{ lt} = 0.01 \text{ m}^3$$

$$Q - W = m * C * (T_2 - T_1)$$

$$-300 - (-2400 \text{ kJ}) = 10 \text{ kg} * 4.186 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * (T_2 - 20)$$

$$T_2 = 70.167^\circ\text{C}$$

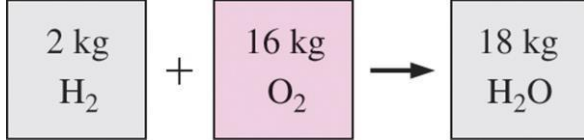


## KONTROL HACİMLERİ İÇİN KÜTLE VE ENERJİ ÇÖZÜMLEMESİ

**Kütlenin korunumu:** Kütle de enerji gibi korunum yasalarına uyar; başka bir deyişle, var veya yok edilemez.

**Kapalı sistemlerde:** Sistemin kütlesi hal değişimi sırasında sabit kalır.

**Kontrol hacmi:** Sınırlarından kütle geçişi olduğu için, kontrol hacmine giren ve çıkan kütlenin hesabını yapmak gerekir.



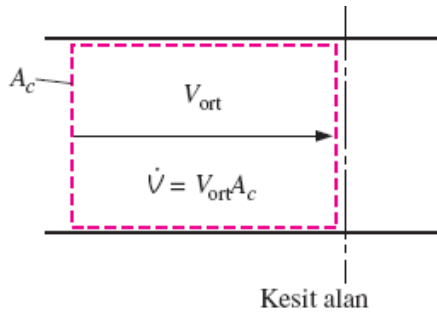
Kütle kimyasal reaksiyonlarda bile korunur.

**Kütle debisi;**

$$\dot{m} = \rho \dot{V} = \frac{\dot{V}}{v}$$

**Hacimsel debi;**

$$\dot{V} = \int_{A_c} V_n dA_c = V_{\text{ort}} A_c = VA_c \quad (\text{m}^3/\text{s})$$



Hacimsel debi, kesitten birim zamanda geçen akışkan hacmidir.

**Bir kontrol hacmi için kütlenin korunumu ilkesi:** Bir kontrol hacmine veya kontrol hacminden  $\Delta t$  zaman aralığında olan kütle geçişi, aynı zaman aralığında kontrol hacmindeki toplam kütledeki değişime (azalma veya artma) eşittir.

$$\left( \begin{array}{c} KH' \text{ ne giren} \\ \text{toplam kütle} \end{array} \right) - \left( \begin{array}{c} KH' \text{ den çıkan} \\ \text{toplam kütle} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} KH \text{ içinde toplam} \\ \text{kütle değişimi} \end{array} \right)$$

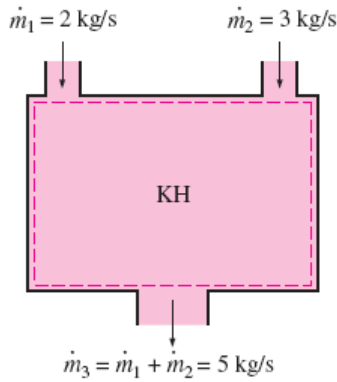
$$m_g - m_ç = \Delta m_{KH} \quad (\text{kg})$$

$$\dot{m}_g - \dot{m}_ç = dm_{KH}/dt \quad (\text{kg/s})$$

### Sürekli Akışlı Sistemlerde Kütle Dengesi;

Sürekli akışlı açık sistemde, kontrol hacmi içindeki toplam kütle zamanla değişmez ( $m_{KH} = \text{sabit}$ ).

Bu durumda, kütle korunumu ilkesi uyarınca kontrol hacmine giren toplam kütle, kontrol hacminden çıkan toplam kütleyle eşit olması gerekir.



$$\sum_g \dot{m} = \sum_ç \dot{m} \quad (\text{kg/s})$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \rightarrow \rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2$$

Çok girişli ve çıkışlı

Tek akışlı

### Özel Durum: Sıkıştırılabilir Akışlar;

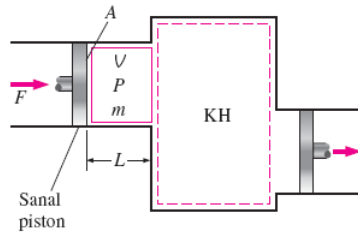


Hacmin korunumu ilkesi” gibi bir şey olamaz. Bununla birlikte, sıvıların sürekli akışları için, hacimsel debi, kütle debisi gibi sabit kalabilir çünkü sıvılar genelde sıkıştırılmaz maddelerdir. Sürekli akışlı açık bir sistemde giren ve çıkan hacimsel debilerin eşit olması gerekmez.

### Akış işi veya akış enerjisi;

İş veya Enerji kütlelin kontrol hacmine girebilmesi veya kontrol hacminden çıkabilmesi için gereklidir. Bu iş kontrol hacminde akış olması için gereklidir.

$$w_{\text{akış}} = Pv \quad (\text{kJ/kg})$$



### Akışkanın Toplam Enerjisi;

$$e = u + ke + pe = u + \frac{V^2}{2} + gz \quad (\text{kJ/kg})$$

$$\theta = Pv + e = Pv + (u + ke + pe)$$

$$\theta = h + ke + pe = h + \frac{V^2}{2} + gz \quad (\text{kJ/kg})$$

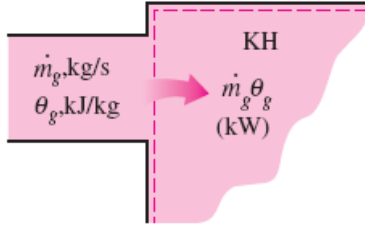
Akış enerjisi otomatik olarak entalpi tarafından kapsanır. Aslında, bu entalpinin özelliklerini tanımlamak için başlıca nedendir.

### Kütle ile Enerji Aktarımı;

$$\text{Aktarılan Enerji Miktarı:} \quad E_{\text{kütle}} = m\theta = m \left( h + \frac{V^2}{2} + gz \right) \quad (\text{kJ})$$

$$\text{Aktarılan Enerji Oranı} \quad \dot{E}_{\text{kütle}} = \dot{m}\theta = \dot{m} \left( h + \frac{V^2}{2} + gz \right) \quad (\text{kW})$$

Akışkan kontrol hacminden geçerken kinetik ve potansiyel enerjilerindeki değişim göz ardı edilebilir.



$m_g \theta_g$  terimi kontrol hacmine birim zamanda kütle ile aktarılan enerjiyi gösterir.

$$E_{g,\text{kütle}} = \int_{m_g} \theta_g \delta m_g = \int_{m_g} \left( h_g + \frac{V_g^2}{2} + gz_g \right) \delta m_g$$

### SÜREKLİ AKIŞLI AÇIK SİSTEMLERİN ENERJİ ANALİZLERİ

Sürekli akışlı açık sistemde özellikler kontrol hacmi içinde değişebilir, fakat zamanla değişmezler.

**Kütle dengesi;**

$$\sum_g \dot{m} = \sum_{\varphi} \dot{m} \quad (\text{kg/s})$$

$$\rho_1 V_1 A_1 = \rho_2 V_2 A_2$$

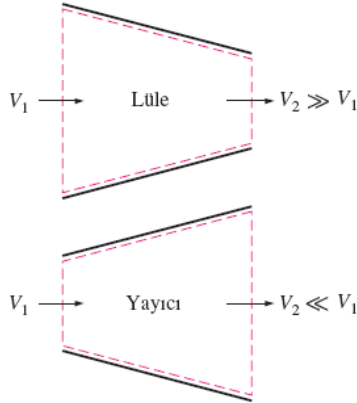
**Enerji dengesi;**

$$\underbrace{\dot{E}_g - \dot{E}_{\varphi}}_{\text{Birim zamanda; ısı, iş ve kütle ile olan enerji geçişi}} = \underbrace{\frac{dE_{\text{sistem}}/dt}_{\text{Birim zamanda; sistemin iç, kinetik, potansiyel vb. enerjilerindeki değişim}}}_{0 \text{ (sürekli)}} = 0$$

$$\dot{Q}_g + \dot{W}_g + \underbrace{\sum_g \dot{m} \left( h + \frac{V^2}{2} + gz \right)}_{\text{her giriş için}} = \dot{Q}_{\varphi} + \dot{W}_{\varphi} + \underbrace{\sum_{\varphi} \dot{m} \left( h + \frac{V^2}{2} + gz \right)}_{\text{her çıkış için}}$$

## BAZI SÜREKLİ AKIŞLI AÇIK SİSTEMLER

## Lüleler ve Yayıcılar

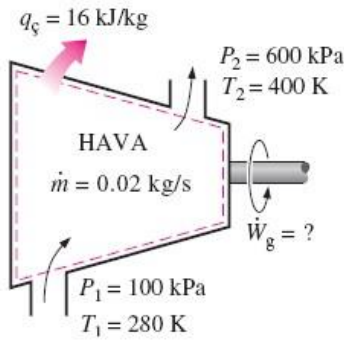


$$\dot{E}_g = \dot{E}_\zeta$$

$$\dot{m} \left( h_1 + \frac{V_1^2}{2} \right) = \dot{m} \left( h_2 + \frac{V_2^2}{2} \right)$$

Lüle, akışın hızını onun basıncını düşürerek artıran mekanik bir sistemdir. Yayıcı, akışın basıncını onun hızını azaltarak artıran mekanik bir sistemdir. Bir lülenin kesit alanı ses altı hızlar için akış yönünde küçülür, ses üstü hızlar için akış yönünde büyür. Yayıcılar için bunun tersi söz konusudur.

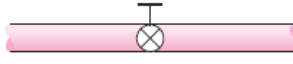
## Türbinler ve Kompresörler



Buhar, gaz veya hidroelektrik güç santrallerinde, elektrik jeneratörünü döndüren makine **türbindir**. Akışkan türbinden geçerken mil üzerine yerleştirilmiş kanatçıklara karşı iş yapar. Bunun sonucu olarak mil döner ve türbin işi gerçekleşir.

**Kompresörler, pompalar ve fanlar**, akışkanın basıncını yükseltme işlevini gerçekleştirir. Bu makinelere, dönen bir mil aracılığıyla dışarıdan güç aktarılır. Bir fan, genelde gaz akışını sağlamak amacıyla kullanılır ve gazın basıncı önemli ölçüde artırır. Bir kompresör, gazları yüksek basınçlara sıkıştırmada yeteneklidir. Pompalar, kompresörlere benzerler ancak gazlar yerine sıvıları sıkıştırmak ve sıvı akışını sağlamak için kullanılırlar.

### Kısılma Vanaları



(a) Ayarlanabilir vana



(b) Gözenekli tapa



(c) Kılcal boru

$$h_2 \cong h_1, \quad u_1 + P_1 v_1 = u_2 + P_2 v_2$$

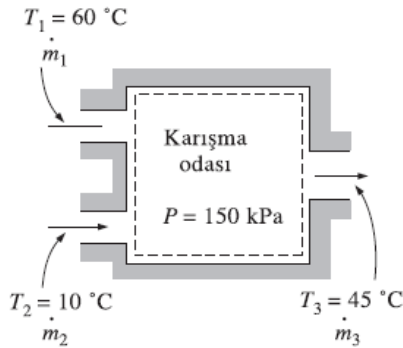
Kısılma vanaları, akış kesitini herhangi bir şekilde azaltarak akışkanın basıncını önemli ölçüde düşüren elemanlardır.

#### Bir türbin ve bir kısılma vanası arasındaki fark nedir?

Akışkanın basıncı düşerken genellikle sıcaklığında da büyük bir düşme gözlenir. Bu nedenle kısılma vanaları soğutma ve iklimlendirme uygulamalarında yaygın olarak kullanılırlar.

Kısılma işlemi sırasında akışkanın entalpisi sabit kalır. Fakat akış ve iç enerji birbirlerine dönüşebilirler.

### Karışma Odaları

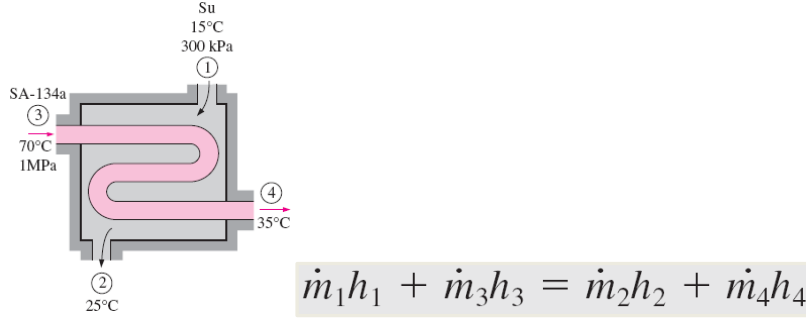
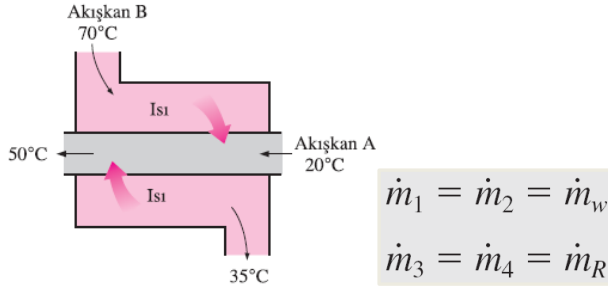


$$\dot{E}_g = \dot{E}_\varphi$$

$$\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_3 h_3$$

### Isı Değiştiricileri

**Isı değiştiricileri**, iki akışın karışmadan ısı alışverişinde buldukları mekanik düzenlerdir. Isı değiştiricileri endüstride yaygın olarak kullanılırlar ve değişik tasarımlarda olabilirler.



### Boru ve Kanallarda Akış

Sıvıların veya gazların borularda veya kanallarda akışının değişik mühendislik uygulamalarında büyük önemi vardır. Bir boru veya kanalda akış genellikle sürekli akış koşullarını sağlar.

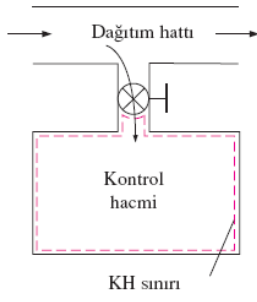
$$\dot{E}_g = \dot{E}_\varphi$$

$$\dot{W}_{e,g} + \dot{m}h_1 = \dot{Q}_\varphi + \dot{m}h_2$$

$$\dot{W}_{e,g} - \dot{Q}_\varphi = \dot{m}c_p(T_2 - T_1)$$

### ZAMANLA DEĞİŞEN AÇIK SİSTEMLERİN ENERJİ ANALİZİ

**Düzgün akışlı sistem:** Herhangi bir giriş yada çıkıştaki akışkan akışı düzgün ve sürekli ve böylece akışkan özellikleri yada bir giriş yada kesitin üzerindeki durumu zamanla değişmez. Eğer tersine bir durum söz konusu ise, ortalamaları alınır ve tüm sistem için sabit gibi davranılır.



**Kütle dengesi;**

$$m_g - m_ç = \Delta m_{\text{system}}$$

**Enerji dengesi;**

$$\underbrace{E_g - E_ç}_{\text{Isı, iş ve kütle ile olan enerji geçişi}} = \underbrace{\Delta E_{\text{system}}}_{\text{Sistemin; iç, kinetik, potansiyel vb. enerjilerindeki değişim}}$$

$$\left( Q_g + W_g + \sum_g m\theta \right) - \left( Q_ç + W_ç + \sum_ç m\theta \right) = (m_2 e_2 - m_1 e_1)_{\text{system}}$$

$$\theta = h + ke + pe, \quad e = u + ke + pe$$



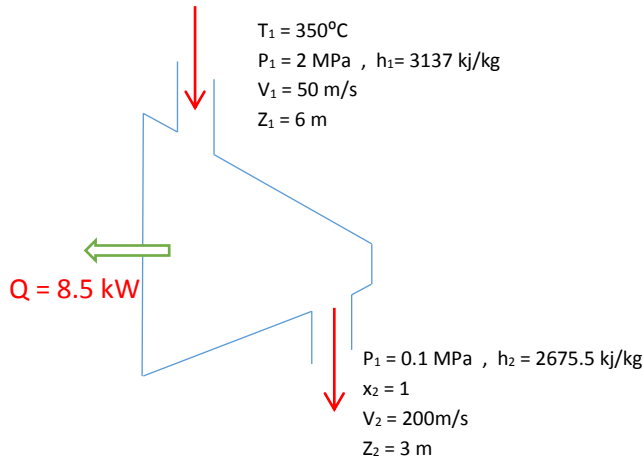
**S-1)** Bir termik santralin çıkış gücü 150 MW ve harcadığı kömür miktarı 60 ton/h dir. Eğer kömürün ısı değeri 30.000 kJ/kg yani 1 kg kömür 30000 kJ ısı veriyorsa bu termik santrali ısı verimini hesaplayınız.

$$\text{C-1)} \quad W_{net} = 150 \text{ MW} \quad , \quad Q_{sıc} = 60 \frac{\text{ton}}{\text{h}} * 30000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * \frac{1000 \text{ kg}}{1 \text{ ton}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ sn}} = 500 \text{ MW}$$

$$\eta = \frac{W_{net}}{Q_{sıc}} = \frac{150 \text{ MW}}{500 \text{ MW}} = 0.3 \quad (\%30)$$

**S-2)** Çalışma akışkanı buhar olan bir türbine giren kütlede debisi 15 kg/s dir. Türbin girişinde basınç 2 MPa, sıcaklık 350°C, hız 50 m/s ve referans düzleminde yükseklik ise 6 m dir. Türbin çıkışında basınç 0.1 MPa, kuruluk derecesi 1 ve hız 200 m/s ve referans düzleminde yükseklik ise 3 m dir. Türbinden çevreye olan ısı kaybı 8.5 kW dir. Bu çalışma şartlarında türbinin gücünü tespit ediniz.

**C-2)**



$$Q - W = \dot{m} * \left[ h_2 - h_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2000} + \frac{g * (Z_2 - Z_1)}{1000} \right]$$

$$-8.5 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} - W = 1.5 \frac{\text{kg}}{\text{s}} [-461.5 + 18.75 - 0.02943] \Rightarrow W = 655.67 \text{ kW}$$

**S-3)** Buhar adyabatik bir türbine 10 MPa, 450°C ve 80 m/s ile girmekte, 10 kPa, kuruluk derecesi 0.92 ve 50 m/s ile çıkmaktadır. Kütleli debi 12 kg/s ise,

a) Kinetik enerjideki değişmeyi                      b) Çıkış gücünü

c) Giriş ve çıkış kesit alanlarını hesaplayınız.

**C-3)1.Durum**

$P_1 = 10 \text{ MPa}$

Kızgın buhar tablosundan

$T_1 = 450^\circ\text{C}$

$V_1 = 80 \text{ m/s}$

$v_1 = 0.02975 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}, h_1 = 3240.9 \text{ kJ/kg}$

**2.Durum**

$P = 10 \text{ kPa}$

$v_s = 0.001010 \text{ m}^3/\text{kg}$

$v_b = 14.67 \text{ m}^3/\text{kg}$

$h_s = 191.83 \text{ kJ/kg}$

$h_{sb} = 2392.8 \text{ kJ/kg}$

Doymuş sıvı – buhar karışımı tablosundan

$v_2 = v_s + x_2 * v_{sb} = 13.4964 \text{ m}^3/\text{kg}$

$V_2 = 50 \text{ m/s}, x_2 = 0.92$

$h_2 = h_s + x_2 * h_{sb} = 2393.2 \text{ kJ/kg}$

$$\text{a) } \Delta KE = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} * \frac{\frac{1 \text{ kJ}}{\text{kg}}}{1000 \frac{\text{m}^2}{\text{s}^2}} = -1.95 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{b) } q - w = \Delta h + \Delta KE + \Delta PE$$

$$-w = h_2 - h_1 + \Delta KE = -844.7 - 1.95 = 849.65 \text{ kJ/kg}$$

$$w = 849.65 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \Rightarrow \dot{W} = \dot{m} * w = 10195.8 \text{ kW} = 10.2 \text{ MW}$$

$$\text{c) } \dot{m}_1 = \frac{1}{v_1} * A_1 * V_1 \Rightarrow A_1 = 0.00446 \text{ m}^2, \dot{m}_2 = \frac{1}{v_2} * A_2 * V_2 \Rightarrow A_2 = 3.239 \text{ m}^2$$

**S-4)** Hava 0.1 m/s lik uniform bir hızla 0.2 m çapındaki bir borudan geçmektedir. Havanın sıcaklığı 25°C ve basıncı 150 kPa olduğunda göre borudan geçen hava miktarını yani kütleli debisini hesaplayınız. ( $C_p = 1.005 \text{ kJ/kgK}$ ,  $C_v = 0.718 \text{ kJ/kgK}$ )

$$\text{C-4) } R = C_p - C_v = 0.287 \text{ kJ/kgK}$$

$$\dot{m} = \frac{1}{v} * A * V \Rightarrow A = \frac{\pi * d^2}{4} = \frac{\pi * 0.2^2}{4} = 0.0314 \text{ m}^2$$

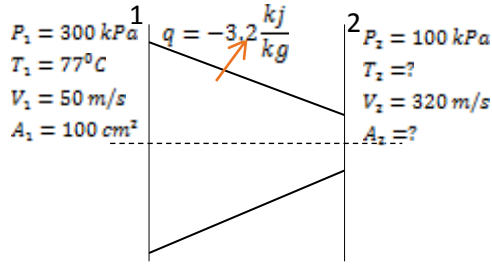
$$P * v = R * T \Rightarrow v = \frac{0.287 * 298}{150} = 0.5705 \text{ m}^3/\text{kg}, \dot{m} = \frac{1}{0.5705} * 0.0314 * 0.1 = 0.0055 \frac{\text{kg}}{\text{sn}}$$

S-5) Hava daralan bir lüleye 300 kPa basıncında, 77°C sıcaklığında ve 50 m/s lik bir hızla girmektedir. Lüleden 100 kPa basıncında ve 320 m/s lik bir hızla çıkmaktadır. Lülelin çıkış kesiti 100 cm<sup>2</sup> olduğunda ve lüle 3.2 kJ/kg ısı kaybettiğine göre

a) Çıkıştaki havanın sıcaklığını

b) Lülenin çıkış kesit alanını hesaplayınız.

(Not: Hava için entalpi değeri yaklaşık olarak havanın Kelvin cinsinden sıcaklık değerine eşittir.)



C-5)

$$a) q - w = h_2 - h_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + \Delta PE \quad T_1 = 77 + 273 = 350 \text{ K}, \quad h_1 = 350.5 \text{ kJ/kg}$$

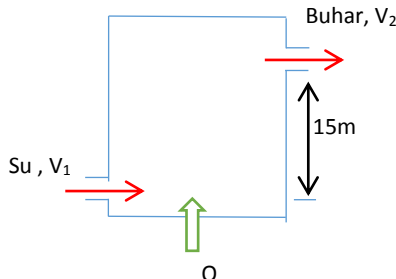
$$-3.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = h_2 - 350.5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + \frac{320^2 - 50^2}{2} * \frac{1 \text{ kJ}}{1000} \quad h_2 = 297.35 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, \quad T_2 = 297.3 \text{ K} = 24.3^\circ\text{C}$$

$$b) \dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m} \quad \frac{1}{v_1} * A_1 * V_1 = \frac{1}{v_2} * A_2 * V_2$$

$$v_1 = \frac{R * T_1}{P_1} = \frac{0.287 * 350}{300} = 0.3348, \quad v_2 = \frac{R * T_2}{P_2} = \frac{0.287 * 297}{100} = 0.8533$$

$$\frac{1}{0.3348} * 100 * 10^{-4} * 50 = \frac{1}{0.8533} * A_2 * 320, \quad A_2 = 39.8 * 10^{-4} \text{ m}^2 \Rightarrow A_2 = 39.8 \text{ cm}^2$$

S-6)



Şekilde gösterilen kazan 15 bar sabit basınçta saatte 1000kg buhar üretmektedir. Kazan girişindeki entalpi 200 kJ/kg, çıkıştaki 2000 kJ/kg dir. Kazanın giriş ve çıkış boruları arasındaki yükseklik farkı 15 m dir. Giriş hızı  $V_1 = 15 \text{ m/s}$ , çıkış hızı  $35 \text{ m/s}$  dir. Kazana verilen ısının %30 u kaybolmaktadır. Verilen şartlarda saatte 1000 kg buhar elde etmek için gerekli olan yakıt miktarını bulunuz. Not: 1 kg'lık yakıt 30000 kJ ısı enerjisi vermektedir.

$$C-6) Q - W = \dot{m} * \left( h_2 - h_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + Z_2 - Z_1 \right)$$

$$Q = 1000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ sn}} \left[ (2000 - 200) + \frac{35^2 - 15^2}{2 * 1000} + \frac{15}{1000} \right]$$

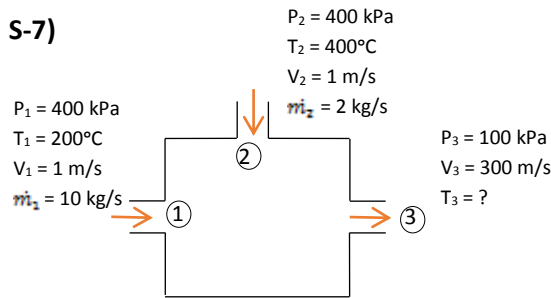
$$Q = 0.2778 * [1800 + 0.5 + 0.015] = 500.183 \frac{kJ}{s} = 1800515 \frac{kJ}{h}$$

$$Q_{gerekli} = Q + Q * \frac{30}{100} = 2340856.754 \frac{kJ}{h}$$

1 kg için 30000 kJ

$$x \text{ kg için } 2340856 \text{ kJ, } m_{yakıt} = \frac{2340856.754}{30000} = 78.028 \text{ kg}$$

S-7)



Şekilde gösterilen adyabatik sistemin çıkışındaki havanın sıcaklığını hesaplayınız.

$$C_p = 1.052 \text{ kJ/kgK}$$

$$C-7) \quad \overset{0}{Q} - \overset{0}{W} = \sum \dot{m}_c * \left( h_c + \frac{V_c^2}{2} + z_c \right) - \sum \dot{m}_g * \left( h_g + \frac{V_g^2}{2} + z_g \right)$$

$$\sum \dot{m}_g * \left( h_g + \frac{V_g^2}{2} \right) = \sum \dot{m}_c * \left( h_c + \frac{V_c^2}{2} \right)$$

$$\dot{m}_1 * \left( h_1 + \frac{V_1^2}{2} \right) + \dot{m}_2 * \left( h_2 + \frac{V_2^2}{2} \right) = \dot{m}_3 * \left( h_3 + \frac{V_3^2}{2} \right)$$

$$\dot{m}_1 * h_1 + \dot{m}_1 * \frac{V_1^2}{2} + \dot{m}_2 * h_2 + \dot{m}_2 * \frac{V_2^2}{2} = \dot{m}_1 * h_3 + \dot{m}_1 * \frac{V_3^2}{2} + \dot{m}_2 * h_3 + \dot{m}_2 * \frac{V_3^2}{2}$$

$$\dot{m}_1 * (h_1 - h_3) + \dot{m}_2 * (h_2 - h_3) = \dot{m}_1 * \frac{V_3^2 - V_1^2}{2} + \dot{m}_2 * \frac{V_3^2 - V_2^2}{2}$$

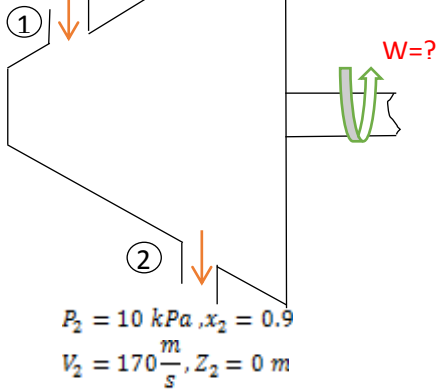
$$\dot{m}_1 * C_p * (T_1 - T_3) + \dot{m}_2 * (T_2 - T_3) = \dot{m}_1 * \frac{V_3^2 - V_1^2}{2} + \dot{m}_2 * \frac{V_3^2 - V_2^2}{2}$$

$$T_3 = 197.8927 \text{ } ^\circ\text{C}$$

S-8)

$$P_1 = 4 \text{ MPa}, T_1 = 450^\circ\text{C}$$

$$V_1 = 60 \frac{\text{m}}{\text{s}}, Z_1 = 2 \text{ m}$$



10 kJ / kg ısı kaybına sahip ve içerisinde saatte 20000 kg buhar geçen bir türbinin giriş ve çıkış durumları şekilde verildiğine göre türbinin gücünü hesaplayınız.

$$\text{C-8) } P_1 = 4 \text{ MPa}, T_1 = 450^\circ\text{C} \Rightarrow \text{kızgın buhar} \Rightarrow h_2 = 3330.3 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = h_f + x * h_{fg} = 191.83 + 0.9 * 2392.8 \Rightarrow h_2 = 2345.35 \text{ kJ/kg}$$

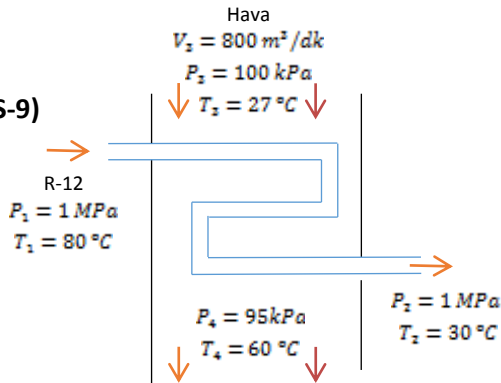
$$q - w = h_2 - h_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g * (Z_2 - Z_1)$$

$$-10 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - w = (2345.35 - 3330.3) + \frac{170^2 - 60^2}{2} + \frac{9.81 * (0 - 2)}{1000}$$

$$-10 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - w = (-984.95 + 12.65 - 0.01962) \Rightarrow w = 962.3196 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{m} = 20000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * \frac{1 \text{ h}}{3600} = 5.5556 \frac{\text{kg}}{\text{s}}, \quad \dot{W} = \dot{m} * w = 5346.22 \text{ kW}$$

S-9)



Yandaki şekilde görüldüğü gibi havalı kondenserde, 1 MPa ve 80°C deki Freon – 12 soğutucu akışkanı 1 MPa ve 30°C ' ye kadar soğutulmaktadır. Hava 800 m³/dak hacimsel debi, 100 kPa ve 27°C ile kondensere girmekte ve 60°C ile terkedilmektedir. Buna göre soğutucu akışkanın kütleli debisini bulunuz.

$$C_p = 1.005 \text{ kJ/kg}, R = 0.297 \text{ kJ/kgK.}$$

C-9)

**1.Durum**Freon - 12 için  $P = 1 \text{ MPa}$  için  $T_{\text{doy}} = 41.64^\circ\text{C}$  $T_1 > T_{\text{doy}}$  olduğundan kızgın buhar durumundadır.

$$P_1 = 1 \text{ MPa}, T_1 = 80^\circ\text{C}, h_1 = 232.91 \text{ kJ/kg}$$

**2.Durum**Freon - 12 için  $T_2 < T_{\text{doy}}$  olduğundan aşırı soğutulmuş sıvı

$$T_2 = 30^\circ\text{C} \text{ için } h_2 \cong h_s = 64.59 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

**3.Durum**

$$R = 0.287 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}, \quad C_p = 1.005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, \quad v_3 = \frac{R * T_3}{P_3} = 0.861 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$T_3 = 27 + 273 = 300 \text{ K} \Rightarrow h_3 = 300.19 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

**4.Durum**

$$T_4 = 60 + 273 = 333 \text{ K} \Rightarrow h_4 = 333.364 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, \quad P_4 = 95 \text{ kPa}, \quad v_4 = \frac{R * T_4}{P_4} = 1.006 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\dot{m}_{\text{hava}} = \frac{\dot{V}_3}{v_3} = \frac{800 \frac{\text{m}^3}{\text{dk}}}{0.861 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}} = 929.152 \frac{\text{kg}}{\text{dk}} = 15.48 \text{ kg/s}$$

**T.D. 1.Kanunu**

$$\cancel{Q} - \cancel{W} = \sum m_{\cancel{\zeta}} * \left( h_{\cancel{\zeta}} + \cancel{\frac{V_{\cancel{\zeta}}^2}{2}} + g * \cancel{Z_{\cancel{\zeta}}} \right) - \sum m_{\cancel{g}} * \left( h_{\cancel{g}} + \cancel{\frac{V_{\cancel{g}}^2}{2}} + g * \cancel{Z_{\cancel{g}}} \right)$$

$$\sum m_{\cancel{\zeta}} * h_{\cancel{\zeta}} = \sum m_{\cancel{g}} * h_{\cancel{g}}$$

$$\dot{m}_{R-12} * h_2 + \dot{m}_4 * h_4 = \dot{m}_{R-12} * h_1 + \dot{m}_3 * h_3 \Rightarrow \dot{m}_{R-12} * (h_1 - h_2) = -\dot{m}_3 * h_3 + \dot{m}_4 * h_4$$

$$\dot{m}_{R-12} * (h_1 - h_2) = \dot{m}_{\text{hava}} * (h_4 - h_3) \Rightarrow \dot{m}_{R-12} = \frac{30823.68}{168.32} = 183.125 \frac{\text{kg}}{\text{dk}}$$

$$\dot{m}_{R-12} = 3.052 \text{ kg/s}$$

**2. Yol**

$$\dot{m}_{R-12} * (h_1 - h_2) = \dot{m}_{hava} * (h_4 - h_3) = \dot{m}_{hava} * C_p * (T_4 - T_3)$$

$$\dot{m}_{R-12} = 183 \frac{kg}{dk}$$

**S-10)** Argon gazı adyabatik bir türbine 900 kPa, 450°C ve 80 m/s hızla girmekte, 150 kPa ve 150 m/s hızla çıkmaktadır. Türbinin giriş kesit alanı 60 cm<sup>2</sup>dir. Eğer türbinden alınan güç 250 kW ise, türbin çıkışındaki argon gazının sıcaklığını bulunuz.  $R = 0.2081 \text{ kJ/kgK}$ ,  $C_p = 0.5203 \text{ kJ/kgK}$

$$\text{C-10) } \dot{m} = \frac{1}{v_1} * A_1 * V_1 \Rightarrow v_1 = R * \frac{T_1}{P_1} = 0.16717$$

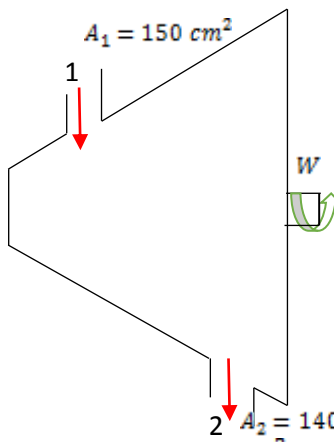
$$\dot{m} = 2.8712 \text{ kg/s}$$

$$\dot{Q} - W = \dot{m} * [h_2 - h_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2 * 1000} + g * (Z_2 - Z_1)]$$

$$-250 \frac{kJ}{s} = 2.8712 * [C_p * (T_2 - T_1) + 8.05] \Rightarrow -95.1216 = C_p * (T_2 - 450^\circ C)$$

$$T_2 - 450 = -182 - 82 \Rightarrow T_2 = 267^\circ C$$

**S-11)** Buhar 10 MPa, 550 °C ve 60 m/s'lik bir hızla bir türbine girmekte ve 25 kPa basınç ve 0.95 kuruluk derecesinde çıkmaktadır. Bu işlem boyunca 30 kJ/kg ısı kaybı olmuştur. Türbinin giriş kesit alanı 150 cm<sup>2</sup> ve çıkış kesit alanı 1400 cm<sup>2</sup> ise **a-** Buharın kütleli debisini **b-** Buharın çıkış hızını **c-** Türbinden elde edilecek gücü hesaplayınız.

**C-11)**


**1.Durum**

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 10 \text{ MPa} \\ T_1 = 550^\circ C \end{array} \right\} \text{Kızgın Buhar}$$

$$v_1 = 0.03564 \frac{m^3}{kg}, \quad h_1 = 3500.9 \frac{kJ}{kg}$$

**2.Durum**

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 25 \text{ kPa} \\ x_2 = 0.95 \end{array} \right\} \begin{array}{l} v_f = 0.0102 \frac{m^3}{kg}, \quad v_g = 6.203 \frac{m^3}{kg} \\ h_f = 271.93 \frac{kJ}{kg}, \quad h_{fg} = 2346.3 \frac{kJ}{kg} \end{array}$$

$$v_2 = v_f + x_2 * v_{fg} = 5.8929 \frac{m^3}{kg}, \quad h_2 = h_f + x_2 * h_{fg} = 2500.915 \frac{kJ}{kg}$$

$$\text{a) } \dot{m} = \frac{1}{v_1} = V_1 * A_1 = \frac{1}{0.03564} * 60 * 150 * 10^{-4} \text{ m}^2 = 25.25 \text{ kg/s}$$

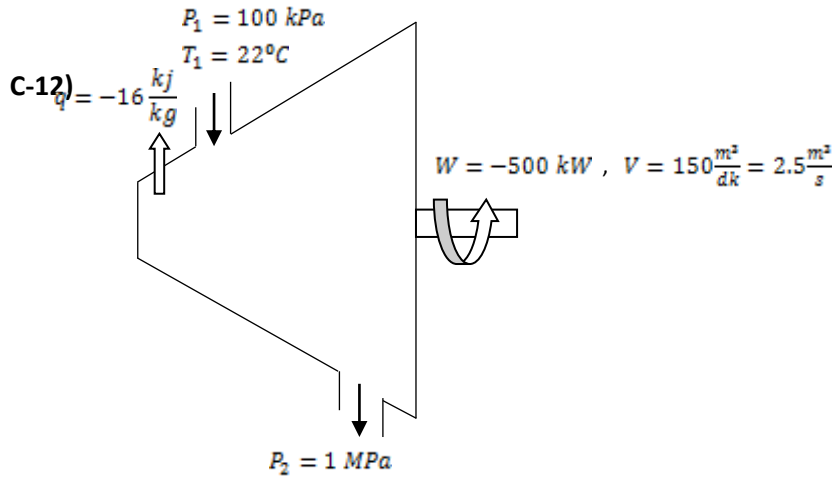
$$\text{b) } \dot{m} = \frac{1}{v_2} * V_2 * A_2 \Rightarrow V_2 = \frac{\dot{m} * v_2}{A_2} = 1062.82 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{c) } q - w = h_2 - h_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} \Rightarrow -30 - w = -999.985 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + \frac{(1062.82^2 - 60^2)}{2 * 1000}$$

$$w = 407 \text{ kJ/kg}$$

$$W = \dot{m} * w = 10276.54 \text{ kW} = 10.276 \text{ MW}$$

**S-12)** Hava sürekli akışlı bir kompresöre 100 kPa ve 22 °C'de girmekte ve 1 MPa basınca sıkıştırılmaktadır. Bu arada kompresör gövdesinden 16 kJ/kg'lık ısı çekilmektedir.. Havanın kompresöre girişteki hacimsel debisi 150 m<sup>3</sup>/dakika ve kompresör gücü 500 kW'tır. Bu duruma göre, **a-** Kompresörden geçen havanın kütleli debisini, **b-** Havanın kompresör çıkışındaki sıcaklığını hesaplayınız.



$$\text{a) } \dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \frac{\dot{V}}{v} \Rightarrow v = \frac{R * T}{P} = \frac{0.287 * (22 + 273)}{100}$$

$$v = 0.84665 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$q - w = h_2 - h_1 + \overset{0}{\Delta ke} + \overset{0}{\Delta pe}$$

$$T_1 = 295 \text{ K} \Rightarrow h_1 = 295.17 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$



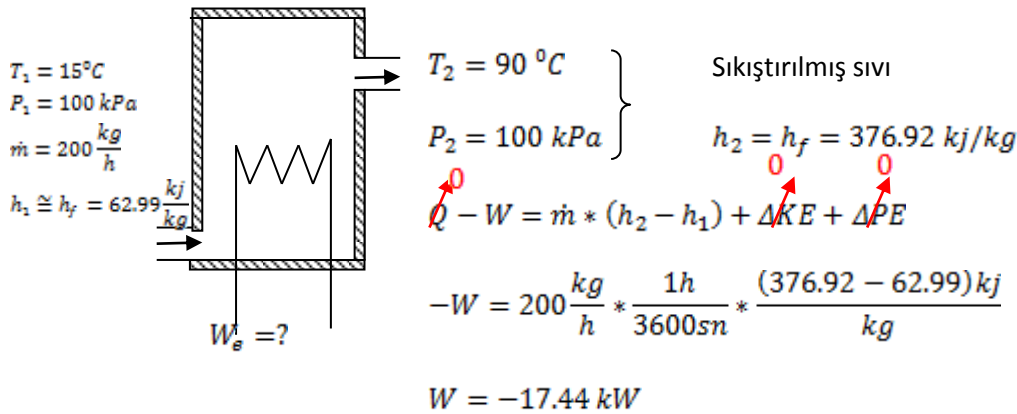
$$w = \frac{W}{m} = -169.5 \frac{kJ}{kg}$$

$$-16 \frac{kJ}{kg} - 169.5 \frac{kJ}{kg} = h_2 - 295.17 \Rightarrow h_2 = 448.66 \frac{kJ}{kg}$$

$$T_2 = 175.66 \text{ } ^\circ\text{C}$$

**S-13)** Bir gıda işletmesinde saatte 200 kg ve 90 °C sıcak suya ihtiyaç vardır. Bu su, 15 °C sıcaklıkta akan şebeke suyunu **adyabatik** bir elektrikli su ısıtıcısından geçirilerek elde edilmesi düşünülmektedir. Buna göre elektrikli su ısıtıcısının gücünü hesaplayınız. Suyun girişte ve çıkıştaki basıncının 100 kPa olduğunu kabul ediniz.

**C-13)**



$T_1 = 15^\circ\text{C}$   
 $P_1 = 100 \text{ kPa}$   
 $\dot{m} = 200 \frac{\text{kg}}{\text{h}}$   
 $h_1 \cong h_f = 62.99 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$T_2 = 90^\circ\text{C}$   
 $P_2 = 100 \text{ kPa}$

Sıkıştırılmış sıvı

$h_2 = h_f = 376.92 \text{ kJ/kg}$

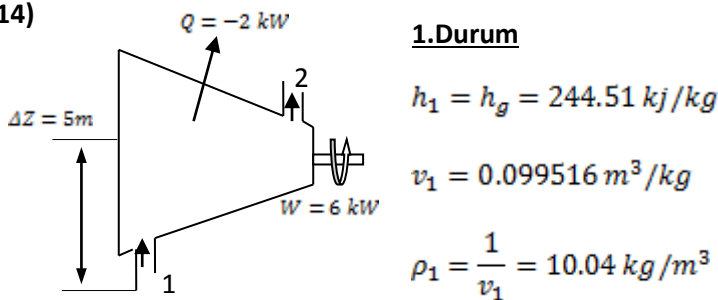
$Q - W = \dot{m} * (h_2 - h_1) + \Delta KE + \Delta PE$

$-W = 200 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * \frac{1\text{h}}{3600\text{sn}} * \frac{(376.92 - 62.99) \text{ kJ}}{\text{kg}}$

$W = -17.44 \text{ kW}$

**S-14)** Bir klima kompresörü R-134a soğutucu akışkanını, -10 °C doymuş buhar olarak evaporatörden emip, 1.2 MPa ve 50 °C şartlarında kondensere basmaktadır. Emme ve basma noktaları arasındaki yükseklik farkı 5 m ve kompresörden çevreye 2 kW enerji kaybı olmaktadır. Kompresörün harcadığı toplam güç 6 kW ise, **a)** Kompresörün giriş ve çıkışındaki R-134a gazının yoğunluklarını, **b)** R-134a gazının kütleli debisini hesaplayınız.

**C-14)**



$\Delta Z = 5 \text{ m}$

$Q = -2 \text{ kW}$

$W = 6 \text{ kW}$

**1.Durum**

$h_1 = h_g = 244.51 \text{ kJ/kg}$

$v_1 = 0.099516 \text{ m}^3/\text{kg}$

$\rho_1 = \frac{1}{v_1} = 10.04 \text{ kg/m}^3$

**2.Durum**

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 1.2 \text{ MPa} \\ T_2 = 50^\circ \text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_2 = 278.27 \text{ kJ/kg} \\ v_2 = 0.017201 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \end{array}$$

$$\rho_2 = \frac{1}{v_2} = 58.136 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

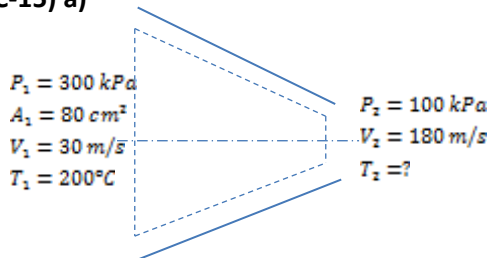
**T. D. 1. Kanunu Açık Sistem**

$$Q - W = \dot{m} * [(h_2 - h_1) + \frac{(v_2^2 - v_1^2)}{2} + g * (Z_2 - Z_1)]$$

$$-2 \text{ kW} - (-6 \text{ kW}) = \dot{m} * \left[ (278.27 - 244.51) + \frac{9.81 * 5 \text{ m}}{1000} \right]$$

$$\dot{m} = 0.1183 \text{ kg/s}$$

**S-15)** Bir Adyabatik daralan lüleye, hava 300 kPa basınç, 200 °C sıcaklık ve 30 m/s'lik hızla girmekte, 100 kPa basınç ve 180 m/s hızla çıkmaktadır. Lülenin giriş kesit alanı 80 cm<sup>2</sup> olduğuna göre, **a)** Lüleden akan havanın kütsel debisini, **b)** Havanın lüleden çıkış sıcaklığını, **c)** Lülenin çıkış kesit alanını hesaplayınız.

**C-15) a)**

$$P_1 * v_1 = R * T_1 \Rightarrow v_1 = \frac{0.287 * 473.15 \text{ K}}{300 \text{ kPa}} = 0.452646 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$\dot{m} = \frac{V_1 * A_1}{v_1} = \frac{30 * 80 * 10^{-4} \text{ m}^2}{0.452646} = 0.5302 \text{ kg/s}$$

$$\text{b) } \overset{0}{Q} - \overset{0}{W} = \dot{m} * \left( h_2 - h_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} \right) \Rightarrow h_2 = h_1 + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2}$$

$$T_1 = 473.15 \Rightarrow h_1 = 475.46 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 475.46 + \frac{30^2 - 180^2}{2} \Rightarrow h_2 = 459.71 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$T \quad \quad h$$

$$450 \quad 451.80$$

$$\rightarrow 459.71 \quad T_2 = 457.74 \text{ K} = 184.6^\circ\text{C}$$

$$460 \quad 462.02$$

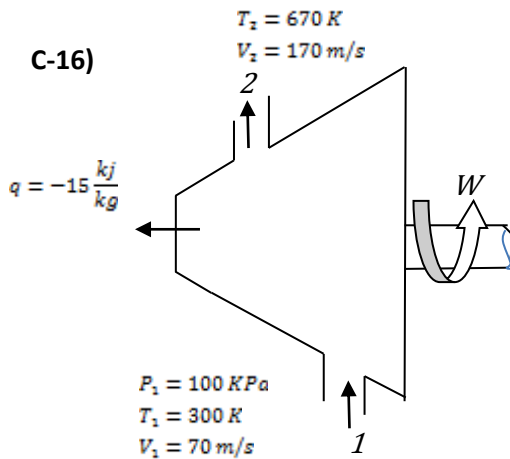
$$c) P_2 * V_2 = R * T_2 \Rightarrow v_2 = \frac{(0.287 * 457.74)}{100} = 1.3137 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\dot{m} = \dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \frac{V_2 * A_2}{v_2} \Rightarrow A_2 = \frac{\dot{m} * v_2}{V_2}$$

$$A_2 = \frac{0.5302 * 1.3137}{180} = 3.8696 * 10^{-3} \text{ m}^2 = 0.038696 \text{ m}^2 = 38.69 \text{ cm}^2$$

**S-16)** Bir helyum kompresörünün girişinde helyumun basıncı 100 kPa, sıcaklığı 300 K, hızı 70 m/s olup çıkışında sıcaklığı 670 K ve çıkış hızı 170 m/s'dir. Bu işlem boyunca kompresörden 15 kJ/kg ısı kaybı olmuştur. Kompresörün giriş kesitinin çapı 15 cm olduğuna göre **kompresörün çektiği gücü** hesaplayınız.

**Not:** Helyum için  $R=2.07703 \text{ kJ/kgK}$ ,  $C_p=5.1926 \text{ kJ/kgK}$ .



$$q - w = h_2 - h_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g * (Z_2 - Z_1)$$

$$q - w = C_p * (T_2 - T_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2}$$

$$-15 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - w = 5.1926 + (670 - 300) + \frac{170^2 - 70^2}{2000}$$

$$-15 - w = 1921.26 + 12$$

$$w = -1948.262 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$v_1 = \frac{R * T_1}{P_1} = \frac{2.07703 * 300}{100} = 6.23109 \text{ m}^3/\text{kg}$$

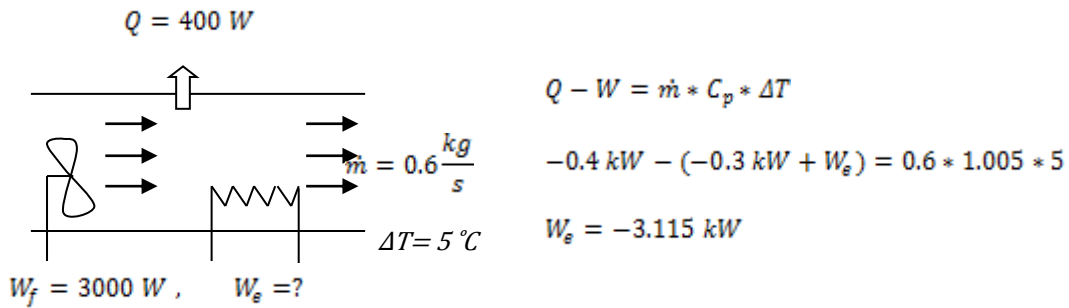
$$\dot{m} = \frac{1}{v_1} * V_1 * A_1 = \frac{1}{6.23109} * 70 * \frac{\pi * 0.15^2}{4} = 0.19852 \text{ kg/s}$$

$$W = \dot{m} * w = 0.19852 \frac{kg}{s} * \left( -1948.262 \frac{kJ}{kg} \right) = -386.77 kW$$

**S-17)** Bir evin ısıtma sistemi, bir kanal içine yerleştirilmiş elektrikli ısıtıcı ve 300 W gücünde fanın oluşmaktadır. Hava kanalın içinden sürekli olarak 0.6 kg/s debiyle akmakta ve kanaldan geçerken sıcaklığı 5 °C artmaktadır. Kanaldan çevreye 400 W ısı kaybı olduğuna göre **elektrikli ısıtıcının gücünü** hesaplayınız.

**Not:** Hava için  $R=0.287$  kJ/kgK,  $C_p=1.005$  kJ/kgK

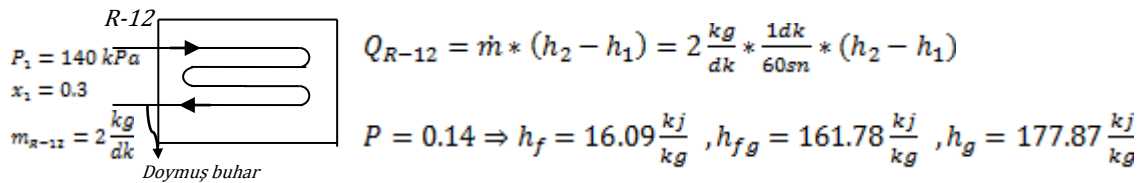
**C-17)**



**S-18)** 100 kPa ve 27 °C sıcaklıktaki hava split tip bir klimanın buharlaştırıcısına 12 m<sup>3</sup>/dakika'lık bir debi ile girmektedir. Buharlaştırıcıya, 140 kPa ve 0.3 kuruluk derecesi ile 2 kg/dakika'lık bir debi ile giren soğutucu akışkan-12 aynı basınçta doymuş buhar olarak çıkmaktadır. Buna göre, **a)** Split klimanın buharlaştırıcısının içeri üflediği havanın sıcaklığını, **b)** Havadan soğutucu akışkana geçen ısı miktarını hesaplayınız.

**C-18)**

$$P_1 = 100 \text{ kPa} , T_1 = 27^\circ C$$



$$h_1 = h_f * x_1 + h_{fg} = 64.624 \frac{kJ}{kg} , h_2 = h_g = 177.87 \frac{kJ}{kg}$$

$$Q_{R-12} = Q_{hava} = \dot{m}_{hava} * C_p * \Delta T$$

$$v_1 = \frac{R * T_1}{P_1} = \frac{0.287 * 300}{100} = 0.861 \frac{m^3}{kg}$$

$$\dot{m}_{hava} = \frac{V}{v_1} = \frac{12 \frac{m^3}{dk} * \frac{1dk}{60sn}}{0.861 m^3/kg} = 0.2322 kg/s$$

$$-3.775 \frac{kJ}{s} = 0.2322 \frac{kg}{s} * 1.005 \frac{kJ}{kg^{\circ}C} * (T_2 - 27) \Rightarrow T_2 = 10.83^{\circ}C$$

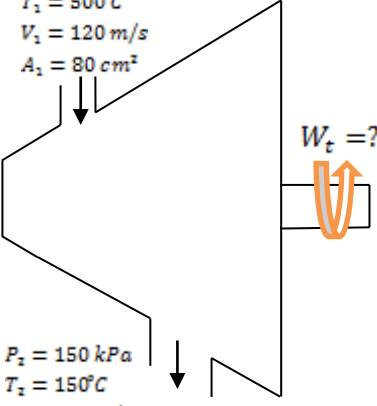
$$Q_{hava} = Q_{R-12} = 3.775 kW = 226.5 kJ/dk$$

**S-19)** Hava sürekli akışlı bir adyabatik türbine 1 MPa, 500 °C ve 120 m/s hızla girmekte 150 kPa, 150 °C ve 250 m/s hızla çıkmaktadır. Türbinin giriş kesit alanı 80 cm<sup>2</sup> olduğuna göre;

- Türbinden geçen havanın debisini,
- Türbinin ürettiği gücü hesaplayınız.

**Not:** Hava için R=0.287 kJ/kgK, Cp=1.005 kJ/kgK.

**C-19)**



$P_1 = 1 MPa$   
 $T_1 = 500^{\circ}C$   
 $V_1 = 120 m/s$   
 $A_1 = 80 cm^2$

$P_2 = 150 kPa$   
 $T_2 = 150^{\circ}C$   
 $V_2 = 250 m/s$

$W_t = ?$

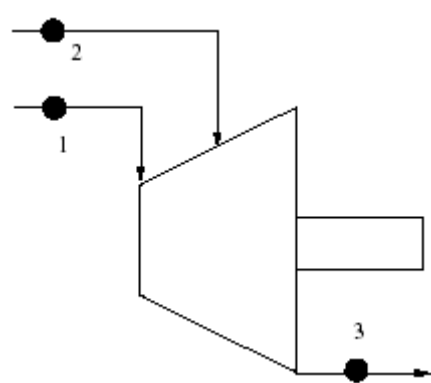
a)  $P * v = R * T \Rightarrow v_1 = \frac{R * T_1}{P_1} = 0.287 * \frac{773}{1000}$   
 $v_1 = 0.221 m^3/kg$   
 $\dot{m} = \frac{\dot{V}}{v} = V_{ort} * A \Rightarrow \dot{m} = \frac{V_{ort} * A_1}{v_1} = \frac{120 * 80 * 10^{-4}}{0.221}$   
 $\dot{m} = 4.343 kg/s$

b)  $\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} * (h_2 - h_1 + \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} + g * (Z_2 - Z_1))$

$$\dot{W} = 4.343 \frac{kg}{s} * \left( 424.46 - 793.13 + \frac{250^2 - 120^2}{2 * 1000} \right)$$

$$W = 1496.68 \frac{kJ}{sn} = 1.496 kW$$

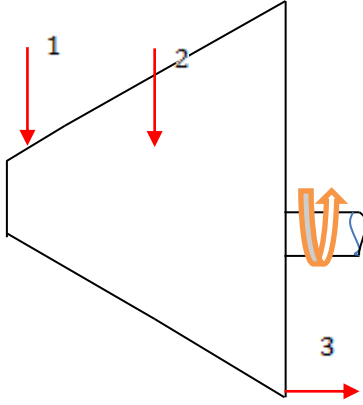
**S-20)**



Şekilde gösterilen adyabatik buhar türbinine iki farklı kaynaktan buhar girişi vardır. 1 noktasındaki basınç ve sıcaklık değerleri sırasıyla 5 MPa, 800 °C ve kütleli debisi 10 kg/s'dir. 2 noktasında sıcaklık ve basınç değerleri 1 MPa, 500 °C ve kütleli debi 5 kg/s'dir. Çıkış basıncı 30 kPa ve kuruluk derecesi 0.9'dur. Potansiyel ve kinetik enerji değişimlerini ihmal ederek;

- Çıkış kesitindeki hacimsel debiyi,
- Türbin tarafından yapılan işi bulunuz.

C-20)

**1.Durum**

$P_1 = 5 \text{ MPa}$

$T_1 = 800 \text{ }^\circ\text{C}$

$\dot{m}_1 = 10 \text{ kg/s}$

$h_1 = 4137.1 \text{ kJ/kg}$

**2.Durum**

$P_2 = 1 \text{ MPa}$

$T_2 = 500 \text{ }^\circ\text{C}$

$\dot{m}_2 = 5 \text{ kg/s}$

$h_2 = 3478.5 \text{ kJ/kg}$

**3.Durum**

$P_3 = 30 \text{ kPa}$

$x = 0.9$

$v_3 = v_f + x_3 * v_{fg} = 0.001022 + 0.9 * 5.227978$

$v_3 = 4.7062 \text{ m}^3/\text{kg}$

$h_3 = h_f + x_3 * h_{fg} = 289.23 + 0.9 * 2336.1$

$\dot{m}_3 = \dot{m}_1 + \dot{m}_2 = 15 \text{ kg/s}$

a)  $\dot{V}_3 = \dot{m}_3 * v_3 = \frac{15 \text{ kg}}{\text{s}} * 4.7062 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} = 70.593 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$

b)  $\dot{Q} - \dot{W} = \sum \dot{m}_c * h_c - \sum \dot{m}_g * h_g$

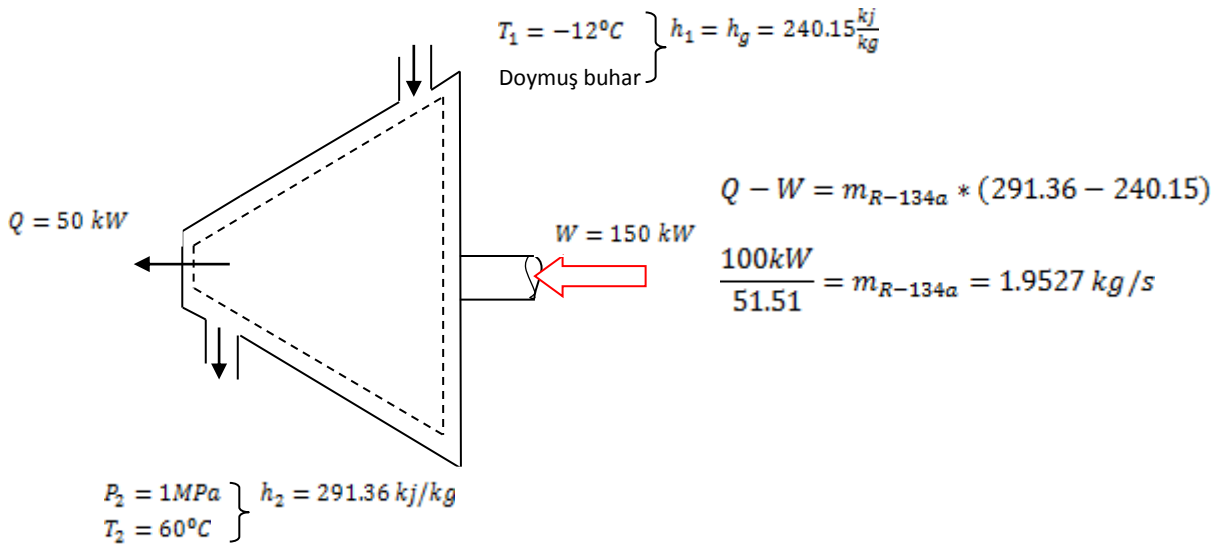
$-\dot{W} = \dot{m}_3 * h_3 - (\dot{m}_1 * h_1 + \dot{m}_2 * h_2) \Rightarrow \dot{W} = \dot{m}_1 * h_1 + \dot{m}_2 * h_2 - \dot{m}_3 * h_3$

$\dot{W} = 10 * 4137.1 + 5 * 3478.5 - 15 * 2391.72 = 22887.7 \text{ kW}$

$\dot{W} = 22.887 \text{ MW}$

**S-21)** Soğutucu akışkan olarak R-134a kullanan bir soğutma makinasında, kompresöre soğutucu akışkan  $-12 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de doymuş buhar olarak girmekte ve  $1 \text{ MPa}$  ve  $60 \text{ }^\circ\text{C}$ 'de çıkmaktadır. Kompresör  $50 \text{ kW}$  ısı kaybetmektedir. Kompresör  $150 \text{ kW}$  güç tükettiğine göre sistemde dolaşan soğutucu akışkanın kütleli debisini hesaplayınız. Kinetik ve potansiyel enerjideki değişimi ihmal ediniz.

C-21)



**S-22)** Helyum sürekli akışlı bir kompresörde, 120 kPa basınç ve 310 K sıcaklıktan, 700 kPa basınç ve 430 K sıcaklığa kadar sıkıştırılmaktadır. Sıkıştırılma işlemi sırasında çevreye 20 kJ/kg ısı geçişi olmaktadır. Helyumun debisi 90 kg/dak ise gerekli gücü bulunuz.  $C_p = 5.1926 \text{ kJ/kgK}$

**C-22)**  $P_1 = 120 \text{ kPa}$  ,  $T_1 = 310 \text{ K}$  ,  $q = 20 \text{ kJ/kg}$

$P_2 = 700 \text{ kPa}$  ,  $T_2 = 430 \text{ K}$  ,  $\dot{m} = 90 \text{ kg/dk}$

$$q - w = \Delta E = \Delta H + \cancel{\Delta KE} + \cancel{\Delta PE}$$

$$q - w = h_2 - h_1 = C_p * (T_2 - T_1)$$

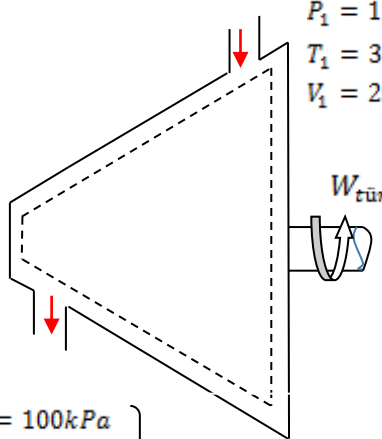
$$-20 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - w = 5.1926 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * (430 - 310) \text{ K}$$

$$w = -643.11 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$P = w * \dot{m} = 643.11 * 90 = 57879.9 \frac{\text{kJ}}{\text{dk}} = 965 \text{ kW}$$

**S-23)** Adyabatik bir buhar türbinine su buharı, 1 MPa ve 350 °C, 20 m/s hızla girmekte 100 kPa basınçta doymuş buhar olarak çok düşük bir hızda çıkmaktadır. Buharın kütledebisi 4 kg/s' ise **a)** Buhar Türbinin girişi kesit alanını, **b)** Buhar türbininden alınacak gücü hesaplayınız.

C-23)



$P_1 = 1 \text{ MPa}$   
 $T_1 = 350^\circ \text{C}$   
 $V_1 = 20 \text{ m/s}$

$h_1 = 3158.2 \text{ kJ/kg}$   
 $v_1 = 0.2825 \text{ m}^3/\text{kg}$

$W_{\text{tür}}$

a)  $\dot{m} = \frac{V_1 \cdot A_1}{v_1} \Rightarrow A_1 = \frac{\dot{m} \cdot v_1}{V_1} = 0.0565 \text{ m}^2$

b) T.D. 1. Kanunu Açık Sistem

$$\dot{Q} - W = \dot{m} \cdot (h_2 - h_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2}$$

$P_2 = 100 \text{ kPa}$   
 Doymuş buhar  
 $V_2 \cong 0$

$h_2 = h_g = 2674 \text{ kJ/kg}$   
 $v_2 = 1.6939 \text{ m}^3/\text{kg}$

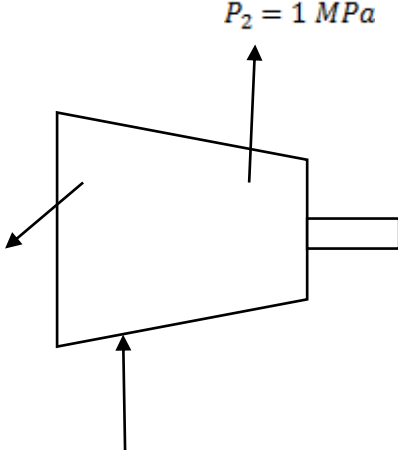
$$\dot{W} = \dot{m} \cdot (h_1 - h_2) + \frac{V_1^2}{2}$$

$$\dot{W} = 1933.4 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 1.9334 \text{ kW}$$

$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = 4 \text{ kg/s}$

S-24) Hava sürekli akışı bir kompresöre 100 kPa ve 23°C'de girmekte ve 1 MPa basınca sıkıştırılmaktadır. Bu arada kompresör gövdesinden 15 kJ/kg'lık ısı çekilmektedir. Havanın kompresöre girişteki hacimsel debisini 150 m<sup>3</sup>/dakika ve kompresör gücü 450 kW'tır. Bu duruma göre, a) Kompresörden geçen havanın kütleli debisini, b) Havanın kompresör çıkışındaki sıcaklığını hesaplayınız.

C-24)



$P_2 = 1 \text{ MPa}$

$q = -15 \text{ kJ/kg}$

$P_1 = 100 \text{ kPa}$

$T_1 = 23^\circ \text{C} = 296 \text{ K}$

$$\dot{V}_1 = 150 \frac{\text{m}^3}{\text{dk}} \cdot \frac{1 \text{ dk}}{60 \text{ s}} = 2.5 \text{ m}^3/\text{s}$$



$$a) \dot{m} = \frac{\dot{V}}{v} \Rightarrow \dot{m}_1 = \frac{\dot{V}_1}{v_1}$$

$$P_1 * v_1 = R * T_1 \Rightarrow v_1 = \frac{R * T_1}{P_1} = \frac{0.287 \frac{kJ}{kgK} * 296K}{100 kPa}$$

$$v_1 = 0.84952 m^3/kg$$

$$\dot{m} = 2.943 kg/s = 176 kg/dk$$

$$b) \dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} * (h_2 - h_1)$$

$$\dot{Q} = \dot{m} * q = 2.943 \frac{kg}{s} * \left(-15 \frac{kJ}{kg}\right) = -44.14 kW$$

$$h_2 - h_1 = C_p * (T_2 - T_1) \quad C_p = 1 kJ/kgK$$

$$-44.14 kW = -(-450 kW) = 2.943 \frac{kg}{s} * 1 \frac{kJ}{kgK} * (T_2 - 296)K$$

$$T_2 = 433.9K = 160.9^\circ C$$

S-25) Hava, 1500 W gücündeki bir saç kurutma makinesine 100 kPa ve 20°C sıcaklıkta girmekte, 47°C sıcaklıkta çıkmaktadır. Saç kurutma makinesinin çıkışındaki kesit alanı 60 cm<sup>2</sup>'dir. Fanın çektiği gücü, kurutma makinesinin cidarlarından çevreye kaybolan ısı kaybını, kinetik etik ve potansiyel enerjii ihmal ederek a) Havanın girişindeki hacimsel debisini, b) Havanın çıkışındaki hızını hesaplayınız.

C-25)

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 100 kPa \\ T_1 = 293.15K \end{array} \right\} v_1 = \frac{R * T_1}{P_1} = \frac{0.287 * 293.15}{100} = 0.84 m^3/kg$$

$$E_{St} = E_g - E_c$$

$$W_{saç} + m h_1 = \cancel{Q_c} + m h_2$$

$$W_{saç} = m(h_2 - h_1) = \dot{m} C_p (T_2 - T_1)$$

$$1.5 kW = \dot{m} * 1.005(47 - 20) \rightarrow \dot{m} = 0.055 kg/s$$

$$\dot{m} = \frac{\dot{V}}{v} \rightarrow \dot{V} = 0.055 * 0.84 = 0.046 m^3/s$$

$$\dot{V} = A_2 V_2 \rightarrow 0.046 = 60 * 10^{-4} * V_2 \rightarrow V_2 = 7.74 m/s$$

S-26) 100 kPa ve 27°C sıcaklıktaki hava, split tip bir klimanın buharlaştırıcısı üzerinden 15 m<sup>3</sup>/dakika 'lık bir debi ile geçirerek soğutulmakta ve içeriye verilmektedir. Buharlaştırıcıya, 140 kPa ve 0.3 kuruluk derecesi ile 2kg/dakika 'lık bir debi ile giren soğutucu akışkan R134a aynı basınçta doymuş buhar olarak çıkmaktadır. Buna göre, a) Split klimanın buharlaştırıcısının içeriye üflediği havanın sıcaklığını, b) Havadan soğutucu akışkana geçen ısı miktarını hesaplayınız.

C-26)

### 3.Durum

$$\left. \begin{array}{l} P_3 = 140 \text{ kPa} \\ x_3 = 0.3 \end{array} \right\} \left. \begin{array}{l} h_f = 27.08 \text{ kJ/kg} \\ h_{fg} = 212.08 \text{ kJ/kg} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_3 = h_f + xh_{fg} = 27.08 + 0.3 * 212.08 \\ h_3 = 90.704 \text{ kJ/kg} \end{array}$$

### 4.Durum

$$\left. \begin{array}{l} \text{Doymuş Buhar} \\ P_3 = P_4 = 140 \text{ kPa} \end{array} \right\} h_4 = h_g = 239.16 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{R-134a} = \dot{m} * (h_4 - h_3) = \frac{2}{60} (239.16 - 90.704)$$

$$Q_{R-134a} = 4.95 \text{ kW}$$

### 1. ve 2.Durum için

$$Q_{hava} = \dot{m}C_p(T_2 - T_1)$$

$$v_1 = \frac{RT_1}{P_1} = \frac{0.287 * 300.15}{100} = 0.861 \text{ m}^3/\text{kg}$$

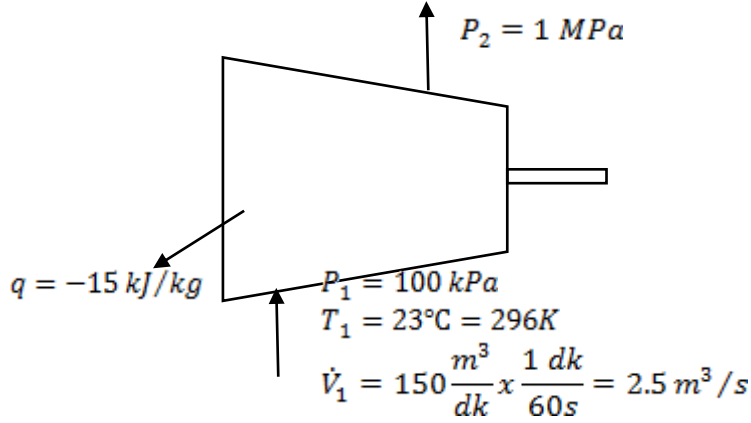
$$\dot{m} = \frac{\dot{V}}{v_1} \Rightarrow \dot{m} = \frac{\frac{15}{60} \text{ m}^3/\text{s}}{0.861 \text{ m}^3/\text{kg}} = 0.29 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$Q_{R-134a} = Q_{hava} = \dot{m}C_p(T_2 - T_1) \Rightarrow -4.95 = 0.29 * 1.005 * (T_2 - 27)$$

$$T_2 = 10^\circ\text{C}$$

S-27) Hava sürekli akışlı bir kompresöre 100 kPa ve 23°C'de girmekte ve 1 MPa basınca sıkıştırılmaktadır. Bu arada kompresör gövdesinden 15 kJ/kg'lık ısı çekilmektedir. Havanın kompresöre girişteki hacimsel debisi 150 m<sup>3</sup>/dakika ve kompresör gücü 450 kW'tır. Bu duruma göre, **a)** Kompresörden geçen havanın kütesel debisini **b)** Havanın kompresör çıkışındaki sıcaklığını bulunuz.

C-27)



$$\text{a) } \dot{m}_1 = \frac{\dot{V}_1}{v_1}$$

$$P_1 * v_1 = R * T_1 \Rightarrow v_1 = \frac{R * T_1}{P_1} = \frac{0.287 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 296\text{K}}{100 \text{ kPa}}$$

$$v_1 = 0.84952 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\dot{m} = 2.943 \text{ kg/s}$$

$$\text{b) } \dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} * (h_2 - h_1)$$

$$\dot{Q} = \dot{m} * q = 2.943 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * \left(-15 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}\right) = -44.14 \text{ kW}$$

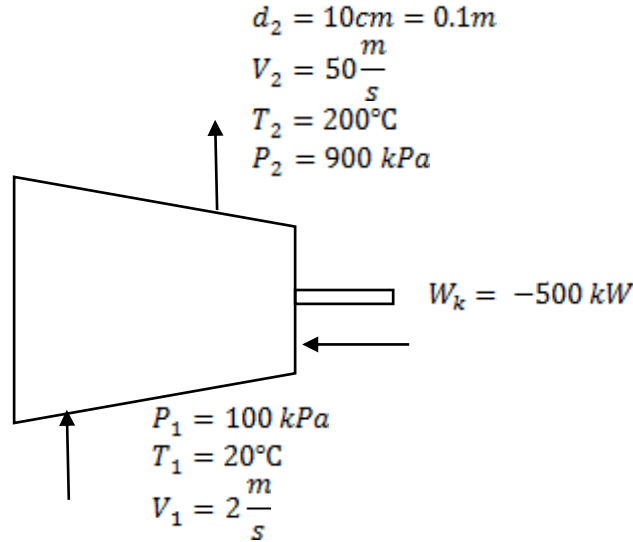
$$h_2 - h_1 = C_p * (T_2 - T_1) \quad C_p = 1 \text{ kJ/kg K}$$

$$-44.14 \text{ kW} - (-450 \text{ kW}) = 2.943 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 1 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * (T_2 - 296)$$

$$T_2 = 433.9\text{K} = 160.9^\circ\text{C}$$

S-28) Hava bir kompresöre 2 m/s , 20 °C ve 100 kPa şartlarında girmekte ve 50 m/s, 900 kPa ve 200 °C şartlarında terk etmektedir. Kompresörün harcadığı güç 500 kW ise çevreye verdiği ısı miktarını hesaplayınız. Kompresörün çıkış kesit çapı 10 cm'dir. Potansiyel enerjideki değişimi ihmal ediniz.

C-28)



$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 = \dot{m} = \frac{V_2 * A_2}{v_2} = \frac{V_1 * A_1}{v_1}$$

$$P_2 * v_2 = R * T_2 \Rightarrow R = 0.287 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$v_2 = \frac{0.287 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 473\text{K}}{900\text{ kPa}} = 0.150834 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$\dot{m} = \frac{50 \frac{\text{m}}{\text{s}} * \pi * (0.05\text{m})^2}{0.150834 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}} = 2.6 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

T.D.I. Kanunu Açık Sistem

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} * \left[ (h_2 - h_1) + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2} + g * (z_2 - z_1) \right]$$

$$\dot{Q} - (-500\text{ kW}) = 2.6 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * \left[ 1.005 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * (200 - 20)\text{K} + \frac{50^2 - 2^2}{2 * 100} \right]$$

$$\dot{Q} + 500 = 2.6(180.9 + 1.248)$$

$$\dot{Q} = -26.4152\text{ kJ (dışarıya ısı veriyor)}$$

S-29) Buhar 10 MPa ve 500°C sıcaklığındaki bir adyabatik türbine girmekte ve 20 kPa basınç ve x=0.9 kuruluk derecesinde çıkmaktadır. Buharın debisi 10 kg/s ve türbin çıkış çapı 600 mm ise; a) Türbin çıkış gücünü, b) Türbin çıkış hızını, c) Türbinden elde edilebilecek maksimum gücü d) Türbinin adyabatik verimini hesaplayınız. Kinetik ve potansiyel enerjideki değişimi ihmal edebilirsiniz.

C-29)

1.Durum

$$P_1 = 10 \text{ MPa} \quad h_1 = 3373.7 \text{ kJ/kg}$$

$$T_1 = 500^\circ\text{C} \quad s_1 = 6.5966 \text{ kJ/kgK}$$

2.Durum

$$P_2 = 20 \text{ kPa} \quad h_{2g} = h_f + x_2 * h_{fg} = 251.4 + 0.9 * 2358.3 = 2373.87 \text{ kJ/kg}$$

$$x_2 = 0.9 \quad s_{2g} = s_f + x_2 * s_{fg} = 0.8319 + 0.9 * 7.0774 = 7.2 \text{ kJ/kg K}$$

$$v_{2g} = v_f + x_2 * v_{fg} = 6.8842 \text{ kJ/kg}$$

$$a) \quad \dot{Q} - \dot{W}_g = \dot{m} * (h_{2g} - h_1)$$

$$-\dot{W}_g = 10 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * (2373.87 - 3373.7) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \Rightarrow \dot{W}_{gerçek} = 9998.3 \text{ kW}$$

b)

$$\dot{m} = \frac{V_2 * A_2}{v_2} \Rightarrow V_2 = \frac{\dot{m} * v_2}{A_2} = \frac{10 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 6.8842 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}}{\frac{\pi * 0.6^2}{4}} = 243.5 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$c) \quad W_{max} = W_s \Rightarrow s_1 * s_2 = 6.5966 \Rightarrow s_2 = s_f + x_2 * s_{fg}$$

$$\dot{Q} - \dot{W}_g = \dot{m} * (h_{2s} - h_1)$$

$$x_2 = \frac{6.5966 - 0.8319}{7.9093 - 0.8319} = 0.8145$$

$$h_{2s} = h_f + x_2 * h_{fg} = 2172.23 \text{ kJ/kg}$$

$$W_{max} = W_s = \dot{m} * (h_{2s} - h_1) = 12014.7 \text{ kW}$$

d)

$$\eta_{adyabatik} = \frac{\dot{W}_g}{W_s} = \frac{9998.3}{12014.7} = 0.8321 (\%83.21)$$

S-30) 4.5 MPa basınç ve 450°C sıcaklıkta su buharı bir lüleye 120 m/s hızla girmekte, 1.2 MPa basınç ve 300°C sıcaklıkta çıkmaktadır. Lülenin giriş kesiti 60 cm<sup>2</sup> olup, çevreye 180 kJ/s ısı kaybı vardır. Sürekli akış hali için a) Su buharının kütsel debisini (kg/s) b) Çıkış hızını (m/s) c) Lülenin çıkış kesit alanını (m<sup>2</sup>) hesaplayınız.

C-30)

$$a) \quad h_1 = 3324.2 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = 3046.3 \text{ kJ/kg}$$

$$v_1 = 0.07076 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_2 = 0.21386 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$\dot{m}_1 = \dot{m} = \frac{1}{v_1} * V_1 * A_1 = \frac{1}{0.07076 \text{ m}^3} * 120 \frac{\text{m}}{\text{s}} * 60 \text{ cm}^2 \frac{1 \text{ m}^2}{10^4 \text{ cm}^2} = 10.175 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$Q - W = \Delta H + \Delta KE + \Delta PE$$

b)

$$(-180) \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = 10.175 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (3324.2 - 3046.3) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + \left( \frac{V_2^2}{2000} + \frac{120^2}{2000} \right) 10.175 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$V_2 = 711.35 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

c)

$$A_2 = \frac{\dot{m}}{\rho_2 * V_2} = \frac{10.175 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{4.676 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 711.35 \frac{\text{m}}{\text{s}}} = 0.03 \text{ m}^2 = 0.3 \text{ cm}^2$$

## TERMODİNAMİĞİN İKİNCİ YASASI

### İKİNCİ YASANIN ESAS KULLANIMI

1. İkinci yasa hal değişimlerinin yönünü açıklayabilir.
2. İkinci yasa aynı zamanda enerjinin niceliği kadar niteliğinin de olduğunu öne sürer. Birinci yasa, niteliğiyle ilgilenmeksizin, enerjinin niceliğiyle ve bir biçimden diğerine dönüşümüyle ilgilidir. İkinci yasa, enerjinin niteliğinin ve bir hal değişimi sırasında bu niteliğin nasıl azaldığının belirlenmesinin gerekli vasıtalarını sağlar.
3. Termodinamiğin ikinci yasası, yaygın olarak kullanılan ısı makineleri ve soğutma makineleri gibi mühendislik sistemlerinin verimlerinin kuramsal sınırlarının ve kimyasal reaksiyonların hangi oranda tamamlanacaklarının belirlenmesinde de kullanılır.

Sıcaklığında bir değişim olmaksızın, sonlu miktarda ısıyı verebilecek ya da alabilecek büyüklükte ısı enerji sığasına (*kütle x özgül ısı*) sahip cisimler **ısı enerji deposu** veya yalnızca depo olarak adlandırılır.

Uygulamada atmosferik hava kadar, okyanuslar, göller ve akarsular gibi büyük su kütleleri de büyük enerji depolama yetenekleri veya ısı kütleleri nedeniyle, birer ısı enerji deposu olarak düşünülebilirler.



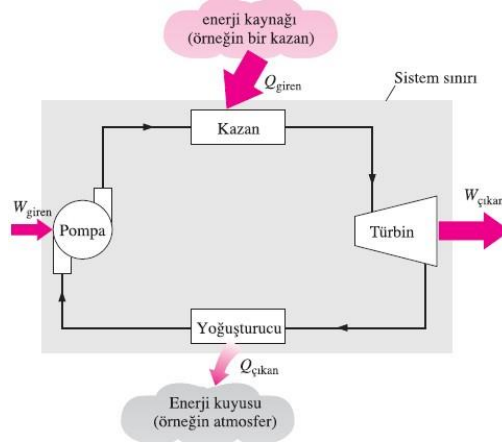
### ISI MAKİNELERİ

Makineler ısıyı işe dönüştürürler.

1. Yüksek sıcaklıktaki bir kaynaktan (güneş enerjisi, kazanlar, nükleer reaktörler vb.) ısı alırlar
2. Geri kalan atık ısıyı düşük sıcaklıktaki bir kuyuya (atmosfer, akarsular, vb.) verirler.

3. Bir çevrim gerçekleştirerek çalışırlar.

Isı makineleri ve bir çevrime göre çalışan diğer makineler, çevrimi gerçekleştirirken ısı alışverişini yapabilecekleri ortam olarak genellikle bir akışkan içerirler. Bu akışkana **ış akışkanı** denir. İşin tümü her zaman ısı enerjisiye dönüştürülebilir, fakat bunun tersi doğru değildir. Isı makinesi aldığı ısının bir bölümünü işe dönüştürür, geri kalanını düşük sıcaklıktaki bir ısı kuyuya verir.



$Q_{giren}$  = Yüksek sıcaklıktaki ısı kaynağından (kazandan) suya geçen ısı miktarı.

$Q_{cıkan}$  = Yoğusturucuda buhardan düşük sıcaklıktaki kuyuya (atmosfer, akarsular vb.) geçen ısı miktarı.

$W_{cıkan}$  = Türbinde genişlerken buhar tarafından üretilen iş miktarı.

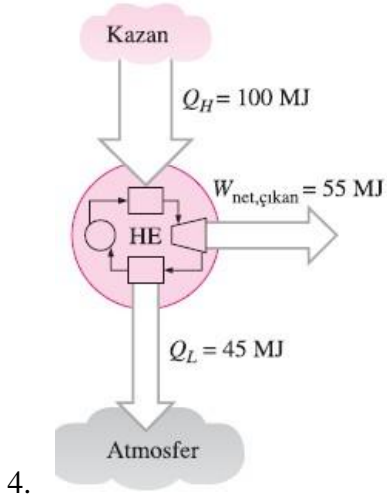
$W_{giren}$  = Suyu kazan basıncına sıkıştırmak için gereken iş miktarı.

### Isıl verim

$$\text{Isıl verim} = \frac{\text{Elde edilen net iş}}{\text{Toplam giren ısı}} \quad \eta_{th} = \frac{W_{net, cıkan}}{Q_{giren}}$$

$$W_{net, cıkan} = Q_{giren} - Q_{cıkan}$$





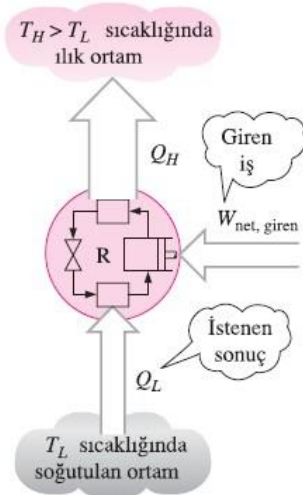
$$W_{\text{net, çıkan}} = Q_H - Q_L$$

$$\eta_{\text{th}} = \frac{W_{\text{net, çıkan}}}{Q_H}$$

$$\eta_{\text{th}} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$

### SOĞUTMA MAKİNELERİ VE ISI POMPALARI

- Düşük sıcaklıklı bir ortamdan yüksek sıcaklıklı bir ortama ısı geçişi kendiliğinden oluşmaz ve **soğutma makineleri** adı verilen özel makinelerin kullanımını gerektirir.
- Isı makineleri gibi soğutma makineleri de bir çevrim gerçekleştirerek çalışan makinelerdir.
- Soğutma çevriminde kullanılan iş akışkanı **soğutucu akışkan** olarak adlandırılır.
- En yaygın kullanılan soğutma çevrimi, buhar- sıkıştırırmalı soğutma çevrimidir.



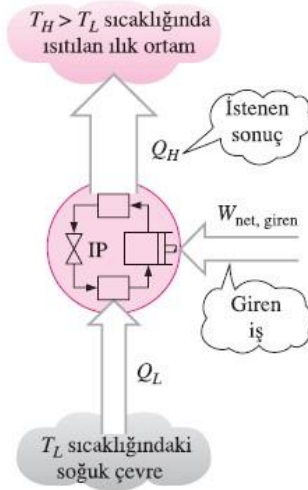
Bir soğutma makinesinin verimi, **etkinlik katsayısı** ile ifade edilir ve **COP<sub>SM</sub>** ile gösterilir.

Soğutma makinesinin amacı, soğutulan ortamdan ısı ( $Q_L$ ) çekmektir.

$$\text{COP}_{\text{SM}} = \frac{\text{Elde edilmek istenen değer}}{\text{Harcanması gereken değer}} = \frac{Q_L}{W_{\text{net, giren}}}$$

$$\text{COP}_{\text{SM}} = \frac{Q_L}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{Q_H/Q_L - 1}$$

### Isı Pompaları



Bir ısı pompasının amacı, ılık ortama  $Q_H$  ısısını vermektir.

$$COP_{IP} = \frac{\text{Elde edilmek istenen değer}}{\text{Harcanması gereken değer}} = \frac{Q_H}{W_{\text{net,giren}}}$$

$$COP_{IP} = \frac{Q_H}{Q_H - Q_L} = \frac{1}{1 - Q_L/Q_H}$$

$$COP_{IP} = COP_{SM} + 1$$

### Termodinamiğin İkinci Yasası: Clausius İfadesi

Termodinamik bir çevrim gerçekleştirerek çalışan ve düşük sıcaklıktaki bir cisimden aldığı ısıyı yüksek sıcaklıktaki bir cisme aktarmak dışında hiçbir enerji etkileşiminde bulunmayan bir makine tasarlamak olanaksızdır.

### TERSİNİR VE TERSİNMEZ HAL DEĞİŞİMLERİ

**Tersinir hal değişimi:** Çevrede herhangi bir iz bırakmadan tersi yönde gerçekleştirilebilen bir hal değişimi olarak tanımlanır.

**Tersinmez hal değişimi:** Tersinir olmayan hal değişimlerine denir.

### Tersinmezlikler

- Bir hal değişiminin tersinmez olmasına neden olan etkenlere **tersinmezlikler** adı verilir.
- Sürtünme, dengesiz genişleme, iki sıvının karışması, sonlu bir sıcaklık farkında ısı geçişi, elektrik direnci, katıların elastik olmayan şekil değişimleri ve kimyasal tepkimeler bu etkenler arasındadır.
- Bu etkenlerden herhangi birinin varlığı, hal değişimini tersinmez yapar.

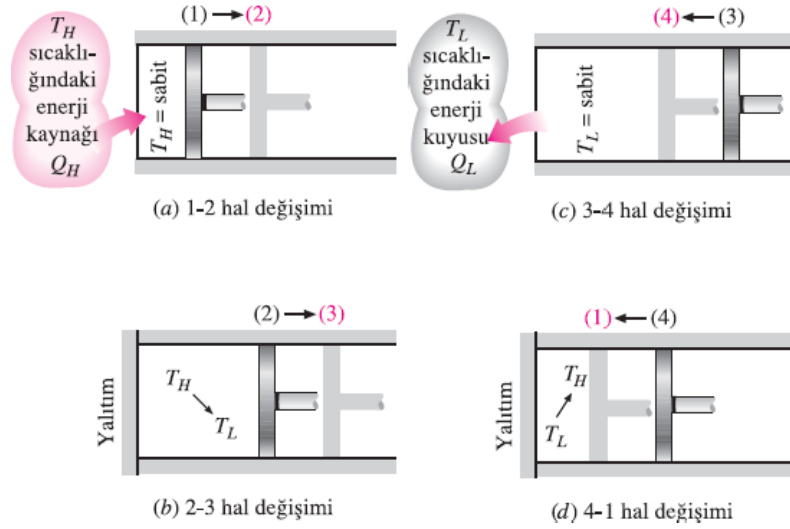
**İçten tersinir hal değişimi :** Hal değişimi sırasında sistemin sınırları içinde tersinmezlikler meydana gelmiyorsa.

**Dıştan tersinir hal değişimi :** Sistemin sınırları dışında tersinmezlikler meydana gelmiyorsa

**Tümden tersinir hal değişimi :** Sistemin sınırları içinde ve ilişkide olduğu çevrede tersinmezlikler meydana gelmiyorsa

Tümden tersinir bir hal değişiminde sonlu sıcaklık farkında ısı geçişi, sanki-dengeli olmayan değişimler, sürtünme ve benzer olgular yoktur.

## CARNOT ÇEVİRİMİ



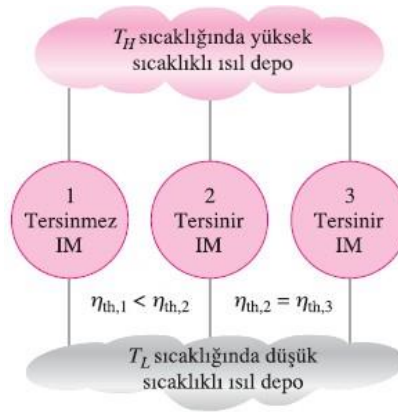
**Tersinir sabit sıcaklıkta genişleme** (1-2 hal değişimi,  $T_H = \text{sabit}$ )

**Tersinir adyabatik genişleme** (2-3 hal değişimi, sıcaklık  $T_H$ 'den  $T_L$ 'ye düşmektedir)

**Tersinir sabit sıcaklıkta sıkıştırma** (3-4 hal değişimi,  $T_L = \text{sabit}$ )

**Tersinir adyabatik sıkıştırma** (4-1 hal değişimi, sıcaklık  $T_L$ 'den  $T_H$ 'ye yükselmektedir.)

## CARNOT İLKELERİ



1. Aynı iki ısıl depo arasında çalışan iki ısı makinesinden, tersinmez olanın verimi her zaman tersinir olanın veriminden küçüktür.

2. Aynı iki ısıl depo arasında çalışan bütün tersinir ısı makinelerinin verimleri eşittir.

**CARNOT ISI MAKİNESİ**

$$\eta_{th, tr} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

**CARNOT SOĞUTMA MAKİNESİ VE ISI POMPASI**

$$COP_{SM, tr} = \frac{1}{T_H/T_L - 1} \quad COP_{IP, tr} = \frac{1}{1 - T_L/T_H}$$

**S-1)** Bir ev kış aylarında ayda 1200 kW elektrik çeken bir elektrik ısıtıcısıyla ısıtılmaktadır. Bu evi ısıtmak için elektrik ısıtıcısı yerine ısıtma tesir katsayısı 2.4 olan bir ısı pompası kullanılırsa bu ev aylık ne kadar para tasarruf eder?

Not: 1 kW elektrik 4500 TL dir.

$$\mathbf{C-1)} \beta' = \frac{Q_{sic}}{W_{net}} \Rightarrow W_{net} = \frac{1200 \text{ kW}}{2.4} = 500 \text{ kW}$$

Isı pompasının ayda harcadığı elektrik enerjisi 500 kW

$$\text{Aylık fatura} = 500 * 4500 = 2.250.000 \text{ TL}$$

Elektrikli ısıtıcının ayda harcadığı elektrik enerjisi 1200 kW

$$\text{Aylık fatura} = 1200 * 4500 = 5.400.000 \text{ TL}$$

$$\text{Aylık tasarruf} = 5.400.000 - 2.250.000 = 3.150.000 \text{ TL}$$

**S-2)** Bir binanın ısıtılması için ısı pompası kullanılması düşünülüyor. Binanın içerisi 22°C de tutulurken dış ortam -6°C olduğu zaman binadan 50 Mj/h ısı kaybı olduğuna göre ısı pompasının gücünü bulunuz.

**C-2)** Eğer ısı pompası tersinir ise min. enerji çekecektir.

$$\beta' = \frac{T_{sic}}{T_{sic} - T_{soğ}} = \frac{22 + 273}{(22 + 273) - (-6 + 273)} = \frac{295}{28} = 10.53$$

$$\beta' = \frac{Q_{sic}}{W_{net}} = W_{net} = \frac{Q_{sic}}{\beta'} = \frac{50 \text{ Mj}}{10.53} = 4.7483 \frac{\text{Mj}}{\text{h}} = 1.3189 \text{ kW}$$

**S-3)** Bir ev tipi buzdolabının soğutma tesir katsayısı 1.8 dir. Buzdolabı evaporatörü 90 kJ/dk lık bir ısı çektiğine göre yani 90 kJ/dk soğutma yaptığına göre;

a) Buzdolabının harcadığı elektrik enerjisini bulunuz.

b) Buzdolabının mutfığa verdiği ısıyı bulunuz.

$$\mathbf{C-3)} \beta = \frac{Q_{EVA}}{W_{komp}} \Rightarrow 1.8 = \frac{90 \frac{\text{kJ}}{\text{dk}} * \frac{\text{dk}}{60 \text{sn}}}{W_{komp}} , \quad W_{komp} = 0.833 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} , \quad Q_{evap} = 90 \frac{\text{kJ}}{\text{dk}} = 1.5 \text{ kW}$$

$$W_{komp} = 0.833 \text{ kJ/s} , \quad W_{komp} = Q_{kond} - Q_{evap} , \quad Q_{kond} = W_{komp} + Q_{evap} = 2.333 \text{ kW}$$

**S-4)** Bir soğutma makinasının evaporatörü (buharlaştırıcısı) 720 kJ/dk bir ısı çekmekte ve kompresör 4 kW enerji harcadığına göre

a) Soğutma makinasının tesir katsayısını,

b) Soğutma makinasının kondenserden çevreye verdiği ısıyı bulunuz.

**C-4)**

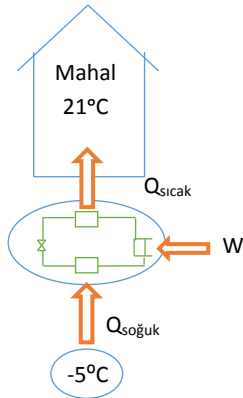
$$a) COP = \frac{Q_{evap}}{W_{komp}} = \frac{\left(720 \frac{kJ}{dk} * \frac{1dk}{60sn}\right)}{4 kW} = 3$$

$$b) W_{net} = Q_{kon} - Q_{evap} \Rightarrow Q_{kon} = W_{net} + Q_{evap}$$

$$Q_{kon} = 4 + 12 = 16 kW$$

**S-5)** Bir ısı pompası bir mahalın sıcaklığını 21°C 'de tutmak için kullanılmaktadır. Dış ortam sıcaklığı -5°C olduğunda mahalın ısı kaybı 135000 kJ/h ve ısı pompasının ısıtma tesir katsayısı 11.3 olduğuna göre ısı pompasının tükettiği enerjiyi ve dış ortamdan çekilen ısıyı hesaplayınız.

**C-5)**



$$Q_{kayıp} = Q_{sıcak} = 135000 \frac{kJ}{h} * \frac{1h}{3600s} = 37.5 kW$$

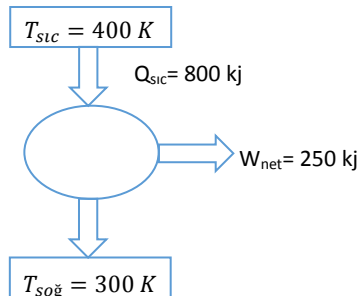
$$COP = \frac{Q_{sıcak}}{W_{net}}, W_{net} = \frac{37.5}{11.3} = 3.3185 kW = 11946.90 kJ/h$$

$$W_{net} = Q_{sıcak} - Q_{soğ} \Rightarrow Q_{soğ} = Q_{sıcak} - W_{net} = 37.5 kW - 3.3185 kW$$

$$Q_{soğ} = 123053.09 \frac{kJ}{h} = 34.1814 kW$$

**S-6)** Bir kaşif, 127°C deki bir kaynaktan 800 kJ ısı alan ve 27°C deki kaynağa ısı atarak 250 kJ net iş üreten bir ısı makinası icat ettiğini iddia etmektedir. Bu iddia mantıklıdır? Neden? Açıklayınız.

**C-6)**



$$\eta_{ısı, makina} < \eta_{tersinir carnot}$$

$$\frac{W_{net}}{Q_{sıc}} < \frac{T_{sıc} - T_{soğ}}{T_{sıc}}$$

$$\frac{250}{800} < \frac{400 - 300}{400}$$

0.3125 > 0.25 olduğundan mantıklı değildir.

**S-7)** Bir gıda reyonundaki soğutucunun, soğutma tesir katsayısı 1.8'dir. Yiyeceklerden çekilen ısı 95kJ/dk ise soğutucunun harcadığı elektrik enerjisini ve çevreye verdiği ısı miktarını hesaplayınız.

$$\mathbf{C-7)} \quad COP = \frac{Q_{soğ}}{W_{net}} \Rightarrow W_{net} = \frac{95}{1.8} = 52.77 \frac{kJ}{dk} * \frac{1dk}{60sn} = 0.8796 \text{ kW}$$

$$Q_{sic} = W_{net} + Q_{soğ} = 147.77 \frac{kJ}{dk} = 2.46 \text{ kW}$$

**S-8) a)** Bir ısı pompası kışın bir evi ısıtmak ve iç sıcaklığını 20 °C'de sıcaklıkta tutmak için kullanılmaktadır. Dış sıcaklığın 0 °C olduğu bir günde evin ısı kayıpları yaklaşık 80000 kJ/h olarak belirlenmiştir. Eğer ısı pompasının kompresör gücü 8 kW ise ısı pompasının COP'sini ve eğer elektrik fiyatının kWh'nın 0.27 TL olduğu kabul edilerek doğrudan elektrikli ısıtıcılar kullanılsaydı saatlik ısıtma giderinin ne olacağını ve ısı pompası ile ne kadar tasarruf sağlandığını hesaplayınız.

**b)** Isıl verimi **0.50** olan bir Carnot ısı makinası **15 °C**'deki bir göle dakikada **800 kJ** ısı vermektedir. Bu duruma göre ısı makinesinden alınan gücü ve ısı alınan kaynağın sıcaklığını hesaplayınız.

$$\mathbf{C-8) a)} \quad COP = \frac{Q}{W} = \frac{22.22kW}{8kW} = 2.7775$$

$$Elektrikli ısıtıcı saatte \Rightarrow 22.22 * 0.27 = 5.9994 \text{ TL}$$

$$Isı pompası saatte \Rightarrow 8 * 0.27 = 2.16 \text{ TL}$$

$$1 \text{ saatlik tasarruf} = (22.22 - 8) * 0.27 \frac{TL}{kW} = 3.834 \text{ TL}$$

$$1 \text{ kWh} = 3600 \text{ kJ' dür.}$$

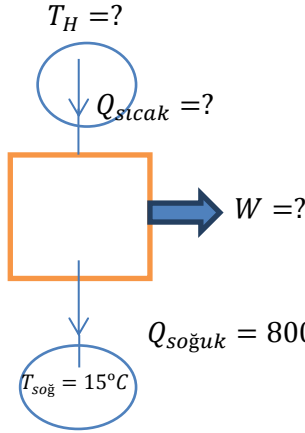
$$\mathbf{b)} \quad \eta_{isil} = 1 - \left( \frac{Q_{soğ}}{Q_{sic}} \right) \Rightarrow Q_{sic} = \frac{800 \frac{kJ}{dk}}{0.5} = 26.667 \text{ kW}$$

$$W_{net} = Q_{sic} - Q_{soğ} = 800 \frac{kJ}{dk} = 13.33 \text{ kW}$$

$$\eta_{isil} = \frac{(T_{sic} - T_{soğ})}{T_{sic}} \Rightarrow 0.5 = \frac{T_{sic} - 288}{T_{sic}} \Rightarrow T_{sic} = 576 \text{ K} = 303^{\circ}\text{C}$$

**S-9)** Bir soğutma makinesi, soğutulan ortamı  $-8^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta tutabilmek için ortamdaki 300 kJ/dakika ısı çekmektedir. Soğutma makinesinin ısı verdiği ortam  $25^{\circ}\text{C}$  olduğuna göre, soğutma makinesinin çalıştırmak için gerekli en düşük gücü hesaplayınız.

**C-9)**



$$\eta_{ısıt} = 1 - \frac{T_{soğ}}{T_{sıc}} \Rightarrow 0.55 = 1 - \frac{288}{T_{sıc}} \Rightarrow T_{sıc} = 640 \text{ K}$$

$$\eta_{ısıt} = 1 - \frac{Q_{soğ}}{Q_{sıc}} \Rightarrow Q_{sıc} = \frac{13.333}{0.45} = 29.6288 \text{ kW}$$

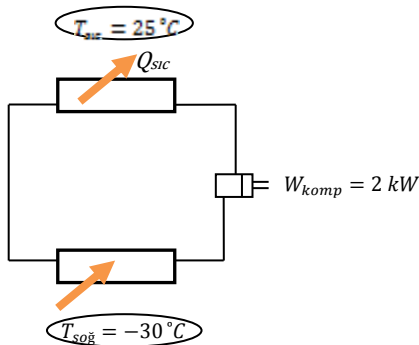
$$W_{net} = Q_{sıc} - Q_{soğ} = 16.3 \text{ kW}$$

$$COP_{soğutma} = \frac{T_{soğ}}{T_{sıc} - T_{soğ}} = \frac{-8 + 273}{25 - (-8)} = 8.030$$

$$COP_{soğutma} = \frac{Q_{soğ}}{W_{net}} \Rightarrow W_{net} = \frac{5 \text{ kW}}{8.030} = 0.623 \text{ kW}$$

**S-10)**  $25^{\circ}\text{C}$  sıcaklıktaki bir odada yapılan bitirme ödevine ait bir deneyde bir öğrenci, 2 kW gücünde elektrik çeken bir soğutma makinesinin  $-30^{\circ}\text{C}$  sıcaklıkta tutulan bir ortamdan 30000 kJ ısı çektiğini ölçmüştür. Deney sırasında soğutma makinesi 20 dakika çalışmıştır. Bu değerlerin doğruluğunu irdeleyiniz.

**C-10)**



$$Q_{soğ} = 30000 \text{ kJ} * \frac{1}{\text{dk}} * \frac{1\text{dk}}{60\text{sn}} = 25 \text{ kW}$$

$$COP_{soğ} = \frac{Q_{soğ}}{W_{komp}} = \frac{25}{12} = 12.5$$

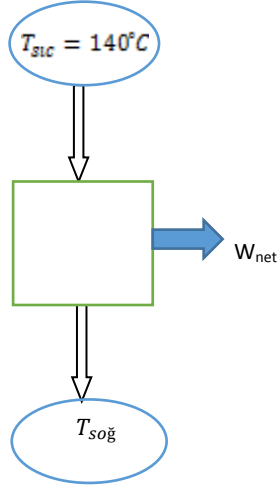
$$COP_{tersinir} = \frac{T_{soğ}}{T_{sıc} - T_{soğ}} = \frac{-30 + 273}{25 - (-30)} = \frac{243}{55} = 4.418$$

$COP_{tersinir} < COP_{soğ}$  olduğundan öğrenci ölçümleri yanlış almıştır..



**S-11)** Güç üretiminin ilginç yollarından biri de yeraltında doğal olarak bulunan sıcak sudan, diğer adıyla jeotermal enerjiden yararlanmaktır. Çevre sıcaklığının 20 °C olduğu bir bölgede, 140 °C sıcaklığında bir jeotermal kaynak bulunmuştur. Bu bölgede kurulacak jeotermal bir güç santralinin sahip olabileceği **en yüksek ısıl verimi** hesaplayınız.

**C-11)**



$$\eta_{isil} = \eta_{isil,tersinir}$$
$$\eta_{isil,tersinir} = \frac{T_{sic} - T_{soğ}}{T_{sic}}$$
$$\eta_{isil,tersinir} = \frac{140 - 20}{140 + 273} = 0.29055$$

*maksimum ısıl verim %29.1*

**S-12)** Bir otomobil motoru saate 20 litre yakıt tüketmekte ve tekerleklerle 60 kW güç iletmektedir. Yakıtın ısıl değeri 44 000 kJ/kg ve yoğunluğu 0.8 gr/cm<sup>3</sup> olduğuna göre bu motorun ısıl verimini hesaplayınız.

$$\mathbf{C-12)} \eta_{isil} = \frac{W_{net}}{Q_{giren}}, \dot{T} = 20 \frac{lt}{h} * \frac{1h}{3600sn} * \frac{(10^{-3})m^3}{1lt} * \rho_{yakıt}$$

$$\rho = 0.8 * \frac{8}{cm^3} * \frac{1kg}{100gr} * \frac{10^6 cm^3}{1m^3} = 800 \frac{kg}{m^3}$$

$$Q_{giren} = \dot{T} = 4.44 * 10^{-3} \frac{kg}{s} * 44000 \frac{kJ}{kg} = 195.56 kW$$

$$\eta_{isil} = \frac{60kW}{195.56} = 0.3068 \Rightarrow \%30.68$$

**S-13)** Bir ofisin kışın ısıtılması ve yazın soğutulması bir split klima ile yapılmaktadır. Bu amaç için ofiste soğutma gücü 12 000 BTU/h ( 3.5 kW) olan bir split klima kullanılmaktadır. Split klimanın çektiği güç 1.2 kW'tır. Buna göre; **a-** Bu split klimanın COP değerini hesaplayınız. **b-** Klima yaz ve kış ofis sıcaklığını 22 °C'de tutuyorsa, yaz dış ortam sıcaklığı 42 °C ve Kış dış ortam sıcaklığı -6 °C ise, ısıtma ve soğutma COP değerlerinin alacağı sınır değerleri hesaplayınız.

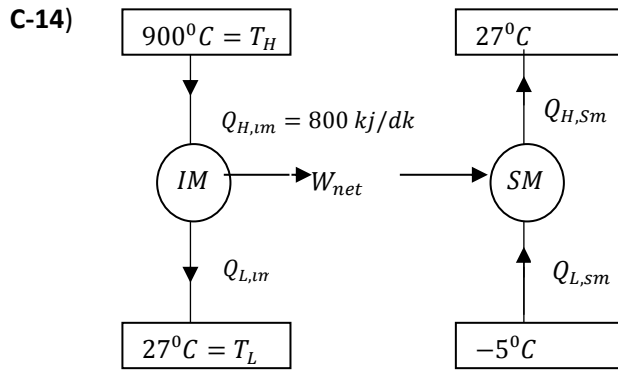
$$\mathbf{C-13)} Q_{soğ} = 3.5 kW, W_{komp} = 1.2 kW$$

$$a) COP_{soğutma} = \frac{Q_{soğ}}{W_{komp}} = \frac{3.5}{1.2} = 2.9167$$

$$b) COP_{soğutma\ sınır} = COP_{carnot\ sınır} = \frac{T_{soğ}}{T_{sic} - T_{soğ}} = \frac{295}{42 - 22} = 14.75$$

$$COP_{ısıtma} = \frac{T_{sic}}{T_{sic} - T_{soğ}} = \frac{22 + 273}{22 - 6} = \frac{295}{28} = 10.536$$

**S-14)** Bir Carnot ısı makinesi 900 °C sıcaklıktaki bir ısıl depodan 800 kJ/dak ısı almakta ve 27 °C sıcaklıktaki ortama ısı vermektedir. Isı makinesinin ürettiği gücün tamamı bir soğutma makinesini çalıştırmakta, bu makinede -5 °C sıcaklıktaki bir ortamdan ısı alarak 27 °C sıcaklıktaki çevre ortama ısı vermektedir. Soğutulan ortamdan birim zamanda en çok ne kadar ısı çekilebilir hesaplayınız.



$$\eta_{im} = \frac{T_H - T_L}{T_H} = \frac{1173 - 300}{1173} = 0.744 \text{ max. Carnot çevrimine göre olur.}$$

$$W_{net} = \eta_{im} * Q_{H,im} = 595.4 \frac{kJ}{dk} = 9.92 \text{ kW}$$

$$Q_{L,im} = Q_{H,im} - \eta_{im} * Q_{H,im} = 204.6 \frac{kJ}{dk}$$

$$COP_{sm} = \frac{T_L}{T_H - T_L} = \frac{268}{300 - 268} = 8.375$$

$$COP_{sm} = \frac{Q_{L,sm}}{W_{net}} \Rightarrow Q_{L,sm} = 8.375 * 594.5 = 4986.475 \frac{kJ}{dk} = 83.11 \text{ kW}$$

**S-15) a-** Bir evin kış sezonunda, aylık ısı kaybı ortalama 720 kW olup, ev bir elektrik ısıtıcısıyla ısıtılmaktadır. Bu evi ısıtmak için elektrik ısıtıcısı yerine, aylık ortalama ısıtma tesir katsayısı (COP), 3 olan bir ısı pompası kullanılırsa, 4 aylık bir kış sezonu için ne kadar para tasarruf edilir? **Not:**1 kW elektrik 0.27 TL'dir.

**b-** Bir termik santralin net çıkış gücü 250 MW ve Toplam kazan gücü 0.6 GW olduğuna göre bu termik santralin ısı verimini hesaplayınız.

**C-15) a)**  $COP = \frac{Q}{W} \Rightarrow W = 720 \frac{kW}{3} = 240 kW$  (Isı pompası gücü)

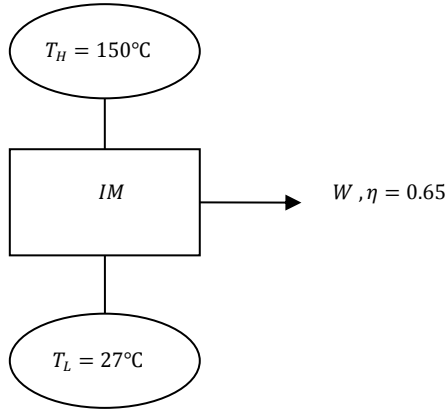
Elektrikli ısıtıcı : 720 kW

Fark = 720 – 240 = 480 kW , Para tasarrufu = 480 \* 0.27 TL = 129.6 TL

b)

$$\eta_{Isıl} = \frac{W}{Q_{Sıc}} = \frac{250MW}{600MW} = 0.4166 \quad (\%41.66)$$

**S-16)**



Bir mucid köyünde bulunan 150 °C'deki jeotermal kuyudan ısı çekerek 27 °C'deki çevre havasına ısı atan ve ısı verimi %65 olan bir ısı makinası yaptığını iddia etmektedir. Buna göre iddiası doğru mudur? Neden?

**C-16)**

$$\eta_{carnot} > \eta_{gerçek}$$

$$1 - \frac{T_L}{T_H} > 0.65 \Rightarrow 1 - \frac{300}{423} = 0.291$$

$$\eta_{carnot} = 0.291 < \eta_{gerçek} = 0.65$$

olduğundan iddiası doğru değildir.

**S-17)** Bir split klima almak isteyen arkadaşınız A firmasında 12000 BTU/h (3.5kW) soğutma gücünde ve 1.2 kW güç harcayan bir klima olduğunu, B firmasında ise 13000 BTU/h (3.8kW) gücünde ve 1.4 kW güç harcayan bir klima olduğunu söylemektedir. Yaptığınız hesaplamalara göre A ve B firmasının split klimalarının arkadaşınızın ofisi için yeterli soğutma gücünde olduğunu tespit ettiniz. Fiyatları aynı olduğuna göre hangi firmanın klimasını arkadaşınızın almasını tavsiye edersiniz? Neden?

$$\mathbf{C-17)} \quad COP_A = \frac{Q_{soğ}}{W_k} = \frac{3.5 kW}{1.2 kW} = 2.917 \quad COP_B = \frac{Q_{soğ}}{W_k} = \frac{3.8 kW}{1.4 kW} = 2.714$$

$COP_A > COP_B$  olduğundan A firmasını tavsiye ederiz.

**S-18)** Bir 50 MW gücündeki termik santralinin ısı verimi %25'tir. Santrale verilen ısı gücünü ve santralin çevre havasına verdiği ısı gücünü hesaplayınız.

**C-18)**

$$\eta_{\text{ısı}} = \frac{W}{Q_H} \Rightarrow Q_H = \frac{W}{\eta_{\text{ısı}}} = \frac{50 \text{ MW}}{0.25} = 200 \text{ MW} \text{ (santrale verilen)}$$

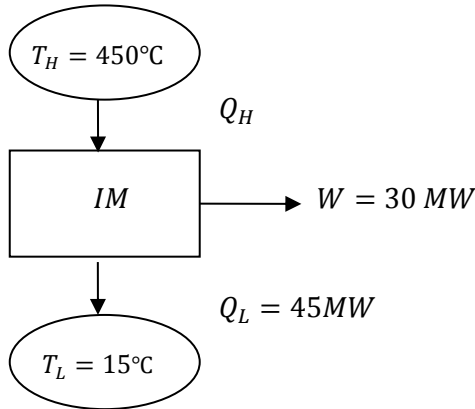
$$Q_H - Q_L = W \Rightarrow Q_L = Q_H - W = 200 - 50 = 150 \text{ MW} \text{ (santralin attığı)}$$

**S-19)**

bir A  
2.5'tir.

**Not:**

$W =$



$$\text{Aylık} = 30 \text{ gün} * 14 \text{ kWh} = 420 \text{ kWh}$$

$$\text{Aylık fatura} = 0.35 \frac{\text{TL}}{\text{kWh}} * 420 \text{ kWh} = 147 \text{ TL}$$

12000 BTU/h (3.5kW) soğutma gücündeki sınıfı duvar tipi split klamanın  $COP_{\text{soğutma}} =$   
Bu klima günde ortalama 10 saat çalışırsa elektrik faturası ayda ne kadar gelir?

1kWh=0.35 TL'dir.

$$\text{C-19) } Q_{\text{soğ}} = 3.5 \text{ kW} , COP_{\text{soğ}} = 2.5$$

$$COP_{\text{soğ}} = \frac{Q_{\text{soğ}}}{W} \Rightarrow W = \frac{Q_{\text{soğ}}}{COP_{\text{soğ}}} = \frac{3.5}{2.5} =$$

$$1.4 \text{ kW}$$

$$\text{Günlük} = 10 \frac{\text{h}}{\text{gün}} * 1.4 \text{ kW} = 14 \frac{\text{kWh}}{\text{gün}}$$

**S-20)** Bir 450°C'deki bir kaynaktan ısı alan 30 MW gücündeki bir termik santral yanındaki 15°C'deki nehre 45 MW ısı terk etmektedir. Buna göre; **a)** Santrale verilen ısı miktarını hesaplayınız. **b)** Termik santralin gerçek ve Carnot ısı verimini hesaplayınız. **c)** Santralden elde edilebilecek en yüksek gücü hesaplayınız.

**C-20)**

$$\text{a) } \eta_{\text{ısı}} = \frac{Q_H - Q_L}{Q_H} = \frac{W}{Q_H} = 1 - \frac{Q_L}{Q_H}$$

$$Q_H = Q_L + W = 30 + 45 = 75 \text{ MW}$$

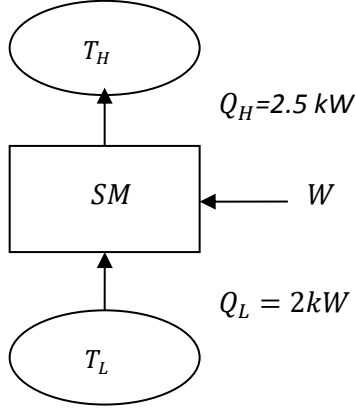
$$\text{b) } \eta_{\text{ısı gerçek}} = \frac{30}{75} = 0.4 \text{ (%40)}$$

$$\eta_{\text{ısı carnot}} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{15+273}{450+273} = 0.60 \text{ (%60)}$$

$$\text{c) } W_{\text{max}} = \eta_{\text{carnot}} * Q_H = 0.6 * 75 \text{ MW} = 45 \text{ MW}$$

**S-21)** Bir klima cihazı dış ortama 2.5 kW ısı atarken, iç ortama 2kW'lık soğutma etkisi oluşturmaktadır. Bu klimanın performans katsayısı (COP) değerini bulunuz.

**C-21)**



$$W = Q_H - Q_L = 2.5 - 2 = 0.5 \text{ kW}$$

$$COP = \frac{Q_L}{W} = \frac{2}{0.5} = 4$$

**b)** 150 MW gücünde bir buharlı güç santrali saatte 60 ton kömür tüketmektedir. Kömürün ısıl değeri 30000kJ/kg olduğuna göre santralin ısıl verimini hesaplayınız.

$$\mathbf{b)m = 60 \text{ ton} = 60000 \frac{\text{kg}}{\text{h}}, H_u = 30000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$

$$Q_H = m * H_u$$

$$Q_H = 60 \text{ ton} * 30000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

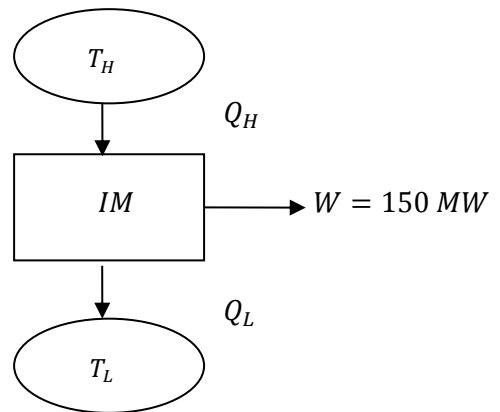
$$Q_H = 60000 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 30000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_H = 1800.000.000 \frac{\text{kJ}}{\text{h}}$$

$$Q_H = 1800 \times 10^6 \frac{\text{kJ}}{\text{h}} \times \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ s}}$$

$$Q_H = 500.000 \text{ kW} = 500 \text{ MW}$$

$$\eta = \frac{W_{\text{net}}}{Q_H} = \frac{150}{500} = 0.3$$



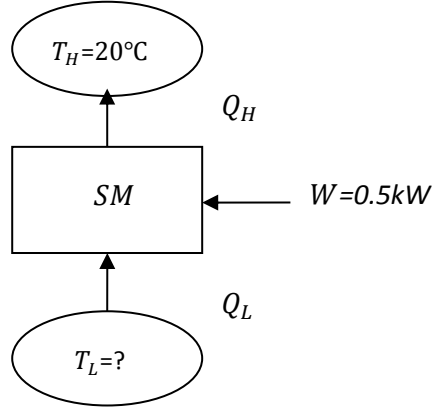
**S-22)**  $20^{\circ}\text{C}$ 'deki bir mutfakta bulunan ve soğutma performansı (COP) katsayısı 4 olan bir buzdolabının kompresörü 0.5 kW güç tüketmektedir. Buna göre buzdolabının mutfığa atılan birim zamandaki ısı miktarını hesaplayınız?

**b)** 30 MW gücündeki bir termik santralin ısı verimi %30 ise bu santralin kurulu kazan gücü nedir?

**C-22) a)**

$$COP_{soğ} = \frac{Q_L}{W_k} \Rightarrow Q_L = 4 * 0.5 = 2kW ,$$

$$Q_H = Q_L + W_k = 2.5 kW$$



**b)**  $\eta_{ısı} = \frac{W_{net}}{Q_H} \Rightarrow 0.3 = \frac{30}{Q_H}$

$$\dot{Q}_H = \frac{30}{0.3} = 100 MW$$

**S-23)** Bir soğutma makinesinin elektrik tüketimi 5kW ve çevreye attığı ısı miktarı 20 kW ise bu soğutma makinesinin COP değeri kaçtır?

**C-23)**

$$Q_H = Q_L + W_{komp} , Q_L = Q_H - W_{komp} = 20 - 5 = 15 kW$$

$$COP = \frac{Q_L}{W_{komp}} = \frac{15}{5} = 3$$

**S-24)** 5250 kW gücündeki bir kazandan enerji alan bir termik santralin ısı verimi %27 olarak belirlenmiştir. Bu kazanda ısı değeri (H) 22150 kJ/kg olan kok kömürü kullanılmaktadır. Buna göre; Kazanda saatlik yakılan yakıtın miktarını (kg/h) , Termik Santralden alınan net gücü ve Termik santralden birim zamanda çevreye verilen enerji miktarını bulunuz.

**C-24)**

$$Q_H = 5250 \text{ kW}, \eta = 0.27, H = 22150 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$Q_{kazan} = Q_H = m * H$$

$$m = \frac{Q}{H} \Rightarrow \frac{5250}{22150} = \frac{0.237 \text{ kg}}{s} = 853.2 \frac{\text{kg}}{h}$$

$$W_{net} = \eta * Q_H = 0.27 * 5250 \text{ kW} = 1417.5 \text{ kW}$$

$$Q_L = Q_H - W_{net} = 5250 \text{ kW} - 1417.5 \text{ kW} = 3832.5 \text{ kW}$$

**S-25)** Bir A sınıfı split klimanın soğutma gücü 6 kW ve soğutma için COP değeri 4 verilmektedir. Bu klima yaz döneminde Haziran( 30gün) , Temmuz (31 gün) günde 12 saat çalışırsa; **a)** Kompresörü harcadığı gücü **b)** Yaz döneminde sadece klimadan dolayı kaç TL elektrik faturası geleceğini hesaplayınız. (Not: 1kWh elektrik enerjisi 0.4117 TL'dir).

**C-25)**  $Q_L = 6 \text{ kW}, COP = 4$

**a)**  $COP = \frac{Q_L}{W_k} \Rightarrow W_k = \frac{6}{4} = 1.5 \text{ kW}$

**b)**  $Enerji = Güç * Zaman = 1.5 \text{ kW} * (30 + 31 + 31) \text{ gün} * \frac{12 \text{ h}}{\text{gün}} = 1656 \text{ kWh}$

$$1656 \text{ kWh} * 0.4117 \frac{\text{TL}}{\text{kWh}} = 681.7752 \text{ TL}$$

**S-26)** Isıl değeri 25116 kJ/kg (6000kcal/kg) olan ithal kömürü kullanılan 5250 kW gücündeki bir kazandan enerji alan bir termik santralin ısıl verimi %27 olarak belirlenmiştir. Buna göre; **a)** Kazandan saatlik yakılan yakıtın miktarını (kg/h) **b)** Termik Santralden alınan net gücü, **c)** Termik santralden birim zamanda çevreye verilen enerji miktarını bulunuz.

**C-26)**

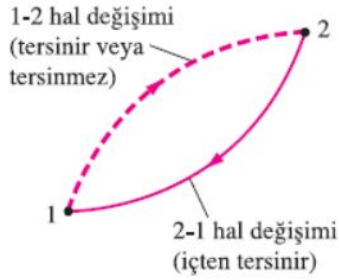
**a)**  $Q_H = 5250 \frac{\text{kg}}{s} = \frac{25116 \text{ kJ}}{\text{kg}} * \dot{m}_y \Rightarrow \dot{m}_y = 0.209 \frac{\text{kg}}{s} * \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}}$

$$\dot{m}_y = 752.4 \frac{\text{kg}}{h}$$

**b)**  $\eta = \frac{W_{net}}{Q_H} \Rightarrow W_{net} = 0.27 * 5250 = 1417.5 \text{ kW}$

**c)**  $Q_L = Q_H - W_{net} \Rightarrow Q_L = 5250 - 1417.5 = 3832.5 \text{ kW}$

## ENTROPİ



Bir çevrim tersinir yada tersinmez bir hal değişiminden ibarettir.

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0 \quad \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + \int_2^1 \left( \frac{\delta Q}{T} \right)_{\text{içten tersinir}} \leq 0$$

$$\int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + S_1 - S_2 \leq 0 \quad S_2 - S_1 \geq \int_1^2 \frac{\delta Q}{T}$$

$$dS \geq \frac{\delta Q}{T} \quad \text{Etkilik içten tersinir hal değişimleri, etkisizlik ise tersinmez hal değişimleri için geçerlidir.}$$

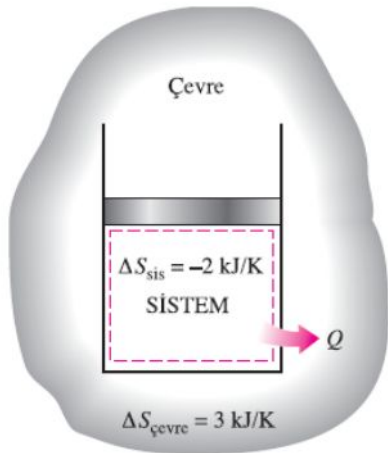
$$\Delta S_{\text{sis}} = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{\delta Q}{T} + S_{\text{üretim}}$$

$$S_{\text{üretim}} = \Delta S_{\text{toplam}} = \Delta S_{\text{sis}} + \Delta S_{\text{çevre}} \geq 0$$

Tersinmez bir hal değişimi sırasında bir miktar entropi üretilir veya var edilir, entropi üretimi tümüyle tersinmezlikler ile ilgilidir.

Entropi üretimi  $S_{\text{üretim}}$  ifadesi her zaman sıfır veya pozitif bir değerdir.

$$S_{\text{üretim}} \begin{cases} > 0 & \text{Tersinmez hal değişimi} \\ = 0 & \text{Tersinir hal değişimi} \\ < 0 & \text{Gerçekleşmesi olanaksız hal değişimi} \end{cases}$$



$$S_{\text{üretim}} = \Delta S_{\text{toplam}} = \Delta S_{\text{sis}} + \Delta S_{\text{çevre}} = 1 \text{ kJ/K}$$

Bir sistemin entropi değişimi negatif olabilir ama entropi üretimi negatif olamaz.

- Hal değişimleri *herhangi* bir yönde değil, sadece *belirli* bir yönde gerçekleşebilir. Hal değişimi, entropinin artışı ilkesi ile uyumlu yönde ilerlemek zorundadır. Yani hal değişimi sırasında  $S_{\text{üretim}} = 0$  olmalıdır. Bu ilkeyi sağlamayan bir hal değişimi gerçekleşemez.
- Entropi *korunumu* söz konusu değildir, bu nedenle *entropinin korunumu ilkesi* diye bir kavram yoktur. Entropi, sadece ideal bir durum olan tersinir hal değişimleri sırasında korunur ve gerçek bütün hal değişimleri sırasında artar.
- Tersinmezliklerin varlığı mühendislik sistemlerinin verimlerini azaltır ve *entropi üretimi* hal değişimi sırasında görülen tersinmezliklerin bir ölçüsüdür. Aynı zamanda, mühendislik sistemlerinin verimlerini saptamak için bir kriter olarak da kullanılır.



## ENTROPİ DENGESİ

$$\left( \begin{array}{c} \text{Giren} \\ \text{toplam} \\ \text{enerji} \end{array} \right) - \left( \begin{array}{c} \text{Çıkan} \\ \text{toplam} \\ \text{entropi} \end{array} \right) + \left( \begin{array}{c} \text{Üretilen} \\ \text{toplam} \\ \text{entropi} \end{array} \right) = \left( \begin{array}{c} \text{Sistemdeki} \\ \text{toplam entropi} \\ \text{değişimi} \end{array} \right)$$

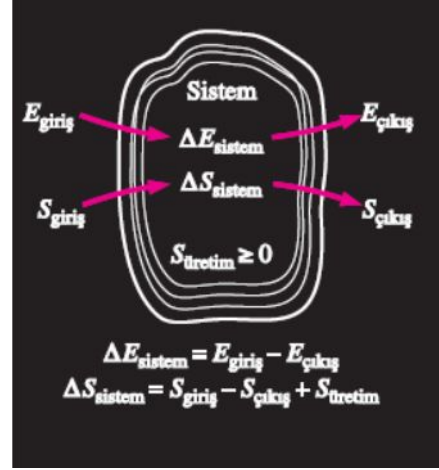
$$S_g - S_{\dot{c}} + S_{\dot{u}} = \Delta S_{\text{sistem}}$$

Bir sistemin entropi değişimi,  $\Delta S_{\text{sistem}}$

$$\Delta S_{\text{sistem}} = S_{\text{son}} - S_{\text{ilk}} = S_2 - S_1$$

Sistemin özellikleri kararlı olmadığında

$$S_{\text{sistem}} = \int s \delta m = \int_V s \rho dV$$



Bir sistem için enerji ve entropi dengeleri

Kapalı Sistem

$$\text{Kapalı sistem:} \quad \sum \frac{Q_k}{T_k} + S_{\dot{u}} = \Delta S_{\text{sistem}} = S_2 - S_1 \quad (\text{kJ/K})$$

Bir hal değişimi sırasında kapalı bir sistemin entropi değişimi, ısı geçişi ile sistem sınırından geçen net entropi ile sistem sınırı içinde üretilen entropinin toplamına eşittir.

Adyabatik kapalı sistem:

$$S_{\dot{u}} = \Delta S_{\text{adyabatik sistem}}$$

Sistem + Çevre:

$$S_{\dot{u}} = \sum \Delta S = \Delta S_{\text{sistem}} + \Delta S_{\text{çevre}}$$

$$\Delta S_{\text{sistem}} = m(s_2 - s_1)$$

$$\Delta S_{\text{çevre}} = Q_{\text{çevre}} / T_{\text{çevre}}$$

## Kontrol Hacimleri

$$\sum \frac{Q_k}{T_k} + \sum m_i s_i - \sum m_e s_e + S_{\text{üretim}} = (S_2 - S_1)_{\text{KH}} \quad (\text{kJ/K})$$

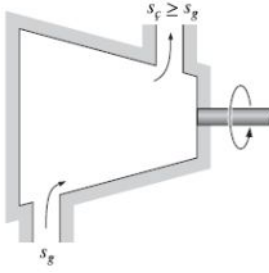
$$\sum \frac{Q_k}{T_k} + \sum \dot{m}_i s_i - \sum \dot{m}_e s_e + \dot{S}_{\text{üretim}} = dS_{\text{CV}}/dt \quad (\text{kW/K})$$

$$\text{Sürekli Akım:} \quad \dot{S}_{\text{üretim}} = \sum \dot{m}_e s_e - \sum \dot{m}_i s_i - \sum \frac{\dot{Q}_k}{T_k}$$

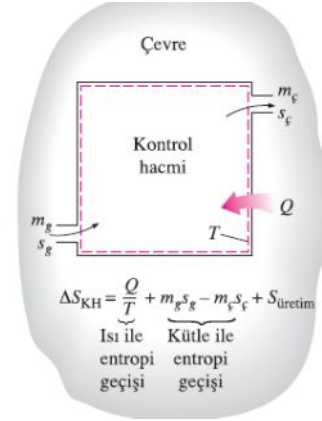
$$\text{Sürekli akım; tek akış:} \quad \dot{S}_{\text{üretim}} = \dot{m}(s_e - s_i) - \sum \frac{\dot{Q}_k}{T_k}$$

$$\text{Sürekli akım, tek akış, adyabatik:} \quad \dot{S}_{\text{üretim}} = \dot{m}(s_e - s_i)$$

Bir hal değişimi sırasında kontrol hacmi içindeki entropi değişimi miktarı; ısı geçişi ile kontrol hacmi sınırında gerçekleşen entropi geçişinin miktarı ve kontrol hacmi içine kütle akışı ile entropi geçişinin net miktarı ile tersinmezliklerin bir sonucu olarak kontrol hacmi içindeki entropi üretimi miktarının toplamına eşittir.



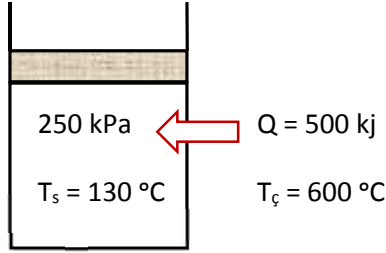
Bir maddenin entropisi tek-aklı, adyabatik, sürekli akılı düzeneklerin içinden akarken daima artar (yada tersinir bir halde i imi durumunda sabit kalır).



Bir kontrol hacminin entropi de i imi ısı transferi kadar kütle akı ının da bir sonucudur.

**S-1)** Bir silindir-piston çiftinde 250 kPa ve 130 °C'de su, doymuş sıvı olarak bulunmaktadır. 600 °C'deki ortamdan silindire 500 kJ ısı verilerek bir kısmı buharlaştırılmaktadır. Buna göre, **a-** Suyun entropisindeki değişmeyi, **b-** Ortamın entropisindeki değişmeyi, **c-** Bu işlemin tersinir, tersinmez veya mümkün olup olmadığını belirleyiniz.

**C-1)**



$$a) \Delta S_{su} = \frac{\delta Q}{T_{su}} = \frac{500 \text{ kJ}}{403 \text{ K}} = 1.24 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$

$$b) \Delta S_{\text{çevre}} = \frac{\delta Q}{T_{\text{ç}}} = \frac{-500 \text{ kJ}}{873 \text{ K}} = -0.5727 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$

$$c) \Delta S_{\text{top}} = \Delta S_{su} + \Delta S_{\text{çevre}} = 1.24 - 0.5727 = 0.6672 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$

$\Delta S_{\text{top}} > 0$  olduğundan tersinmez işlem

**S-2)** **a-** Entropinin artma prensibini kısaca açıklayınız.

**b-** Bir buhar güç çevriminde gerçek çevrimi ideal çevrimden ayıran sebepleri yazıp, T-s (Sıcaklık-Entropi) diyagramında farklılıkları gösteriniz.

**c-** İzentropik işlem ve adyabatik verim ifadelerini kısaca açıklayınız.

**d-** Entropi nedir? Entropiyi kısaca anlatınız.

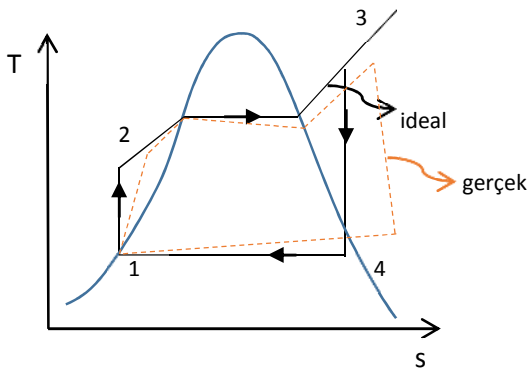
C-2)

a) Bir sistem ve çevresi beraber düşünülduğünde toplam entropi artar.

$$\Delta S_{Top} = \Delta S_{Sistem} + \Delta S_{Çevre} \geq 0 \quad \left. \begin{array}{l} = 0 \text{ Tersinir} \\ > 0 \text{ Tersinmez} \\ < 0 \text{ İmkansız} \end{array} \right\}$$

b) 1- İç sürtünmeler (basınç kaybı)

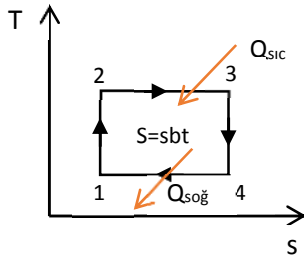
2- Isı transferi (ısı kayıpları)



c) Tersinir adyabatik işleme izentropik işlem denir.

Adyabatik verim, gerçek işlemlerin ideal işlemlerden sapmanın bir ölçümüdür veya gerçek makinanın ideal makinaya sayısal olarak ne kadar yaklaştığını gösterir.

d) İki izentropik ve iki izotermal olmak üzere dört işlemde meydana gelmektedir.



1-2 : İzentropik sıkıştırma

2-3 : İzotermal işlemde ısı transferi

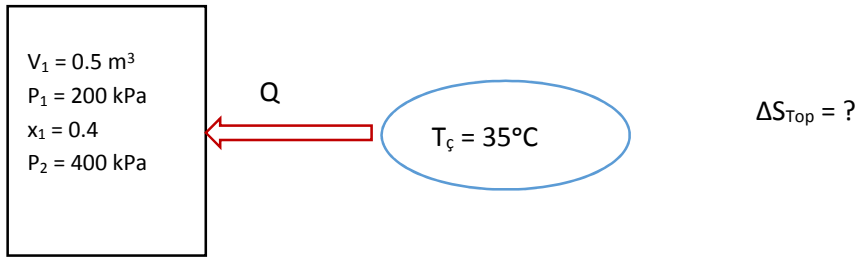
3-4 : İzentropik genişleme

4-1 : İzotermal işlemde ısı transferi

e) Entropi bir özelliktir. Mikroskopik düzeyde moleküllerin düzensizliği ve intizamsızlığının bir ölçüsüdür. Entropi, tersinmezliklerin sayısal olarak belirleyen bir özelliktir. İşlem yolunun foksiyonu değildir.

**S-3)** 0.5 m<sup>3</sup> hacminde rijit bir tank içerisinde 200 kPa basınçta ve x=0.4 kuruluk derecesinde Freon-12 soğutucu akışkanı bulunmaktadır. 35 °C sıcaklıktaki bir ortamdan soğutucu akışkana basıncı 400 kPa oluncaya kadar ısı transfer edilmiştir. Buna göre, **a-** Soğutucu akışkanın entropisindeki değişmeyi, **b-** Ortamın entropisindeki değişmeyi, **c-** Bu işlem boyunca meydana gelen toplam entropideki değişmeyi hesaplayınız.

**C-3)**



I.Durum

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 0.2 \text{ MP} \\ x_1 = 0.4 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Doymuş sıvı-buhar karışım tablosundan} \\ v_f = 0.0006862 \text{ , } v_g = 0.08354 \text{ m}^3/\text{kg} \\ u_f = 24.43 \text{ , } u_g = 165.35 \text{ kJ/kg} \\ s_f = 0.0992 \text{ , } s_g = 0.70135 \text{ kJ/kgK} \end{array}$$

$$v_1 = v_f + x_1 * v_{fg} = 0.0006862 + 0.4 * (0.08354 - 0.0006862) = 0.03382772 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$u_1 = u_f + x_1 * (u_f - u_g) = 80.802 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$s_1 = s_f + x_1 * (s_g - s_f) = 0.34092$$

$$m = \frac{V_1}{v_1} = \frac{0.5 \text{ m}^3}{0.03382772 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}} = 14.7807 \text{ kg}$$

II.Durum

$$\left. \begin{array}{l} v_1 = v_2 = 0.03382772 \text{ m}^3/\text{kg} \\ P_2 = 0.4 \text{ MP} \end{array} \right\} \begin{array}{l} P_2 = 0.4 \text{ MP} \text{ için} \\ v_f = 0.0007299 \text{ , } v_g = 0.04321 \text{ } \left. \vphantom{\begin{array}{l} v_f = 0.0007299 \\ v_g = 0.04321 \end{array}} \right\} v_f < v_2 < v_g \text{ olduğundan karışım böl.} \\ u_f = 43.35 \text{ , } u_g = 173.69 \\ s_f = 0.1691 \text{ , } s_g = 0.6929 \end{array}$$

$$v_2 = v_f + x_2 * (v_g - v_f) \Rightarrow x_2 = \frac{v_2 - v_f}{v_g - v_f} = \frac{0.03382772 - 0.0007299}{0.04321 - 0.0007299}$$

$$x_2 = 0.7791$$

$$u_2 = u_f + x_2 * (u_g - u_f) = 144.898 \frac{kJ}{kg}$$

$$s_2 = s_f + x_2 * (s_g - s_f) = 0.5771 \text{ kJ/kgK}$$

$$\text{a) } \Delta S_{R-12} = m * (s_2 - s_1) = 14.7807 \text{ kg} * 0.23618 \frac{kJ}{kgK} = 3.4909 \frac{kJ}{K}$$

$$\text{b) } Q - \dot{W} = m * \Delta U \Rightarrow Q = m * (u_2 - u_1) = 14.7807 \text{ kg} * 64.096 \text{ kJ/kg}$$

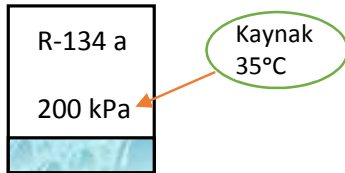
$$Q = 947.384 \text{ kJ}$$

$$\Delta S_{\text{çevre}} = -\frac{Q}{T_{\text{çevre}}} = -\frac{947.38}{35 + 273} = -3.07592$$

$$\text{c) } \Delta S_{\text{Top}} = \Delta S_{R-12} + \Delta S_{\text{çevre}} = 0.41498 > 0 \text{ olduğundan Tersinmez işlem.}$$

**S-4)** İyi izole edilmiş bir rijit tank içerisinde 100 kpa basınçta 2 kg su-buhar karışımı bulunmaktadır. Başlangıçta tanktaki karışımın 1/3'ünün sıvı olduğu bilinmektedir. Daha sonra tanka bir elektrik rezistansı yerleştirilerek tanktaki sıvının tümü buharlaştırılmaktadır. Son durumdaki basınç değerini bulup, bu işlem boyunca meydana gelen entropi değişimini hesaplayınız.

**C-4)**



a)

$$P_1 = 200 \text{ kPa}$$

$$x_1 = 0.4$$

$$u_1 = u_f + x_1 * u_{fg} = 38.28 + 0.4 * 186.21 = 112.76 \text{ kJ/kg}$$

$$s_1 = s_f + x_1 * s_{fg} = 0.15457 + 0.4 * 0.78316 = 0.4678 \text{ kJ/kgK}$$

$$v_1 = v_f + x_1 * v_{fg} = 0.0004533 + 0.4 * (0.099867 - 0.0007533)$$

$$v_1 \Rightarrow 0.4040 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$P_2 = 400 \text{ kPa}$$

$$v_2 = v_1$$

$$x_2 = \frac{v_2 - v_f}{v_{fg}} = \frac{0.4040 - 0.0007907}{0.051201 - 0.0007907} = 0.7857$$

$$u_2 = u_f + x_2 * u_{fg} = 63.62 + 0.7857 * 171.45 = 198.34 \text{ kJ/kg}$$

$$s_2 = s_f + x_2 * s_{fg} = 0.24761 + 0.7857 * 0.67929 = 0.7813 \text{ kJ/kgK}$$

$$m = \frac{V}{v_1} = \frac{0.5 \text{ m}^3}{0.04040 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}} = 12.38 \text{ kg}$$

$$\Delta S_{\text{sistem}} = m * (s_2 - s_1) = 12.38 \text{ kg} * (0.7813 - 0.4678) \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} = 3.880 \text{ kJ/K}$$

$$\text{b) } \Delta E_{\text{sistem}} = E_{\text{giren}} - E_{\text{çıkan}}$$

$$Q_{\text{giren}} = m * (u_2 - u_1) = 12.38 \text{ kg} * (198.34 - 112.76) = 1059 \text{ kJ}$$

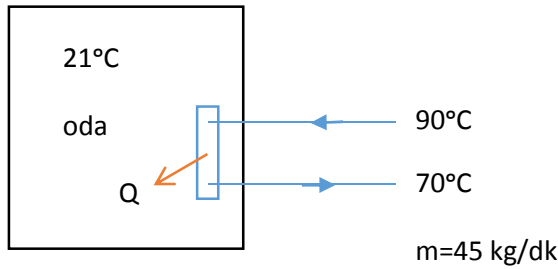
$$Q_{\text{giren}} = -Q_{\text{kaynak, çıkış}} = 1059 \text{ kJ}$$

$$\Delta S_{\text{kaynak}} = -\frac{Q_{\text{kaynak, çıkış}}}{T_{\text{kaynak}}} = -\frac{1059 \text{ kJ}}{308 \text{ K}} = -3.439 \text{ kJ/K}$$

$$\text{c) } \Delta S_{\text{toplam}} = \Delta S_{\text{sistem}} - \Delta S_{\text{kaynak}} = 3.880 + (-3.439) = 0.442 \text{ kJ/K}$$

**S-5)** Bir bina kış şartlarında 21°C sabit sıcaklıkta tutulmak istenmektedir. Bu amaçla merkezi ısıtma sistemi kullanılmaktadır. Bina içindeki radyatörlere, dakikada 5 kg debi ile giren su, başlangıçta 90 °C'de (doymuş sıvı) iken çıkışta 70 °C'ye düşmektedir. Buna göre; **a)** Sudaki entropi değişimini **b)**, Binanın entropi değişimini **c)** Bu işlem için toplam entropi değişimini hesaplayınız. Bu işlemin entropinin artma prensibine uyup uymadığını belirleyiniz.

**C-5)**



**I. Durum**

$$T_1 = 90^\circ \text{C} \Rightarrow h_1 = h_f = 377.04 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$s_1 = s_f = 1.1929 \text{ kJ/kgK}$$

**II. Durum**

$$T_2 = 70^\circ \text{C} \Rightarrow h_2 = h_f = 293.07 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$s_2 = s_f = 0.9551 \text{ kJ/kgK}$$

Radyatör için T.D.I kanunu

$$Q - W = \dot{m} * (h_2 - h_1) = 5 \frac{kg}{dk} * (293.07 - 377.04) = 6.91 kW$$

$$\Delta S_{su} = (s_2 - s_1) * \dot{m} = 5 \frac{kg}{dk} * \frac{1dk}{60sn} * (0.9551 - 1.1929) \frac{kJ}{kgK}$$

$$\Delta S_{su} = -0.0198 \frac{kJ}{Ks}$$

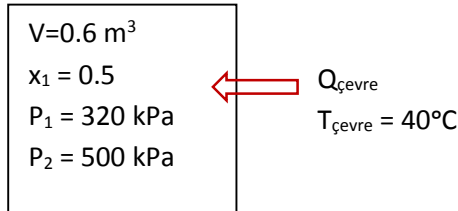
$$\Delta S_{\text{çevre}} = \frac{Q_{\text{çevre}}}{T_{\text{çevre}}} = \frac{6.91}{(21 + 273)K} = 0.0235 kJ/Ks$$

$$\Delta S_{\text{toplam}} = \Delta S_{su} + \Delta S_{\text{çevre}} = -0.0198 + 0.0235 = 0.0037$$

$\Delta S_{\text{toplam}} > 0$  Artma prensibine uyar.

**S-6)** 0.6 m<sup>3</sup> hacminde rijit bir tank içerisinde 320 kPa basınçta ve x=0.5 kuruluk derecesinde Freon-12 soğutucu akışkanı bulunmaktadır. 40 °C sıcaklıktaki bir ortamdan soğutucu akışkana basıncı 500 kPa oluncaya kadar ısı transfer edilmiştir. Buna göre, **a-** Soğutucu akışkanın entropisindeki değişmeyi, **b-** Ortamın entropisindeki değişmeyi, **c-** Bu işlem boyunca meydana gelen toplam entropideki değişmeyi hesaplayınız.

**C-6)**



I. Durum

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 0.32 MP \\ x_1 = 0.5 \end{array} \right\} v_1 = v_f + x_1 * v_{fg} = 0.02711385 m^3/kg$$

$$m = \frac{V}{v_1} \Rightarrow m = 22.13 kg$$

$$u_1 = u_f + x_1 * u_{fg} = 103.865 kJ/kg$$

$$s_1 = s_f + x_1 * s_{fg} = 0.42085 kJ/kgK$$

II. Durum

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 0.5 MP \\ v_1 = v_2 \end{array} \right\} x_2 = \frac{0.027114 - 0.0007438}{0.03482 - 0.0007438} = 0.7739$$



$$u_2 = u_f + x_2 * u_{fg} = 148.05 \frac{kJ}{kg} \quad , \quad s_2 = 0.5777 \frac{kJ}{kgK}$$

$$Q = m * (u_2 - u_1) = 977.84 \text{ kJ} = Q_{\text{çevre}}$$

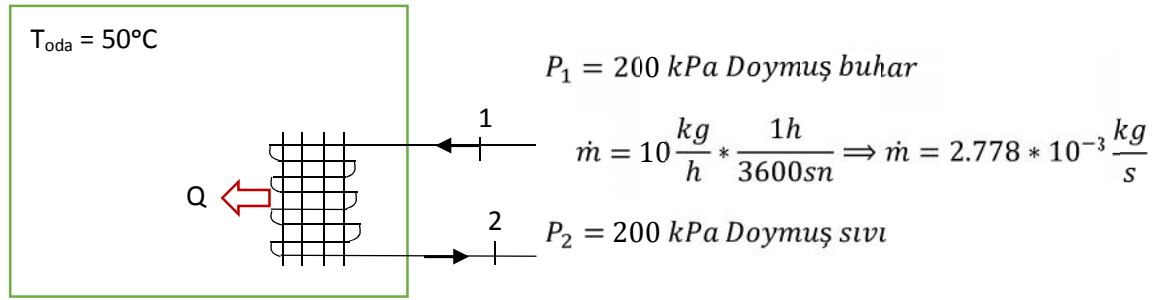
$$a) \Delta S_{R-12} = m * (s_2 - s_1) = 3.47 \text{ kJ/K}$$

$$b) \Delta S_{\text{çevre}} = \frac{Q_{\text{çevre}}}{T_{\text{çevre}}} = -\frac{977.84 \text{ kJ}}{40+273K} = -3.124 \text{ kJ/K}$$

$$c) \Delta S_{\text{top}} = \Delta S_{R-12} + \Delta S_{\text{çevre}} = 0.3459 \frac{kJ}{K} \text{ Tersinmez işlem}$$

**S-7)** Bir araştırmacı bir test odasının sıcaklığını 50 °C tutmak için içerisinden saate 10 kg su buharı geçen bir serpantin (plakalı ısı değıştiricisi) kullanmaktadır. Su buharı, serpantine 200 kPa doymuş buhar olarak girmekte ve serpantinden doymuş sıvı olarak çıkmaktadır. Buna göre; **a)** Test odasına olan ısı transferini, **b)** Su buharının entropisindeki değışimi, **c)** Test odasının entropisindeki değışimi **d)** Bu işlem için toplam entropideki değışimi hesaplayınız.

**C-7)**



a) T.D.I. Kanunu Serpantine uygulanırsa

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} * (h_2 - h_1)$$

I.Durum

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 200 \text{ kPa} \\ \text{Doymuş buhar} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_1 = h_g = 2706.3 \text{ kJ/kg} \\ s_1 = s_g = 7.1270 \text{ kJ/kgK} \end{array}$$

II.Durum

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 200 \text{ kPa} \\ \text{Doymuş sıvı} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_2 = h_f = 504.71 \text{ kJ/kg} \\ s_2 = s_f = 1.5302 \text{ kJ/kgK} \end{array}$$

$$\dot{Q} = \dot{m} * (h_2 - h_1) = 2.778 \frac{kg}{s} * (2706.3 - 504.71) \frac{kJ}{kg} * 10^{-3}$$

$$\dot{Q} = 6.116 \frac{kJ}{s} = 6.12 \text{ kW}$$

$$b) \Delta S_{su} = S_2 - S_1 = \dot{m} * (s_2 - s_1) = 2.778 * 10^{-3} \frac{kg}{s} * (7.1270 - 1.5302) \text{ kJ/kgK}$$

$$\Delta S_{su} = -0.015623 \text{ kJ/sK}$$

$$c) \Delta S_{\text{çevre}} = \frac{Q_{\text{çevre}} = \dot{Q}}{T_{\text{çevre}} = T_{\text{oda}}} = \frac{6.116 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{(50+273)\text{K}} = 0.018935$$

$$\Delta S_{\text{toplam}} = \Delta S_{\text{su}} + \Delta S_{\text{çevre}} = -0.015623 + 0.018935 = 0.003312 \frac{\text{kJ}}{\text{sK}} > 0$$

Olduğundan Entropinin artma prensibine uyuyor.

**S-8)** Sabit hacimli kapalı bir kap bir perdeyle iki eşit bölmeye ayrılmıştır. Başlangıçta bölmelerin birinde 300 kPa ve 60 °C'de 1.5 kg su, diğerinde ise vakum bulunmaktadır. Perde kaldırıldığında kabın tümü su ile dolmakta ve basınç 15 kPa olmaktadır. Buna göre suyun entropisindeki değişimi hesaplayınız.

**C-8)**

$P_1 = 300 \text{ kPa}$ $T_1 = 60^\circ\text{C}$ $m = 1.5 \text{ kg}$	Vakum
---	-------

$$v_1 = v_f = 0.001017 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}, \quad s_1 = s_f = 0.8312 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$V_1 = v_1 * m = 0.001525 \text{ m}^3$$

$$V_{\text{son}} = V_2 = 0.003051 \text{ m}^3$$

$$P_2 = 15 \text{ kPa}$$

$$v_2 = \frac{V_2}{m} = 0.002034 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$P_2 = 15 \text{ kPa} \Rightarrow v_f = 0.001014, v_g = 10.02$$

$$s_f = 0.7549, \quad s_{fg} = 7.2536$$

$$x_2 = \frac{0.002034 - 0.001014}{10.02 - 0.001014} \Rightarrow x_2 = 0.0001018$$

$$s_2 = s_f + x_2 * s_{fg} \Rightarrow s_2 = 0.7556$$

$$S_2 - S_1 = m * (s_2 - s_1) = -0.04556 * 1.5 = -0.1134$$

**S-9)** Bir ısı değiştiricisine 1 MPa basınçta doymuş buhar olarak saate 10 kg su buharı girmekte ve çevre havasına ısı vererek tamamı doymuş sıvı olarak çıkmaktadır. Buna göre; **a)** Birim zamanda suyun entropisindeki değişimi **b)** Çevre sıcaklığı 23 °C ise çevre havasında meydana gelen entropi değişimini, **c)** Toplam entropideki değişimi hesaplayıp yorumlayınız?

**C-9)****I Durum**

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 1 \text{ MP} \\ \text{Doymuş buhar} \\ m = 10 \text{ kg} \\ T_{\text{çev}} = 23 \text{ C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_g = h_1 = 2777,1 \text{ kJ/kg} \\ s_g = s_1 = 6,5850 \text{ kJ/kgK} \end{array}$$

**II Durum**

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 1 \text{ MP} \\ \text{Doymuş sıvı} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_f = h_2 = 762,51 \text{ kJ/kg} \\ s_f = s_2 = 2,1381 \text{ kJ/kgK} \end{array}$$

$$a) \Delta s = m(s_2 - s_1) = -0.01235 \text{ kJ/K}$$

$$b) E_g - E_{\dot{c}} = \Delta E_{\text{sistem}}$$

$$Q_{\dot{c}} = \dot{m}(h_2 - h_1) = 2014.6 \text{ kJ/h} = 5.596 \text{ kJ/s}$$

$$\Delta s_{\text{çevre}} = \frac{Q}{T_{\text{ortam}}} = 68,06 \text{ kJ/hK} = 0.0189 \text{ kJ/sK}$$

$$c) \Delta s = \Delta s_{\text{ortam}} + \Delta s_{\text{sistem}} \rightarrow \Delta s = 23,59 \frac{\text{kJ}}{\text{hK}} = +0.00655 \text{ kJ/sK} > 0 \text{ olduğundan tersinmez işlem, mümkün. Entropinin artma prensibine uygundur.}$$

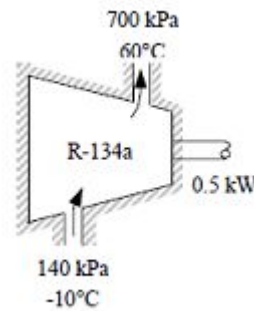
**S-10)** 140 kPa ve  $-10^\circ\text{C}$  sıcaklığındaki R-134a, 0.5 kW gücündeki adyabatik bir kompresörde 700 kPa ve  $60^\circ\text{C}$ 'ye sıkıştırılmaktadır. Kinetik ve potansiyel enerji değişimlerini ihmal edip çevre sıcaklığının  $27^\circ\text{C}$  olduğunu kabul ederek, kompresörün; **a-)** izentropik (adyabatik) verimini **b-)** ikinci yasa verimini hesaplayınız.

**C-10)****I Durum**

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 140 \text{ MP} \\ T_1 = -10^\circ\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_1 = 246,36 \text{ kJ/kg} \\ s_1 = 0,97236 \text{ kJ/kgK} \\ v_1 = 0,14606 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \end{array}$$

**II Durum**

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 700 \text{ kPa} \\ T_2 = 60^\circ\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_2 = 298,42 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ s_2 = 1,0256 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \end{array}$$



$$s_{2s} = s_1 \Rightarrow h_{2s} = 281,16 \frac{kJ}{kg}$$

$$a) \eta_T = \frac{h_{2s} - h_1}{h_{2g} - h_1} = \frac{281,16 - 246,36}{298,42 - 246,36} = 0,668 \text{ (%66.8)}$$

$$b) E_g - E_c = \Delta E_{sistem}$$

$$\dot{W}_{g,g} = \dot{m}(h_{2g} - h_1) \rightarrow \dot{m} = 0,009603 \text{ kg/s}$$

$$\dot{W}_{tr} = \dot{m}(\varphi_2 - \varphi_1) \rightarrow \dot{W}_{tr} = \dot{m}((h_2 - h_1) - T_0(s_2 - s_1) - \Delta ke - \Delta pe)$$

$$\dot{W}_{tr} = 0,009603 \frac{kg}{s} \left( (298,42 - 246,36) \frac{kJ}{kg} - 300K(1,0256 - 0,97236) \frac{kJ}{kgK} \right) = 0,347$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{W}_{g,g}}{\dot{W}_{ter}} = \frac{0,347}{0,5} = 0,693 \text{ (%69.3)}$$

**S-11)** Yalıtılmış bir tankta 100 kPa basınçta ve kütlelerinin %75'i sıvı fazda olan 2 kg su bulunmaktadır. Daha sonra kabın içinde bulunan bir elektrikli ısıtıcı ile suyun tamamı buharlaştırılmaktadır. Hal değişimi sırasındaki entropi değişimini hesaplayınız.

$$\text{C-11) } x = 0.25 \quad S_1 = S_f + x * S_{fg} = 1.3028 + (0.25) * (6.0562) = 2.8168 \frac{Kj}{kgK}$$

$$V_1 = V_2 \text{ (Doymuş buhar) } \rightarrow S_2 = 6.8649 \frac{Kj}{kgK}$$

$$\Delta S = m (S_2 - S_1) = 2 (6.8649 - 2.8168) = 8.1 \frac{Kj}{K}$$

**S-12)** Başlangıçta 6 MPa ve 350°C' de bulunan 2.5 kg hava bir silindir içerisinde tersinir izotermal olarak 0.15 MPa basıncına kadar genişletilmektedir.

a) İşlem boyunca yapılan işi

b) Havanın entropisindeki değişmeyi hesaplayınız.

$$\text{C-12) a) } W_{12} = m * R * T_1 * \ln\left(\frac{P_1}{P_2}\right)$$

$$W_{12} = 2.5 \text{ kg} * 0.287 \frac{kJ}{kgK} * 623 \text{ K} * \ln\frac{6}{0.15} = 1649.34 \text{ kJ}$$

$$b) \Delta s = \frac{\delta Q}{T_1} = \frac{(W_{12}=Q_{12})}{T_1} = \frac{1649.34}{623K} = 2.6468 \frac{kJ}{kg}$$

**S-13)** 0.5 m<sup>3</sup> hacmindeki bir rijit tankta 200 kPa ve %40 kuruluk derecesinde Freon-12 bulunmaktadır. Basınç 400 kPa oluncaya kadar 35°C deki bir ısı kaynağından tanka ısı transfer edilmektedir. Buna göre;

- Freon-12 nin entropisindeki değişmeyi
- Isı kaynağının entropisindeki değişmeyi
- Toplam entropideki değişmeyi hesaplayınız.

**C-13) I.Durum**

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 200 \text{ kPa} \\ x_1 = 0.4 \end{array} \right\} \text{ doymuş sıvı buhar tablosundan} \quad \begin{array}{l} v_s = 0.0006862, v_b = 0.08354 \\ s_s = 0.0992, s_b = 0.7035 \\ u_s = 24.43, u_b = 165.36 \end{array}$$

$$v_1 = v_s + x_1 * (v_b - v_s) = 0.033827 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}, \quad m_1 = \frac{V}{v_1} = 14.781 \text{ kg}$$

$$u_1 = u_s + x_1 * (u_b - u_s) = 30.802 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$s_1 = s_s + x_1 * (s_b - s_s) = 0.34092 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

**II.Durum**

$$\left. \begin{array}{l} v_1 = v_2 \\ P_2 = 600 \text{ kPa} \end{array} \right\} \text{ doymuş sıvı-buhar tablosundan} \quad \begin{array}{l} v_s = 0.0007299, v_b = 0.04321 \\ u_s = 43.34, u_b = 173.69 \\ s_s = 0.1691, s_b = 0.6928 \end{array}$$

$$0.033827 = v_s + x_2 * (v_b - v_s) \Rightarrow x_2 = 0.77912$$

$$u_2 = u_s + x_2 * u_{sb} = 144.88$$

$$s_2 = s_s + x_2 * (s_b - s_s) = 0.57912$$

$$\text{a) } \Delta S_{R-12} = S_2 - S_1 = m * (s_2 - s_1) = 14.781 * 0.23614 = 3.49044 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$

$$\text{b) } Q = m * \Delta u = 14.781 * 64.078 = 947.1428 \text{ kJ}$$

$$\Delta S_{\text{çev}} = -\frac{Q}{T} = \frac{-947.1428}{35 + 273} = -3.07513 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$

$$\text{c) } \Delta S_{\text{Top}} = \Delta S_{R-12} + \Delta S_{\text{çev}} = 0.4153 > 0$$

**S-14)** Carnot çevrimine göre çalışan bir ısı makinasında, izotermal ısı atılması işlemi boyunca, çalışma akışkanının entropi değişimi -0.6 kJ/K dir. Eğer çevre sıcaklığı 30°C ise;

- Çevreye transfer edilen ısı miktarını,
- Çevrenin entropisindeki değişimi,
- Bu işlem için toplam entropideki değişmeyi hesaplayınız.

**C-14)**

$$a) \Delta S = \frac{\delta Q_{\text{çevre}}}{T_{\text{çevre}}} \Rightarrow -0.6 \frac{\text{kJ}}{\text{K}} = \frac{\delta Q_{\text{çevre}}}{30+273}$$

$$Q_{\text{çevre}} = 181.8 \text{ kJ}$$

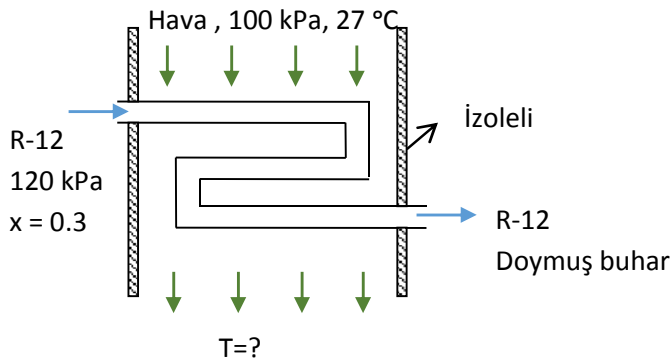
$$b) \Delta S_{\text{çevre}} = \frac{181.8 \text{ kJ}}{303} = 0.6 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$

$$c) \Delta S_{\text{toplam}} = \Delta S_{\text{çevre}} + \Delta S_{\text{soğakışkan}} = 0.6 - 0.6 = 0 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$

Tersinir işlemdir.

**S-15)** Hava pencere tipi bir ısı pompasının evaporatör bölgesine 100 kPa, 27 °C ve 6 m<sup>3</sup>/dk lık debiyle girmektedir. Freon-12 ise 120 kPa, x=0.3 ve 2 kg/dk 'lık debiyle evaporatörü doymuş buhar olarak terketmektedir. Isı pompasının cidarlarını adyabatik kabul ederek havanın evaporatörü bölgesinden çıkış sıcaklığını ve işlem boyunca toplam entropi değişimini hesaplayınız.

$$R_{\text{hava}} = 0.287 \text{ kJ/kgK} , C_{p, \text{hava}} = 1.005 \text{ kJ/kgK}$$

**C-15)**

$$\dot{v} = 6 \frac{\text{m}^3}{\text{dk}} = 0.1 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

$$P * v = R * T$$

$$P * \frac{1}{\rho} = R * T \Rightarrow \rho = \frac{100 \text{ kPa}}{0.287 * 300} = 1.1614 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\dot{m} = \frac{\dot{V}}{v} = \dot{V} * \rho \Rightarrow \dot{m}_{\text{hava}} = 0.11614 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\cancel{Q_{12}} - \cancel{W_{12}} = \Delta H + \cancel{\Delta KE} + \cancel{\Delta PE}$$

$$(\dot{m} * C_p * \Delta T)_{\text{hava}} + (\dot{m} * (h_2 - h_1))_{\text{R-12}} = 0$$

$$0.11614 * 1.0035 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * (T_2 - 27) = \dot{m} * (h_1 - h_2)_{\text{R-12}} \quad (1)$$

$$\begin{array}{l}
 P_1 = 120 \text{ kPa} \\
 x = 0.3
 \end{array}
 \left.
 \begin{array}{l}
 h_s = 12.66 \\
 h_{sb} = 163.48 \\
 s_s = 0.0526 \\
 s_b = 0.7133
 \end{array}
 \right\}$$

$$h_1 = h_s + x * h_{sb} = 61.704 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} , \quad h_2 = h_b = 176.14 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$s_1 = 0.25081 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} , \quad s_2 = s_b = 0.7133$$

$$\dot{m}_{R-12} = 2 \frac{\text{kg}}{\text{dk}} = 0.0333 \frac{\text{kg}}{\text{sn}}$$

(1) nolu denklemde yerine yazılırsa

$$0.11614 * 1.0035 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * (T_2 - 27) = \dot{m} * (h_1 - h_2)_{R-12}$$

$$T_2 - 27 = -32.679 \Rightarrow T_2 = -5.7 \text{ } ^\circ\text{C}$$

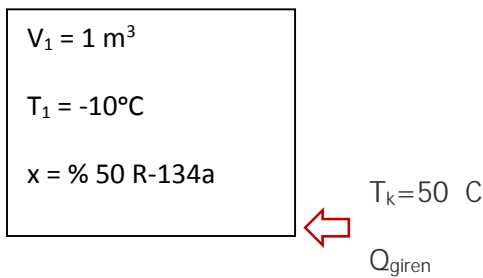
$$\Delta S_{R-12} = \dot{m} * \Delta S = 0.0333 \frac{\text{kg}}{\text{sn}} * 0.4629 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} = 0.015414 \frac{\text{kJ}}{\text{snK}}$$

$$\Delta S_{hava} = \oint \frac{\delta Q}{T} = \dot{m} * C_p * \ln \frac{T_2}{T_1} = 0.01347 \frac{\text{kW}}{\text{K}}$$

$$\Delta S_{toplam} = \Delta S_{R-12} + \Delta S_{hava} = 0.001944 \frac{\text{kW}}{\text{K}}$$

**S-16)** 1 m<sup>3</sup> sabit hacimli kapalı kaptaki başlangıçta -10 °C sıcaklık ve %50 kuruluk derecesinde R-134a soğutucu akışkanı bulunmaktadır. Bu kapa 50 °C'teki bir kaynaktan ısı verilmekte ve basınç 0.6 MPa olmaktadır. Buna göre; **a)** R-134a'nın entropisindeki değişimi, **b)** Kaynağın entropisindeki değişimi, **c)** Toplam entropideki değişimi, **d)** Bu işlemin entropinin artma prensibine uyup uymadığını belirleyiniz.

**C-16)**



Çözümlerde Yunus ÇENGEL termodinamik kitabı tabloları kullanılmıştır.

**I.Durum**

Tablc A-11 den

$$P_1 = 200 \text{ kPa}$$

$$v_f = 0,75 * 10^{-3} \text{ m}^3/\text{kg} \left. \vphantom{v_f} \right\} v_1 = v_f + x * v_{fg}$$

$$\begin{aligned}
 v_g &= 0,99 * 10^{-1} m^3/kg & v_1 &= 0,5051 * 10^{-1} m^3/kg \\
 v_{fg} &= 0,98 * 10^{-1} m^3/kg \\
 s_f &= 0,155 kJ/(kg * K) \\
 s_g &= 0,937 kJ/(kg * K) \\
 s_{fg} &= 0,782 kJ/(kg * K) \\
 u_f &= 38,4 kJ/kg \\
 u_g &= 224,54 kJ/kg \\
 u_{fg} &= 186,14 kJ/kg
 \end{aligned}
 \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \end{array} \right\} \begin{array}{l} s_1 = S_f + x * S_{fg} \\ s_1 = 0,546 kJ/(kg * K) \\ \\ u_1 = u_f + x * u_{fg} \\ u_1 = 131,4 kJ/kg \end{array}$$

## II. Durum

$$v_1 = v_2 = 0,5051 * 10^{-1} m^3/kg$$

$$v_2 > v_{g@0,6MPa} \quad (0,5051 * 10^{-1} m^3/kg > 0,35 * 10^{-1} m^3/kg) \quad (Tablo A - 13)$$

Kızgın Buhar Tablo A-13'den

<u>I</u>	<u>v</u>	<u>s</u>	<u>u</u>
110 °C	$0,4945 * 10^{-1} m^3/kg$	$1,18 kJ/(kg * K)$	$319,91 kJ/kg$
$\implies v_2$	$0,5051 * 10^{-1} m^3/kg$	$s_2 = ?$ (İnterpolasyon)	$u_2 = ?$ (İnterpolasyon)
120 °C	$0,5099 * 10^{-1} m^3/kg$	$1,20 kJ/(kg * K)$	$329,23 kJ/kg$

$$s_2 = 1,18 + (1,20 - 1,18) * (0,5051 - 0,4945)/(0,5099 - 0,4945)$$

$$s_2 = 1,19 kJ/(kg * K)$$

$$u_2 = 328,32 kJ/kg$$

**S-17)** Termodinamiğin I. Kanunu ve entropi tanımından yararlanarak; ideal gazlarda sistemin entropi değişiminin hesaplanmasında kullanılan aşağıdaki denklemleri türetiniz?

### C-17)

$$\Delta s_{sis} = s_2 - s_1 = C_v * \ln \frac{T_2}{T_1} + R * \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$\Delta s_{sis} = s_2 - s_1 = C_p * \ln \frac{V_2}{V_1} + C_v * \ln \frac{P_2}{P_1}$$



$$\Delta s_{sis} = s_2 - s_1 = C_p * \ln \frac{T_2}{T_1} - R * \ln \frac{P_2}{P_1}$$

$$dq = du + dw$$

$$Tds = C_v * dT + PdV$$

$$P * V = R * T \Rightarrow P * dV + V * dP = R * dT$$

$$dT = \frac{P * dV + V * dP}{R}$$

$$Tds = C_v * \frac{P * dV + V * dP}{R} + R * T * \frac{dV}{V}$$

$$ds = \frac{C_v}{R * T} * (P * dV + V * dP) + R * \frac{dV}{V}$$

$$ds = \frac{C_v}{P * V} * (P * dV + V * dP) + R * \frac{dV}{V}$$

$$ds = C_v + \frac{dV}{V} + C_v * \frac{dP}{P} + R * \frac{dV}{V}$$

$$ds = (C_v + R) * \frac{dV}{V} + C_v * \frac{dP}{P} \Rightarrow \int_1^2 ds = \int_1^2 C_p * \frac{dV}{V} + \int_1^2 \frac{dP}{P}$$

$$\Delta s_{sis} = s_2 - s_1 = C_p * \ln \frac{V_2}{V_1} + C_v * \ln \frac{P_2}{P_1}$$

$$Tds = C_v * dT + P * dV$$

$$ds = C_v * \frac{dT}{T} + R * \frac{dV}{V}$$

$$\int_1^2 ds = \int_1^2 C_v * \frac{dT}{T} + \int_1^2 R * \frac{dV}{V}$$

$$\Delta s_{sis} = s_2 - s_1 = C_v * \ln \frac{T_2}{T_1} + R * \ln \frac{V_2}{V_1}$$

$$P * V = R * T \Rightarrow Pdv * VdP = RdT$$

$$Tds = C_v dT + (dT - VdP)$$

$$Tds = (C_v + R)dT - VdP$$

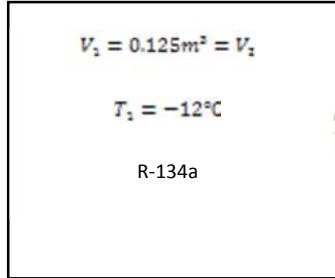
$$ds = C_p * \frac{dT}{T} - \frac{V}{T} * dP$$

$$\int_1^2 ds = \int_1^2 C_p * \frac{dT}{T} - \int_1^2 R * \frac{dP}{P}$$

$$\Delta s_{sis} = s_2 - s_1 = C_p * \ln \frac{T_2}{T_1} - R * \ln \frac{P_2}{P_1}$$

S-18)  $0.125 \text{ m}^3$  sabit hacimli kapalı kapta  $-12^\circ\text{C}$  sıcaklık ve 0.84 kuruluk derecesinde R-134a soğutucu akışkan bulunmaktadır. Bu kapta  $40^\circ\text{C}$ 'deki bir kaynaktan ısı verilmekte ve basınç 240 kPa olmaktadır. Buna göre; **a)** R-134a'nın entropisindeki değişimi, **b)** Kaynağın entropisindeki değişimi, **c)** Toplam entropideki değişimi, **d)** Bu işlemin entropinin artma prensibine uyup uymadığını belirleyiniz.

C-18)



$T_2 = 40^\circ\text{C}$

$$v_f = 0.0007498 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$v_g = 0.1068 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$s_f = 0.1388 \text{ kJ/kgK}$$

$$s_g = 0.9267 \text{ kJ/kgK}$$

$$u_f = 34.25 \text{ kJ/kg}$$

$$u_g = 220.36 \text{ kJ/kg}$$

$$v_1 = v_f + x_1 * v_{fg} = 0.0007498 + 0.84 * (0.1068 - 0.0007498) = 0.0893 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$m = \frac{V_1}{v_1} = \frac{0.125}{0.0893} = 1.3 \text{ kg}$$

$$s_1 = s_f + x_1 * s_{fg} = 0.1388 + 0.84 * (0.9267 - 0.1388) = 0.8 \text{ kJ/kgK}$$

$$u_1 = u_f + x_1 * u_{fg} = 34.25 + 0.84 * (220.36 - 34.25) = 190.58 \text{ kJ/kg}$$

2. Durum:

$$P_2 = 0.24 \text{ MPa}$$

$$v_1 = v_2 = 0.8983 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Kızgın Buhar

$$T_2 = 10^\circ\text{C}$$

$$u_2 = 236.26 \text{ kJ/kg}, s_2 = 0.9721 \text{ kJ/kgK}$$

$$\text{a) } \Delta S_{\text{sistem}} = m(s_2 - s_1) = 1.3(0.9721 - 0.8) = 0.22373 \text{ kJ/kgK}$$

$$\text{b) } Q - W = m(u_2 - u_1) = 1.3(236.26 - 190.58) = 59.384 \text{ kJ}$$

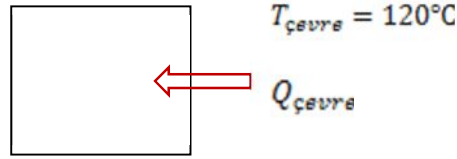
$$\Delta S_{\text{çevre}} = \frac{Q_{\text{çevre}}}{T_{\text{çevre}}} = \frac{-59.384}{40 + 273} = -0.18973 \text{ kJ/K}$$

$$\text{c) } \Delta S_{\text{top}} = \Delta S_{\text{sistem}} + \Delta S_{\text{çevre}} = 0.22373 - 0.18973 = 0.034 \text{ kJ/K}$$

$$\text{d) } \Delta S_{\text{top}} = 0.034 \text{ kJ/K} > 0 \text{ olduğundan tersinmez ve gerçek.}$$

S-19)  $121 \text{ m}^3$  hacmindeki 10 kg doymuş su buharı, 1 Mpa ve  $300^\circ\text{C}$  sıcaklığına getirmek için  $120^\circ\text{C}$ 'deki bir çevreden ısı alındığı iddia edilmektedir. Buna göre; **a)** Buharın entropisindeki değişimi, **b)** Çevrenin entropisindeki değişimi, **c)** Bu iddianın doğruluğunu entropinin artma (toplam entropi) prensibine göre irdeleyiniz.

C-19)

1.Durum:

$$V_2 = 121 \text{ m}^3$$

$$m = 10 \text{ kg}$$

$$v_1 = v_g = \frac{V_1}{m} = \frac{121}{10} = 12.1 \text{ m}^3/\text{kg}$$

Sıcaklık Tablosundan

$$T_1 = 50^\circ\text{C} \Rightarrow v_g = v_1 = 12.03 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$s_1 = s_g = 8.0771 \text{ kJ/kgK}$$

$$u_1 = u_g = 2443.5 \text{ kJ/kg}$$

2.Durum:

$$P_1 = 1 \text{ Mpa}$$

$$T_1 = 300^\circ\text{C}$$

Kızgın Buhar

$$s_2 = 7.1229 \text{ kJ/kgK}$$

$$u_2 = 2793.2 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta S_{\text{sistem}} = m(s_2 - s_1) = 10(7.1229 - 8.0771) = -9.542 \text{ kJ/K}$$

$$Q = m(u_2 - u_1) = 10(2793.2 - 2443.5) = +3497 \text{ kJ (Çevreye veriyor)}$$

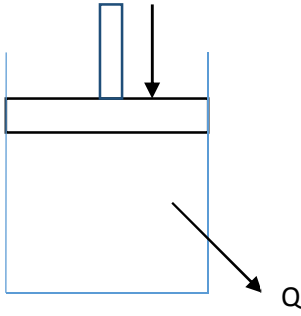
$$\Delta S_{\text{çevre}} = \frac{Q_{\text{çevre}}}{T_{\text{çevre}}} = \frac{-3497}{120 + 273} = -8.8982 \text{ kJ/K}$$

$$\Delta S_{\text{top}} = \Delta S_{\text{sistem}} + \Delta S_{\text{çevre}} = -9.542 - 8.8982 = -18.44 \text{ kJ/K}$$

$$\Delta S_{\text{top}} = 0.034 \text{ kJ/K} < 0 \text{ olduğundan imkansız bir işlem}$$

S-20) Bir piston silindir düzene inde ba langıçta 3 Mpa basınçta bulunan 5 kg doymu su buharı izobar hal de i imine u rarak tamamen sıvıla makt ve 27°C sıcaklıkta bulunan çevreye ısı kaybetmektedir. Buna göre; **a)** Sınır i i ve çevreye atılan ısı miktarını bulunuz, **b)** Sistemin entropisindeki de i imi, **c)** Çevrenin entropisindeki de i imi hesaplayınız, **d)** Bu iddianın do rulu unu enpropinin artma prensibine göre irdeleyiniz.

C-20)



$$T_{\text{çevre}} = 27^{\circ}\text{C} = 300\text{K}$$

1.Durum:

$$P_1 = 3 \text{ Mpa}$$

$$m = 5 \text{ kg (doymuş buhar)}$$

$$u_1 = u_g = 2603.2 \text{ kJ/kg}$$

$$v_1 = v_g = 0.066667 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$s_1 = s_g = 6.1856 \text{ kJ/kgK}$$

2.Durum:

$$P_1 = 3 \text{ Mpa}$$

$$m = 5 \text{ kg (doymuş su)}$$

$$u_2 = u_f = 1004.6 \text{ kJ/kg}$$

$$s_2 = s_f = 2.6454 \text{ kJ/kgK}$$

$$v_2 = v_f = 0.001217 \text{ m}^3/\text{kg}$$

$$a) \quad W_{12} = \int P dV = m \cdot P(V_2 - V_1)$$

$$W_{12} = 5 * 3000(0.001217 - 0.066667) = -981.75 \text{ kJ}$$

$$Q - W = \Delta U \Rightarrow Q = \Delta U + W = m(v_2 - v_1) + W_{12}$$

$$Q = 5(1004.6 - 2603.2) + (-981.75) = -8974.7 \text{ kJ}$$

$$b) \quad \Delta S_{\text{sistem}} = m(s_2 - s_1) = 5(2.6454 - 6.1856) = -17.7 \text{ kJ/K}$$

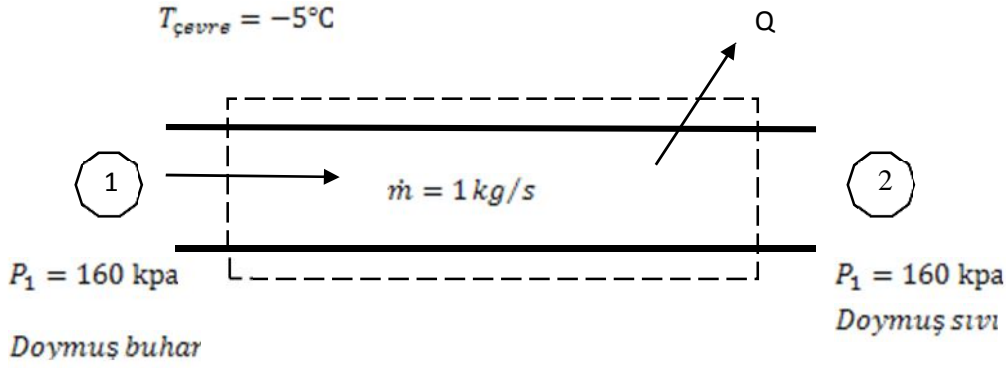
$$c) \quad \Delta S_{\text{çevre}} = \frac{Q_{\text{çevre}}}{T_{\text{çevre}}} = \frac{8974.7}{300} = 29.91 \text{ kJ/K}$$

$$d) \quad \Delta S_{\text{top}} = \Delta S_{\text{sistem}} + \Delta S_{\text{çevre}} = 29.91 - (-17.7) = -12.21 \text{ kJ/K}$$

$$\Delta S_{\text{top}} = 12.21 \text{ kJ/K} > 0 \text{ olduğundan iddia doğrudur.}$$

S-21) Bir ısı de i tiricisinin borularına, so utucu akı kan (R-134a) 1 kg/s debiyle ve 160 kPa sabit basınçta doymu buhar fazından girdi i ve doymu sıvı olarak ısı de i tiricisini terk etti i ve izobar i lemlerle gerçekleşen bu i lemlerde,  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  sabit sıcaklıktaki çevre havasına ısı transfer edildi i iddia edilmektedir. Verilen artlar altında; bu i lemin gerçekleşme ip gerçekleşme meyece ini, entropinin artma prensibini dikkate alarak belirleyiniz.

C-21)



1.Durum:

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 160 \text{ kPa} \\ \text{Doymuş buhar} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_1 = h_g = 237.97 \text{ kJ/kg} \\ s_1 = s_g = 0.9295 \text{ kJ/kgK} \end{array}$$

2.Durum:

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 3 \text{ Mpa} \\ \text{Doymuş Sıvı} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_2 = h_f = 29.78 \text{ kJ/kg} \\ s_2 = s_f = 0.1211 \text{ kJ/kgK} \end{array}$$

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m}(h_2 - h_1) = 1(29.78 - 237.97) = -208.19 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{\text{çevre}} = 208.19 \text{ kW}$$

$$\Delta S_{\text{sistem}} = \dot{m}(s_2 - s_1) = 1(0.1211 - 0.9295) = -0.8084 \text{ kW/K}$$

$$\Delta S_{\text{çevre}} = \frac{\dot{Q}_{\text{çevre}}}{T_{\text{çevre}}} = \frac{208.19 \text{ kW}}{(-5 + 273)\text{K}} = 0.7768 \text{ kW/K}$$

$$\Delta S_{top} = \Delta S_{sistem} + \Delta S_{çevre} = -0.8084 + 0.7768 = -0.316 \text{ kW/K}$$

$\Delta S_{top} = -0.0316 \text{ kW/K} < 0$  olduğundan böyle bir işlem mümkün değildir.

NOT:

$P = 160 \text{ kPa}$  için  $T_{doyma} = -15.62 \text{ °C}$ 'dir.

$T_{doyma} = -15.62 \text{ °C} < T_{çevre} = -5 \text{ °C}$  olduğundan çevreye ısı transferi mümkündür.

S-22) Bir ısı değiştiricisine 1 Mpa basınç, 200 °C sıcaklık ve 10 kg/h kütleli debide su buharı girmekte ve izobar işlemde 23 °C sıcaklıktaki çevre havasına ısı vererek tamamı doymuş sıvı olarak çıkmaktadır. Buna göre; a) Birim zamanda suyun entropisindeki değişimi b) Çevre havasında meydana gelen entropi değişimini, c) Toplam entropideki değişimi hesaplayınız?

C-22)

1. Durum:

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 1 \text{ Mpa} \\ T_1 = 200 \text{ °C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_1 = 2827.9 \text{ kJ/kg} \\ s_1 = 6.6740 \text{ kJ/kgK} \end{array}$$

2. Durum:

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 1 \text{ Mpa} \\ \text{Doymuş Sıvı} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_2 = h_f = 762.81 \text{ kJ/kg} \\ s_2 = s_f = 2.1389 \text{ kJ/kgK} \end{array}$$

$$\dot{m} = \frac{10 \text{ kg}}{h}$$

$$\dot{Q} = \dot{m}(h_1 - h_2) = \frac{10 \text{ kg}}{h} (2827.9 - 762.81) \text{ kJ/kg} = 20650.9 \text{ kJ/h}$$

$$a) \quad \Delta S_{sistem} = \dot{m}(s_2 - s_1) = \frac{10 \text{ kg}}{h} (2.1307 - 6.6940) = -45.63 \text{ kJ/K}$$

$$b) \quad \Delta S_{çevre} = \frac{Q_{çevre}}{T_{çevre}} = \frac{20650.9 \text{ kJ/h}}{(23+273)K} = 68.84 \text{ kJ/K}$$

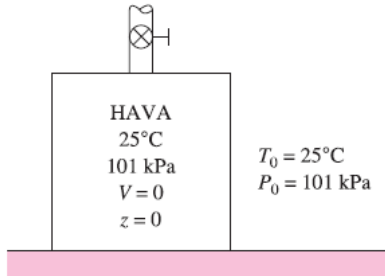
$$c) \quad \Delta S_{top} = \Delta S_{sistem} + \Delta S_{çevre} = -45.63 + 68.84 = 23.21 \text{ kJ/hK}$$

$\Delta S_{top} = 23.21 \text{ kJ/hK} > 0$  olduğundan tersinmez ve gerçek işlem.

## EKSERJİ: ENERJİNİN İŞ POTANSİYELİ

Belirli bir halde ve miktardaki enerjinin yararlı iş potansiyeli özeliğine *kullanılabilirlik* veya *kullanılabilir enerji* diye de bilinen *ekserji* denir.

Bir sistemin **ölü halde** olması, çevresi ile termodinamik dengede bulunması anlamına gelir.



Çevresiyle dengede bulunan bir sistem ölü haldedir.

Ölü haldeyken sistemden elde edilebilecek yararlı iş potansiyeli (kullanılabilirlik) sıfırdır.

*Bir sistem, belirli bir başlangıç halinden, çevresinin haline, yani ölü hale geçtiği bir tersinir hal değişimi geçirdiğinde, o sistemden en fazla iş elde edileceği sonucuna varırız.*

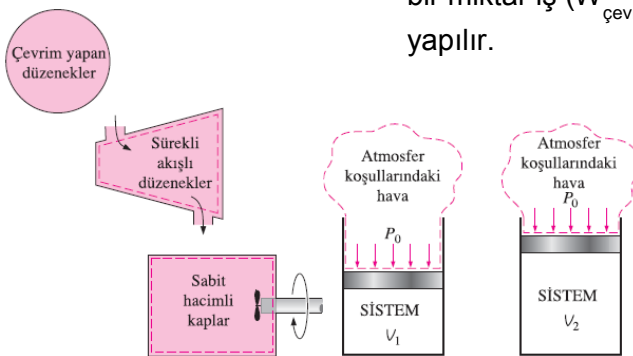
Bu, belirli bir haldeki sistemin *yararlı iş potansiyelini* temsil etmektedir ve ekserji olarak adlandırılır.

**Ekserji herhangi bir termodinamik yasanına karşı gelmeden, bir düzeneğin verebileceği işin miktarındaki üst sınırı temsil etmektedir.**

## TERSİNİR İŞ VE TERSİNMEZLİK

$$W_{\text{çevre}} = P_0(V_2 - V_1)$$

$$W_y = W - W_{\text{çevre}} = W - P_0(V_2 - V_1)$$

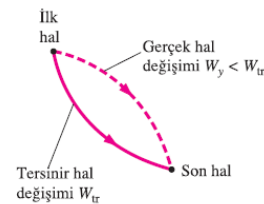


Kapalı bir sistemin genişlemesi sırasında çevre havayı itmek için bir miktar iş ( $W_{\text{çevre}}$ ) yapılır.

**Tersinir iş  $W_{\text{tr}}$ :** Bir sistem belirli bir başlangıç hali ve son hal arasında bir hal değişimi geçirdiğinde, üretilen yararlı işin en fazla miktarı (veya sağlanması gereken en az iş) olarak tanımlanır.

$$I = W_{\text{tr}, \text{ç}} - W_{y, \text{ç}}$$

$$I = W_{y, \text{g}} - W_{\text{tr}, \text{g}}$$



$$I = W_{\text{tr}} - W_y$$

Sabit hacimli sistemlerde gerçek ve yararlı işler aynıdır ( $W_y = W$ ).

Tersinir işle gerçek yararlı iş arasındaki fark tersinmezliktir.

## İKİNCİ YASA VERİMİ

$$\eta_{II} = \frac{\eta_{Isıl}}{\eta_{Isıl,tr}} \quad (\text{ısı makinaları})$$

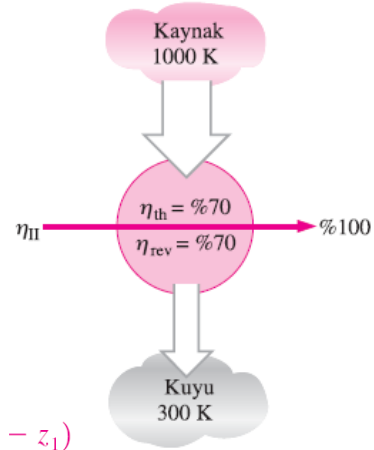
$$\eta_{II} = \frac{W_y}{W_{tr}} \quad (\text{iş üreten makinalar})$$

$$\eta_{II} = \frac{W_{tr}}{W_y} \quad (\text{iş tüketen makinalar})$$

$$\eta_{II} = \frac{COP}{COP_{tr}} \quad (\text{soğutma makinası ve ısı pompası})$$

$$\eta_{II} = \frac{\text{Elde edilen ekserji}}{\text{Sağlanan ekserji}} = 1 - \frac{\text{Ekserji yok oluşu}}{\text{Sağlanan ekserji}}$$

İkinci yasa verimi, bir makinenin ısı veriminin tersinir koşullarda sahip olabileceği ısı verime oranıdır.



Bir akışkanın ekserji değişimi

$$\Delta\psi = \psi_2 - \psi_1 = (h_2 - h_1) + T_0(s_2 - s_1) + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1)$$

Tüm tersinir makinelerin ikinci yasa verimi % 100'dür.

## EKSERJİNİN AZALMASI İLKESİ VE EKSERJİ YOK OLUŞU

Enerji dengesi:  $E_{giren}^0 - E_{çikan}^0 = \Delta E_{sistem} \rightarrow 0 = E_2 - E_1$

Entropi dengesi:  $S_{giren}^0 - S_{çikan}^0 + S_{üretim} = \Delta S_{sistem} \rightarrow S_{üretim} = S_2 - S_1$

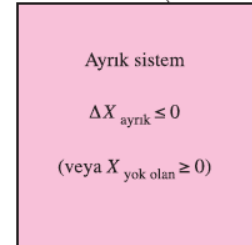
$$-T_0 S_{üretim} = E_2 - E_1 - T_0(S_2 - S_1)$$

$$\begin{aligned} X_2 - X_1 &= (E_2 - E_1) + P_0(V_2 - V_1) - T_0(S_2 - S_1) \\ &= (E_2 - E_1) - T_0(S_2 - S_1) \end{aligned}$$

$$-T_0 S_{üretim} = X_2 - X_1 \leq 0$$

$$\Delta X_{aynık} = (X_2 - X_1)_{aynık} \leq 0$$

Isı, iş veya kütle geçişi yok.



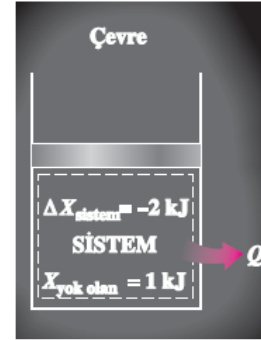
Ayrıık sistem, ekserjinin azalması ilkesinin gelişiminde göz önünde tutulur.



Bir hal değişimi boyunca ayırık bir sistemin ekserjisi her zaman azalır olarak veya sınırlı bir durum olan tersinir bir hal değişiminde sabit kalır. Başka bir deyişle, ekserji asla artmaz ve gerçek bir hal değişimi sırasında yok olur. Bu ekserjinin azalması ilkesi olarak bilinir.

$$X_{\text{yok olan}} = T_0 S_{\text{üretim}} \geq 0$$

$$X_{\text{yok olan}} \begin{cases} > 0 & \text{Tersinmez hal değişimi} \\ = 0 & \text{Tersinir hal değişimi} \\ < 0 & \text{Olanaksız hal değişimi} \end{cases}$$



Bir sistemin ekserji değişimi negatif olabilir, fakat ekserji yok oluşu negatif olamaz.

#### Tersinir İş, $W_{tr}$

Yukarıda verilen ekserji dengesi bağıntıları, ekserji yok oluşu sıfıra eşitlenerek, tersinir işi ( $W_{tr}$ ) belirlemek için kullanılabilir. Bu durumda  $W$  işi, *tersinir iş haline gelir*.

*Genel:*  $X_{\text{yok olan}} = 0$  olduğunda  $W = W_{tr}$

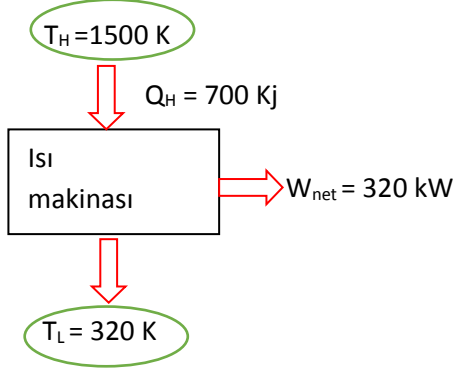
*Tek akım:*  $\dot{W}_{tr} = \dot{m}(\psi_1 - \psi_2) + \sum \left(1 - \frac{T_0}{T_k}\right) \dot{Q}_k$  (kW)

*Adyabatik, tek akım:*  $\dot{W}_{tr} = \dot{m}(\psi_1 - \psi_2)$

Ekserji yok oluşunun, sadece tersinir bir hal değişimi için sıfır olduğuna ve tersinir işin, türbinler gibi iş üreten düzenekler için en fazla iş çıktısını ve kompresörler gibi iş tüketen düzenekler için en az iş çıktısını temsil ettiğine dikkat edilmelidir.

**S-1)** Bir ısı makinesi 1500 K sıcaklığındaki bir kaynaktan ısı almakta, 320 K sıcaklığındaki bir ortama da ısı vermektedir. Sıcak kaynaktan makineye geçen ısı 700 kJ/s' dir. Isı makinesinin gücü 320 kW olarak ölçülmüştür. En düşük doğal çevre sıcaklığı 25 °C olduğuna göre; **a)** Birim zamanda elde edilebilecek tersinir işi, **b)** Birim zamanda oluşan tersinmezliği, **c)** Bu ısı makinesinin ikinci yasa verimini hesaplayın.

**C-1)**



$$\eta_{th,max} = \eta_{th,tersinir} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{320K}{1500K} = 0.787$$

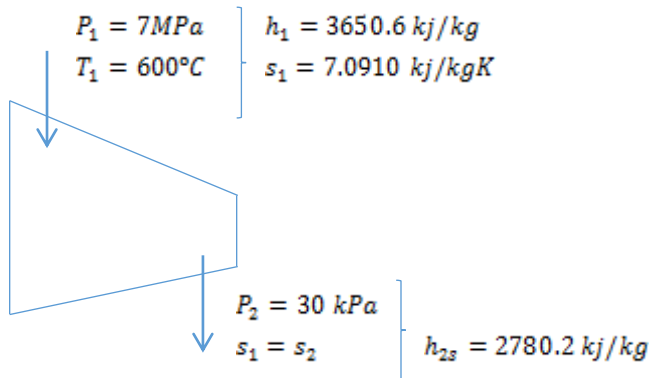
$$\dot{W}_{net,tersinir} = \eta_{th,tersinir} * \dot{Q}_{giren} = 0.787 * 700 \frac{kJ}{s} = 550.7 kW$$

$$b) I = \dot{W}_{net,tersinir} - \dot{W}_{net} = 550.7 - 320 = 230.7 kW$$

$$c) \eta_{II} = \frac{\dot{W}_{net}}{\dot{W}_{net,tersinir}} = \frac{320kW}{550.7kW} = \%58.1$$

**S-2)** Su buharı, 6 MW'lık adyabatik bir türbine 7 MPa basınç, 600 °C sıcaklık ve 80 m/s hızla girmekte, 50 kPa basınç, 150 °C sıcaklık ve 140 m/s hızla çıkmaktadır. Buna göre; **a)** Türbinden geçen buharın kütleli debisini, **b)** Türbinin izentropik verimini hesaplayınız.

**C-2)**



$$\dot{E}_{giren} = \dot{E}_{çıkan}$$

$$\dot{m} * \left( h_1 + \frac{V_1^2}{2} \right) = \dot{W}_{net} + \dot{m} * \left( h_2 + \frac{V_2^2}{2} \right)$$

$$\dot{W}_{net} = -\dot{m} * \left( h_2 - h_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} \right)$$

$$6000 \frac{kJ}{s} = -\dot{m} * (2780.2 - 3650.6 + \frac{140^2 - 80^2}{2}) * \frac{1 \frac{kJ}{kg}}{1000 \frac{m^2}{s^2}}$$

$$\dot{m} = 6.95 \text{ kg/s}$$

$$b) P_{2s} = 50 \text{ kPa} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \quad x_{2s} = \frac{s_2 - s_f}{s_{fg}} = \frac{7.0910 - 1.0912}{6.5019} = 0.9228$$

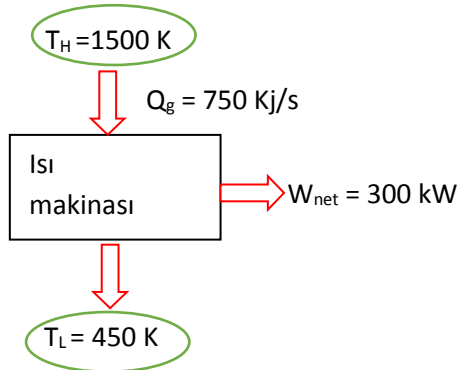
$$s_{2s} = s_1 \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \quad h_{2s} = h_f + x_{2s} * h_{fg} = 340.54 + 0.9228 * 2304.7 = 2467.3 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{W}_{net,s} = -\dot{m} \left( h_{2s} - h_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} \right)$$

$$\dot{W}_{net,tersinir} = - \left( 6.95 \frac{kg}{s} \right) * \left( 2467.3 - 3650.6 + \frac{140^2 - 80^2}{2} * \frac{1 \frac{kJ}{kg}}{1000 \frac{m^2}{s^2}} \right) = 8174 \text{ kW}$$

**S-3)** Bir ısı makinesi 1500 K sıcaklıktaki bir kaynaktan 750 KJ/s akımında ısı almakta ve 450 K sıcaklıktaki bir ortama vermektedir. Isı makinesinin çıkış gücü 300 kW değerindedir. Buna göre, **a)** Gerekli tersinir gücü, **b)** Birim zamanda oluşan tersinmezliği, **c)** Isı makinesinin ikinci yasa verimini hesaplayınız.

**C-3)**



$$a) \eta_{isil,tr} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{450}{1500} = 0.7$$

$$\eta_{isil,tr} = \frac{W_{tr}}{Q_g} \Rightarrow W_{tr} = \eta_{isil,tr} * Q_g$$

$$W_{tr} = 0.7 * 750 \frac{kJ}{s} = 525 kW$$

$$b) I = W_{tr} - W_{net} = 525 - 300 = 225 kW$$

$$c) \eta_{isil} = \frac{W_{net}}{Q_g} = \frac{300}{750} = 0.4$$

$$\eta_{II} = \frac{\eta_{isil}}{\eta_{isil,tr}} = \frac{0.4}{0.7} = 0.57$$

**S-4)** Buhar 3 kg/s ' lik bir debi ile adyabatik bir türbine 8 MPa ve 500°C ' de girmekte ve 30 kPa ' da türbini terketmektedir. Türbinin adyabatik verimi 0.9 olduğuna göre ; a) Türbinin çıkışındaki sıcaklığı, b) Türbinden elde edilen gerçek gücü hesaplayınız.

#### C-4

I.Durum

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 8 \text{ MPa} \\ T_1 = 500 \text{ }^\circ\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_1 = 3398.3 \text{ kJ/kg} \\ s_1 = 6.7240 \text{ kJ/kgK} \end{array}$$

II.Durum

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 30 \text{ kPa} \\ s_1 = C \end{array} \right\} \begin{array}{l} s_b = 7.7686 , s_{sb} = 6.8247 , s_s = 0.9439 \\ h_s = 289.23 , h_{sb} = 2336.1 \end{array}$$

$s_b > s_2$  olduğundan karışım bölgesi

$$x_2 = \frac{s_2 - s_s}{s_{sb}} = 0.8469$$

$$h_{2s} = h_s + x_2 * h_{sb} = 2267.673$$

$$\eta_T = \frac{h_1 - h_{2g}}{h_1 - h_{2s}} \Rightarrow 0.9 = \frac{3398.3 - h_{2g}}{3398.3 - 2267.673}$$

$$h_{2g} = 2380.7358$$

$$W_{tg} = \dot{m} (h_1 - h_{2g})$$

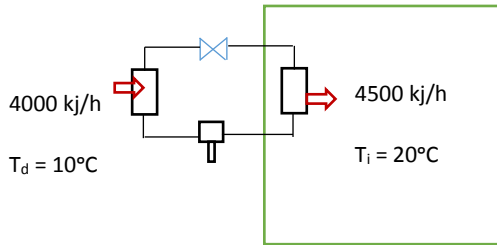
$$W_{tg} = 3 \frac{kg}{s} * (3398.3 - 2380.7358) = 3688.926$$

$$W_{tg} = 3052.69 \text{ kW}$$

**S-5)** Bir split klimanın, 10 °C'deki dış ortamdaki 4000 kJ ısı çekmekte ve saatte 4500 kJ ısı vererek iç ortamı 20 °C'de tuttuğu söylenmektedir. Bu split klimanın Termodinamiğin II. Kanununu **ihlal edip etmediğini**;

**a-** Clasius eşitsizliğini, **b-** Carnot prensibini kullanarak kontrol ediniz.

**C-5)**



**a)** Clasius eşitsizliği

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0 \Rightarrow \frac{Q_{soğ}}{T_{soğ}} + \frac{Q_{sıc}}{T_{sıc}} \leq 0$$

$$\frac{4500 \frac{kJ}{h}}{10 + 273K} - \frac{4500 \frac{kJ}{h}}{30 + 273K} \leq 0$$

$-1.22 \leq 0$  olduğundan T.D.II. kanununa uyuyor.

**b)** Carnot Prensibi

Split klima , ısıtma modunda

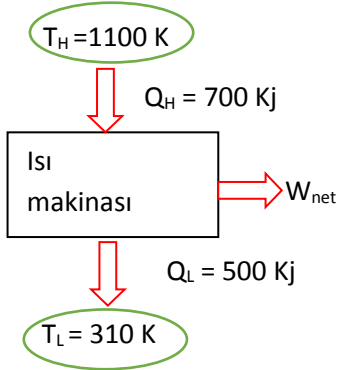
$$COP_{ısıtma,carnot} > COP_{ısıtma,gerçek}$$

$$\frac{T_{sıc}}{T_{sıc} - T_{soğ}} > \frac{Q_{sıc}}{Q_{sıc} - Q_{soğ}}$$

$$\frac{293K}{10K} > \frac{4500}{4500 - 4000} \Rightarrow 29.3 > 9 \text{ olduğundan T.D.II kanununa uyuyor.}$$

**S-6)** Bir ısı makinesi 1100 K sıcaklığındaki bir ısı enerji deposundan 700 kJ ısı almakta, 310 K sıcaklığındaki bir ısı enerji deposuna ise 500 kJ ısı vermektedir. Bu ısı makinesinin Termodinamiğin ikinci yasasına aykırı olup olmadığını, **a)** Clausius eşitsizliği ve Carnot ilkeleri ışığında belirleyin. **b)** Bu ısı makinesinin toplam entropi üretimini de hesaplayınız.

**C-6)**



**a)** Clausius eşitsizliğine göre  $\oint \frac{dQ}{T} < 0$  olmalıdır.

$$\oint \frac{dQ}{T} = \frac{Q_H}{T_H} - \frac{Q_L}{T_L} = \frac{700}{1100} - \frac{500}{310} = -0.977 < 0 \text{ olduğundan Clausius eşitsizliğini sağlar.}$$

Carnot ilkesine uygunluk için  $\eta_{gerçek} < \eta_{carnot}$  olmalıdır.

$$\frac{Q_H - Q_L}{Q_H} < \frac{T_H - T_L}{T_H} \Rightarrow \frac{700 - 500}{700} < \frac{1100 - 310}{1100}$$

0.286 < 0.718 olduğundan Carnot ilkesini sağlamaktadır.

**b)**

$$\Delta S_{12} = S_2 - S_1 = \frac{Q_H}{T_H} = \frac{700}{1100} = 0.636 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta S_{23} = S_3 - S_2 = 0$$

$$\Delta S_{34} = S_4 - S_3 = \frac{Q_L}{T_L} = \frac{-500}{310} = -1.613 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta S_{41} = S_4 - S_1 = 0$$

$$\Delta S_{top} = 0.636 - 1.613 = -0.977 \text{ kJ/kg}$$

$$\Delta S_{ürretim} = -\oint \frac{\delta Q}{T} = -\frac{Q_H}{T_H} + \frac{Q_L}{T_L} = 9.777 \text{ kJ/kgK}$$

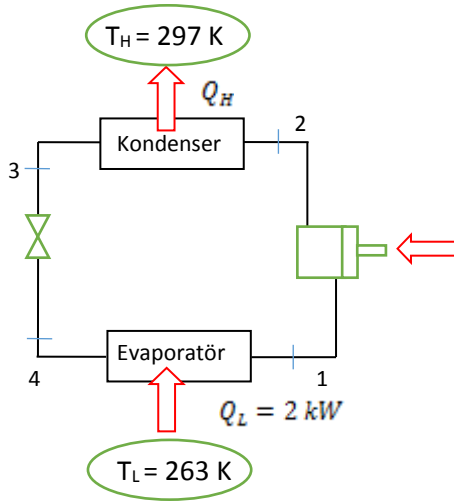
**S-7)** Atık ısısını 310 K sıcaklığında bir ısı enerji deposuna veren bir ısı makinasının ısı verimi %36, ikinci yasa verimi de %60'tır. Bu ısı makinasının ısı aldığı kaynağın sıcaklığını hesaplayınız.

$$\text{C-7)} \eta_{II} = \frac{\eta_{\text{ısı}}}{\eta_{\text{tr}}} \Rightarrow \eta_{\text{tr}} = \frac{0.36}{0.6} = 0.6$$

$$\eta_{\text{tr}} = 1 - \frac{T_L}{T_H} \Rightarrow 0.6 = 1 - \frac{310}{T_H} \Rightarrow T_H = 775 \text{ K}$$

**S-8)** -10 °C sıcaklıkta tutulmak istenen bir derin dondurucudan dakikada 120 kJ ısı çekilmektedir. Çevre ortamı 24 °C sıcaklıkta olup, soğutma için harcanan güç 800 W'tır. Buna göre, **a)** Gerekli tersinir gücü, **b)** Birim zamanda oluşan tersinmezliği, **c)** Derin dondurucunun ikinci yasa verimini hesaplayınız.

**C-8)**



**a)** Tersinir güç için tersinir Carnot çevriminden

$$COP_{\text{tersinir,soğ}} = \frac{T_L}{T_H - T_L} = Q_L / W_{\text{tersinir}}$$

$$7.7353 = \frac{263 \text{ K}}{(297 - 263) \text{ K}} = \frac{2 \text{ kW}}{W_{\text{tersinir}}}$$

$$W_{\text{tersinir}} = \frac{2 \text{ kW}}{7.7353} = 0.2586 \text{ kW}$$

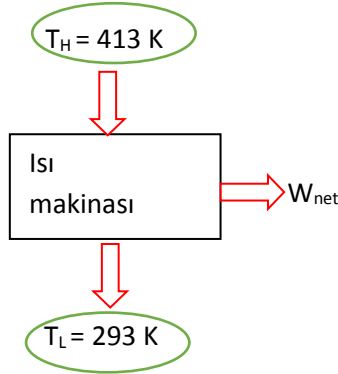
$$\text{b)} I = W - W_{\text{tersinir}} = 0.8 \text{ kW} - 0.2586 \text{ kW} = 0.5414 \text{ kW}$$

$$c) COP_{gerçek} = \frac{Q_L}{W} = \frac{2}{0.8} = 2.5$$

$$\eta_{II} = \frac{COP_{gerçek}}{COP_{tersinir,soğ}} = \frac{2.5}{7.7353} = 0.3232 \text{ (\%32.32)}$$

**S-9)** Güç üretiminin ilginç yollarından biri de yeraltında doğal olarak bulunan sıcak sudan, diğer adıyla jeotermal enerjiden yararlanmaktır. Çevre sıcaklığının 20 °C olduğu bir bölgede, 140 °C sıcaklığında bir jeotermal kaynak bulunmuştur. Bu bölgede kurulacak jeotermal bir güç santralinin sahip olabileceği en yüksek ısıl verimi hesaplayınız.

**C-9)**



$$\eta_{max} = \eta_{isil\ tersinir}$$

$$\eta_{isil\ tersinir} = \frac{T_H - T_L}{T_H} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

$$\eta_{isil\ tersinir} = 1 - \frac{293}{413} = 0.2905$$

$$\eta_{max} = \eta_{isil\ tersinir} = \% 29.05$$

**S-10)** 0.5 m<sup>3</sup> hacminde rijit bir tank içerisinde 200 kPa basınçta ve x=0.4 kuruluk derecesinde R-134a soğutucu akışkanı bulunmaktadır. 35 °C sıcaklıktaki bir ortamdan soğutucu akışkana basıncı 400 kPa oluncaya kadar ısı transfer edilmiştir. Buna göre, **a-** Soğutucu akışkanın entropisindeki değişmeyi, **b-** Ortamın entropisindeki değişmeyi, **c-** Bu işlem boyunca meydana gelen toplam entropideki değişmeyi hesaplayınız. d- Meydana gelen hal değişiminin nasıl bir işlem (tersinir, tersinmez, mümkün olup olmadığı) olduğunu belirtiniz.

**C-10)**

$$\begin{aligned} V &= 0.5 \text{ m}^3 \\ P_1 &= 200 \text{ kPa} \\ x_1 &= 0.4 \end{aligned}$$

$$T_{çevre} = 35 \text{ °C}$$



**I.Durum**

$$\begin{aligned}
 P_1 &= 200 \text{ kPa} \\
 x_1 &= 0.4 \\
 T_{\text{doyma}} &= -10^\circ \text{C} \\
 v_f &= 0.0075351 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}, \quad v_g = 0.09959 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} \\
 v_1 &= v_f + x_1 * v_{fg} = 0.040288 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}
 \end{aligned}$$

$$u_1 = u_f + x_1 * u_{fg} = 186.55 + 0.4 * (372.6 - 186.55) = 261 \text{ kJ/kg}$$

$$s_1 = s_f + x_1 * s_{fg} = 0.95065 + 0.4 * (1.7334 - 0.95065) = 1.26141 \text{ kJ/kgK}$$

**II.Durum**

$$\begin{aligned}
 P_2 &= 400 \text{ kPa} \\
 v_1 = v_2 &= 0.040288 \text{ m}^3/\text{kg} \\
 v_f &\cong 0.00791 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}, \quad v_g \cong 0.05 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}
 \end{aligned}
 \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \text{interpolasyon yapılarak}$$

$v_f < v_2 < v_g$  olduğundan karışım bölgesi

$$x_2 = \frac{v_2 - v_f}{v_g - v_f} = \frac{(0.040288 - 0.000791)}{0.05 - 0.000791} = 0.8$$

$$u_2 = u_f + x_2 * u_{fg}, \quad u_f \approx 212, \quad u_g \approx 382 \text{ kJ/kg}$$

$$u_2 = 212 + 0.8 * (382 - 212) = 348 \text{ kJ/kg}$$

$$s_2 = s_f + x_2 * s_{fg}, \quad s_f \approx 1.04, \quad s_g \approx 1.72 \text{ kJ/kgK}$$

$$s_2 = 1.04 + 0.8 * (1.72 - 1.04) = 1.584 \text{ kJ/kgK}$$

$$m = \frac{V}{v} = \frac{0.5}{0.040288} = 12.41 \text{ kg}$$

$$\text{a) } \Delta S_{R-134a} = m * (s_2 - s_1) = 12.41 \text{ kg} * (1.584 - 1.26141) \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} = 4 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$

$$\text{b) } Q = m * (u_2 - u_1) = 12.41 \text{ kg} * \frac{(348 - 261) \text{ kJ}}{\text{kg}} = 1079.67 \text{ kJ}$$

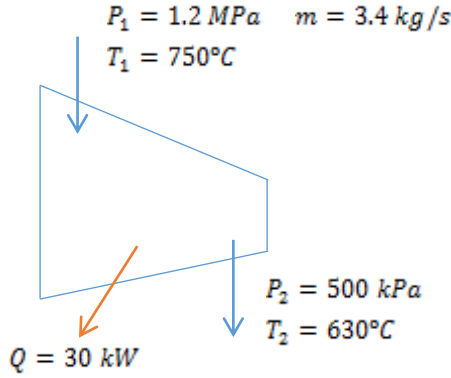
$$\Delta S_{\text{çevre}} = \frac{Q}{T_{\text{çevre}}} = \frac{-1079.67}{35 + 273} = -3.505 \frac{\text{kJ}}{\text{K}}$$

$$\text{c) } \Delta S_{\text{toplam}} = \Delta S_{R-134a} + \Delta S_{\text{çevre}} = 4 - 3.505 = 0.505 > 0$$

Olduğundan tersinmez işlem mümkün

**S-11)** Yanma sonu gazları, bir gaz türbinine 3.4 kg/s kütlelele debide, 750 °C sıcaklık ve 1.2 MPa basınçta girmekte ve 630 °C sıcaklık ve 500 kPa basınçta çıkmaktadır. Bu arada türbinden olan ısı kaybı 30 kW olduğu tespit edilmiştir. Yanma gazı için hava özelliklerini kullanarak ve çevrenin 25 °C ve 100 kPa basınçta olduğunu varsayarak a) Türbinin gerçek ve tersinir güç çıktılarını b) Türbinden yok olan ekserjiyi c) Türbinin ikinci yasa verimini hesaplayınız. d) Türbin çıkışındaki gazların ekserji değerini hesaplayınız. **Not:** Ortalama sıcaklık  $((750+630)/2 = 690^\circ\text{C})$  için  $C_p = 1.134 \text{ kJ/kg}\cdot^\circ\text{C}$ .

**C-12)**



$$T_0 = T_{\text{çevre}} = 298 \text{ K} , P_0 = P_{\text{çevre}} = 100 \text{ kPa}$$

T.D.I Kanunu

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} * (h_2 - h_1) = \dot{m} * (T_2 - T_1)$$

$$-30 \text{ kW} - \dot{W} = 3.4 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 1.134 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * (630 - 750)$$

$$\dot{W} = 432.672 \text{ kW}$$

$$w_{tr} = (h_1 - h_2) - T_0 * (s_2 - s_1) + \frac{V_1^2 - V_2^2}{2}$$

$$s_1 - s_2 = C_p * \ln \frac{T_1}{T_2} - R * \ln \frac{P_1}{P_2} = 1.134 \ln \left( \frac{1023}{903} \right) - 0.287 * \ln \frac{1200}{500}$$

$$s_1 - s_2 = 0.14149 - 0.25125 = -0.10976 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$w_{tr} = C_p * (T_1 - T_2) - 298 \text{ K} * (-0.10976) \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$w_{tr} = 1.134 * (750 - 630) + 32.71 = 168.79 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$\dot{W}_{tr} = \dot{m} * w_{tr} = 3.4 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 168.79 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 573.886 \text{ kW}$$

$$b) I = \dot{W}_{tr} - W = 573.886 - 433.672 = 141.214 \text{ kW}$$

$$c) \eta_{II} = \frac{w}{w_{tr}} = \frac{432.672}{573.886} = 0.7539 \text{ (%75.39)}$$

$$d) \Psi_2 = (h_2 - h_0) - T_0 * (s_2 - s_0)$$

$$s_2 - s_0 = C_p * \ln \frac{T_2}{T_0} - R * \ln \frac{P_2}{P_0} = 1.134 * \ln \frac{903}{298} - 0.287 * \ln \frac{500}{100}$$

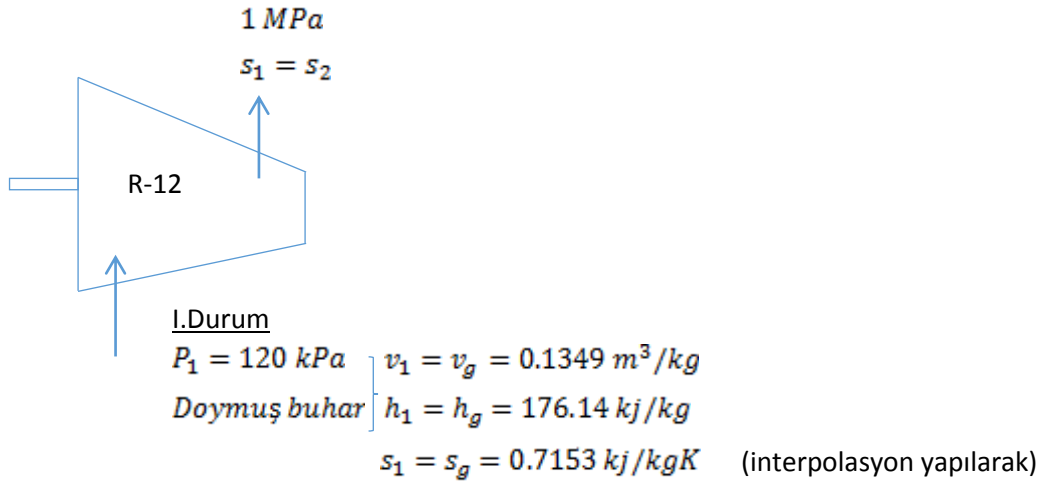
$$s_2 - s_0 = 0.79519 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$\Psi_2 = 1.134 * (630 - 25) - 298 * 0.79519 = 449.1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{\Psi}_2 = \dot{m} * \Psi_2 = 1526.94 \text{ kW}$$

**S-13)** Soğutucu akışkan R-12, adyabatik bir kompresöre 0.8 m<sup>3</sup>/dakika hacimsel debiyle 120 kPa basınçta doymuş buhar olarak girmekte ve 1 MPa basınca sıkıştırılmaktadır. Kompresörün adyabatik verimi 0.80 olduğuna göre; **a-** Kompresörü çalıştırmak için gerekli gücü, **b-** Kompresörün ikinci yasa verimini hesaplayınız. Çevre sıcaklığını 25 °C olarak kabul ediniz.

**C-13)**



**II.Durum**

P <sub>2</sub> = 1 MPa	} Kızgın Buhar	h	s	Δh = 3.513 , h <sub>2s</sub> = 213.83 kJ/kg
s <sub>1</sub> = s <sub>2</sub> = 0.7153 kJ/kgK				
		210.32	0.7026	
			0.7153	h <sub>2</sub> = 223.256 kJ/kg
		217.97	0.7259	

$$7.65 \quad 0.0233$$

$$\Delta h \quad 7.65 \cdot 10^{-3}$$

$$\Delta h = 3.513$$

$$\dot{m} = \frac{\dot{V}}{v} = \frac{0.8 \frac{m^3}{dk} * \frac{1dk}{60sn}}{0.1349 \frac{m^3}{kg}} = 0.0988 \text{ kg/s}$$

$$\text{a) } W_{gerçek} = \dot{m} * (h_2 - h_1) = 4.66 \text{ kW}$$

$$\text{b) } W_{tersinir} = \dot{m} * [(h_2 - h_1) - T_0 * (s_2 - s_1)]$$

II. Durum Tersinir

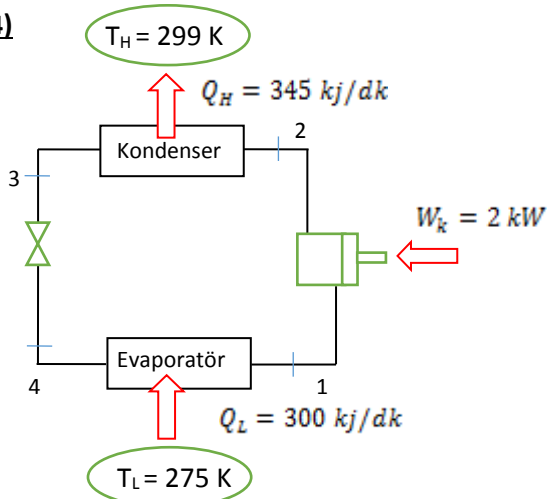
	$h$	$s$
$P_2 = 1 \text{ MPa}$	217.97	0.7259
$h_2 = 223.256$	223.256	$s_2 = 0.7413$
	232.91	0.7695

$$W_{tersinir} = 0.0988 \frac{kg}{s} * (223.256 - 176.14) - 298K * (0.7413 - 0.7133) = 3.83 \text{ kW}$$

$$\eta_{II} = \frac{W_{tersinir}}{W_{gerçek}} = \frac{3.83}{4.66} = \% 82.2$$

**S-14)** Bir soğutma makinası 2 °C'deki soğutulacak mahalden 300 kJ/dak ısı çekmekte ve 26 °C'deki ortama 345 kJ/dak ısı terk etmektedir. Bu soğutma makinasının Termodinamiğin II. Kanununu ihlal edip etmediğini; Clasius eşitsizliğini ve Carnot prensibini kullanarak kontrol ediniz.

**C-14)**



Clasius eşitsizliği

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0$$

$$\frac{300}{275} - \frac{245}{299} \leq 0 \Rightarrow -0.0629 \leq 0 \text{ olduğundan uyuyor.}$$

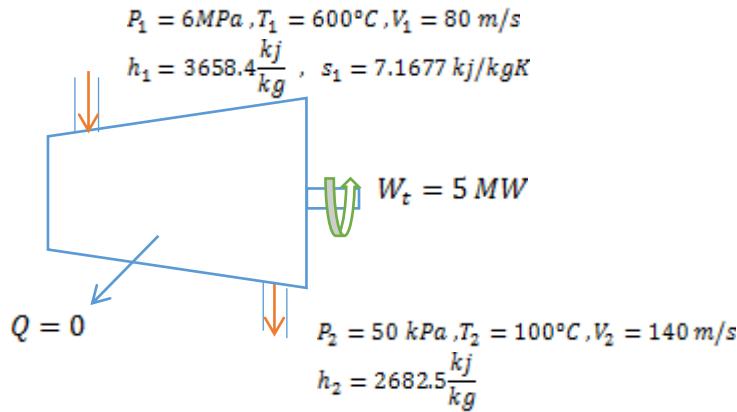
Carnot prensibi

$$\frac{Q_{soğ}}{Q_{sıc} - Q_{soğ}} < \frac{T_{soğ}}{T_{sıc} - T_{soğ}} \Rightarrow \frac{300}{345 - 300} < \frac{275}{299 - 275}$$

6.667 < 11.48 olduğundan uyuyor.

**S-15)** Su buharı adyabatik bir türbine 6 MPa, 600 °C ve 80 m/s hızla girmekte, 50 kPa, 100 °C ve 140 m/s hızla çıkmaktadır. Türbinin gücü 5 MW'tır. Buna göre, **a-** Türbinde akan buharın kütleli debisini, **b-** Türbinin adyabatik verimini hesaplayınız.

**C-15)**



$$Q - W_t = \dot{m} * \left[ h_2 - h_1 + V_2^2 - \frac{V_1^2}{2} \right]$$

$$-5000 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = \dot{m} * (-962.7) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \Rightarrow \dot{m} = 5.16 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

b)  $P_2 = 50 \text{ kPa}, s_1 = s_2 = 7.1677$

$$s_f = 1.0910, s_g = 7.5939, s_{fg} = 6.5029 \text{ kJ/kgK}$$

$$h_f = 340.49, h_g = 2645.9, h_{fg} = 2305.4 \text{ kJ/kg}$$

$$x = \frac{7.1677 - 1.0910}{7.5939 - 1.0910} = 0.9345$$

$$h_{2s} = h_f + x * h_{fg} = 2494.8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$W_{tersinir} = \dot{m} * (h_1 - h_2) = 5.19 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * (3658.4 - 2484.9)$$

$$W_{tersinir} = 6090.45 \frac{kJ}{s} = 6.09 MW$$

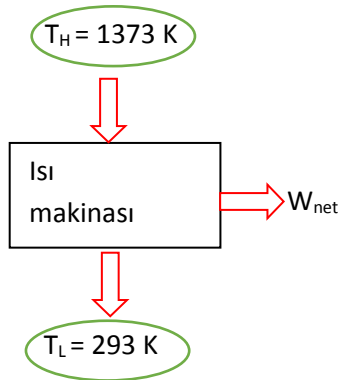
$$\eta_{adyabatik} = \frac{W_{gerçek}}{W_{izentropik}} = \frac{5MW}{6.09 MW} \cong \% 83$$

Veya

$$\eta_{adyabatik} \cong \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}} = \frac{3658.4 - 2682.5}{3658.4 - 2494.8} \cong \% 83$$

**S-16)** 1100 °C sıcaklıktaki bir kazandan ısı alan bir ısı makinesi atık ısını 20 °C sıcaklığındaki bir akarsuya vermektedir. Bu makinenin ısıl verimi %35 olduğuna göre, ikinci yasa verimi ne olur?

**C-16)**



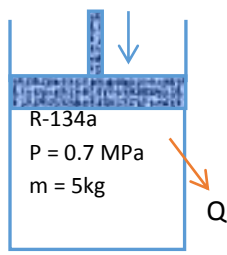
$$\eta_{\text{ısıl tersinir}} = \frac{T_H - T_L}{T_H} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

$$\eta_{\text{ısıl tersinir}} = 1 - \frac{293}{1373} = 0.7866$$

$$\eta_{gerçek} = 0.35, \quad \eta_{II} = \frac{\eta_{gerçek}}{\eta_{\text{ısıl tersinir}}} = \frac{0.35}{0.7866} = 0.445 \quad (\%44.5)$$

**S-17)** Bir piston-silindir düzeneğinde başlangıçta 0.7 MPa basınç ve 60 °C sıcaklıkta 5 kg R-134a bulunmaktadır. Soğutucu akışkan sabit basınçta, sıcaklık 24 °C oluncaya kadar soğutulmaktadır. Çevre basınç ve sıcaklığının sırasıyla 100 kPa ve 24 °C olduğunu kabul ederek, **(a)** ilk ve son hallerde R134a'nın kullanılabilirliğini (ekserjisini), **(b)** Tersinir işi,  $W_{tr}$  **(c)** Yararlı işi,  $W_y$  **(d)** Bu işlem boyunca olan tersinmezliği,  $I$ , hesaplayınız.

**Not:** Kapalı sistemlerde ekserji ve tersinmezlik;  $\phi = (u - u_o) - T_o(s - s_o) + P_o(v - v_o)$ ,  $I = W_{tr} - W_y$

**C-17)**I.Durum

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 0.7 \text{ MPa} \\ T_1 = 60^\circ\text{C} \\ \text{Kızgın Buhar} \end{array} \right\} \begin{array}{l} v_1 = 0.03482 \text{ m}^3/\text{kg} \\ u_1 = 272.31 \text{ kJ/kg} \\ s_1 = 1.0182 \text{ kJ/kgK} \end{array}$$

II.Durum

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = P_2 = 0.7 \text{ MPa} \\ T_2 = 24^\circ\text{C} \\ \text{Aşırı soğutulmuş} \\ \text{Sıvı} \end{array} \right\} \begin{array}{l} v_2 = v_f = 0.0008257 \text{ m}^3/\text{kg} \\ u_2 = u_f = 82.37 \text{ kJ/kg} \\ s_2 = s_f = 0.3113 \text{ kJ/kgK} \end{array}$$

Çevre Şartları

$$\left. \begin{array}{l} P_o = 0.1 \text{ MPa} \\ T_o = 24^\circ\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Kızgın buhar, interpolasyonla} \\ v_o = 0.2369 \text{ m}^3/\text{kg}, u_o = 249.82 \text{ kJ/kg}, s_o = 1.09462 \text{ kJ/kgK} \end{array}$$

$$\Psi_1 = m * [(u - u_o) - T_o * (s - s_o) + P_o * (v - v_o)]$$

$$\Psi_1 = 5 \text{ kg} * [\phi_1] \Rightarrow \phi_1 = (u_1 - u_o) - T_o * (s_1 - s_o) + P_o * (v_1 - v_o)$$

$$\Psi_2 = m * [\phi_2] \Rightarrow \phi_2 = (u_2 - u_o) - T_o * (s_2 - s_o) + P_o * (v_2 - v_o)$$

$$\phi_1 = (272.31 - 249.82) - 297\text{K} * (1.0182 - 1.09462) + 100\text{kPa} * (0.03482 - 0.2369)$$

$$\phi_1 = 24.9787 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \Rightarrow \Psi_1 = m * \phi_1 = 5\text{kg} * 24.9787 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 124.8935 \text{ kJ}$$

$$\Psi_2 = m * [\phi_2] \Rightarrow \phi_2 = -167.47 + 232.646 - 23.6 = 41.57 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Psi_2 = 5\text{kg} * 41.57 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 207.84 \text{ kJ}$$

$$\text{b) } W_{\text{ter}} = \Psi_2 - \Psi_1 = 207.84 - 124.8935 = 82.95 \text{ kJ}$$

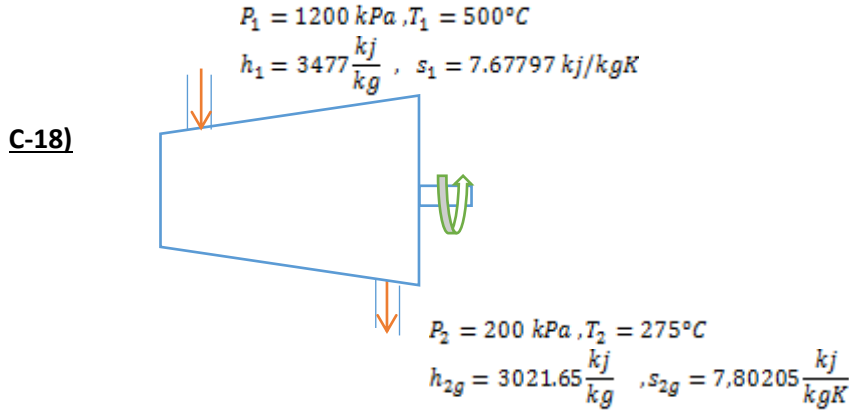
$$\text{c) } W_y = W - W_{\text{çevre}} = m * P * (v_1 - v_2) - P_o * m * (v_1 - v_2)$$

$$W_y = 5 \text{ kg} * (700 - 100) * (0.03482 - 0.0008257) = 101.9829 \text{ kJ}$$

$$\text{d) } I = |W_{\text{ter}} - W_y| = |82.95 - 101.9829| = 19 \text{ kJ}$$

Sıkıştırma işi olduğundan, tersinmezliklerden dolayı harcanan enerji daha fazladır.

**S-18)** Adyabatik bir türbine su buharı, 1200 kPa ve 500°C'de girmekte 200 kPa ve 275°C'de çıkmaktadır. Bu türbinin izentropik verimini hesaplayınız.



Adyabatik  $s_1 = s_2$  olduğundan interpolayonla  $P_2 = 200 \text{ kPa}$  için  $h_{2s} = 2955,22 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

$$\eta_T = \frac{h_1 - h_{2g}}{h_1 - h_{2s}} = \frac{3477 - 3021,65}{3477 - 2955,22} = 0,87$$

**S-19)** Atık ısısını 33 °C sıcaklığında bir ısı enerji deposuna (kuyuya) veren bir ısı makinesinin ısı verimi % 40, ikinci yasa verimi ise %60'tır. Bu ısı makinesinin ısı aldığı kaynağın sıcaklığını hesaplayınız.

**C-19)**

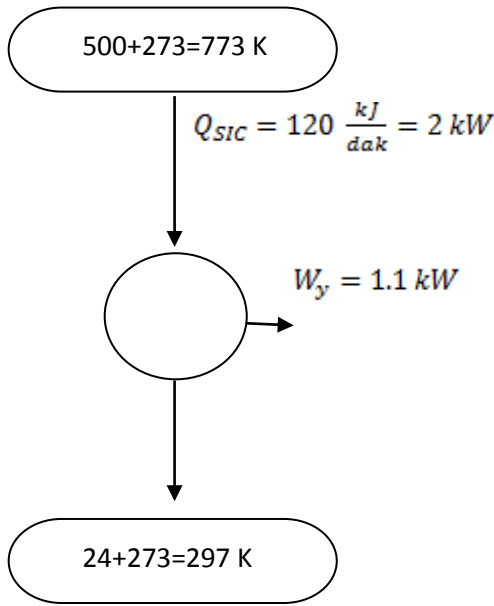
$$\eta_{II} = \frac{\eta_{\text{gerçek}}}{\eta_{\text{tersinir}}} = \frac{0.4}{\eta_{\text{tersinir}}} = 0.6 \rightarrow \eta_{\text{tersinir}} = \frac{0.4}{0.6} = 0.6667$$

$$\eta_{\text{tersinir}} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 0.6667 = 1 - \frac{306}{T_H} \rightarrow T_H = 918.09 \text{ K}$$

**S-20)** 500 °C sıcaklıkta bir kaynaktan dakikada 120 kJ ısı çekerek 24 °C sıcaklıktaki ortama vermektedir. Isı makinesinin gücü 1.1 kW'tır. Buna göre, a) Gerekli tersinir gücü, b) Birim zamanda oluşan tersinmezliği, c) ısı makinesinin ikinci yasa verimini hesaplayınız.



C-20)



a)

$$\eta_{carnot} = 1 - \frac{T_{soğ}}{T_{sic}} = 1 - \frac{297}{773} = 0.62$$

$$\eta_{carnot} = \frac{W_{ter}}{Q} \rightarrow W_{ter} = \eta_{carnot} * Q$$

$$W_{ter} = 0.62 * 2kW = 1.24 kW$$

b)

$$I = W_{ter} - W_y = 1.24 - 1.1 = 0.14 kW$$

$$c) \eta_{II} = \frac{W_y}{W_{ter}} = \frac{1.10}{1.24} = 0.89 = \%89$$

**S-21)** Bir Carnot ısı makinası sıcaklıkları 727°C ve 27°C olan ısı kaynakları arasında çalışmaktadır. Eğer ısı makinasına çevrim başına 800 kJ/dk ısı verilirse;

a) Isı makinasının verimini,

b) Isı makinasından elde edilecek gücü hesaplayınız.

$$C-21) T_{sic} = 727 + 273 = 1000 K, T_{soğ} = 27 + 273 = 300 K$$

$$\eta_{ısıl} = 1 - \frac{T_{soğ}}{T_{sic}} = 1 - \frac{300}{1000} = \%70$$

$$Q_{sic} = 800 \frac{kJ}{dk} * \frac{1dk}{60 sn} = 13.33 kW$$

$$\eta_{ısıl} = \frac{W_{net}}{Q_{sic}} \Rightarrow W_{net} = 0.7 * 13.33$$

$$W_{net} = 9.333 kW$$

**S-22)** Bir piston – silindir çiftinde başlangıçta 25°C sıcaklık, 200 kPa basınç ve 0.4 m<sup>3</sup> hacminde hava bulunmaktadır. Hava daha sonra  $P * V^k = \text{sabit}$  bağıntısına göre tersinir olarak sıkıştırılmaktadır. Sistemde son sıcaklık 150°C ve basınç 800 kPa olduğuna göre;

a) İzentropik sıkıştırma katsayısını (k),

b) Havanın son durumdaki hacmini,

c) Sıkıştırma esnasında harcanan işi,

d) Sıkıştırma

$$\text{C-22) } m = \frac{P_1 \cdot v_1}{R \cdot T_1} \Rightarrow 0.935 \text{ kg}$$

$$\text{a) } \frac{T_2}{T_1} = \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} \Rightarrow \frac{423}{298} = \left( \frac{800}{200} \right)^{\frac{k-1}{k}} \Rightarrow k = 1.338$$

$$\text{b) } \frac{P_2}{P_1} = \left( \frac{v_1}{v_2} \right)^k \Rightarrow 4 = \left( \frac{0.4}{v_2} \right)^{1.338} \Rightarrow v_2 = 0.1419 \text{ m}^3$$

$$\text{c) } w_{12} = \frac{P_2 \cdot v_2 - P_1 \cdot v_1}{1-k} = -99.25 \text{ kJ}$$

$$\text{d) } Q_{12} - w_{12} = m \cdot C_v \cdot (T_2 - T_1)$$

$$Q_{12} = 99.25 + 0.935 \cdot 0.7165 \cdot (T_2 - T_1) = 15.5 \text{ kW}$$

**S-23)** Isıl verimi % 55 ve Carnot çevrimine göre çalışan bir ısı makinası sıcaklığı 640 K olan yüksek sıcaklık ısı kaynağından 29.62 kW ısı çektiğine göre;

- Isı makinasından elde edilecek gücü,
- Isı makinasının çevreye verdiği ısıyı,
- Alçak sıcaklık kaynağının sıcaklığını hesaplayınız.

**C-23)**

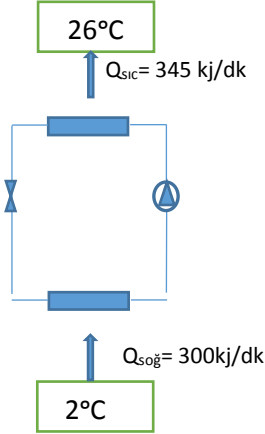
$$\text{a) } \eta_c = \frac{W_{net}}{Q_{sıc}} \Rightarrow 0.55 \cdot 29.62 = 16.291 = W_{net}$$

$$\text{b) } \eta_c = 1 - \frac{Q_{soğ}}{Q_{sıc}} \Rightarrow Q_{soğ} = 13.329 \text{ kW}$$

$$\text{c) } \frac{T_{sıc}}{T_{soğ}} = \frac{Q_{sıc}}{Q_{soğ}} \Rightarrow T_{soğ} = 288 \text{ K} = 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

**S-24)** Bir soğutma makinası 2°C deki soğutulacak mahalden 300 kJ/dk lık ısı çekmekte ve 26°C deki ortama 345 kJ/dk ısı atmaktadır. Bu soğutma makinasının Termodinamiğin ikinci kanununu ihlal edip etmediğini;

- Clasius eşitsizliğini,
- Carnot prensibini kullanarak kontrol ediniz.

**C-24)****a) Clarius Eşitsizliği,**

$$\frac{\delta Q}{T} \leq 0$$

$$\frac{\delta Q}{T} = \frac{Q_{soğ}}{T_{soğ}} + \frac{Q_{sic}}{T_{sic}} = \frac{300 \frac{kJ}{dk}}{2+273K} - \frac{345 \frac{kJ}{dk}}{26+273K}$$

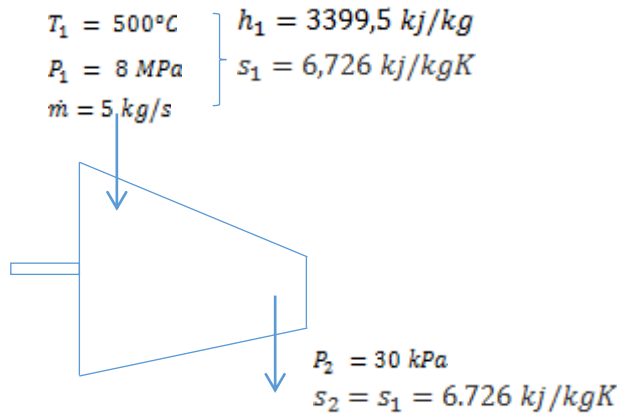
$$\frac{\delta Q}{T} = -0.0629 \frac{kJ}{dkK} < 0 \text{ eşitsizlik sağlandığından TDI uyar}$$

**b)  $COP_{carnot} < COP_{tersiniri\ ideal}$** 

$$\frac{Q_{soğ}}{Q_{sic} - Q_{soğ}} < \frac{T_{soğ}}{T_{sic} - T_{soğ}} \Rightarrow \frac{300}{345 - 300} < \frac{275}{26 - 2}$$

6.667 &lt; 11.45 sağladığından TDI uyar.

**S-25)** Su buharı adyabatik bir türbine 8 MPa, 500 °C ve 5 kg/s debiyle girmekte, 30 kPa basınca kadar genişlemektedir. Türbinin adyabatik (izentropik) verimi %90'dır. Buharın kinetik ve potansiyel enerji değişimini ihmal ederek, **a)** Türbin çıkışındaki buharın sıcaklığını, **b)** Türbinin gerçek gücünü **c)** Türbinin izentropik gücünü hesaplayınız.

**C-25)**Tablo A – 5'ten a şıkkının cevabı  $T_2 = 69,09 \text{ } ^\circ\text{C}$ 

$$s_f = 0,9441 \frac{kJ}{kgK}, \quad s_{fg} = 6,8234 \frac{kJ}{kg \times K}$$

$$h_f = 289,27 \frac{kJ}{kg}, \quad h_g = 2624,6 \frac{kJ}{kg}, \quad h_{fg} = 2335,3 \frac{kJ}{kg}$$

$$x_2 = \frac{s_2 - s_f}{s_{fg}} \Rightarrow x_2 = 0,847$$

$$\text{b) } \eta_T = \frac{w_{\text{gerçek iş}}}{w_{\text{izentropik iş}}}$$

$$w_g = \dot{m} * (h_1 - h_2)$$

$$w_i = \dot{m} * (h_1 - h_{2s})$$

$$h_{2s} = h_f + x_2 * h_{fg} \Rightarrow h_{2s} = (289,27 + 0,847 * 2335,3) = 2267,26 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\eta_T = (3399,5 - h_2) / (3399,5 - 2267,27) = 0,9$$

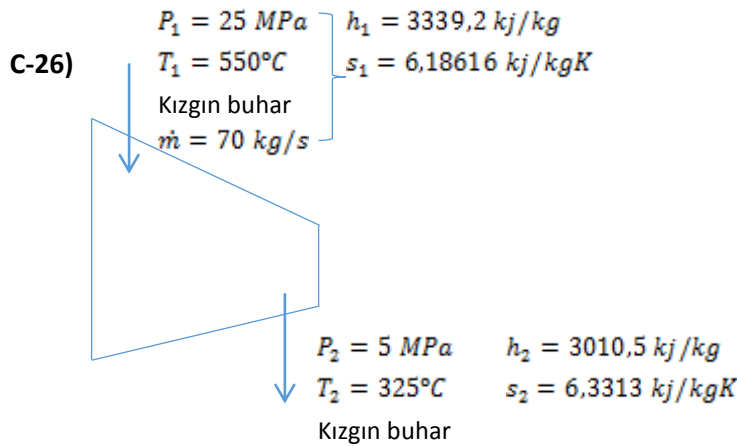
$$h_2 = 2380,5 \text{ kJ/kg}$$

$$w_g = 5 \left( \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) * (3399,5 - 2380,5) \left( \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \right) \Rightarrow w_g = 5095 \text{ kW}$$

$$\text{c) } w_i = \dot{m} * (h_1 - h_{2s})$$

$$w_i = 5 \left( \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right) * (3399,5 - 2267,26) \text{ kJ/kg} \Rightarrow w_i = 5661,2 \text{ kW}$$

**S-26)** Buhar adyabatik bir türbine 25 MPa, 550 °C girmekte ve 5 MPa, 325 °C'de çıkmaktadır. Kütleli debi 70 kg/s ve çevre sıcaklığı 25 °C olduğuna göre; **a)** Türbin gücünü, **b)** Türbinin izentropik verimini (adyabatik verimini), **c)** Türbinin 2. kanun verimini, **d)** Buharın türbin giriş ve çıkışındaki ekserjisini, **e)** Bu işlemdeki tersinmezliği hesaplayınız.



$$\text{a) } W = \dot{m} * (h_1 - h_2)$$

$$h_1 = 3339,2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, \quad h_2 = 3010,5 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$W = 70 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * (3339,2 - 3010,5) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \Rightarrow W = 23009 \text{ kW}$$

$$b) \eta_T = \frac{W_{gerçek iş}}{W_{izentropik iş}} = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}}$$

İzentropik durum için  $s_1 = s_2$  olması gerekir

$$s_1 = s_2 = 6,1816 \text{ kJ/kg.K değerini Tablo A-6'dan}$$

5 MPa için hangi  $h(h_{2s})$  değerine denk geldiğini bulunur.

$$h_{2s} = h_{@275^\circ\text{C}} + (h_{@300^\circ\text{C}} - h_{@275^\circ\text{C}}) * \frac{S_{(1-2)} - S_{@275^\circ\text{C}}}{S_{@300^\circ\text{C}} - S_{@275^\circ\text{C}}}$$

$$h_{2s} = 2909,4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\eta_T = \frac{h_1 - h_2}{h_1 - h_{2s}} \Rightarrow \eta_T = \frac{3339,2 - 3010,5}{3339,2 - 2909,4} = 0,76 \text{ (%76)}$$

$$c) \eta_{II} = \frac{W_{gerçek}}{W_{tersinir}}$$

$$W_{tersinir} = \dot{m} * [(h_1 - h_2) - T_0 * (s_1 - s_2) - \Delta ke - \Delta pe]$$

$$W_{tersinir} = 70 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * \left[ (3339,2 - 3010,5) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - (27 + 273) \text{K} * (6,1816 - 63313) \frac{\text{kJ}}{\text{kg.K}} \right]$$

$$W_{tersinir} = 26152,7 \text{ kW}$$

$$\eta_{II} = 23009 / 26152,7 = 0,87 \Rightarrow \eta_{II} = \%87$$

$$d) \psi_1 = [(h_1 - h_0) - T_0 * (S_1 - S_0) - \Delta ke - \Delta pe] \Rightarrow \psi_1 = 1484,72 \text{ kJ/kg}$$

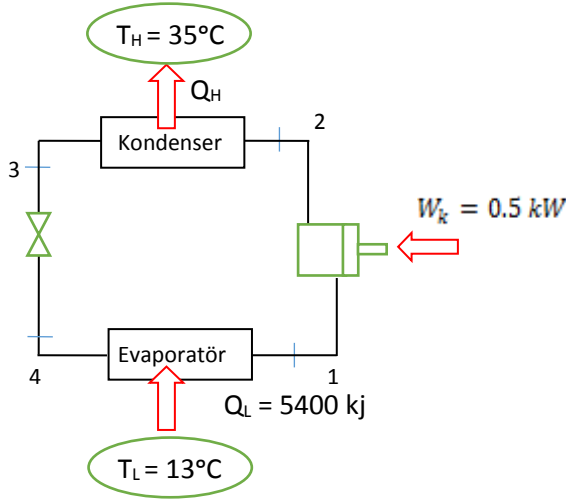
$$\psi_2 = [(h_2 - h_0) - T_0 * (S_2 - S_0) - \Delta ke - \Delta pe] \Rightarrow \psi_2 = 1111,1 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$e) I = W_{tersinir} - W_{gerçek} \Rightarrow I = (26152,7 - 23009) \text{ kW}$$

$$I = 3143,7 \text{ kW}$$

**S-27)** 13 °C sıcaklıkta tutulmak istenen bir soğutucudan saate 5400 kJ değerinde ısı çekilmektedir. Çevre hava sıcaklığı 35 °C olup soğutucu kompresörünün çektiği güç 0.5 kW olduğuna göre; **a)** Soğutucunun çekebileceği en düşük güç miktarını, **b)** Tersinmezliği, **c)** Bu soğutucunun 2. yasa verimini hesaplayınız.

C-27)



$$a) W_{min} = W_{tersinir}$$

$$COP = \frac{T_L}{T_H - T_L} \text{ ve } COP = \frac{Q_L}{W_{min}}$$

$$COP = 286 / (35 - 13) \Rightarrow COP = 13$$

$$13 = \frac{1,5kW}{W_{min}} \Rightarrow W_{min} = W_{tersinir} = 0,1154kW$$

$$b) I = W_{gerçek} - W_{tersinir} \rightarrow I = (0,5 - 0,1154)kW$$

$$I = 0,3846kW$$

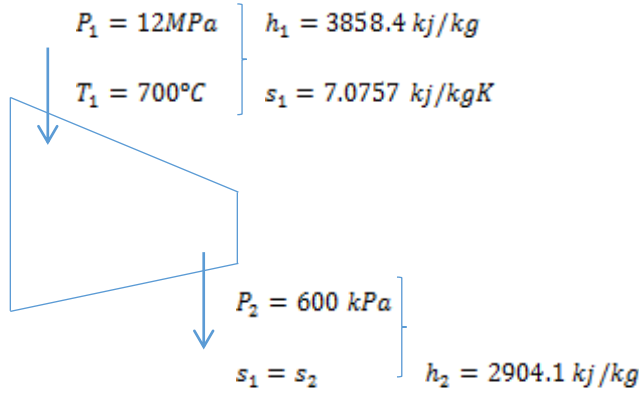
$$c) \eta_{II} = \frac{COP_{gerçek}}{COP_{tersinir}}$$

$$COP_{gerçek} = \frac{Q_L}{W} = \frac{1,5kW}{0,5kW} = 3$$

$$\eta_{II} = \frac{3}{13} \rightarrow \eta_{II} = 0,23 \text{ (%23)}$$

S-28) Bir ideal buhar türbinine buhar, 12 MPa basınç ve 700 °C sıcaklıkta girmekte ve 0.6 MPa basınçta çıkmaktadır. Buna göre; **a)** İdeal durum için tersinir işi ve tersinmezliği hesaplayınız. **b)** Türbin 0.88 adyabatik verime sahip olduğuna göre, tersinir işi, tersinmezliği ve ikinci yasa verimini hesaplayınız.

C-28)



$$\text{a) } w_a = h_1 - h_2 = 3858.4 - 2904.1 = 954.3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$w_{tr} = h_1 - h_2 - T_0(s_1 - s_2) = 3858.4 - 2904.1 = 954.3 \text{ kJ/kg}$$

$$I = w_{tr} - w_a = 954.3 - 954.3 = 0 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\text{b) } w_a = \eta_T * w_{ideal} = (0.88)(954.3) = 839.8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_2 = h_1 - w_a = 3858.4 - 839.8 = 3018.6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Buhar tablolarından  $P_2 = 0.6 \text{ Mpa}$  basınçta çıkış durumu kızgın buhardır.

Dolayısıyla  $T_2 = 297.4$  ve  $s_2 = 7.2946 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$  olarak belirlenir.

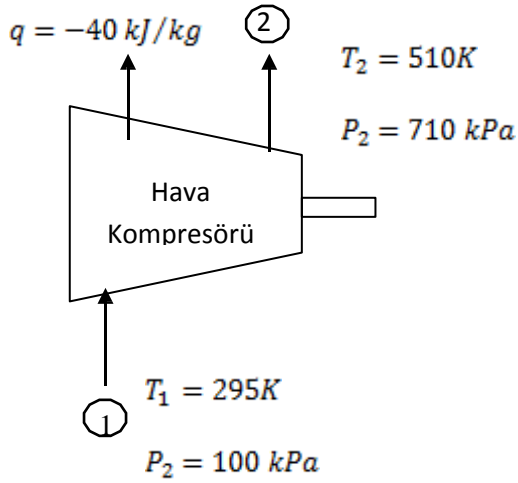
$$w_{tr} = h_1 - h_2 - T_0(s_1 - s_2) = 3858.4 - 3018.6 - (298)(7.0757 - 7.2946) = 905 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_{II} = \frac{w_a}{w_{tr}} = \frac{0.4}{0.7} = 0.928$$

$$I = w_{tr} - w_a = 905.0 - 839.8 = 65.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

S-29) Çevre havası, bir kompresöre 100 kPa basınç ve 295 K sıcaklıkta girmekte, 700 kPa basınç ve 530 K sıcaklıkta çıkmaktadır. Bu işlem sırasında kompresörden çevreye 40 kJ/kg ısı transferi olmaktadır. Kompresör için; **a)** Gerçek işi, **b)** Tersinir işi, **c)** Tersinmezliği, **d)** İkinci yasa verimini hesaplayınız.

C-29)

a) T.D.I. KanunuGerçek iş:

$$q - w = h_2 - h_1 + \Delta ke + \Delta pe$$

$$q - w = C_p * (T_2 - T_1)$$

$$-40 \frac{kJ}{kg} - w = 1,005 \frac{kJ}{kgK} * (530 - 295)K$$

$$w_g = -276,175 \text{ kJ/kg}$$

II.yol (Özgül ısıların sıcaklıkla değişimi kabulü ile) Hava tabloları kullanılarak

$$h_1 = 295,175 \frac{kJ}{kg}, \quad h_2 = 533,99 \text{ kJ/kg}$$

$$w_g = -278,815 \text{ kJ/kg}$$



b) Tersinir iş

$$\dot{W}_{tr} = \psi_2 - \psi_1 = \dot{m}[h_1 - h_2 + T_0(s_2 - s_1)]$$

$$w_{tr} = h_1 - h_2 + T_0(s_2 - s_1)$$

$$w_{tr} = C_p(T_1 - T_2) + T_0(s_2 - s_1)$$

$$s_2 - s_1 = C_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1} = 1,005 \ln \frac{530}{295} - 0,287 \ln \frac{700}{100}$$

$$= 0,5888 - 0,5585 = 0,03033 \frac{kJ}{kgK}$$

$$w_{tr} = 1,005 * (295 - 530) + 295K * 0,03033$$

$$w_{tr} = -236,175 + 8,95 = -227,23 \text{ kJ/kg}$$

$$c) I = W_g - W_{tr} = 279,175 - 227,23 = 51,945 \text{ kJ/kg}$$

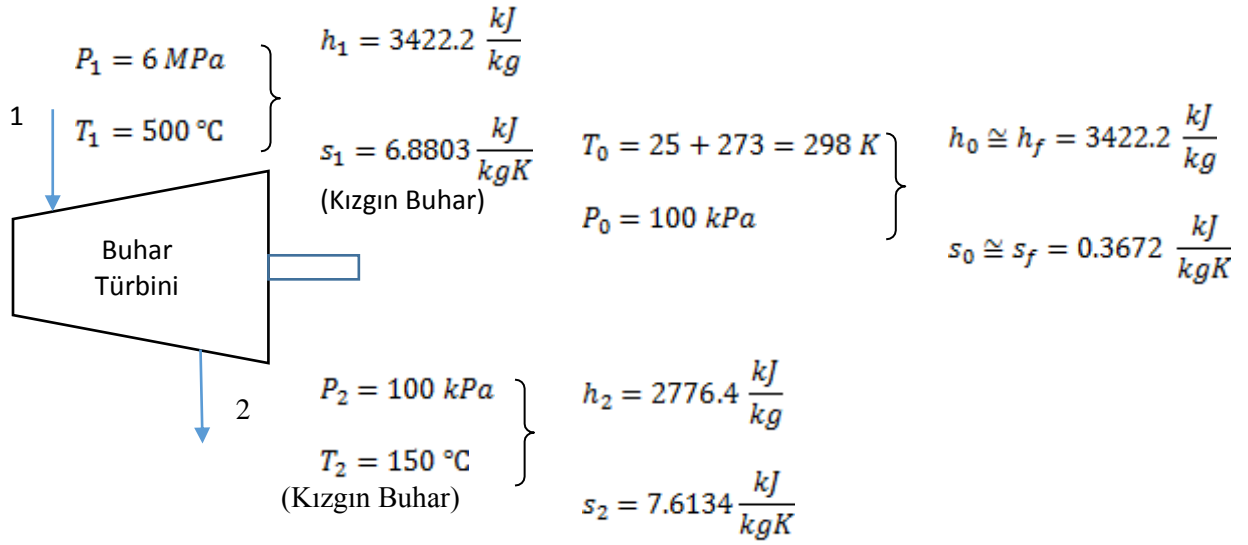
$$d) \eta_{II} = \frac{w_{tr}}{w_g} = \frac{227,23}{279,175} = 0.814 \text{ (%81.4)}$$

Özgül ısının sıcaklıkla değişimi için hesap yapılırsa;

$$\eta_{II} = \frac{W_{tr}}{W_g} = \frac{228,12}{279,175} = 0,817 \text{ (%81,7)}$$

S-30) Buhar, adyabatik bir türbine 6 MPa ve 500 °C girmekte, 100 kPa ve 150 °C çıkmaktadır. Buna göre; **(a)** Tersinir işi, **(b)** İşlemin tersinmezliğini, **(c)** Türbinin 2. yasa verimi %80 ise gerçek işi, **(d)** Çıkış şartları için buharın ekserjisini hesaplayınız. Su için ölü hal basınç 100 kPa ve sıcaklık 25 °C alınabilir.

C30)

a) T.D.I. Kanunu :

$$q - W = h_2 - h_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g(z_2 - z_1) \Rightarrow W = h_2 - h_1$$

$$W = 3422.2 - 2776.4 = 645.8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

Tersinir iş :

$$W_{tr} = \psi_1 - \psi_2 = h_1 - h_2 - T_0(s_1 - s_2)$$

$$W_{tr} = 3422.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 2776.4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 298\text{K}(6.8803 - 7.6134) \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} = 864.2638 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

b) Tersinmezlik :

$$I = W_{tr} - W_{gercek} = 864.2638 - 645.8 = 218.4638 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

c) 2. Yasa Verimi:

$$\eta_{II} = \frac{W_{gercek}}{W_{tr}} = \frac{645.8}{864.2638} = 0.7472$$

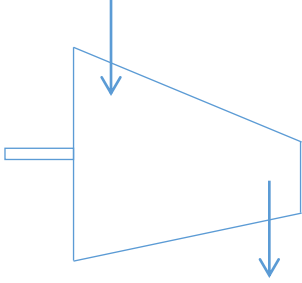
d)  $\psi_2 = h_2 - h_0 - T_0(s_2 - s_0)$  (Çıkış ekserjisi)

$$\psi_2 = 2776.4 - 104.9 - 298 * (7.6134 - 0.3672) = 512.4324 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

S-31) Su buharı adyabatik bir türbine 6 MPa basınç, 600 °C sıcaklık ve 80 m/s hızla girmekte, 50 kPa basınç, 100 °C sıcaklık ve 140 m/s hızla çıkmaktadır. Akış sürekli olup, türbinin gücü 5 MW'dır. Türbin

için, **(a)** birim zamanda tersinir işi, **(b)** ikinci yasa verimini hesaplayın. Çevre sıcaklığının 25 °C olduğunu kabul edin.

C-31)



I.Durum  $h_1 = 3658.4$  ,  $h_2 = 2682.5$

II.Durum  $s_1 = 7.1677$  ,  $s_2 = 7.6947$

$$\Delta h = h_2 - h_1 = -975.6 \frac{kJ}{kg} , \quad \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} = \frac{140^2 - 80^2}{2000} = 66 \frac{kJ}{kg}$$

$$\Delta s = s_2 - s_1 = 0.527 \text{ kJ/kgK}$$

$$Q - W = \dot{m} * [h_2 - h_1 + \frac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g * (Z_2 - Z_1)]$$

$$-5000 \frac{kJ}{s} = \dot{m} * [-975.6 + 6.6] \frac{kJ}{kg} \Rightarrow \dot{m} = \frac{5000}{969} = 5.1599 \text{ kg/s}$$

$$W_{tr} = \dot{m} * \left[ h_g - h_c - T_0 * (s_g - s_c) + \frac{V_g^2 - V_c^2}{2} + g * (Z_g - Z_c) \right]$$

$$W_{tr} = 5.1599 * [975.6 - 298 * (-0.527) - 6.6]$$

$$W_{tr} = 5810 \frac{kJ}{s} \Rightarrow 5.81 \text{ MW}$$

$$\eta_{II} = \frac{W}{W_{tr}} = \frac{5 \text{ MW}}{5.81 \text{ MW}} = 0.8606 \text{ (%86.06)}$$

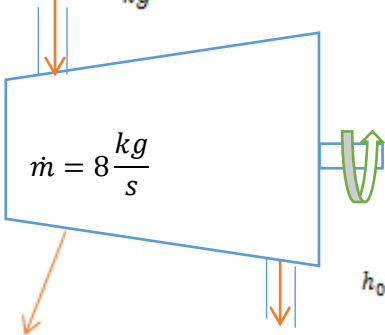
S-32)Buhar, 8 kg/s'lik bir kütleli debi ile sürekli akışlı bir türbine 3 Mpa ve 450°C girmekte, 0.2Mpa ve 150°C çıkmaktadır. Türbinden 25°C ve 100kPa'daki çevreye 300 kW ısı kaybı olmaktadır. Kinetik ve potansiyel enerjideki değişimi ihmal edip, a)Türbinden elde edilen gerçek güç çıktısını, b) Türbinden

elde edilebilecek en büyük güç çıktısını, c) İkinci yasa verimini, d) Ekserji yok oluşunu (tersinmezlikleri), e) Buharın giriş koşullarındaki ekserjisini hesaplayınız.

C-32)

$$P_1 = 3 \text{ MPa}, T_1 = 450^\circ\text{C}$$

$$h_1 = 3344 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, s_1 = 7.0834 \text{ kJ/kgK}$$



$$h_0 = 104.9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, s_0 = 0.3672 \text{ kJ/kgK}$$

$$\dot{Q} = -300 \text{ kW}$$

$$P_2 = 0.2 \text{ MPa}, T_2 = 150^\circ\text{C}$$

$$h_2 = 2768.8 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, s_2 = 7.2795 \text{ kJ/kgK}$$

T.D.I Kanunu

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m} * (h_2 - h_1)$$

$$-300 \text{ kW} - \dot{W} = 8 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * (2768.8 - 3344)$$

$$\dot{W} = 4301.6 \text{ kW} = \dot{W}_{\text{gerçek}}$$

$$\dot{W}_{\text{tersinir}} = \dot{m} * [(h_2 - h_1) - T_0 * (s_1 - s_2)]$$

$$W_{\text{tersinir}} = 8 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * (3344 - 2768.8) - 298 \text{ K} * (7.0834 - 7.2795) = 5069.1 \text{ kW}$$

$$\eta_{II} = \frac{\dot{W}_{\text{gerçek}}}{\dot{W}_{\text{tersinir}}} = \frac{4301.6}{5069.1} = \% 84.85$$

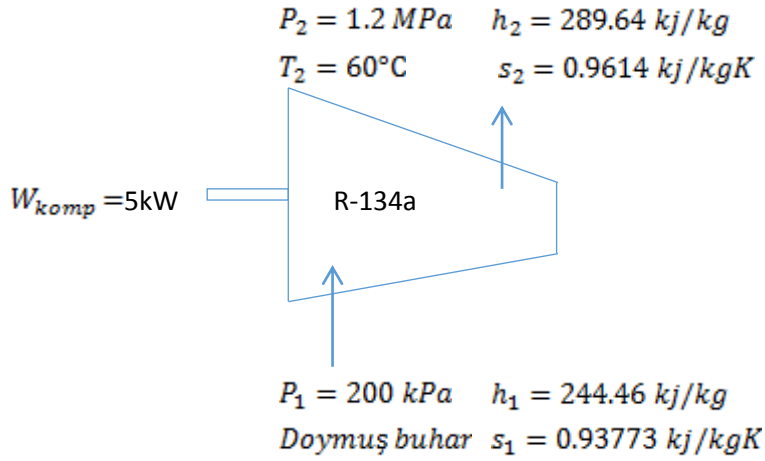
$$I = \dot{W}_{\text{tr}} - \dot{W}_{\text{gerçek}} = 5069.1 - 4301.6 = 767.5 \text{ kW}$$

$$e) \Psi_1 = (h_1 - h_0) - T_0 * (s_1 - s_0) = 3239.1 - 298(7.0834 - 0.3672) = 1237.6724 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{\Psi}_1 = \dot{m} * \Psi_1 = 8 * 1237.6724 = 9901.3792 \text{ kW}$$

S-33) Bir soğutma makinesinin 5 kW gücündeki bir adyabatik bir kompresöre R-134a soğutucu akışkanı 200 kPa basıncında doymuş buhar olarak girmekte ve 60°C sıcaklık ve 1.2 MPa basınca kadar sıkıştırarak çıkarmaktadır. Bu kompresörün ikinci yasa verimini hesaplayınız.

C-33)



II durum için ideal

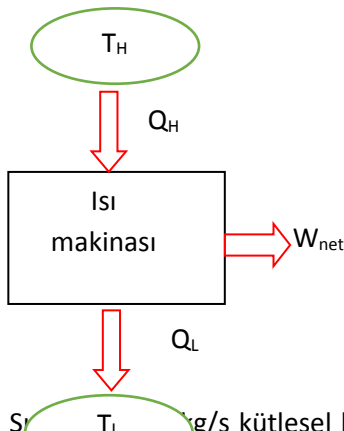
$$P_2 = 1.2 \text{ MPa} \quad h_{2s} = h_g = 281.884 \text{ kJ/kg} \quad \text{interpolasyon}$$

$$s_1 = s_{2s} \quad s_{2s} = 0.93773 \text{ kJ/kgK}$$

$$\eta_{II} = \frac{W_{ter}}{W_{ger}} = \frac{m(h_{2s} - h_1)}{m(h_2 - h_1)} = \frac{281.884 - 244.46}{289.64 - 244.46} = \% 82.83$$

S-34) Isı kaynağı olarak  $1200^\circ\text{C}$  sıcaklıktaki bir kazandan ısı alan ve ısı kuyusu olarak  $20^\circ\text{C}$  sıcaklıktaki bir nehre ısı veren bir ısı makinesinin ısı verimi  $\%40$ 'tır. Buna göre bu ısı makinesinin ikinci yasa verimini hesaplayınız.

C-34)



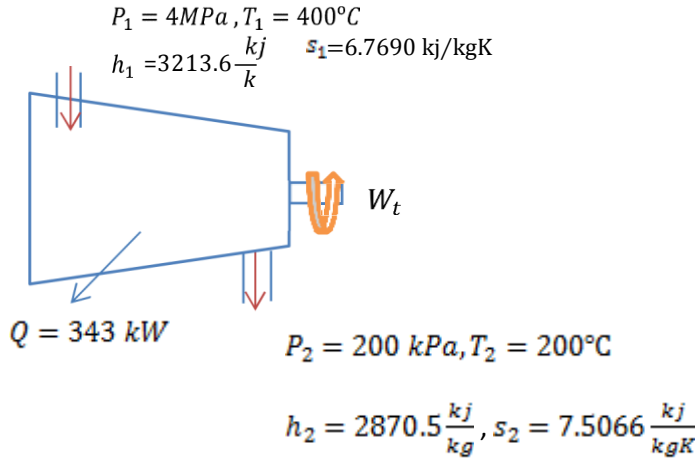
$$\eta_{carnot} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{20 + 273}{1200 + 273} = 0.80$$

$$\eta_{II} = \frac{\eta_{ısı}}{\eta_{carnot}} = \frac{0.4}{0.8} = 0.5 = \%50$$

S-35) Sıcaklığı  $400^\circ\text{C}$  ve  $4 \text{ MPa}$  basınçta  $10 \text{ kg/s}$  kütleli bir debi ile bir türbine girmektedir. Türbinden çıkan ısı kaybı  $343 \text{ kW}$  ve çevre şartları  $25^\circ\text{C}$  sıcaklık ve  $100 \text{ kPa}$  basınç ise; (a) Türbinin ürettiği gücü, (b) Türbinden elde edilebilecek en büyük

gücü, (c)İkinci yasa verimini, (d)Tersinmezliği (e)Su buharının çıkış koşullarındaki ekserjisini hesaplayınız.

C-35)



a)

$$T_0 = T_{\text{çevre}} = 298 \text{ K}, P_0 = P_{\text{çevre}} = 100 \text{ kPa}$$

$$h_0 = 104.9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, s_0 = 0.3672 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

a). T.D.I Kanunu

$$\dot{Q} - \dot{W} = \dot{m}(h_2 - h_1) + KE + PE$$

$$-343 - \dot{W} = 10 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (2870.5 - 3213.6) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$-\dot{W} = \dot{W}_{\text{gerçek}} = 3088 \text{ kW}$$

b) En yüksek güç  $\dot{W}_{tr}$  'dir.

$$\dot{W}_{tr} = \dot{m}[h_1 - h_2 + T_0(s_2 - s_1)]$$

$$\dot{W}_{tr} = 10 \frac{\text{kg}}{\text{s}} [3213.6 - 2870.5 + 298(7.5066 - 6.769)]$$

$$\dot{W}_{tr} = 5629 \text{ kW}$$

$$c) \eta_{II} = \frac{\dot{W}_{\text{gerçek}}}{\dot{W}_{tr}} = \frac{3088 \text{ kW}}{5629 \text{ kW}} = 0.5486 = \%54.86$$

$$d) I = \dot{W}_{tr} - \dot{W}_{\text{gerçek}} = 2541 \text{ kW}$$

$$e) \Psi_2 = h_2 - h_0 - T_0(s_2 - s_0)$$

$$\Psi_2 = 2870.5 - 104.9 - 298(7.5066 - 0.3672)$$

$$\Psi_2 = 638.06 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\Psi_2 = 10 \frac{kg}{s} * 638.06 \frac{kJ}{kg} = 6380.6 kW$$

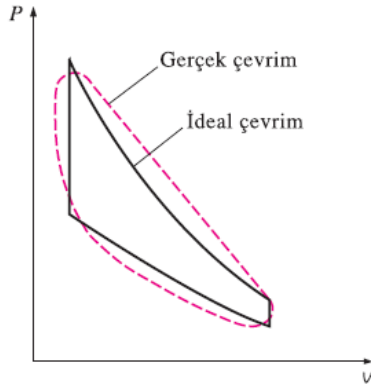
## GAZ AKIŞKANLI GÜÇ ÇEVİMLERİ

### GÜÇ ÇEVİMLERİNİN ÇÖZÜMLEMESİNE İLİŞKİN TEMEL KAVRAMLAR

Güç üreten makinelerin büyük çoğunluğu bir termodinamik çevrime göre çalışır.

**İdeal Çevrim:** Gerçek çevrimin içten tersinmezliklerden ve diğer karmaşıklıklardan arındırılması halinde, gerçek çevrime benzeyen fakat tümüyle içten tersinir hal değişimlerinden oluşan bir çevrim elde edilir.

**Tersinir Çevrim:** Carnot çevrimi gibi tümünden tersinir bir çevrime göre çalışan ısı makineleri, aynı sıcaklık sınırları arasında çalışan tüm ısı makineleri içinde en yüksek ısıl verime sahip makinelerdir.



### Isı Makinelerinin Isıl Verimi

$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_g} \text{ veya } \eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_g}$$

### PİSTONLU MOTORLARA GENEL BİR BAKIŞ

**Sıkıştırma oranı**

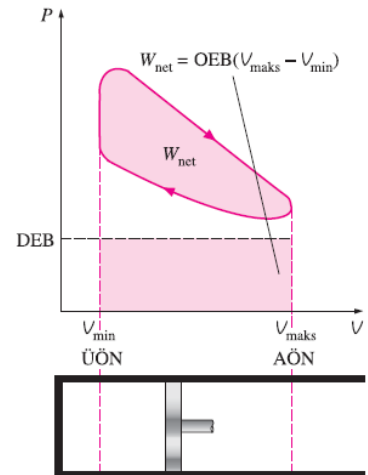
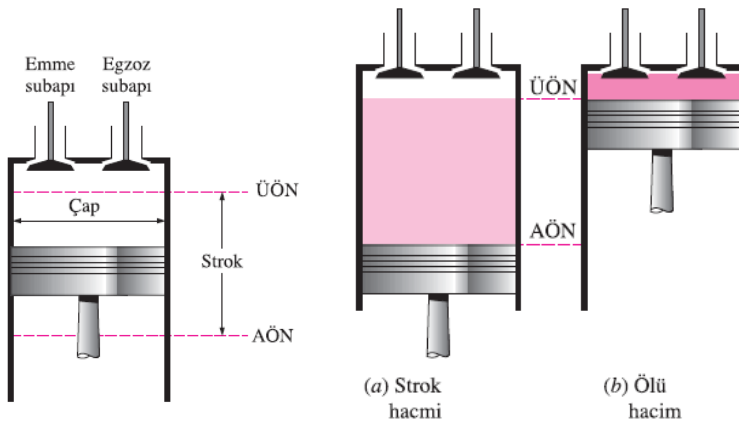
$$r = \frac{V_{maks}}{V_{min}} = \frac{V_{AÖN}}{V_{ÜÖN}}$$

$$W_{net} = OEB \times \text{Piston tablası alanı} \times \text{Strok uzunluğu} = OEB \times \text{Strok hacmi}$$

**Ortalama Efektif Basınç**

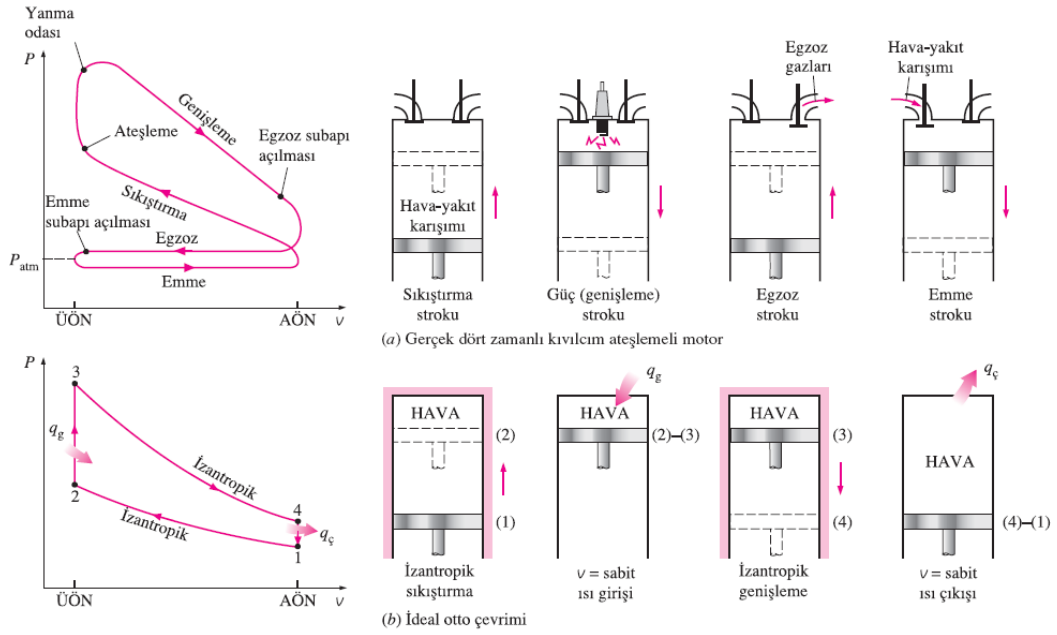
$$OEB = \frac{W_{net}}{V_{maks} - V_{min}} = \frac{W_{net}}{V_{maks} - V_{min}} \quad (\text{kPa})$$

**Buji-ateşlemeli (SI) motorlar Sıkıştırılmalı ateşlemeli (CI) motorlar**

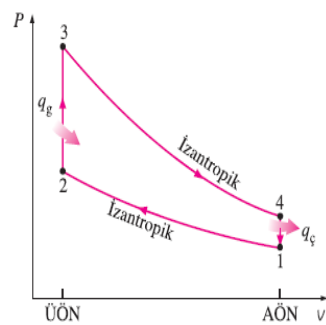
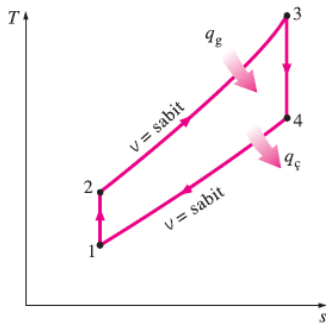




OTTO ÇEVRİMİ: BUJİ-ATEŞLEMELİ MOTORLARIN İDEAL ÇEVRİMİ



Buji-ateşlemeli motorların ideal ve gerçek çevrimleriyle P-v diyagramları



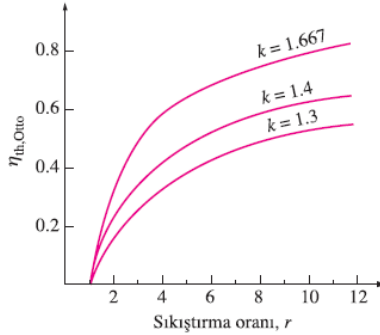
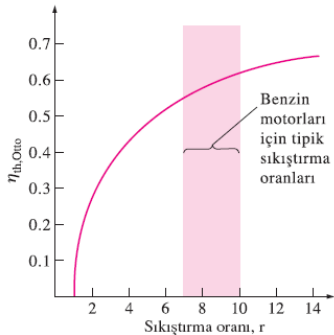
- 1-2 İzentropik sıkıştırma
- 2-3 Sabit hacimde çevrime ısı girişi
- 3-4 İzentropik genişleme
- 4-1 Sabit hacimde çevrimden ısı çıkışı

$$(q_g - q_ç) + (w_g - w_ç) = \Delta u$$

$$\eta_{th,Otto} = \frac{w_{net}}{q_g} = 1 - \frac{q_ç}{q_g} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{T_1(T_4/T_1 - 1)}{T_2(T_3/T_2 - 1)}$$

$$q_g = u_3 - u_2 = c_v(T_3 - T_2)$$

$$q_ç = u_4 - u_1 = c_v(T_4 - T_1)$$



$$\frac{T_1}{T_2} = \left(\frac{v_2}{v_1}\right)^{k-1} = \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^{k-1} = \frac{T_4}{T_3}$$

$$r = \frac{V_{max}}{V_{min}} = \frac{V_1}{V_2} = \frac{V_1}{V_4}$$

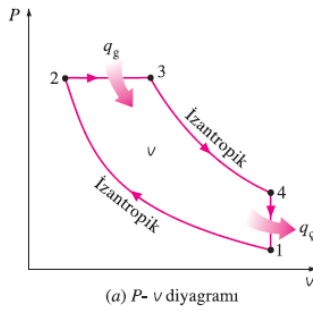
$$\eta_{th,Otto} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}}$$

İş akışkanının özgül ısılarının oranı  $k$  büyüdükçe ideal Otto çevriminin ısı verimi artar.

İdeal Otto çevriminin ısı veriminin sıkıştırma oranıyla değişimi ( $k = 1.4$ ).

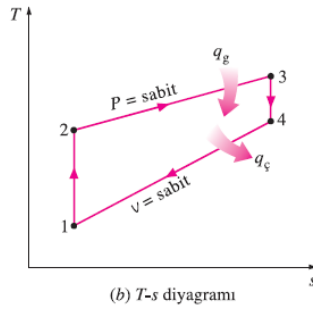
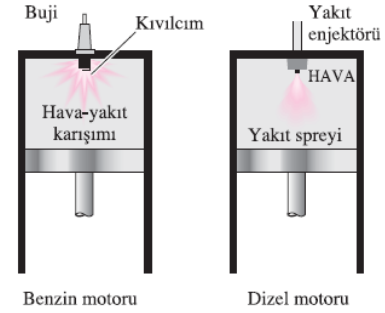
## DİSEL ÇEVİRİMİ: SIKIŞTIRMA-ATEŞLEMELİ MOTORLARIN İDEAL ÇEVİRİMİ

Diesel motorlarında , sıkıştırma stroku süresince yalnızca hava sıkıştırıldığından, kendiliğinden tutuşma olasılığı yoktur. Bu yüzden diesel motorları, çok daha yüksek sıkıştırma oranlarında (tipik olarak 12 ile 24 aralığında) çalışacak şekilde tasarlanırlar.



Diesel motorlarında bujinin yerini yakıt enjektörü almış olup, sıkıştırma stroku süresince yalnızca hava sıkıştırılır.

- 1-2 İzantropik sıkıştırma
- 2-3 Sabit basınçta ısı geçişi
- 3-4 İzantropik genişleme
- 4-1 Sabit hacimde ısı atılması



$$\eta_{th,Diesel} = \frac{w_{net}}{q_g} = 1 - \frac{q_ç}{q_g} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{k(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1(T_4/T_1 - 1)}{kT_2(T_3/T_2 - 1)}$$

$$\eta_{th,Diesel} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} \left[ \frac{r_c^k - 1}{k(r_c - 1)} \right]$$

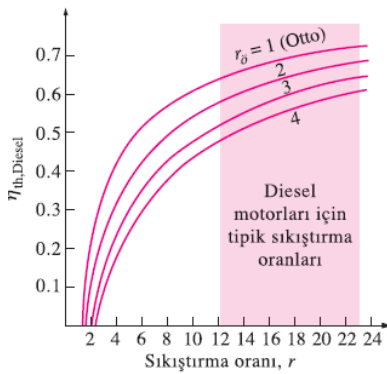
$$q_g - w_{b,ç} = u_3 - u_2 \rightarrow q_g = P_2(v_3 - v_2) + (u_3 - u_2) = h_3 - h_2 = c_p(T_3 - T_2)$$

$$-q_ç = u_1 - u_4 \rightarrow q_ç = u_4 - u_1 = c_v(T_4 - T_1)$$

$$\text{Kesme oranı } r_{\bar{v}} = \frac{V_3}{V_2} = \frac{V_3}{V_2}$$

aynı sıkıştırma oranı için  $\eta_{th,Otto} > \eta_{th,Diesel}$

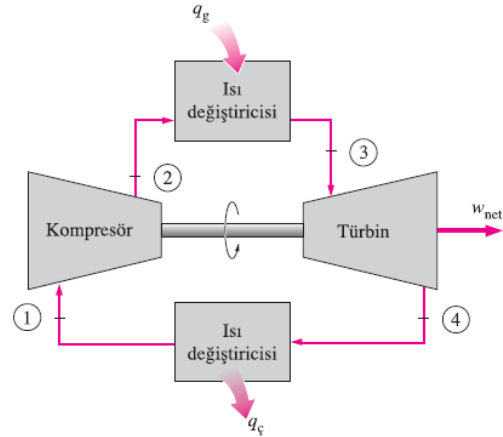
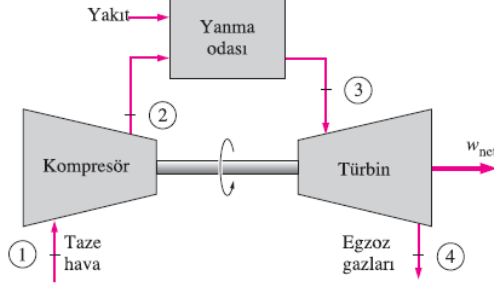
İdeal Diesel çevriminin ısı veriminin, sıkıştırma oranına ve kesme oranına göre değişimi ( $k = 1.4$ ).



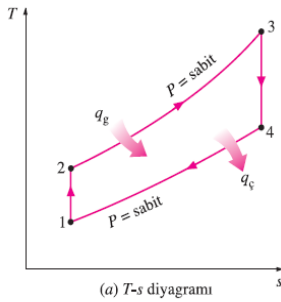
## BRAYTON ÇEVRİMİ: GAZ TÜRBİNLERİ İÇİN İDEAL ÇEVRİM

Yanma işleminin yerini sabit basınçta bir dış kaynaktan ısı girişi, egzoz işleminin yerini de sabit basınçta çevre havaya ısı atılması işlemi alır. İş akışkanının kapalı bir çevrimde dolaştığı bu ideal çevrime **Brayton** çevrimi denir ve aşağıda sıralanan dört içten tersinir hal değişiminden oluşur:

- 1-2 İzentropik sıkıştırma (bir kompresörde)
- 2-3 Sabit basınçta ısı girişi
- 3-4 İzentropik genişleme (bir türbinde)
- 4-1 Sabit basınçta ısı çıkışı



Açık çevrime göre çalışan bir gaz türbini. Kapalı çevrime göre çalışan bir gaz türbini.



$$(q_g - q_ç) + w_g - w_ç = h_ç - h_g$$

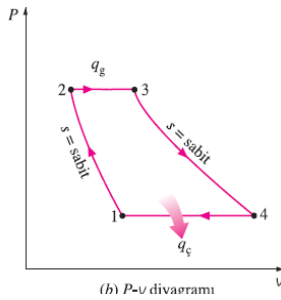
$$q_g = h_3 - h_2 = c_p(T_3 - T_2)$$

$$q_ç = h_4 - h_1 = c_p(T_4 - T_1)$$

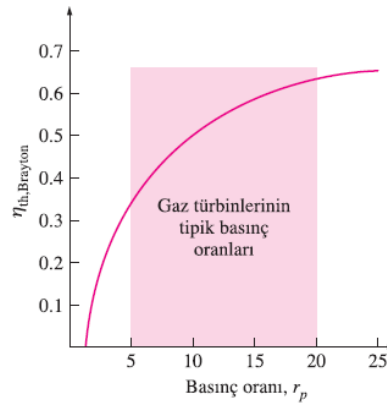
$$\eta_{th,Brayton} = \frac{w_{net}}{q_g} = 1 - \frac{q_ç}{q_g} = 1 - \frac{c_p(T_4 - T_1)}{c_p(T_3 - T_2)} = 1 - \frac{T_1(T_4/T_1 - 1)}{T_2(T_3/T_2 - 1)}$$

Basınç oranı  $r_p = \frac{P_2}{P_1} \quad \frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(k-1)/k} = \left(\frac{P_3}{P_4}\right)^{(k-1)/k} = \frac{T_3}{T_4}$

$$\eta_{th,Brayton} = 1 - \frac{1}{r_p^{(k-1)/k}}$$



*İdeal Brayton çevriminin T-s ve P-v diyagramları.*

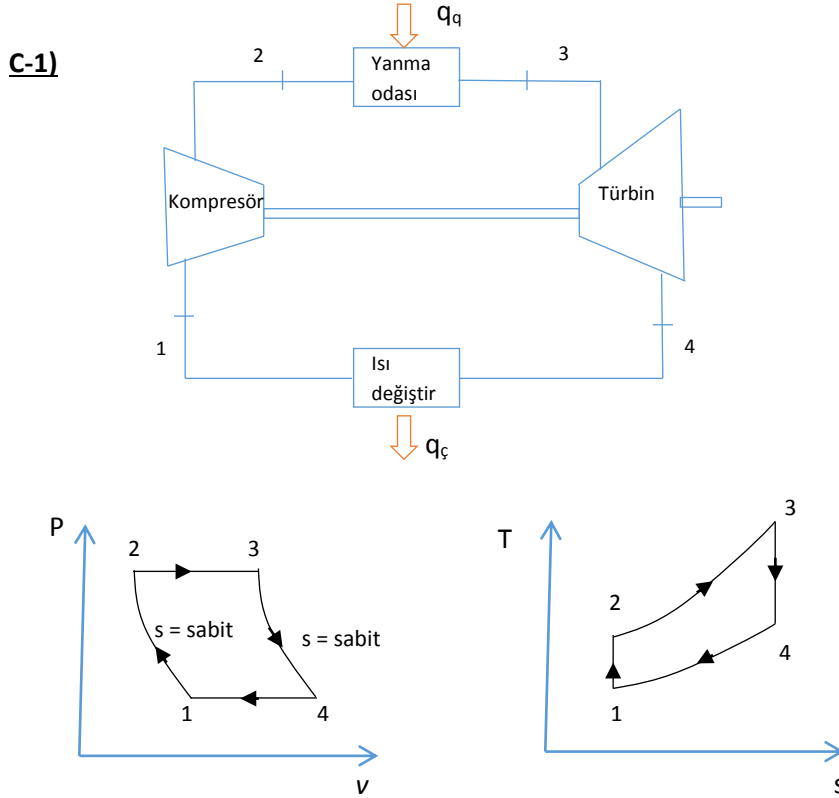


İdeal Brayton çevriminin ısı veriminin basınç oranına göre değişimi.

**S-1)** İdeal Brayton çevrimine göre çalışan bir gaz türbininde basınç oranı 9, kompresör girişinde sıcaklık 280 K ve türbin girişinde ise sıcaklık 1200 K olduğuna göre;

**a)** Gaz türbini çevrimini şematik olarak çiziniz, **b)** T-s ve P-V diyagramlarını çiziniz. **c)** Sistem bu şartlarda rejeneratör kullanmaya uygun mu ? neden?, **d)** Isıl verimini hesaplayınız.

**Not:**  $T_2/T_1=(P_2/P_1)^{(k-1)/k}$  ,  $k=1.4$



$$r_p = \frac{P_2}{P_1} = 9 , \quad T_1 = 280 \text{ K} , \quad T_3 = 1200 \text{ K}$$

$$T_2 = T_1 * \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} \Rightarrow T_2 = 524.89 \text{ K}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{k-1}{k}} = \frac{T_3}{T_4} \Rightarrow T_4 = \frac{T_3}{90.286} = 640.13 \text{ K}$$

$T_4 > T_2$  olduğundan rejeneratör kullanılabilir.

$$\eta_{\text{ısı}} = \frac{w_{\text{net}}}{q_g} = 1 - \frac{q_c}{q_g} = 1 - \frac{C_p * (T_4 - T_1)}{C_p * (T_3 - T_2)}$$

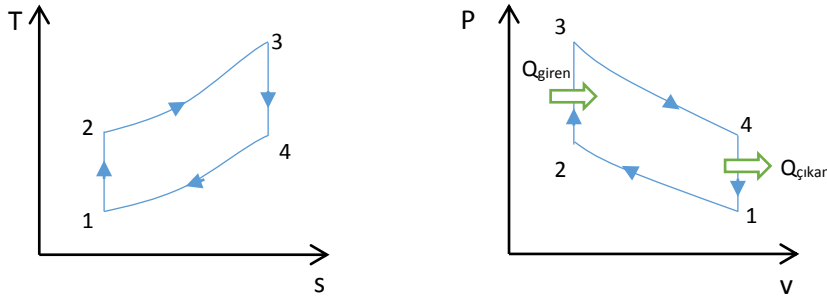
$$\eta_{\text{ısı}} = 1 - \frac{640.13 - 280}{1200 - 524.89} = 0.466 \text{ (%46.66)}$$

$$\eta_{\text{ısı}} = 1 - \frac{1}{r^{\frac{k-1}{k}}} = 1 - \frac{1}{9^{\frac{0.4}{1.4}}} = 1 - \frac{1}{1.87344} = \%46.66$$

**S-2)** Havayla çalışan ideal bir Otto çevriminin sıkıştırma oranı 8'dir. Çevrimin en yüksek ve en düşük sıcaklıkları sırasıyla 1600 K ve 310 K'dir. Özgül ısılardan sıcaklıkla değişmediğini varsayarak, **a-** Çevrimin T-s ve P-V diyagramını çiziniz. **b-** Çevrime verilen ısıyı, **c-** Çevrimin ısı verimini, **d-** Aynı sıcaklık sınırları arasında çalışan bir Carnot çevriminin verimini hesaplayın.

**C-2)**  $r = 8$  ,  $T_{\text{maks}} = 1600\text{K} = T_3$  ,  $T_{\text{min}} = 310\text{K} = T_1$

a)



$k = 1.4$  ,  $C_v = 0.718 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$  ,  $C_p = 1.005 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$  alındı.

b)  $T_2 = T_1 * r^{k-1} = 310\text{K} * 8^{0.4} = 712.19\text{K}$

$q_{\text{giren}} = C_v * (T_3 - T_2) = 0.718 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * (1600 - 712.19)\text{K}$

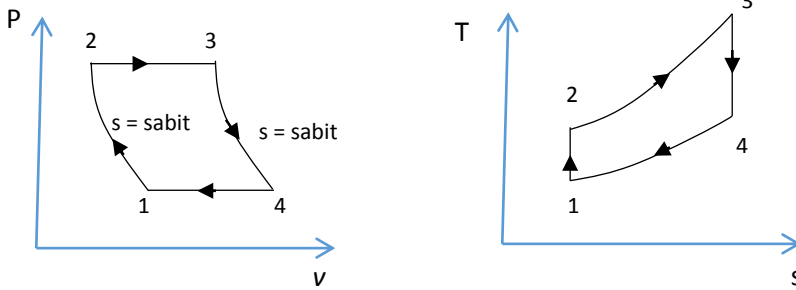
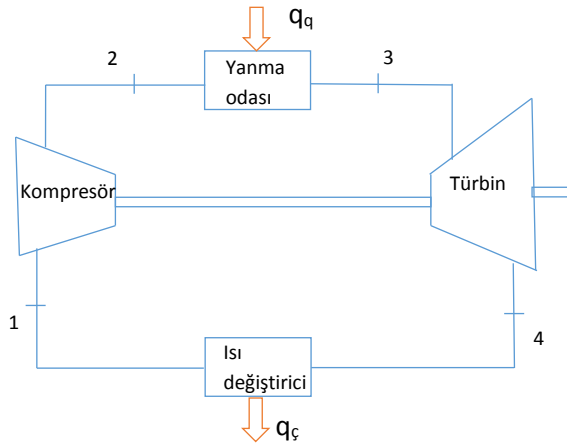
$q_{\text{giren}} = 637.45 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$

c)  $\eta_{\text{otto}} = 1 - r^{1-k} = 0.5647 \text{ (%56.47)}$

d)  $\eta_{\text{Carnot}} = \frac{T_H - T_L}{T_H} = 1 - \frac{T_L}{T_H} = 1 - \frac{310}{1600} = 0.8063 \text{ (% 80.63)}$

**S-3)** Hava bir gaz türbini santralinin kompresörüne 300 K sıcaklık ve 100 kPa basınçta girmekte, 580 K sıcaklık ve 700 kPa basınçta sıkıştırılmaktadır. Türbine girmeden önce havaya 950 kJ/kg ısı geçişi olmaktadır. Türbinin adiabatik verimi yüzde 86 olduğuna göre, **a-** Kompresörü çalıştırmak için gerekli işin türbinde elde edilen işe oranını, **b-** çevrimin ısı verimini hesaplayın. Çevrimin ideal Brayton çevrimine göre çalıştığını ve özgül ısılardan sıcaklıkla değişmediğini kabul edin.

C-3)



$$P_1 = 100 \text{ kPa} , \quad T_1 = 300 \text{ K} , \quad P_2 = 700 \text{ kPa} , \quad T_2 = 580 \text{ K}$$

$$w_k = C_p * (T_2 - T_1) = 1.005 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * (580 - 300) \text{ K} \Rightarrow w_k = 281.4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$q_{giren} = C_p * (T_3 - T_2) \Rightarrow 950 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 1.005 * (T_3 - 580 \text{ K})$$

$$T_3 = 1525.27 \text{ K}$$

$$w_t = C_p * (T_3 - T_4) \Rightarrow \frac{T_3}{T_4} = r_p^{k-\frac{1}{k}}$$

$$r_p = \frac{P_2}{P_1} = \frac{700 \text{ kPa}}{100 \text{ kPa}} = 7 , \quad T_4 = \frac{1525.27}{7^{0.4}} = 847.79 \text{ K}$$

$$w_{ts} = 1.005 * (1525.27 - 847.79) = 653.73 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\eta_{Türbin} = \frac{w_{gt}}{w_{ts}} \Rightarrow w_{gt} = 562.21 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$a) \text{ Geri iş oranı} = \frac{w_k}{w_{gt}} = \frac{281.4}{562.21} = 0.5 (\% 50)$$

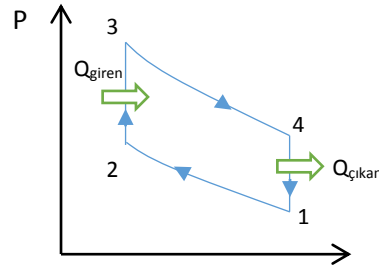
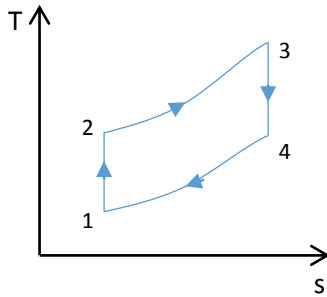
$$b) \eta_{\text{Brayton}} = 1 - r_p^{\frac{1-k}{k}} = 1 - 7^{-0.2857} = 0.4264 (\% 42.64)$$

$$q_{\text{çıkan}} = C_p * (T_4 - T_1) = 1.005 * (874.79 - 300) = 577.66 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\eta_{\text{Brayton}} = \frac{w_{\text{net}}}{q_{\text{giren}}} = \frac{w_{gt} - w_k}{q_{\text{giren}}} = \frac{562.21 - 281.4}{950} = \% 29.56$$

**S-4)** Bir Otto çevriminde sıkıştırma oranı 8'dir. Sıkıştırma stroku başlangıcında sıcaklık 20 °C ve basınç 0.1 MPa'dır. Çevrim başına verilen ısı 2000 kJ/kg ise; **a-** Çevrimin her noktasındaki sıcaklık ve basınç değerlerini, **b-** Çevrimin ısı verimini hesaplayınız. (  $k=1.4$  ,  $c_v=0.718$  kJ/kgK)

**C-4)**



$$T_1 = 20 + 273 = 293 \text{ K}$$

$$T_2 = T_1 * 8^{0.4} = 673.13 \text{ K}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = r^k \Rightarrow P_2 = 0.1 * 8^{1.4} = 1.83 \text{ MPa}$$

$$q_{23} = C_v * (T_3 - T_2) \Rightarrow T_3 = \frac{2000}{0.7165} + 673.13 \Rightarrow T_3 = 3464.47 \text{ K}$$

$$\frac{P_3}{P_2} = \frac{T_3}{T_2} \Rightarrow P_3 = 9.41 \text{ MPa}$$

$$\frac{P_3}{P_4} = \left(\frac{v_4}{v_3}\right) \Rightarrow P_4 = \frac{P_3}{r^k} = 0.5119 \text{ MPa}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_3 * v_3 = R * T_3 \\ P_4 * v_4 = R * T_4 \end{array} \right\} \frac{P_3}{P_4} = \frac{T_3}{T_4} * \frac{v_4}{v_3} \Rightarrow T_4 = 1507.72 \text{ K}$$

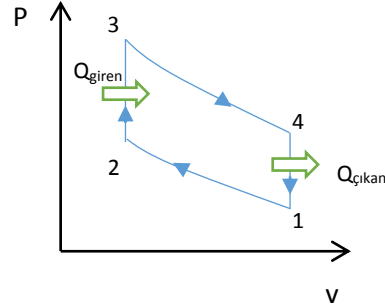
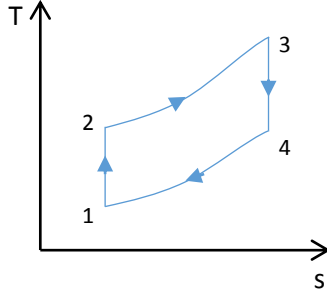
$$\eta_{otto} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} = 0.56$$

$$q_{41} = 0.7165 * (1507.72 - 2.93) = 870.340 \frac{kJ}{kg}, \quad w_{net} = q_{23} - q_{41} = 1129.65$$

$$\eta_{otto} = \frac{w_{net}}{q_{23}} = \% 56.48$$

**S-5)** Bir ideal Otto çevriminde sıkıştırma oranı 9.5'tir. Sıkıştırma başlangıcında havanın sıcaklığı 35 °C ve basıncı 100 kPa ve hacmi 600 cm<sup>3</sup>'tür. İzentropik genişleme işleminin sonunda havanın sıcaklığı 800 K olduğuna göre; **a)** Çevrimin P-V ve T-s diyagramlarını çiziniz. **b)** Çevrimin en yüksek sıcaklık ve basıncını, **c)** Çevrime verilen ısıyı, **d)** Çevrimin ısı verimini, **e)** Ortalama efektif basıncı hesaplayınız.

**C-5)**



**a)**

1-2 izentropik sıkıştırma

$$T_2 = T_1 * \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^2 = 308K * 9.5^{0.4} = 757.9K$$

$$\frac{P_2 * v_2}{T_2} = \frac{P_1 * v_1}{T_1} \Rightarrow P_2 = \frac{v_1}{v_2} * \frac{T_2}{T_1} * P_1 = 9.5 * \left(\frac{757.9K}{308K}\right) * 100 kPa = 2338 kPa$$

3-4 izentropik genişleme

$$T_3 = T_4 * \left(\frac{v_4}{v_3}\right)^{k-1} = 800K * 9.5^{0.4} = 1969 K$$

2-3 sabit hacimde ısı girişi

$$\frac{P_2 * v_2}{T_2} = \frac{P_3 * v_3}{T_3} \Rightarrow P_3 = \frac{T_3}{T_2} * P_2 = \frac{1969K}{757.9K} * 2338kPa = 6072 kPa$$

$$b) m = \frac{P_1 * v_1}{R * T_1} = \frac{100 kPa * 0.0006 m^3}{0.287 \frac{kPa * m^3}{kgK} * 308K} = 6.788 * 10^{-4} kg$$

$$Q_{giren} = m * (u_3 - u_2) = m * C_v * (T_3 - T_2)$$



$$Q_{giren} = 6.788 * 10^{-4} kg * (0.718 \frac{kJ}{kgK}) * (1969 - 757.9)K = 0.590 kJ$$

c) 4-1 sabit hacimde ısı çıkışı

$$Q_{çikan} = m * (u_4 - u_1) = m * C_v * (T_4 - T_1)$$

$$Q_{çikan} = -(6.788 * 10^{-4} kg) * (0.718 \frac{kJ}{kgK}) * (800 - 308)K = 0.240 kJ$$

$$W_{net} = Q_{giren} - Q_{çikan} = 0.590 - 0.240 = 0.350 kJ$$

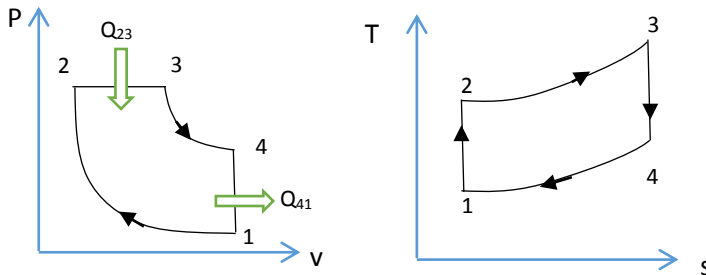
$$\eta_{th} = \frac{W_{net}}{Q_{giren}} = \frac{0.350 kJ}{0.590 kJ} = \%59.4$$

$$d) V_{min} = V_2 = \frac{V_{max}}{r}$$

$$OEB = \frac{W_{net}}{V_1 - V_2} = \frac{W_{net}}{V_1 * (1 - \frac{1}{r})} = \frac{350 kJ}{0.0006 m^3 * (1 - \frac{1}{9.5})} * \left( kPa * \frac{m^3}{kJ} \right) = 652 kPa$$

**S-6)** İdeal bir **Diesel** çevriminin sıkıştırma oranı 16, kesme oranı (ön genişleme oranı) 2 dir. Sıkıştırma işleminin başında havanın basıncı 95 kPa, sıcaklığı 27°C'dir. Çevrimi P-V ve T-s diyagramında göstererek, **a)** ısı giriş işlemi sonundaki sıcaklığını, **b)** ısıl verimini, **c)** ortalama efektif basıncı bulunuz. Özgül ısılardan sıcaklıkla değişmediğini kabul ediniz.

**C-6)**



$$a) T_2 = T_1 * \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{k-1} = 300K * 16^{0.4} = 909.4 K$$

2-3 prosesinde P = sabit

$$\frac{P_3 * V_3}{T_3} = \frac{P_2 * V_2}{T_2} \Rightarrow T_3 = \left( \frac{V_3}{V_2} \right) * T_2 = 2 * T_2$$

$$T_3 = 1818,8 K$$

$$b) q_{giren} = h_3 - h_2 = C_p * (T_3 - T_2) = 1.005 \frac{kJ}{kgK} * (1818.8 - 909.4)K = 913.9 \frac{kJ}{kg}$$

$$T_4 = T_3 * \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{k-1} = T_3 * \left(2 * \frac{V_2}{V_4}\right)^{k-1} = (1818.8 - 909.4) * \left(\frac{2}{16}\right)^{0.4} = 791.7 K$$

$$q_{çıkan} = u_4 - u_1 = C_v * (T_4 - T_1) = 0.718 \frac{kJ}{kgK} * (791.7 - 300)K = 353 \frac{kJ}{kg}$$

$$\eta = 1 - \frac{q_{çıkan}}{q_{giren}} = 1 - \frac{353}{913.9} = \% 61.4$$

$$c) w_{net} = q_{giren} - q_{çıkan} = 913.9 - 353 = 560.9 \frac{kJ}{kg}$$

$$v_1 = \frac{R * T_1}{P_1} = \frac{0.287 * 300}{95} = 0.906 \frac{m^3}{kg} = v_{max}$$

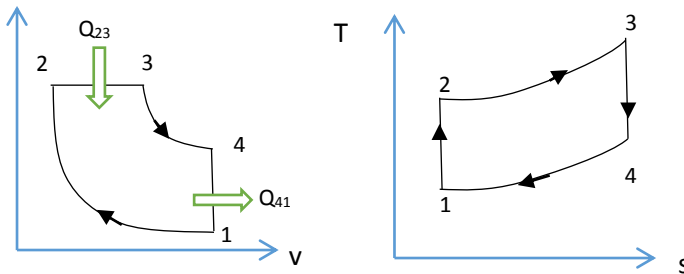
$$v_{min} = v_2 = \frac{v_{max}}{16} = \frac{0.906}{16} = 0.057 \frac{m^3}{kg}$$

$$OEB = \frac{w_{net}}{v_1 - v_2} = \frac{560.9}{0.906 - 0.057} = 660.4 KPa$$

**S-7)** İzentropik sıkıştırma oranı 16 olan ideal Diesel çevriminde sıkıştırma başlangıcında hava 100 kPa ve 300 K sıcaklıktadır. Çevrime 1 kg hava için verilen ısı 1800 kJ olduğuna göre, çevrimi P-v ve T-s diyagramlarında gösterip maksimum sıcaklığı, yapılan işi ve çevrimin ısıl verimini bulunuz.

$$C_p = 1.0035 \text{ kJ/kgK} , C_v = 0.7165 \text{ kJ/kgK}$$

**C-7)**



$$\frac{T_2}{T_1} = r^{k-1} \Rightarrow T_2 = 300 * 16^{0.4} = 909.43 K$$

$$\frac{P_2}{P_1} = r^k \Rightarrow P_2 = 4850 \text{ kPa} = P_3$$

$$q_{23} = C_p * (T_3 - T_2) \Rightarrow T_3 = \frac{q_{23}}{C_p} + T_2 = 2703.15 K$$

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{V_1}{V_3}\right)^{k-1} = \left(\frac{V_1}{V_2} * \frac{V_2}{V_3}\right)^{k-1} = r^{k-1} * \left(\frac{T_2}{T_3}\right)^{k-1} \Rightarrow T_4 = 1378.85$$

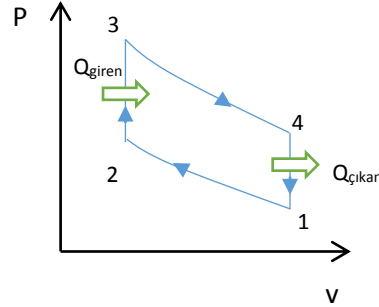
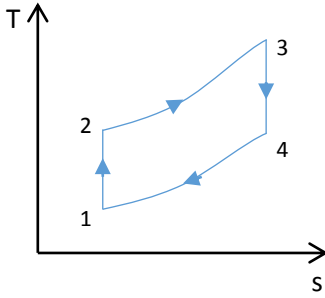
$$q_{41} = C_v * (T_4 - T_1) = 773 \text{ kJ/kg}$$

$$w_{net} = q_{23} - q_{41} = 1026.99 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_{isil} = \frac{w_{net}}{q_{23}} = \frac{1026.99}{1800} = \%57$$

**S-8)** Bir ideal Otto çevriminde sıkıştırma başlangıcında havanın sıcaklığı 27 °C ve basıncı 100 kPa'dır. Çevrimin maksimum sıcaklığı 2500 K ve sıkıştırma oranı 8 olduğuna göre, **a-** Çevrimin P-V ve T-s diyagramlarını çiziniz. **b-** Çevrimin her noktasındaki sıcaklık ve basıncı bulunuz. **c-** Çevrimden elde edilebilecek net gücü belirleyiniz. **d-** Çevriminin verimini hesaplayınız.

**C-8)**



$$1 \Rightarrow P_1 = 0.1 \text{ MPa}, T_1 = 300 \text{ K}$$

$$2 \Rightarrow P_2 = P_1 * r^k = 1.8379 \text{ MPa}$$

$$T_2 = T_1 * r^{k-1} = 689.219 \text{ K}$$

$$3 \Rightarrow P_3 = P_1 * r * \frac{T_3}{T_1} = 0.1 * 8 * \frac{2500 \text{ K}}{300 \text{ K}} = 6.6567 \text{ MPa}$$

$$T_3 = T_{max} = 2500 \text{ K}$$

$$4 \Rightarrow P_4 = P_1 * r^{1-k} * \frac{T_3}{T_1} = 0.3627 \text{ MPa}$$

$$T_4 = T_3 * r^{1-k} = 1088.18 \text{ K}$$

$$c) q_{giren} = C_v * (T_3 - T_2) = 0.7165 * (2500 - 689.219) = 1297.42 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$q_{çiklan} = C_v * (T_4 - T_1) = 564.73 \text{ kJ/kg}$$

$$w_{net} = 732.68 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

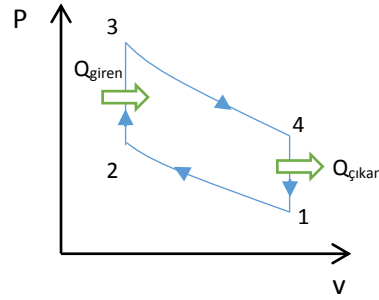
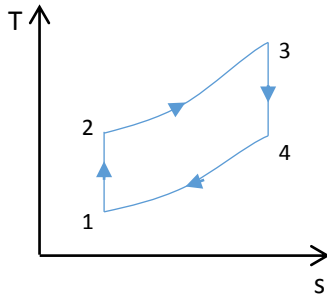
$$d) \eta_{isil} = \frac{w_{net}}{q_{giren}} = 0.5647 \text{ (%56.47)}$$

$$\eta_{isil} = 1 - r^{1-k} = 0.5647$$

**S-9)** İdeal bir Otto çevriminin sıkıştırma oranı 9.5'dir. Sıkıştırma işleminin başlangıcında havanın basıncı 100 kPa, sıcaklığı 17 °C, hacmi 600 cm<sup>3</sup> 'tür. İzentropik genişlemenin sonunda havanın sıcaklığı 800 K'dir. Oda sıcaklığında sabit özgül ısılar kullanarak, **(a)** çevrimin en yüksek sıcaklık ve basıncını, **(b)** kJ olarak çevrime verilen ısıyı, **(c)** çevrimin ısıl verimini, **(d)** çevrimin ortalama efektif basıncını hesaplayınız.

**Not:** C<sub>p</sub> = 1.005 kJ/kg·K, C<sub>v</sub> = 0.718 kJ/kg·K, R = 0.287 kJ/kg·K, k = 1.4

**C-9)**



$$P_1 = 100 \text{ kPa}$$

$$T_1 = 17 + 273 = 290 \text{ K}$$

$$V_1 = 600 \text{ cm}^3 = 600 * 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$T_4 = 800 \text{ K}$$

$$r = 9.5$$

$$T_2 = T_1 * r^{k-1} = 290 * 9.5^{0.4} = 713.65 \text{ K}$$

$$P_2 = P_1 * r^k = 2338 \text{ kPa} = 23.38 \text{ MPa}$$

$$m = \frac{P_1 * V_1}{R * T_1} = \frac{100 * 0.0006}{0.287 * 290} = 7.2 * 10^{-4} \text{ kg}$$

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^{k-1} \Rightarrow T_3 = T_4 * r^{k-1} = 1969 \text{ K}$$

$$P_3 = \frac{T_3}{T_2} * P_2 = 6450.67 \text{ kPa}$$

$$b) Q_{23} = m * C_v * (T_3 - T_2) = 7.2 * 10^{-4} \text{ kg} * 0.718 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * (1969 - 713.65) \text{ K} = 0.649 \text{ kJ}$$

$$c) Q_{41} = m * C_v * (T_4 - T_1) = 0.2636 \text{ kJ}$$

$$W_{net} = Q_{23} - Q_{41} = 0.3854 \text{ kJ}$$

$$\eta_{isil} = \frac{W_{net}}{Q_{23}} = \frac{0.3854}{0.649} = 0.5938 (\%59.4), \quad \eta_{isil} = 1 - r^{1-k} = \% 59.4$$

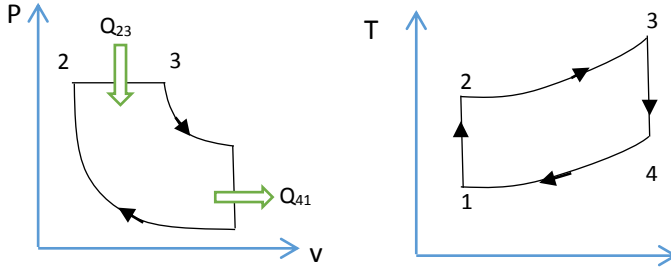
$$d) OEB = \frac{W_{net}}{V_{max} - V_{min}} = \frac{W_{net}}{V_1 * \left(1 - \frac{1}{r}\right)} = \frac{0.3854 \text{ kJ}}{0.0006 * \left(1 - \frac{1}{9.5}\right)} = 718 \text{ kPa}$$

**S-10)** Benzin ve dizel yakıtlı içten yanmalı motorların termodinamik çevrimlerinin adını yazınız, bu çevrimlerin P-V diyagramlarını çiziniz. İki çevrim arasındaki farkları yazınız.

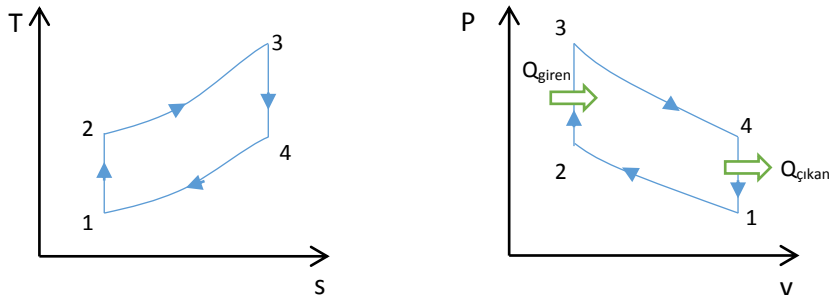
**C-10)**

Benzin Çevrim	Dizel Çevrim
Otto	Dizel
Buji Ateşlemeli	Sıkıştırılmalı ateşlemeli
Sıkıştırma oranı düşük	Sıkıştırma oranı yüksek

Dizel çevrim

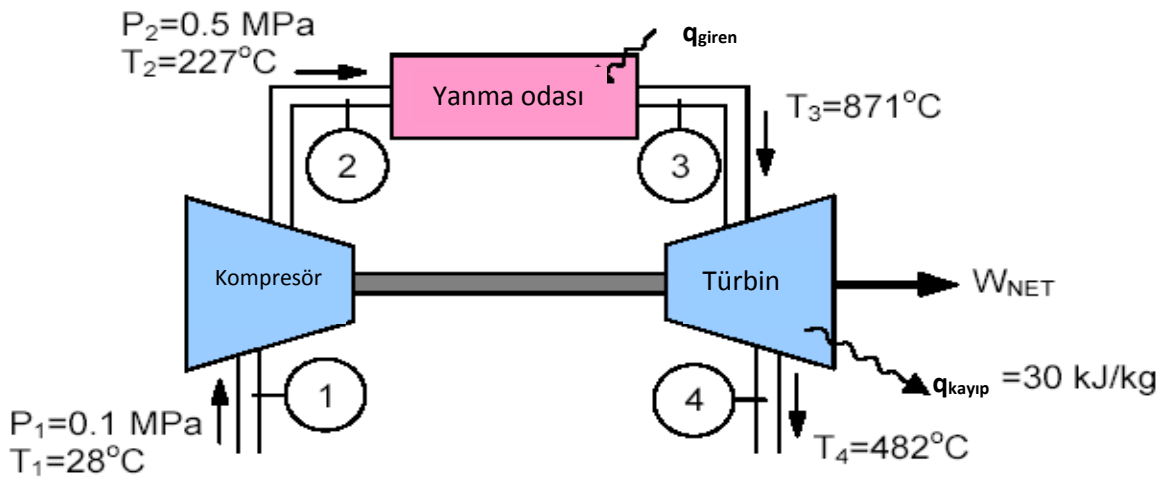


Otto çevrim

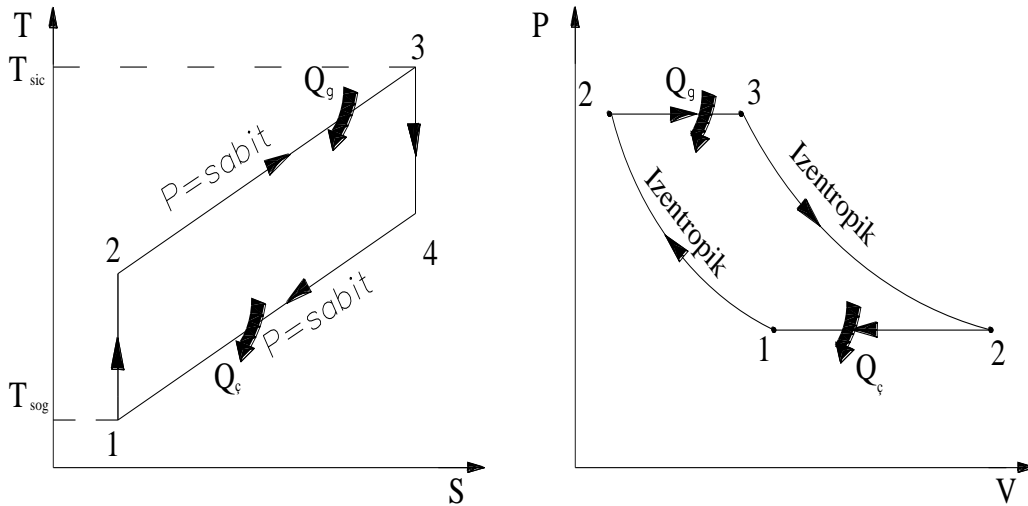


**S-11)**Aşağıda gerçek gaz türbinine ait şematik resim verilmiştir. Buna göre; **a)** Çevrimin adını yazıp, P-V ve T-s diyagramını çiziniz. **b)** Kompresörün adyabatik verimini ( $\eta_{komp.}$ ), **c)** Çevrimin net işini ( $W_{Net}$ ) **d)** Çevrimin ısıl verimini, **e)** Geri iş oranını hesaplayınız.

**C-11)**



**a)**



Brayton çevriminin T-S ve P-V diyagramları.

$$b) T_{2,s} = T_1 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{k-1}{k}} = 301 \left( \frac{0.5}{0.1} \right)^{\frac{1.4-1}{1.4}} = 477 K$$

$$\eta_{komp.} = \frac{w_{komp,s}}{w_{komp,a}} = \frac{h_{2,s} - h_1}{h_2 - h_1} = \frac{C_p(T_{2,s} - T_1)}{C_p(T_2 - T_1)} = \frac{477 - 301}{500 - 301} = 0.883 \Leftrightarrow \%88.3$$

$$c) w_{Tur.} = (h_3 - h_4) - q_{cu.} = C_p(T_3 - T_4) - q_{cu.}$$

$$w_{Tur.} = 1.005(1144 - 755) - 30 = 361 \frac{kJ}{kg}$$

$$w_{komp.} = (h_2 - h_1) = C_p(T_2 - T_1) = 1.005(500 - 301) = 200 \frac{kJ}{kg}$$

$$w_{Net} = w_{Tur.} - w_{komp.} = 361 - 200 = 161 \frac{kJ}{kg}$$

$$d) \eta_{Brayton} = \frac{w_{Net}}{q_{giren}}$$

$$q_{giren} = h_3 - h_2 = C_p(T_3 - T_2) = 1.005(1144 - 500) = 647 \frac{kJ}{kg}$$

$$\eta_{Brayton} = \frac{161}{647} = 0.249 \Leftrightarrow \%24.9$$

$$e) r_{gi} = \frac{w_{komp.}}{w_{Tur.}} = \frac{200}{361} = 0.554$$

**S-12)** Bir silindirde başlangıçta 100 kPa ve 27 °C ' de 0.8 kg Nitrojen bulunmaktadır. Nitrojen politropik işlem  $P * V^{1.3} = \text{sabit}$  olarak hacmi ilk hacminin yarısı oluncaya kadar sıkıştırılmaktadır. Buna göre yapılan işi ve silindirin çevreye transfer ettiği ısıyı hesaplayınız.  $R=0.287$  kJ/kgK ,  $C_v= 0.7448$

**C-12)**

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 100 \text{ kPa} \\ T_1 = 300 \text{ K} \\ m = 0.8 \text{ kg} \\ C_v = 0.7448 \\ V_2 = V_1/2 \end{array} \right\}$$

$$P_1 * V_1^{1.3} = P_2 * V_2^{1.3} \Rightarrow P_2 = \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{1.3} * P_1$$

$$P_2 = 2^{1.3} * 100 \text{ kPa} = 246.2 \text{ kPa}$$

$$\frac{P_1 * V_1}{T_1} = \frac{P_2 * V_2}{T_2} \Rightarrow T_2 = 369.3 \text{ K}$$

$$W_{12} = \frac{P_2 * V_2 - P_1 * V_1}{1 - n} = \frac{m * R * (T_2 - T_1)}{1 - n} = -54.8 \text{ kJ}$$

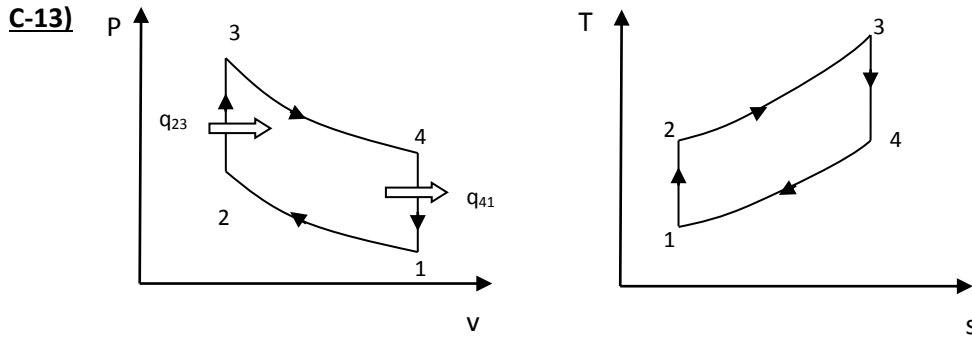
T.D.I. Kanununa göre

$$Q_{12} - W_{12} = \Delta U = \frac{m * C_v * (T_2 - T_1)}{41.29 \text{ kJ}} \Rightarrow Q_{12} = \Delta U + W_{12}$$

$$Q_{12} = 41.29 - 54.8 = -13.5 \text{ kJ/kg}$$

**S-13)** Sıkıştırma oranı 7 olan ideal Otto çevriminde sıkıştırma başlangıcında sıcaklık 25°C , basınç 0.1 MPa dir. Çevrimdeki maksimum sıcaklık 2000°C olduğunda göre birim hava kütlesi için;

- Çevrimin tüm noktalarındaki basınç ve sıcaklık değerlerini,
- Çevrime verilen ısı miktarını, çevrimden alınan ısı miktarını, çevrimden alınan net işi,
- Çevrimin ısı verimini hesaplayınız.



$$r = \frac{v_1}{v_2} = 7 \quad 2 \rightarrow P_2 = 1.524 \text{ MPa} , T_2 = 648.91 \text{ K}$$

$$3 \rightarrow P_3 = 1.524 \text{ MPa} , T_3 = 2273 \text{ K}$$

$$4 \rightarrow P_4 = 0.350 \text{ MPa} , T_4 = 1042.84 \text{ K}$$

$$Q_{gir} = Q_{23} = 1165.66 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{cik} = Q_{41} = 882.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad w_{net} = 251.86 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$1 \rightarrow 2 \quad P_1^k * V_1^k = P_2^k * V_2^k \Rightarrow P_2 = P_1 * r^k = 0.1 * 7^{1.4} = 1.5245 \text{ MPa}$$

$$\left. \begin{array}{l} 2 \rightarrow 3 \quad P_2 * V_2 = R * T_2 \\ P_3 * V_3 = R * T_3 \end{array} \right\} \frac{P_2}{P_3} = \frac{T_2}{T_3} \Rightarrow P_3 = \frac{T_3}{T_2} * P_2 = 5.339 \text{ MPa}$$

$$q_{23} = q_{giren} = C_v * (T_3 - T_2) = 0.718 * (2273 - 649) = 1166.032 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$



$$3 \rightarrow 4 \quad P_3^k * V_3^k = P_4^k * V_4^k \Rightarrow P_4 = P_3 * \left(\frac{1}{r}\right)^k = 5.339 * r^{-k} = 0.350 \text{ MPa}$$

$$T_4 = T_3 * r^{1-k} \Rightarrow T_4 = 2273 * 7^{-0.4} = 1043.66 \text{ K}$$

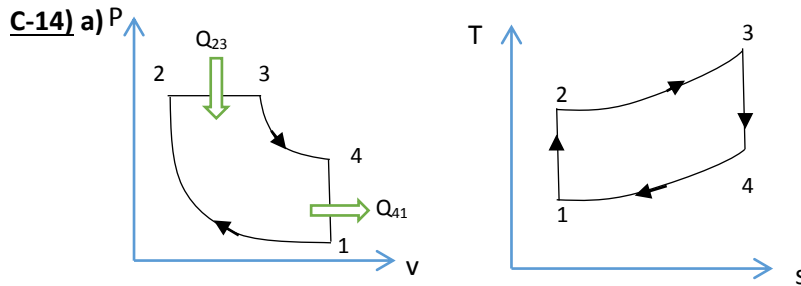
$$4 \rightarrow 1 \quad q_{41} = q_{\text{çıkan}} = C_v * (T_4 - T_1) = 0.718 * (1043 - 298) = 535.38 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$w_{\text{net}} = q_{\text{giren}} - q_{\text{çıkan}} = 630.646 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\eta = \frac{w_{\text{net}}}{q_{\text{giren}}} = \frac{630.646}{1166.032} = \% 54.08$$

$$\eta = 1 - r^{1-k} \Rightarrow \eta = 1 - 7^{-0.4} = \% 54.08$$

**S-14)** İzentropik sıkıştırma oranı 16 olan bir ideal Diesel çevriminde sıkıştırma başlangıcında hava 27 °C ve basınç 0.1 MPa'dır. Çevrim başına verilen ısı 1800 kJ/kg ise; **a)** Çevrimin P-V ve T-s diyagramını çiziniz. **b)** Çevrimin her noktasındaki sıcaklık ve basınç değerlerini, **c)** Yapılan işi, **d)** Çevrimin ısıl verimini hesaplayınız. ( Hava için  $k=1.4$  ,  $C_v=0.7165$  kJ/kgK)



$$\frac{T_2}{T_1} = r^{k-1} \Rightarrow T_2 = 300 * 16^{0.4} = 909.43 \text{ K}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = r^k \Rightarrow P_2 = 4850 \text{ kPa} = P_3$$

$$P_{23} = C_p * (T_3 - T_2) \Rightarrow T_3 = \frac{q_{23}}{C_p} + T_2 = 2703.15 \text{ K}$$

$$\frac{T_3}{T_4} = \left(\frac{V_1}{V_3}\right)^{k-1} = \left(\frac{V_1}{V_2} * \frac{V_2}{V_3}\right)^{k-1} = r^{k-1} * \left(\frac{T_2}{T_3}\right)^{k-1} \Rightarrow T_4 = 1378.85$$

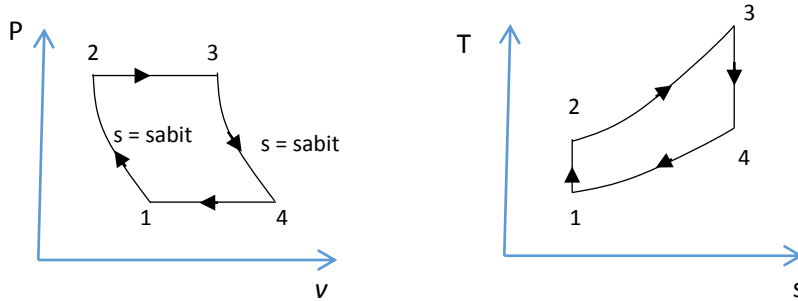
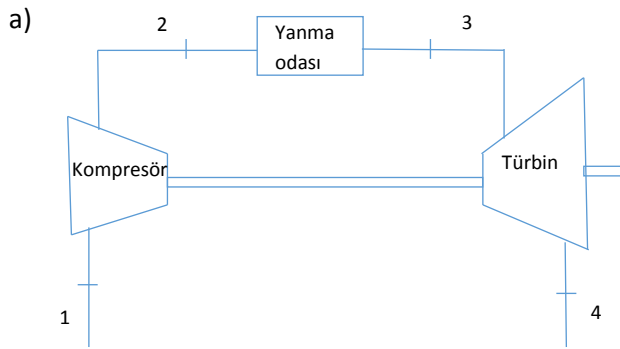
$$q_{41} = C_v * (T_4 - T_1) = 773 \text{ kJ/kg}$$

$$w_{net} = q_{23} - q_{41} = 1026.99 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_{ısıl} = \frac{w_{net}}{q_{23}} = \frac{1026.99}{1800} = \%57$$

S-15) Hava, bir gaz türbini sisteminin kompresörüne 100 kPa basınç ve 25°C sıcaklıkta girmektedir. Basınç oranı 5 ve maksimum sıcaklık 850°C olduğuna göre; a) Bu çevrimin termodinamik adını yazıp çevrimin T-s ve P-V diyagramlarını sistemin şematik şekliyle çiziniz. b) Geri iş oranını, c) Isıl verimi hesaplayınız.

C-15)



b)  $T_1 = 298 \text{ K}, T_3 = 1123 \text{ K}$

$$T_2 = T_1 * \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(k-1)/k} = (298)(5)^{0.2857} = 472.0 \text{ K}$$

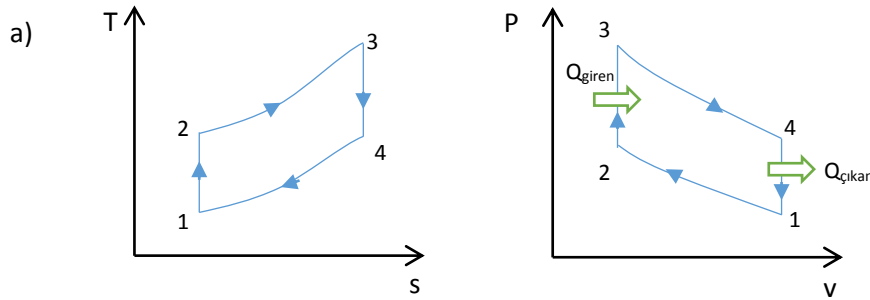
$$T_4 = T_3 * \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{(k-1)/k} = (1123) \left(\frac{1}{5}\right)^{0.2857} = 709 \text{ K}$$

$$\frac{w_{komp}}{w_{türbin}} = \frac{C_p * (T_2 - T_1)}{C_p * (T_3 - T_4)} = \frac{472.0 - 298}{1123 - 709} = 0.420 = \%42$$

$$c) \eta_{istl} = 1 - r^{(1-k)/k} = 1 - (5)^{-0.2857} = 0.369 = \%36.90$$

S-16) Bir otto çevriminde maksimum kabul edilebilir basınç 8 Mpa'dır. Sıkıştırma başlangıcındaki basınç ve sıcaklık değerleri sırasıyla, 85 kPa ve 30°C'dir. Sıkıştırma oranı 8 olduğuna göre; (a) Çevrimin P-v ve T-s diyagramında gösteriniz, (b) Çevrime girmesi gerekli ısı enerjisini, (c) Çevrimin verimini, (d) Ortalama efektif basıncı hesaplayınız.

C-16)



$$b) P_1 = 85 \text{ kPa}, T_1 = 30 + 273 = 303 \text{ K}$$

$$P_3 = 8 \text{ MPa} = 8000 \text{ kPa}, r = 8$$

$$P_2 = P_1 * r^k = 85 * 8^{1.4} = 1562.23 \text{ kPa}$$

$$T_2 = T_1 * r^{k-1} = 303 * 8^{0.4} = 696.11 \text{ K}$$

$$T_3 = \frac{P_3}{P_2} T_2 = \frac{8000}{1562.23} * 696.11 = 3564.7 \text{ K}$$

$$q_g = C_V(T_3 - T_2) = 0.718(3564.7 - 696.11) = 2059.65 \text{ kJ/kg}$$

$$T_4 = \frac{T_2}{T_1} T_3 = \frac{303}{696.11} * 3564.7 = 1551.63 \text{ K}$$

$$q_ç = C_V(T_4 - T_1) = 0.718(1551.63 - 303) = 896.52 \text{ kJ/kg}$$

$$W_{net} = q_g - q_ç = 1163.13 \text{ kJ/kg}$$

$$c) \eta_{istl} = \frac{w_{net}}{q_{giren}} = \frac{1163.13}{2059.65} = 0.5647 = \%56.47$$

$$\eta_{istl} = 1 - r^{1-k} \Rightarrow \eta = 1 - 8^{-0.4} = 0.5647$$

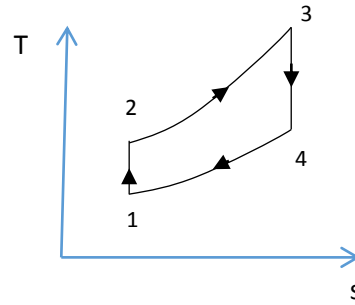
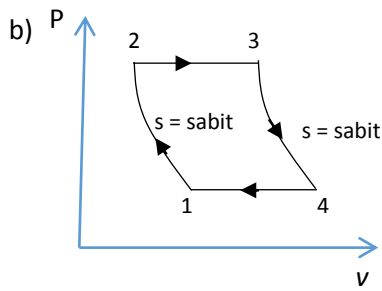
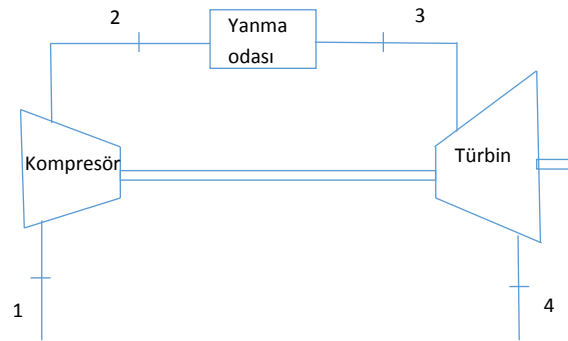
$$d) v_1 = \frac{R * T_1}{P_1} = \frac{0.287 * 303}{85} = 1.023, v_2 = \frac{R * T_2}{P_2} = \frac{0.287 * 696.11}{1562.23} = 0.1278$$

$$OEB = \frac{W_{net}}{v_1 - v_2} = \frac{1163.13}{1.023 - 0.1278} = 1299.3 \text{ kPa}$$

S-17) Hava bir Brayton çevriminin kompresörüne 85 kPa basınç ve 0°C şartlarında girmektedir. Basınç oranı 6 ve maksimum sıcaklık 1000°C olduğuna göre; (a) Çevrimi şematik olarak çiziniz. (b) Çevrimi P-v ve T-s diyagramlarında gösteriniz, (c) Isıl verimi, (d) Geri iş oranını bulunuz.

C-17)

a)



c)

$$P_1 = 85 \text{ kPa}, T_1 = 0 + 273 = 273 \text{ K}$$

$$T_3 = 1000 + 273 = 1273 \text{ K}$$

$$r_p = \left(\frac{P_2}{P_1}\right) = 6$$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{k-1/k} = 273(6)^{0.2857} = 455.5 \text{ K}$$

$$T_4 = T_3 \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{k-1/k} = 1273\left(\frac{1}{6}\right)^{0.2857} = 762.96 \text{ K}$$

$$q_g = C_p(T_3 - T_2) = 1.005(1273 - 455.5) = 821.59 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{\zeta} = C_p(T_4 - T_1) = 1.005(762.96 - 273) = 492.41 \text{ kJ/kg}$$

$$W_{net} = q_g - q_{\zeta} = 329.18 \text{ kJ/kg}$$

$$W_k = C_p(T_2 - T_1) = 1.005(455.5 - 273) = 183.41 \text{ kJ/kg}$$

$$W_t = C_p(T_3 - T_4) = 1.005(1273 - 762.96) = 512.59 \text{ kJ/kg}$$

$$W_{net} = W_t - W_k = 329.18 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_{isil} = \frac{W_{net}}{q_{giren}} = \frac{329.18}{821.59} = 0.4 = \%40$$

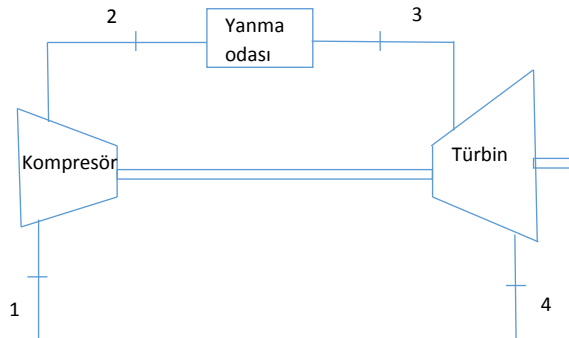
$$\eta_{isil} = 1 - \frac{1}{r^{1-k}} \Rightarrow \eta = 1 - \frac{1}{6^{0.2857}} = 0.4 = \%40$$

$$e) \text{ GIO} = \frac{W_k}{W_t} = \frac{183.41}{512.59} = 0.3578 = \%35.78$$

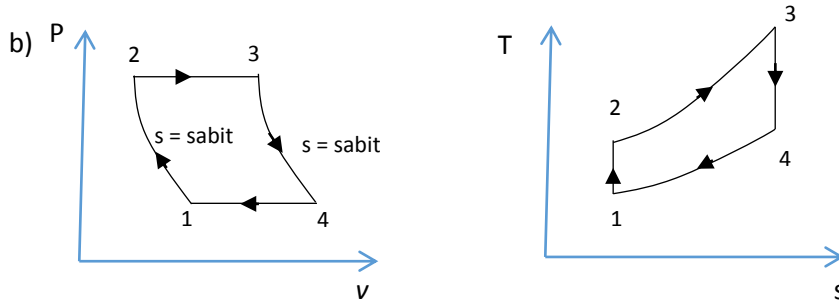
**S-18)** İdeal Brayton çevrimine göre çalışan bir gaz türbininde basınç oranı 8, kompresör girişinde sıcaklık 300 K ve türbin girişinde ise sıcaklık 1300 K olduğuna göre; a) Gaz türbini çevrimini şematik olarak çiziniz, b) T-s ve P-V diyagramlarını çiziniz. c) Kompresör ve türbin çıkışında gazın sıcaklığını hesaplayınız d) Çevrimin ısı verimini hesaplayınız. e) Sistem bu şartlarda rejeneratör kullanmaya uygun mu? Neden?

C-18)

a)



b)



c)

$$\begin{aligned} T_1 &= 300 \text{ K} \\ T_3 &= 1300 \text{ K} \\ r_p &= \left(\frac{P_2}{P_1}\right) = 8 \end{aligned}$$

$$T_2 = T_1 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{k-1/k} = 300(8)^{0.2857} = 543.42 \text{ K}$$

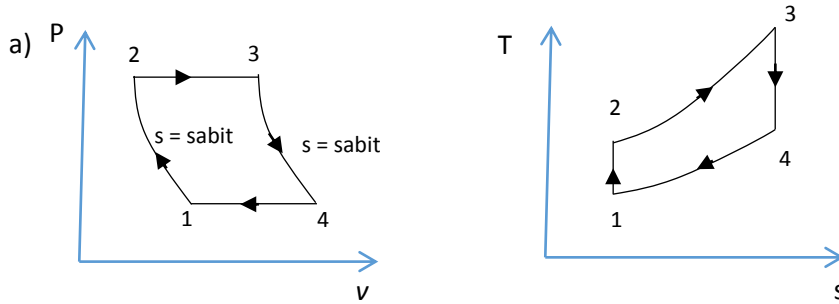
$$T_4 = T_3 \left( \frac{P_1}{P_2} \right)^{k-1/k} = 1300 \left( \frac{1}{8} \right)^{0.2857} = 717.68 \text{ K}$$

d)  $\eta_{\text{isitl}} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{417.68}{756.58} = 0.4479 = \%44.79$

e)  $T_4 > T_2$  olduğundan rejeneratör kullanılabilir.

S-19) İdeal brayton çevrimine göre çalışan bir gaz türbininin sıkıştırma oranı 10'dur. Çevrimdeki en düşük ve en yüksek sıcaklıklar sırasıyla 310K ve 1210K'dir. Kompresörün izentropik verimi %80 ve türbinin izentropik verimi %85 olduğu kabul edilirse, a) Çevrimi P-v ve T-s diagramlarında gösteriniz, b) Türbin çıkış sıcaklığını c) Çevrimin verimini d) Isıl verimi bulunuz.

C-19)



b)  $T_1 = 310 \text{ K}, T_3 = 1210 \text{ K}, \eta_k = 0.8, \eta_T = 0.8$   
 $r_p = \left( \frac{P_2}{P_1} \right) = \left( \frac{P_4}{P_3} \right) = 10$

$$T_{2S} = T_1 \left( \frac{P_2}{P_1} \right)^{k-1/k} = 310(10)^{0.2857} = 598.52 \text{ K}$$

$$T_{4S} = T_3 \left( \frac{P_1}{P_2} \right)^{k-1/k} = 1210 \left( \frac{1}{10} \right)^{0.2857} = 626.72 \text{ K}$$

$$T_2 = T_1 + \frac{T_{2S} - T_1}{\eta_k} = 310 + \frac{598.52 - 310}{0.8} = 670.65 \text{ K}$$

$$T_4 = T_3 - \eta_T(T_3 - T_{4S}) = 1210 - 0.85(1210 - 626.72) = 714.21 \text{ K}$$

$$q_g = C_p(T_3 - T_2) = 1.005(1210 - 670.65) = 542.05 \text{ kJ/kg}$$

$$q_c = C_p(T_4 - T_1) = 1.005(714.21 - 310) = 406.23 \text{ kJ/kg}$$

c)  $W_{\text{net}} = q_g - q_c = 135.82 \text{ kJ/kg}$

d)  $\eta_{\text{isitl}} = 1 - \frac{T_4 - T_1}{T_3 - T_2} = 1 - \frac{404.21}{539.35} = 0.25 = \%25$

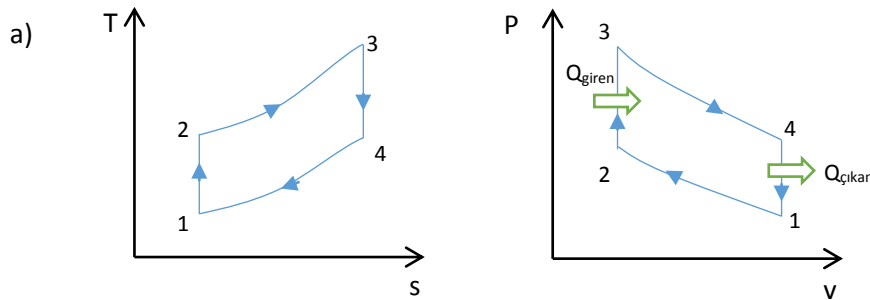
S-20) Havayla çalışan ideal bir Diesel çevriminin sıkıştırma oranı 20'dir. Sıkıştırma işleminin başlangıcında havanın basıncı 95 kPa, sıcaklığı 20°C olup, çevrimin en yüksek sıcaklığı 2200K'i geçmemesi istenmektedir. Çevrimin, (a) Isıl verimini hesaplayınız, (b) Ortalama efektif basıncını hesaplayınız, (c) Bu çevrimin hangi tür yakıt ve motorlarda kullanılmakta olduğunu belirtiniz.

C-20)

- a)  $T_1 = 20 + 273 = 293 \text{ K}$ ,  $T_3 = 2200 \text{ K}$ ,  $r = 20$   
 $T_2 = T_1 (r)^{k-1} = 293(20)^{0.4} = 971.1 \text{ K}$   
 $\frac{V_3}{V_2} = \frac{T_3}{T_2} \rightarrow \frac{V_3}{V_2} = \frac{2200}{971.1} = 2.265$   
 $T_4 = T_3 \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{k-1} = T_3 \left(\frac{2.265V_2}{V_1}\right)^{k-1} = 2200 \left(\frac{2.265}{20}\right)^{0.4} = 920.6 \text{ K}$   
 $q_g = C_p(T_3 - T_2) = 1.005(2200 - 971.1) = 1235 \text{ kJ/kg}$   
 $q_c = C_v(T_4 - T_1) = 0.717(920.6 - 293) = 450.6 \text{ kJ/kg}$   
 $W_{net} = q_g - q_c = 1235 - 450.6 = 784.4 \text{ kJ/kg}$   
 $\eta_{diesel} = \frac{W_{net}}{q_g} = \frac{784.4}{1235} = 0.635 = \%63.5$
- b)  $v_1 = \frac{R \cdot T_1}{P_1} = \frac{0.287 \cdot 293}{95} = 0.885 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$   
 $OEB = \frac{W_{net}}{v_1 - \left(1 - \frac{1}{r}\right)} = \frac{784.4}{0.885 \left(1 - \frac{1}{20}\right)} = 933 \text{ kPa}$
- c) Dizel motorin, mazot yakıtı kullanan dizel motorlarda bu çevrim geçerlidir.

S-21) Isıl verimi %58.1 olan bir ideal Otto çevriminde havanın başlangıç koşulları 27°C ve 100 kPa'dır. Çevrim başına giren ısı 1800 kJ/kg olduğuna göre; (a) Çevrimin P-v ve T-s diyagramlarını çiziniz. (b) Çevrimin sıkıştırma oranını tespit ediniz. (c) Çevrimin her noktasındaki sıcaklık ve basıncı bulunuz. (d) Çevrimden elde edilebilecek net gücü belirleyiniz.

C-21)



- b)  $\eta_{otto} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} = 0.581 \Rightarrow r = 8.8$
- c)  $P_1 = 100 \text{ kPa}$ ,  $T_1 = 300 \text{ K}$   
 $T_2 = T_1 * r^{k-1} = 300 * 8.8^{0.4} = 716 \text{ K}$   
 $P_2 = P_1 * r^k = 100 * 8.8^{1.4} = 2100.27 \text{ kPa}$   
 $q_g = C_v(T_3 - T_2) = 0.717(T_3 - 716) = 1800 \text{ kJ/kg}$   
 $T_3 = 3223.66 \text{ K}$

$$\frac{P_3}{P_2} = \frac{T_3}{T_2} = \frac{3223.66}{716} \Rightarrow P_3 = 9456.09 \text{ kPa}$$

$$P_3 = \frac{P_2}{r^k} = 450 \text{ kPa}$$

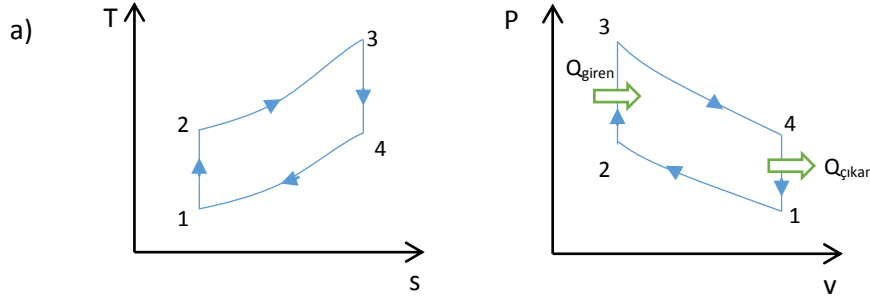
$$\frac{P_1}{P_4} = \frac{T_1}{T_4} = \frac{100}{450} = \frac{300}{T_4} \Rightarrow T_4 = 1350 \text{ K}$$

$$d) \quad q_c = C_v(T_4 - T_1) = 0.717(1350 - 300) = 753.9 \text{ kJ/kg}$$

$$W_{net} = q_g - q_c = 1800 - 753.9 = 1046.1 \text{ kJ/kg}$$

S-22) Benzin ile çalışan bir motorda sıkıştırma oranı 10 ve sıcaklık sınırları 30°C ve 1000°C'dir. Motorun ürettiği güç 500 kW olduğuna göre (a) Çevrimin P-v ve T-s diyagramlarını çiziniz. (b) Isıl verimi, (c) kütleli hava debisini (d) Çevrime verilen ve çevrimden atılan ısı miktarını hesaplayınız.

C-22)



$$b) \quad T_1 = 30 + 273 = 303 \text{ K}, \quad T_3 = 1000 + 273 = 1273 \text{ K} \quad r=10, \quad W=500 \text{ kW}$$

$$T_2 = T_1 * r^{k-1} = 303 * 10^{0.4} = 761.1 \text{ K}$$

$$T_3 = T_4 * r^{k-1} = 1273 = T_4 * 10^{0.4} \Rightarrow T_4 = 506.79 \text{ K}$$

$$q_g = C_v(T_3 - T_2) = 0.717(1273 - 761.1) = 367.03 \text{ kJ/kg}$$

$$q_c = C_v(T_4 - T_1) = 0.717(506.79 - 303) = 146.117 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta = \frac{q_g - q_c}{q_g} = \frac{367.03 - 146.117}{367.03} = 0.60 = \%60$$

$$c) \quad W = \dot{m}(q_g - q_c) \Rightarrow 500 = \dot{m}(367.03 - 146.117)$$

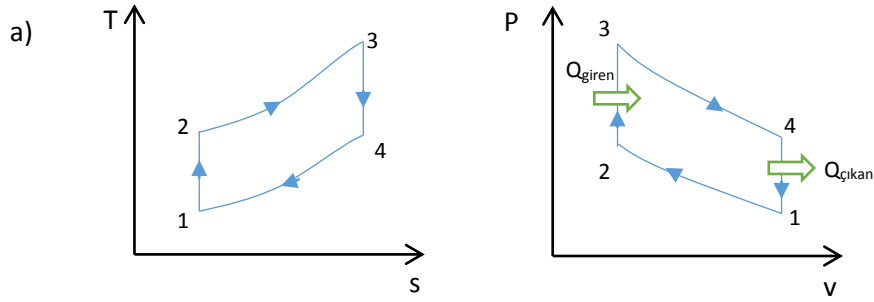
$$\dot{m} = 2.26 \text{ kg/s}$$

$$d) \quad Q_g = \dot{m} * q_g = 2.26 * 367.03 = 830.71 \text{ kW}$$

$$Q_c = \dot{m} * q_c = 2.26 * 146.117 = 330.224 \text{ kW}$$

S-23) İdeal bir Otto çevriminin sıkıştırma oranı 9.2'dir. Çevrimin başlangıcında havanın basıncı 98 kPa ve sıcaklığı 27 °C'dir. Yanma sonunda basınç, izentropik sıkıştırma sonundaki basıncın iki katına çıkmaktadır. Buna göre; (a) Bu çevrimin P-V ve T-s diyagramını çiziniz. (b) Çevrimde kullanılan yakıt cinsini yazınız. (c) Çevrimin her noktasındaki basınç ve sıcaklıkları, (d) Çevrimin ısıl verimini hesaplayınız.





$$r = \frac{V_{max}}{V_{min}} = 9.2 \quad P_1 = 98 \text{ kPa} \quad P_3 = 2 P_2 \quad k = 1.4 \quad T_1 = 27^\circ\text{C} = 300\text{K}$$

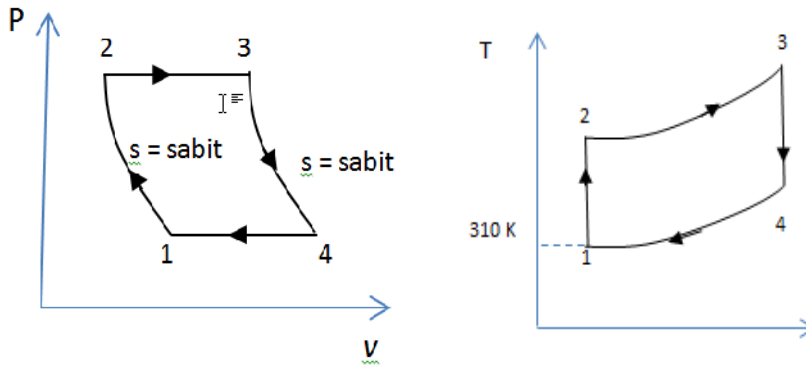
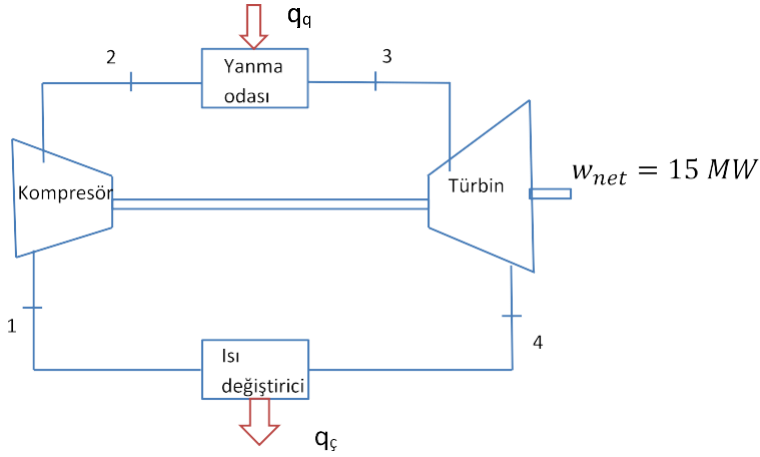
b) Benzin kullanılır.

$$\begin{aligned} c) \quad P_2 &= P_1 * r^k = 98 * 9.2^{1.4} = 2190.43 \text{ kPa} \\ P_3 &= 2 P_2 = 2 * 2190.43 = 4380.86 \text{ kPa} \\ P_4 &= P_3 * \left(\frac{v_3}{v_4}\right)^k = 4380.86 * \frac{1}{9.2} = 196 \text{ kPa} \\ T_2 &= T_1 * r^{k-1} = 300 * 9.2^{0.4} = 728.85 \text{ K} \\ \frac{P_3}{P_2} &= \frac{T_3}{T_2} \quad T_3 = T_2 \frac{P_3}{P_2} = 728.85 * 2 = 1457.7 \text{ K} \\ \frac{T_4}{T_3} &= \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{k-1} \quad T_4 = T_3 \left(\frac{V_3}{V_4}\right)^{k-1} = 1457.7 * \left(\frac{1}{9.2}\right)^{0.4} = 600 \text{ K} \end{aligned}$$

$$d) \quad \eta_{otto} = 1 - \frac{1}{r^{k-1}} = 0.59 = \%59$$

S-23) 15 MW gücündeki bir doğal gaz santralinde en düşük ve en yüksek sıcaklık değerleri 310 K ve 900 K'dir. Santralde kompresörün basınç oranı 9 olduğuna göre; (a) Santrali şematik olarak çiziniz. (b) Santralin hangi termodinamik çevrime göre çalıştığını yazıp çevrimin P-V ve T-s diyagramını çiziniz. (c) Çevrimde dolaşan havanın kütleli debisini, (d) Çevrimin ısı verimini, (e) Geri iş oranını hesaplayınız.

C-23)a)



$$C_p = 1.005 \frac{kJ}{kgK} \quad T_1 = 310 K \quad T_3 = 900 K \quad \frac{P_{max}}{P_{min}} = 9$$

b) Brayton Çevrimi

c)

$$W_{net} = Q_H - Q_L = mC_p[(T_3 - T_2) - (T_4 - T_1)]$$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_1}{P_2}\right)^{\frac{1-k}{k}} = 310 \left(\frac{1}{9}\right)^{\frac{-0.4}{1.4}} = 581.6K$$

$$T_3 = T_4 \left(\frac{P_4}{P_3}\right)^{\frac{1-k}{k}} \quad 900 = T_4 \left(\frac{1}{9}\right)^{\frac{-0.4}{1.4}} = 581.6K \quad T_4 = 480K$$

$$W_{net} = mC_p[(T_3 - T_2) - (T_4 - T_1)]$$

$$15000 \frac{kJ}{s} = m * 1.005 \frac{kJ}{kgK} [(900 - 581.86) - (480 - 310)]$$

$$m = 100.575 kg/s$$

$$W_{komp} = mC_p [(T_2 - T_1)] = 100.575 \frac{kg}{s} * 1.005 \frac{kJ}{kgK} [(581.86 - 310)]K = 27452.75 kW$$

d).

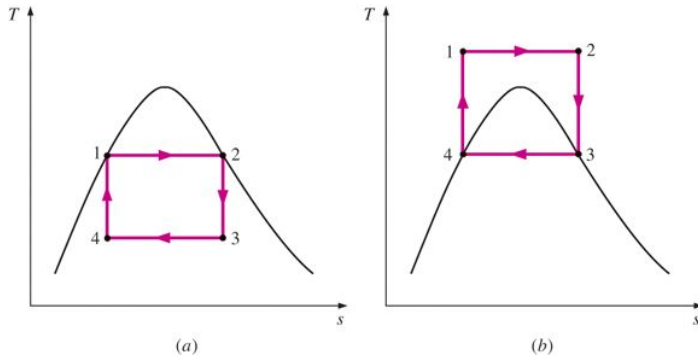
$$W_{türbin} = mC_p [(T_3 - T_4)] = 100.575 \frac{kg}{s} * 1.005 \frac{kJ}{kgK} [(900 - 480)]K = 42452.71 kW$$

$$GIO = \frac{W_{komp}}{W_{türbin}} = \frac{27452.75}{42452.71} = \%64.6$$

## BUHARLI VE BİRLEŞİK GÜÇ ÇEVİMLERİ

### CARNOT BUHAR ÇEVİRİMİ

Belirli iki sıcaklık sınırı arasında çalışabilen en yüksek verimli çevrim Carnot çevrimidir. Buharlı güç santralleri için ideal bir çevrim değildir. Çünkü; 1-2 hal değişimi: Çevrimde kullanılacak en yüksek sıcaklığı önemli ölçüde kısıtlar (bu değer su için 374 C'dir). Çevrimin en yüksek sıcaklığının bu şekilde sınırlandırılması, ısı veriminin de sınırlandırılması anlamına gelir. 2-3 hal değişimi: Genileme işlemi sırasında buharın kuruluk derecesi azalır. Sıvı zerciklerinin türbin kanatlarına çarpması, türbin kanatlarında aşınmaya ve yıpranmaya yol açar. 4-1 hal değişimi: İzentropik sıkıştırma işlemi sıvı-buhar karışımının doymuş sıvı haline sıkıştırılmasını gerektirmektedir. Bu işlemle ilgili iki zorluk vardır. Birincisi, yoğunluğun 4 halinde istenen kuruluk derecesine sahip olarak bulunacak şekilde hassas olarak kontrol edilmesi kolay değildir. İkincisi, iki fazlı akışkanın sıkıştırılacak şekilde bir kompresörün tasarlanması uygulamada zordur.



- 1-2 Kazanda izotermal ısı geçişi
- 2-3 Türbinde izantropik sıkıştırma
- 3-4 Kondenserde izotermal ısı çıkışı
- 4-1 Kompresörde izantropik sıkıştırma

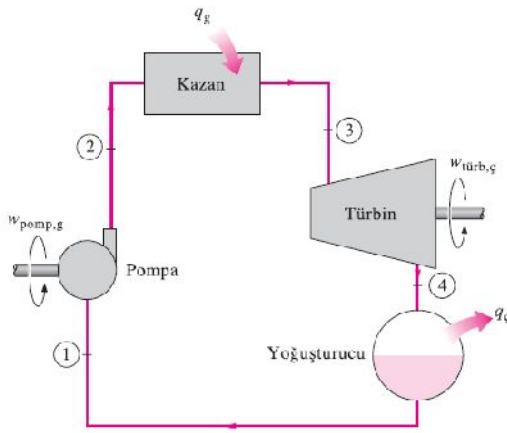
iki Carnot buhar çevriminin T-s diyagramları

### RANKİNE ÇEVİRİMİ: BUHARLI GÜÇ ÇEVİMLERİ İÇİN İDEAL ÇEVİRİM

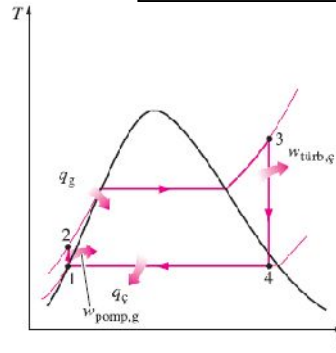
Carnot çevriminin uygulanmasında karşılaşılan sorunların bir çoğu, kazanda suyun kızgın buhar haline ısıtılması ve yoğunluğunda doymuş sıvı haline soğutulmasıyla giderilebilir.

Oluşan bu çevrim, buharlı güç santrallerinin ideal çevrimi olan **Rankine çevrimidir**. İdeal Rankine çevrimi, içten tersinmezliklerin olmadığı dört hal değişiminden oluşur:

## Basit ideal Rankine çevrimi



- |     |   |
|-----|---|
| 1-2 | Pompada izantropik sıkıştırma             |
| 2-3 | Kazanda sabit basınçta ısı girişi         |
| 3-4 | Türbinde izantropik genişleme             |
| 4-1 | Yoğuşturucuda sabit basınçta ısı atılması |



## Sürekli akı lı enerji denklemi

$$(q_g - q_ç) + (w_g - w_ç) = h_{\text{çıkış}} - h_{\text{giriş}}$$

$$\text{Pompa } (q = 0): \quad w_{\text{pomp,g}} = h_2 - h_1$$

veya,

$$w_{\text{pomp,g}} = v(P_2 - P_1)$$

burada

$$h_1 = h_f @ P_1 \quad \text{ve} \quad v \cong v_1 = v_f @ P_1$$

dir.

Kazan ( $w = 0$ ):

$$q_g = h_3 - h_2$$

Türbin ( $q = 0$ ):

$$w_{\text{türb,ç}} = h_3 - h_4$$

Yoğuşturucu ( $w = 0$ ):

$$q_ç = h_4 - h_1$$

Rankine çevriminin ısı verimi

$$\eta_{\text{th}} = \frac{w_{\text{net}}}{q_g} = 1 - \frac{q_ç}{q_g}$$

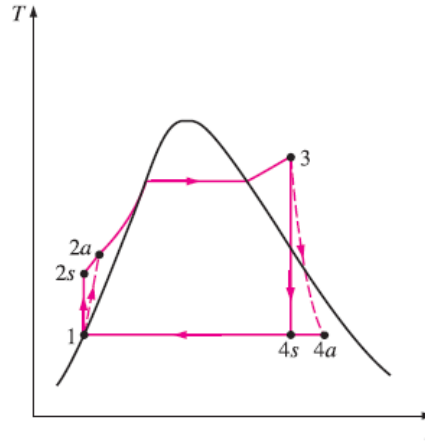
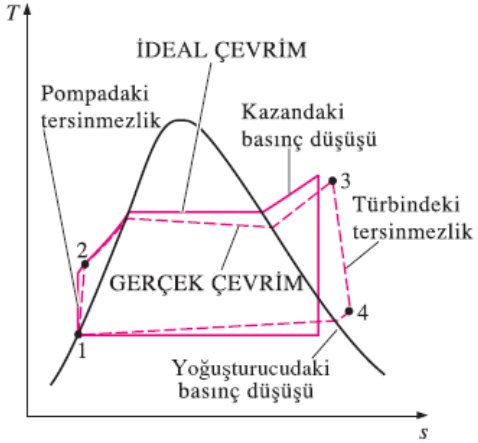
şeklinde ifade edilebilir. Burada

$$\text{olmaktadır.} \quad w_{\text{net}} = q_g - q_ç = w_{\text{türb,ç}} - w_{\text{pomp,g}}$$

Isıl verim aynı zamanda, çevrime ısı giri ini gösteren e rinin altında kalan alana oranı eklindedeyorumlanabilir.

### GERÇEK BUHARLI GÜÇ ÇEVİRİMİNİN İDEAL BUHARLI GÜÇ ÇEVİRİMİNDEN FARKI

Çe itli tersinmezliklerden dolayı gerçek buharlı güç santrallerinin çevrimi, ideal Rankine çevriminden farklıdır. Sürtünme ve çevreye olan ısı kayıpları tersinmezliklerin başlıca iki kaynağıdır.



zantropik verimler

$$\eta_P = \frac{w_s}{w_a} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_{2a} - h_1}$$

$$\eta_T = \frac{w_a}{w_s} = \frac{h_3 - h_{4a}}{h_3 - h_{4s}}$$

(a) Gerçek buharlı güç çevriminin ideal Rankine çevriminden farklılığı. (b) Pompa ve türbindeki tersinmezliklerin ideal Rankine çevrimi üzerindeki etkileri.

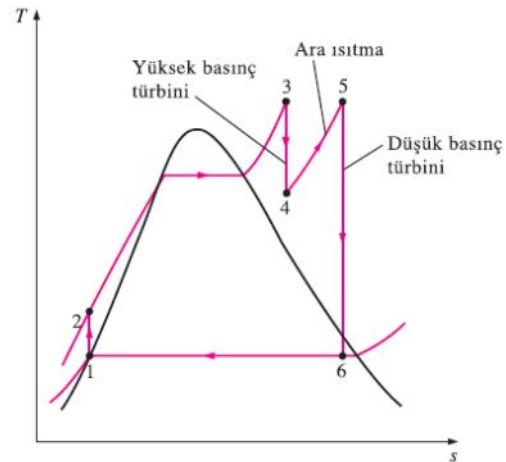
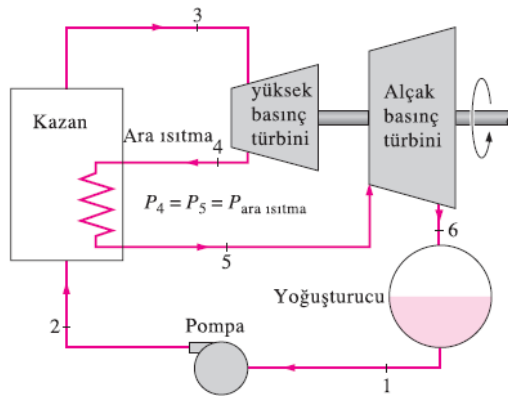
### İDEAL ARA ISITMALI RANKİNE ÇEVİRİMİ

Türbinin son kademesindeki kuruluk derecesini azaltmadan, yüksek kazan basıncı nedeniyle sağlanan verim artınından nasıl yararlanabiliriz?

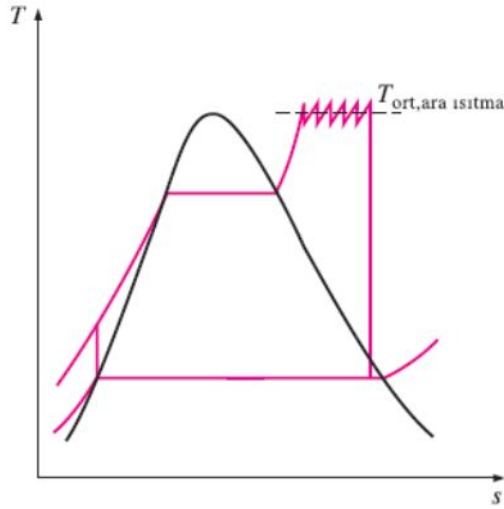
1. Türbine girmeden önce buhar çok yüksek sıcaklıklara kızdırılabilir. Türbin malzemesi tarafından sınırlıdır.
2. Buhar türbinde iki kademede genişletilebilir ve kademeler arasında ara ısıtma uygulanabilir.

$$q_g = q_{birinci} + q_{ara\ ısıtma} = (h_3 - h_2) + (h_5 - h_4)$$

$$w_{türb,ç} = w_{türb,I} + q_{türb,II} = (h_3 - h_4) + (h_5 - h_6)$$



deal ara ısıtmalı Rankine çevrimi.



Ara ısıtma kademe sayısı artırıldıkça, çevrime ısı verilen ortalama sıcaklık yükselir.

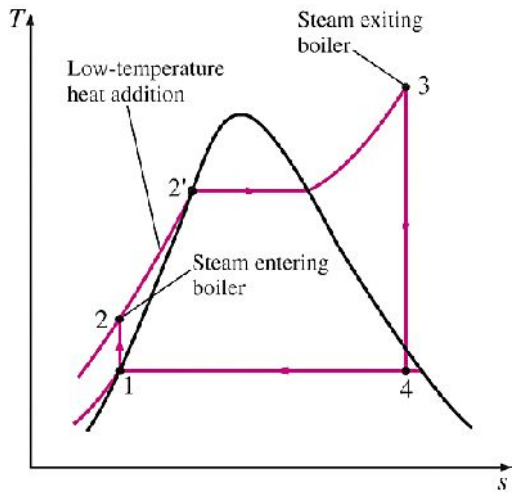
Günümüz güç santrallerinde bir kademe ara ısıtmanın uygulanması, buhara ısı verilen ortalama sıcaklığı yükselttiği için çevrimin ısı verimini yüzde 4 ila 5 düzeyinde artırmaktadır.

Geni leme ve ara ısıtma kademe sayısı artırılarak, ara ısıtma sırasındaki ortalama sıcaklık yükseltilebilir. Kademe sayısı arttıkça, geni leme ve ara ısıtma işlemleri en yüksek sıcaklıkta izotermal ısı geçişine yaklaşmaktadır. Fakat iki kademedenden daha fazla ara ısıtmanın yapılması ekonomik değildir. İkinci ara ısıtma kademesiyle sağlanan kuramsal verim artışı, tek ara ısıtma kademesiyle sağlananın yaklaşık yarısı kadar olmaktadır.

Ara ısıtma sıcaklıkları, türbin giriş sıcaklıklarına eşit veya çok yakındır.

En uygun ara ısıtma basıncı, en yüksek çevrim basıncının yaklaşık dörtte biri kadardır.

### İDEAL ARA BUHAR ALMALI RANKİNE ÇEVİRİMİ



Kazandaki ısı geçişinin ilk bölümü göreceli olarak düşük sıcaklıklarda gerçekleşir.

Hal de i imi sırasında i akı kanına ısı geçişinin sağlandığı sıcaklığın göreceli olarak düşük olduğu gözlemlenebilir. Bu durum, çevrime ısı girişinin sağlandığı ortalama sıcaklığın düşmesine ve böylece çevrim veriminin azalmasına neden olmaktadır.

Kazan besleme suyunun ısıtılmasının daha uygulanabilir bir yolu, türbinde geni leyen buharın bir bölümünün belirli noktalarda türbinden dışarı alınarak kazan besleme suyunun ısıtılmasında kullanılmasıdır. Böylece, türbinde geni lemeye devam etmesi durumunda daha çok üretebilecek olan buhar, kazan besleme suyunun ısıtılmasında kullanılmı olur.

Bu işleme ara buhar alma veya rejenerasyon; rejenerasyon yoluyla kazan besleme suyunun ısıtılmasında kullanılan ısı de i tiricisine de **besleme suyu ısıtıcısı** veya **rejeneratör** adı verilir.

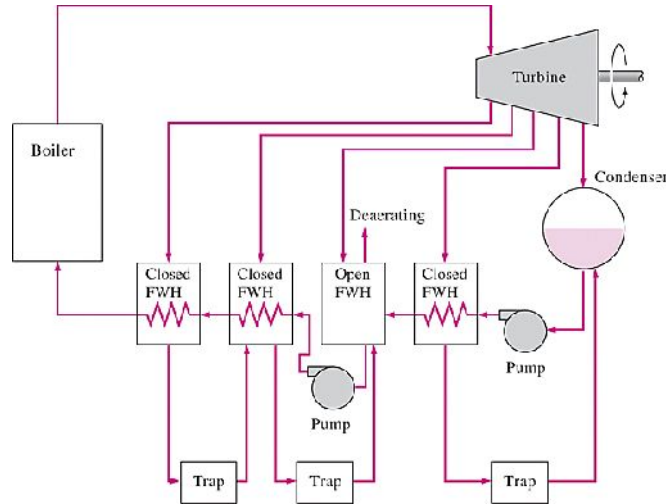
Besleme suyu ısıtıcısı esas olarak, iki akı ın doğrudan karışarak (**açık besleme suyu ısıtıcısı**) veya birbirine karışmadan (**kapalı besleme suyu ısıtıcısı**) ısı alı veriminde buldukları bir ısı de i tiricisidir.





### Bir açık ve üç kapalı besleme suyu ısıtıcılı buharlı güç santrali

Kapalı besleme suyu ısıtıcıları, içlerindeki boru düzeni nedeniyle daha karmaşık ve daha pahalıdır. Akımların doğrudan temas etmediklerinden, kapalı besleme suyu ısıtıcılarındaki ısı geçişi daha az etkindir. Buna karşın, türbinden ayrılan buhar ve besleme suyu farklı basınçlarda olabildiğinden, her bir ısıtıcı için ayrı bir pompa gerekmez.

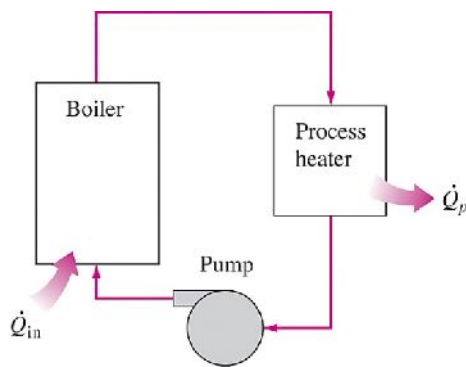


Açık besleme suyu ısıtıcıları basit ve ucuz olup, iyi ısı geçişi özelliklerine sahiptir. Fakat, her ısıtıcı için ayrı bir besleme suyu pompası gerekir.

Buharlı güç santrallerinin çoğunda, açık ve kapalı besleme suyu ısıtıcıları birlikte kullanılmaktadır.

### KOJENERASYON

Mühendislik sistemlerinin büyük bir bölümü, enerji girdisi olarak, enerjinin ısısal enerji biçimine gereksinim duyar. Bu ısıya **proses ısı** denir. Bu endüstrilerdeki proses ısı genellikle 5 ile 7 atm basınç ve 150 ile 200 oC sıcaklıklar arasındaki buharla sağlanır. Buharı oluşturmak için gerekli ısı genellikle kömür, petrol, doğal gaz veya başka bir yakıtın bir kazanda yakılmasıyla elde edilir.



Isıl işlemlerin yoğun olduğu endüstriler aynı zamanda büyük miktarlarda elektrik gücü de tüketirler.

Varolan iş potansiyelini atık ısı olarak atmak yerine, güç üretimi için kullanmak yerinde olur.

Belirli endüstriyel işlemler için proses-ısı gereksinimlerini karşılarken, aynı zamanda elektrik de üreten santraller geliştirilmiştir. Bu santrallere bileşik ısı-güç (kojenerasyon) santralleri denir.

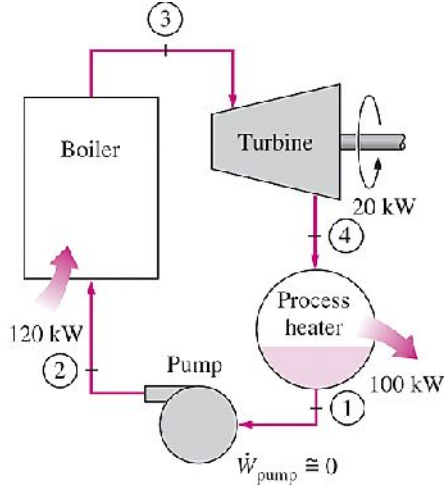
Basit bir proses ısı santrali.

**Kojenerasyon:** enerjinin birden fazla yararlı biçiminin (proses ısı ve elektrik gücü gibi) aynı enerji kaynağından üretilmesidir.

Enerjiden yararlanma oranı

$$\epsilon_u = \frac{\text{Net work output} + \text{Process heat delivered}}{\text{Total heat input}} = \frac{\dot{W}_{\text{net}} + \dot{Q}_p}{\dot{Q}_{\text{in}}}$$

$$\epsilon_u = 1 - \frac{\dot{Q}_{\text{out}}}{\dot{Q}_{\text{in}}}$$

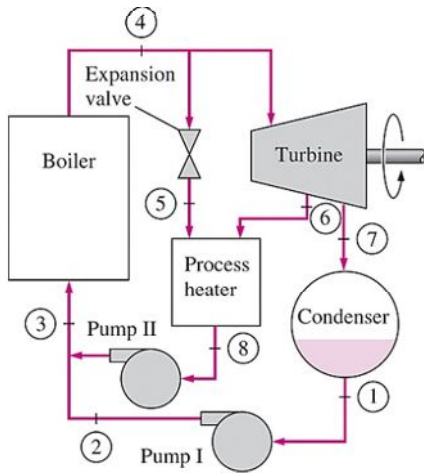


Buhar türbinli ideal bileşik ısı-güç santralinin enerjiden yararlanma oranı, yüzde 100 olmaktadır.

Gerçek bileşik ısı-güç santrallerinde bu oran yüzde 80 düzeylerindedir.

Bazı yeni bileşik ısı-güç santrallerinde enerjiden yararlanma oranı daha yüksek değerlere de çıkabilmektedir.

deal bileşik ısı-güç (kojenerasyon) santrali.



Değişen yüklerle cevap verebilen bir bileşik ısı-güç santrali.

$$\dot{Q}_{\text{in}} = \dot{m}_3(h_4 - h_3)$$

$$\dot{Q}_{\text{out}} = \dot{m}_7(h_7 - h_1)$$

$$\dot{Q}_p = \dot{m}_5 h_5 + \dot{m}_6 h_6 - \dot{m}_8 h_8$$

$$\dot{W}_{\text{turb}} = (\dot{m}_4 - \dot{m}_5)(h_4 - h_6) + \dot{m}_7(h_6 - h_7)$$

Proses ısı yükünün fazla olduğu zamanlarda buharın tümü proses-ısı birimine yönlendirilir. Bu durumda yoğun turucuya buhar gitmez ( $\dot{m}_7=0$ ) ve atık ısı sıfır olur.

Bu da yeterli olmazsa, kazandan çıkan buharın bir kısmı bir kısılma vanasıyla veya bir basınç düşürücü vanayla (PRV) P6 basıncına getirilerek proses-ısı birimine gönderilir.

En yüksek miktarda proses ısı, kazandan çıkan tüm buharın basınç düşürücü vanadan geçirilmesiyle sağlanır ( $\dot{m}_5 = \dot{m}_4$ ). Bu durumda güç üretimi yoktur.

Proses ısısına gerek duyulmadığında ise, buharın tümü türbin ve yoğun turucudan geçer ( $\dot{m}_5 = \dot{m}_6 = 0$ ), ve bileşik ısı-güç santrali bu kez sıradan bir buharlı güç santrali olarak çalışır.

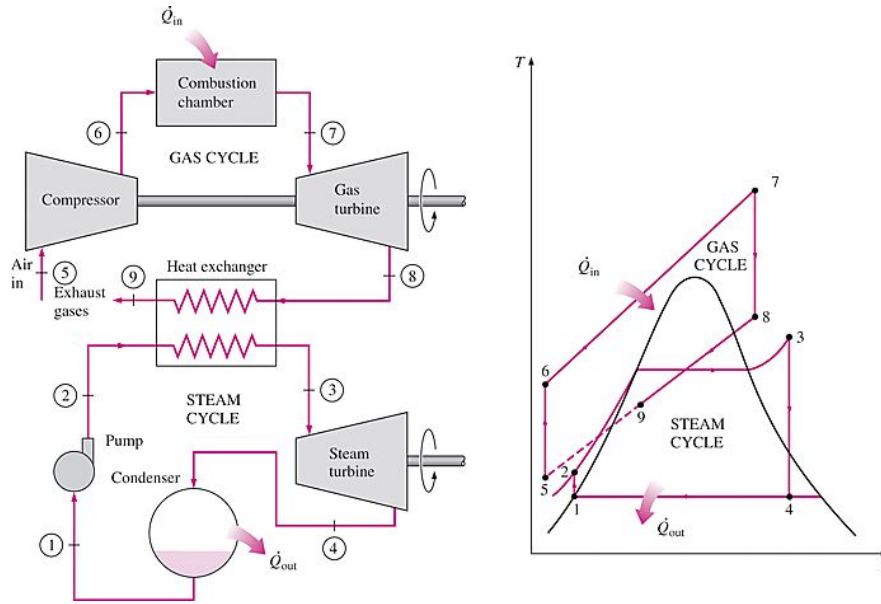
## BİRLEŞİK GAZ – BUHAR GÜÇ ÇEVİRİMİ

Daha yüksek ısı verim sa layabilmek için süregelen çalı malar, alı lımı güç santrallerinde yeni düzenlemelerin yapılmasına yol açmı tır.

Daha çok kabul gören bir ba ka düzenleme ise, gaz akı kanlı güç çevrimini buharlı bir güç çevriminin üst çevrimi olarak kullanmaktır. Bu düzenleme birle ik gaz buhar çevrimi veya kısaca birle ik çevrim olarak adlandırılır.

En çok ilgiduyulan birle ik çevrim, gaz türbini (Brayton) çevrimiyle buhar türbini(Rankine) çevriminin olu turdu u birle ik çevrimdir. Bu birle ik çevrimin ısı verimi, birle ik çevrimi olu turan çevrimlerin ısı verimlerinden daha yüksek olmaktadır.

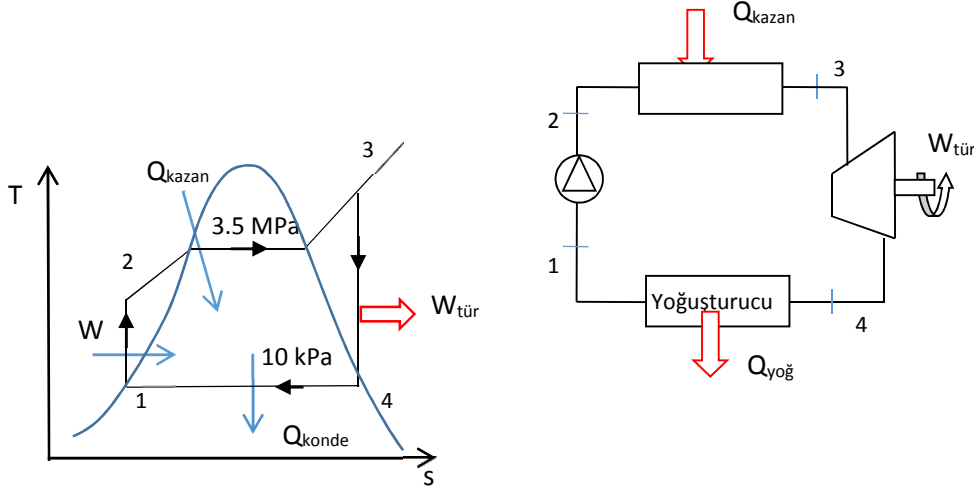
- Gaz türbini çevrimlerinin yüksek sıcaklıklarda çalı masının sa ladı ı kazançlardan yararlanmak ve sıcak egzoz gazlarını,buharlı güç çevrimi gibi alt çevrimlerde de erlendirmek mühendislik yakla ımının gere idir.Bu dü üncenin ürünü birle ik gaz-buhar çevrimidir.
- Gaz türbini teknolojisinde son yıllarda görülen geli meler, birle ik gaz-buhar santrallerini ekonomik açıdan çok çekici yapmı tır.
- Birle ik çevrim yatırım giderlerini çok fazla artırmadan çevrimin veriminin artmasını sa lamaktadır. Bunun sonucu olarak birçok yeni güç santrali birle ik çevrime göre tasarlanmakta var olan birçok buharlı ve gaz türbinli santral de birle ik santrale dönü türülmektedir.
- Dönü ümü tamamlanan santrallerde ısı verimin % 50'nin üzerinde oldu u bildirilmektedir.



Birle ik gaz-buhar güç santrali.

**S-1)** İdeal Rankine çevrimine göre çalışan bir buhar güç santralinde en yüksek basınç değeri 3.5 MPa ve kondenser çıkışı sıcaklığı 45 °C'dir. Türbin adyabatik verimi %85 ve kazan çıkışı buhar 600 °C olduğuna göre çevrimin **ısı verimini** hesaplayınız. Sistemi şematik olarak çiziniz ve T-s diyagramında gösteriniz.

**C-1)**



**I.Durum**

$$T_1 = 45^\circ\text{C} \Rightarrow P_{\text{doğ}} = P_1 = 9.593 \text{ kPa}$$

$$v_f = v_1 = 0.001010 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}, \quad h_1 = h_f = 188.42 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

**II.Durum**

$$w_p = v * (P_2 - P_1) = 0.001010 * (3500 - 9.593)$$

$$w_p = 3.525 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = h_2 - h_1 \Rightarrow h_2 = w_p + h_1 = 1941.945 \text{ kJ/kg}$$

**III.Durum**

$$\left. \begin{array}{l} P_3 = 3.5 \text{ MPa} \\ T_3 = 600^\circ\text{C} \\ \text{Kızgın buhar} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_3 = 3678.4 \\ s_3 = 7.4338 \end{array}$$

$$\text{İzentropik türbin } s_{4s} = s_3 = 7.4338, \quad s_f < s_{4s} < s_g, \quad T = 45^\circ\text{C}$$

$$T = 45^\circ\text{C} \Rightarrow s_f = 0.6386, \quad s_{fg} = 7.5261$$

$$x_4 = \frac{s_{4s} - s_f}{s_g - s_f} = 0.903$$

$$h_{4s} = h_f + x_4 * h_{fg} = 188.42 + 0.903 * 2394.77 = 2350.897 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_{\text{tür}} = \frac{(h_3 - h_4)}{h_3 - h_{4s}} \Rightarrow 0.85 = \frac{3678.4 - h_4}{3678.4 - 2350.897} \Rightarrow h_4 = 2550.02 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$w_{\text{tür}} = h_3 - h_4 = 3678.4 - 2550.02 = 1128.3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$w_p = 3.325 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$q_{\text{kazan}} = h_3 - h_2 = 3678.4 - 191.945 = 3486.45 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

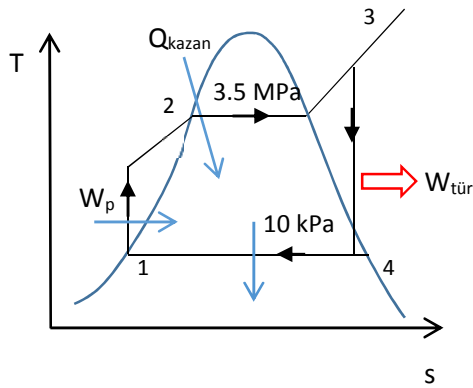
$$q_{\text{yoğ}} = h_4 - h_1 = 2550.02 - 188.42 = 2361.6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\eta_{\text{ısı}} = \frac{w_{\text{net}}}{q_{\text{kazan}}} = \frac{w_{\text{tür}} - w_p}{q_{\text{kazan}}} = \frac{1124.875 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}{3486.45} = 0.3226 \text{ (\%32.26)}$$

$$\eta_{\text{ısı}} = 1 - \frac{q_{\text{yoğ}}}{q_{\text{kazan}}} = \%32.26$$

**S-2)** Buharlı bir güç santrali basit ideal Rankine çevrimine göre çalışmaktadır. Çevrimin basınç sınırları 9 MPa ve 10 kPa olup, çevrimde dolaşan suyun debisi 60 kg/s'dir. Türbin çıkışında buharın kuruluk derecesinin yüzde 90'ın altına düşmemesi istenmektedir. Buna göre, **a-** Çevrimi doymuş buhar ve doymuş sıvı eğrilerinin de yer aldığı bir  $T$ - $s$  diyagramında gösterin. **b-** Olabilecek en düşük türbin giriş sıcaklığını, **c-** Çevrime verilen ısıyı, **d-** Çevrimin ısıl verimini hesaplayın.

**C-2) a)**



**I.Durum**

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 10 \text{ kPa} \\ \text{Doymuş sıvı} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_1 = h_f = 191.83, \quad h_{fg} = 2392.8 \\ s_1 = s_f = 0.6493, \quad s_{fg} = 7.5009 \\ v_1 = v_f = 0.001010 \end{array}$$

II.Durum

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 9 \text{ MPa} \\ s_2 = s_1 \end{array} \right\} \begin{array}{l} w_p = h_2 - h_1 = v * (P_2 - P_1) \Rightarrow h_2 = h_1 + w_p \\ h_2 = 191.83 + 9.08 = 200.91 \text{ kJ/kg} \end{array}$$

III.Durum

$$\left. \begin{array}{l} P_3 = 9 \text{ MPa} \\ s_3 = s_4 \end{array} \right\} s_3 = 7 \text{ kJ/kgK}$$

IV.Durum

$$\left. \begin{array}{l} P_4 = 10 \text{ kPa} \\ x = 0.9 \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_4 = h_f + x * h_{fg} = 2345.35 \text{ kJ/kg} \\ s_4 = s_f + x * s_{fg} = 7.4 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} = s_3 \end{array}$$

b) 9 MPa kızgın buhar

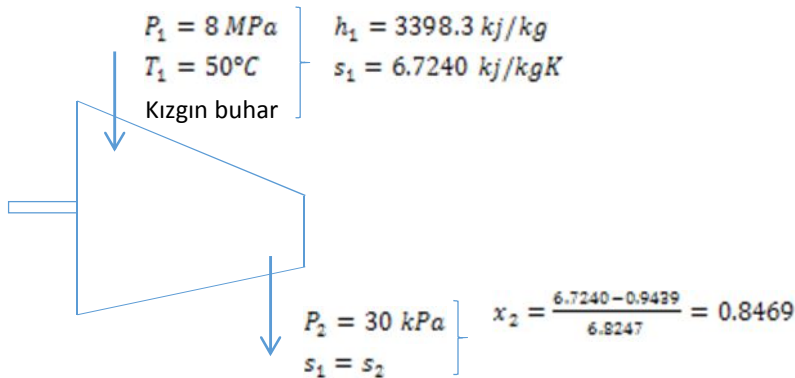
T	h	s
700	38765	7.2221
T <sub>3</sub>		7.4
800	4119.3	7.4596

interpolasyon yapılarak T<sub>3</sub> = 775 °C , h<sub>3</sub> = 4058.6 kJ/kg

$$c) Q_{kazan} = \dot{m} * (h_3 - h_2) = 60 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * \frac{(4058.6 - 200.91) \text{ kJ}}{\text{kg}} = 231461.4 \text{ kW}$$

$$d) \eta_{isit} = 1 - \frac{q_{çıkan}}{q_{giren}} = 1 - \frac{h_4 - h_1}{(h_3 - h_2)} = 1 - \frac{2153.52}{3857.69} = 0.4417 \text{ (%44.17)}$$

**S-3)** Su buharı adyabatik bir türbine 8 MPa, 500 °C ve 3 kg/s debiyle girmekte, 30 kPa basınca kadar genişlemektedir. Türbinin adyabatik verimi %90'dır. Buharın kinetik enerji değişimini ihmal ederek, **a-** Türbin çıkışındaki buharın sıcaklığını, **b-** Türbinin gücünü hesaplayınız.

**C-3)**

$$h_{2s} = h_f + x_2 * h_{fg} \Rightarrow h_{2s} = 2267.76 \text{ kJ/kg}$$

Gerçek Durum

$$\eta_{ady} = \frac{h_1 - h_{2g}}{h_1 - h_{2s}} = 0.9 = \frac{3398.3 - h_{2g}}{3398.3 - 2267.76}$$

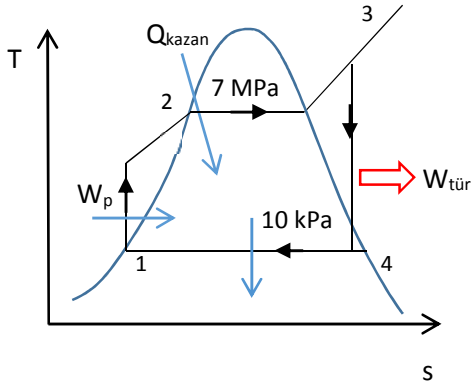
$$h_{2g} = 2380.814 \frac{kJ}{kg}$$

a) Türbin çıkışından  $T_2 = T_{doy} = 69.1^\circ C$  ( $P_2 = 30 \text{ kPa}$  için)

$$b) W_t = \dot{m} * (h_1 - h_{2g}) = 3 \frac{kg}{s} * (3398.3 - 2380.814) = 3052.46$$

**S-4)** Net gücü 30 MW olan ve ideal Rankine çevrimine göre çalışan bir buhar güç santralinde, buhar türbine 7 MPa ve 500 °C girmekte ve 10 kPa basınçtaki kondenserde yoğunlaştırılmaktadır. Çevrimi T-s diyagramında gösterip; **a-** Çevrimin ısıl verimini, **b-** Buhar debisini, **c-** Kazana verilen ısı miktarını hesaplayınız.

**C-4)**



I.Durum

$$P_1 = 10 \text{ kPa} \left\{ \begin{array}{l} v_1 = v_f = 0.001010 \frac{m^3}{kg}, v_g = 14.67 \\ h_s = h_1 = 191.93 \frac{kJ}{kg}, h_{fg} = 2392.8 \end{array} \right. \text{ Doymuş sıvı}$$

II.Durum

$$P_2 = 7 \text{ MPa} \left\{ \begin{array}{l} w_p = v * (P_2 - P_1) = 7.0599 \text{ kJ/kg} \\ s_2 = s_1 \end{array} \right. \left. \begin{array}{l} h_2 = w_p + h_1 = 7.0599 \text{ kJ/kg} \end{array} \right.$$

III.Durum

$$P_3 = 7 \text{ MPa} \left\{ \begin{array}{l} h_3 = 3410.3 \text{ kJ/kg} \\ T_3 = 500^\circ C \end{array} \right. \left. \begin{array}{l} s_3 = 6.7975 \text{ kJ/kgK} \end{array} \right. \text{ Kızgın Buhar}$$

## IV.Durum

$$P_4 = 10 \text{ kPa} \left\{ \begin{array}{l} x_4 = \frac{s_4 - s_f}{s_g - s_f} = \frac{6.7975 - 0.6493}{7.5009} = 0.8196 \\ s_3 = s_4 \end{array} \right.$$

$$w_t = h_4 - h_3 = 1257.232 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, \quad q_{\text{kazan}} = h_3 - h_2 = 3211.31, \quad w_{\text{net}} = w_t - w_p = 1250.172$$

$$\text{a) } \eta = \frac{w_{\text{net}}}{q_{\text{kazan}}} = \frac{1250.1721}{3211.31} = 0.389 \text{ (\%38.9)}$$

$$\text{b) } W_{\text{net}} = \dot{m} * w_{\text{net}} \Rightarrow \dot{m}_{\text{buhar}} = \frac{30000 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{1250.1721 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 24 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\text{c) } Q_{\text{kazan}} = q_{\text{kazan}} * \dot{m}_{\text{buhar}} = 3211.31 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} * 24 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$Q_{\text{kazan}} = 77.071 \text{ MW}$$

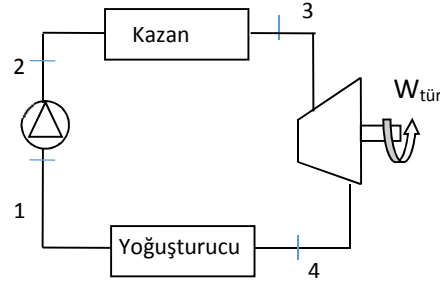
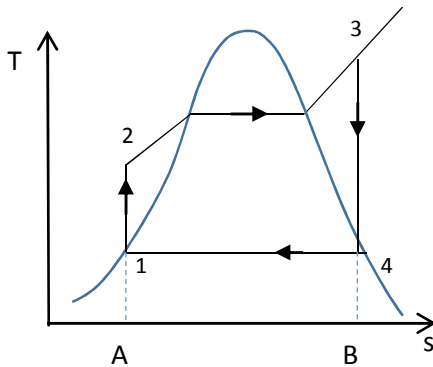
**S-5) a-** Entropinin artma prensibini kısaca açıklayıp, denklemini yazınız.

**b-** İdeal Rankine çevrimine göre çalışan bir buhar güç santralini şematik olarak çizip, kazana verilen ısıyı, kondenserden atılan ısıyı ve çevrimden elde edilen net işi, T-s (Sıcaklık- Entropi) diyagramında gösteriniz.

**c-** İdeal Rankine çevriminin ısı verimini nasıl artırabileceğimizi maddeler halinde T-s diyagramında gösteriniz.

**C-5)**

a)



Alan 2-3-B-A : Kazana verilen ısı

Alan 4-1-A-B : Kondenserden dışarıya verilen ısı

Alan 1-2-3-4 : Net elde edilen iş

**b)** Gerçek çevrimleri ideal çevrimlerden ayıran sebepler

1- İç sürtünmelerden dolayı basınç kayıpları

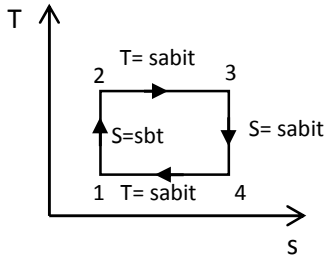
2- Çevreye istenmeyen ısı kayıpları



c) Herhangi bir işlem boyunca bir sistem ve çevresi birlikte göz önüne alınırsa toplam entropileri artar. Yani

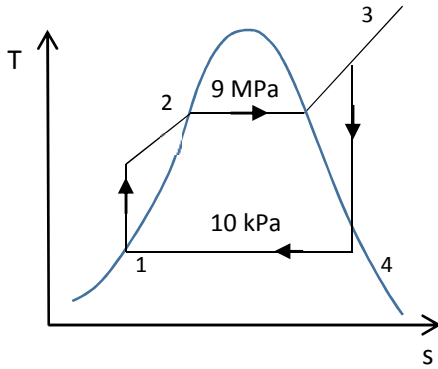
$$dS_{\text{sistem}} + dS_{\text{çevre}} \geq 0 \text{ dir.}$$

d) İki izentropik ve iki izotermal olmak üzere dört işlemten meydana gelmektedir.



**S-6)** 9 MPa ve 10 kPa basınçları arasında çalışan ve ideal Rankine çevrimine göre çalışan bir buhar güç santralinde buhar debisi 30 kg/s ve türbin çıkışında kuruluk derecesi 0.95 olduğuna göre; **a-** Türbinden alınacak gücü, **b-** Kazana verilen ısı miktarını, **c-** Çevrimin ısı verimini hesaplayınız.

**C-6)**



$$w_p = v_1 * (P_2 - P_1) = 0.00101 * (9000 - 10) = 9.08 \frac{kJ}{kg}$$

$$h_2 = h_1 + w_p = 191.83 + 9.08 = 200.91 \frac{kJ}{kg}$$

$$h_4 = h_s + x_4 * h_{sb} = 191.83 + 0.95 * 2392.8 = 2465 \frac{kJ}{kg}$$

$$h_3 = 4485 \frac{kJ}{kg}$$

$$a) w_t = \dot{m} * (h_3 - h_4) = 30 \frac{kg}{s} * (4485 - 2465) = 60.600 \text{ MW}$$

$$b) Q_{23} = \dot{m} * (h_3 - h_2) = 30 \frac{kg}{s} * (4485 - 200.91) = 128.523 \text{ MW}$$

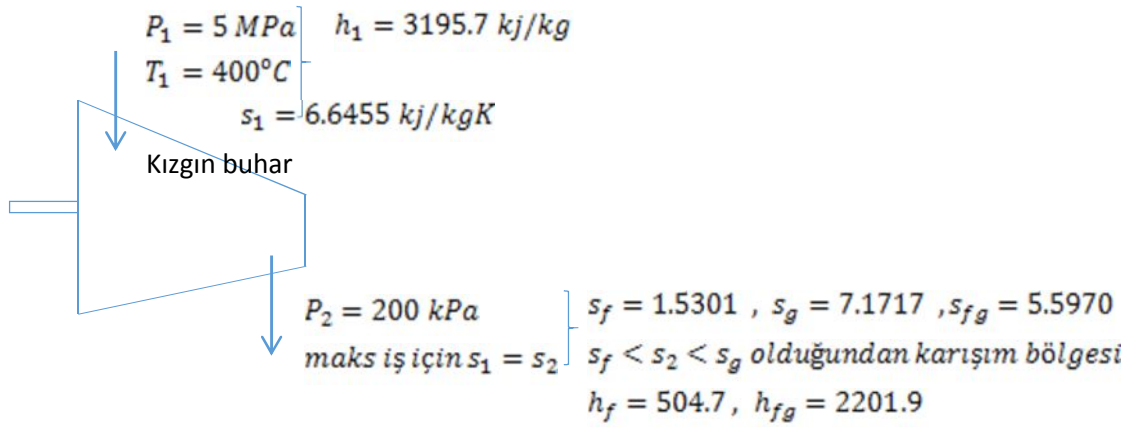
$$c) Q_{41} = \dot{m} * (h_4 - h_1) = 30 \frac{kg}{s} * (2465 - 191.83) = 68.195 \text{ MW}$$

$$w_{net} = Q_{23} - Q_{41} = w_t - w_p = 60.328 \text{ MW}$$

$$\eta_{isil} = 1 - \frac{Q_{yoğ}}{Q_{23}} = 1 - \left( \frac{68.195}{128.523} \right) = \%46.9$$

**S-7)** Su buharı sürekli akışlı adyabatik bir türbine 5 MPa ve 400 °C girmekte ve 200 kPa basınçta çıkmaktadır. Türbinde birim kütle su kütlesi için yapılacak maksimum işi hesaplayınız.

**C-7)**



$$w_{max} = h_1 - h_2$$

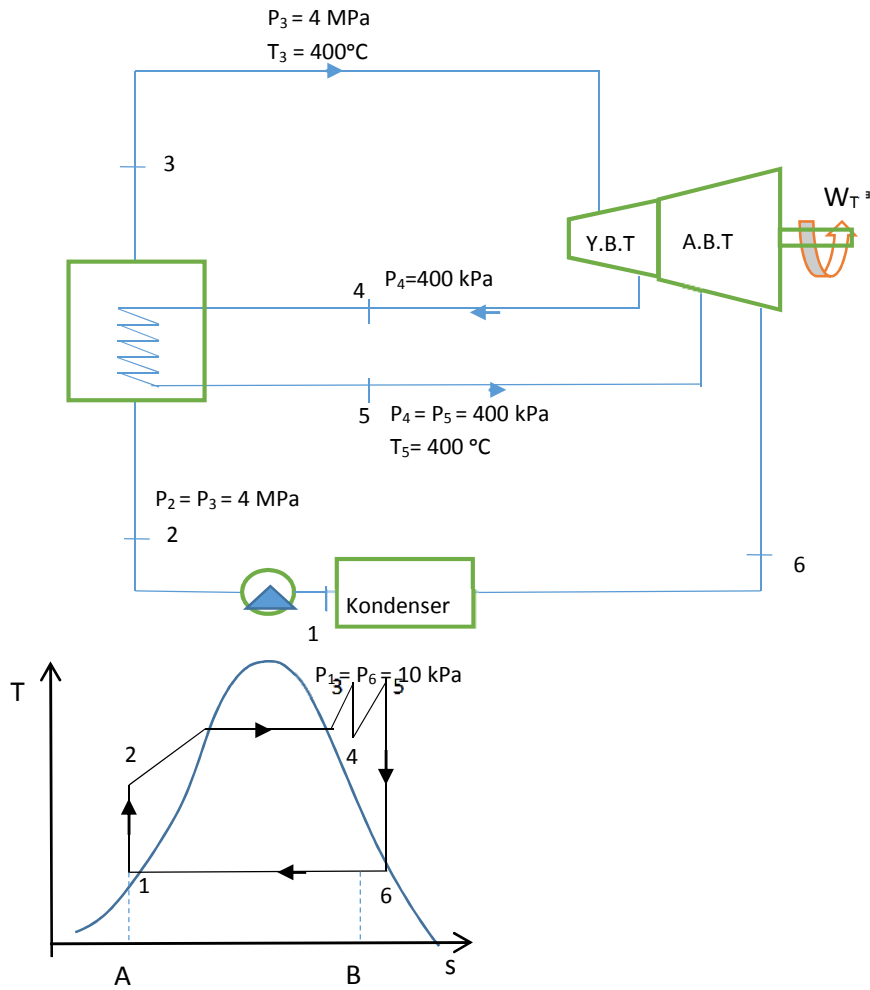
$$x_2 = \frac{s_2 - s_f}{s_g - s_f} = \frac{(6.6459 - 1.5301)}{5.5970} = 0.914$$

$$h_2 = h_f + x_2 * h_{fg} = 504.7 + 0.914 * 2201.9 \Rightarrow h_2 = 2517.924 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$w_{max} = 3195.7 - 2517.9 = 678.4 \text{ kJ/kg}$$

**S-8)** Bir tekrar ısıtılmalı Rankine çevriminde buhar 4 MPa ve 400 °C'de türbine girmekte ve yüksek basınç türbininde 400 kPa basınca kadar genişletildikten sonra 400 °C'ye kadar tekrar ısıtılıyor. Daha sonra buhar alçak basınç türbininde 10 kPa basınca kadar genişletilmektedir. Buna göre çevrimin ısı verimini bulunuz.

C-8)



I.Durum

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 10 \text{ kPa} \\ \text{Doymuş sıvı} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_1 = h_f = 191.83 \text{ kJ/kg} \\ P_1 = 10 \text{ kPa} \end{array}$$

II.Durum

$$w_p = v * (P_2 - P_1) = 0.001010 * (4000 - 10)$$

$$w_p = 4.0299 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = h_2 - h_1 \Rightarrow h_2 = h_1 + w_p = 195.8599 \text{ kJ/kg}$$

III.Durum

$$\left. \begin{array}{l} P_3 = 4 \text{ MPa} \\ T_3 = 400 \text{ }^\circ\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Kızgın Buhar} \\ h_3 = 3213.6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, s_3 = 6.7690 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \end{array}$$

IV.Durum

$$\left. \begin{array}{l} P_4 = 400 \text{ kPa} \\ s_3 = s_4 \end{array} \right\} \begin{array}{l} s_f = 1.7766, s_g = 6.8959 \\ s_f < s_4 < s_g \end{array}$$

$$x_4 = \frac{s_4 - s_f}{s_{fg}} = 0.9752$$

$$h_4 = h_f + x_4 * h_{fg} = 604.74 + 0.9752 * 2133.8 = 2685.62 \text{ kJ/kg}$$

V.Durum

$$\left. \begin{array}{l} P_5 = 0.4 \text{ MPa} \\ T_5 = 400^\circ\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Kızgın Buhar} \\ h_5 = 3273.4 \text{ kJ/kg} \\ s_5 = 7.7985 \text{ kJ/kgK} \end{array}$$

VI.Durum

$$\left. \begin{array}{l} P_6 = 10 \text{ kPa} \\ s_5 = s_6 \end{array} \right\} \begin{array}{l} s_f = 0.6493, s_g = 8.1502, s_f < s_6 < s_g \\ h_f = 191.83, h_g = 2854.7 \end{array}$$

$$x_6 = \frac{s_6 - s_f}{s_g - s_f} = 0.9664 \Rightarrow h_6 = h_f + x_6 * (h_g - h_f)$$

$$h_6 = 2504.299 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_{\text{ısıtıl}} = 1 - \frac{q_{\text{kon}}}{q_{\text{kazan}}}$$

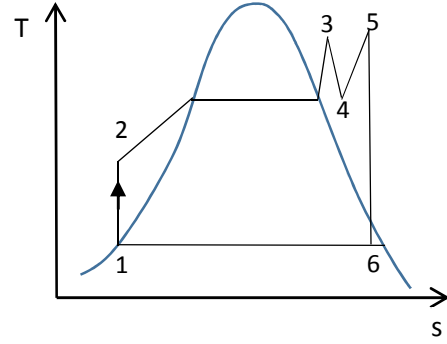
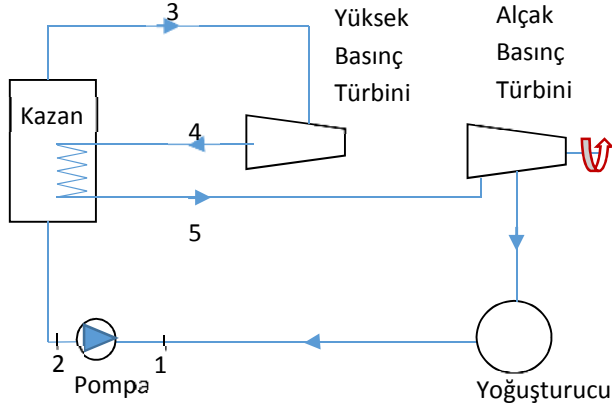
$$q_{\text{kon}} = h_6 - h_1 = 2504.299 - 191.83 = 2312.4569 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{\text{kazan}} = h_3 - h_2 + h_5 - h_4 = 3017.74 + 587.78 = 3605.52$$

$$\eta_{\text{ısıtıl}} = 1 - \frac{2312.469}{3605.52} = 0.3586 \text{ (\%35.86)}$$

- S-9)** Ara ısıtmalı ideal **Rankine** çevrimine göre çalışan buharlı bir güç santralının net gücü 80 MW'tır. Buhar, yüksek basınç türbinine 10 MPa ve 500 °C, alçak basınç türbinine ise 1 MPa ve 500 °C koşullarında girmekte, 10 kPa doymuş sıvı olarak çıkmaktadır. **a)** Çevrimin elamanlarını gösteren şemasını ve TS diyagramında gösteriniz, **b)** Türbin çıkışındaki buharın kuruluk derecesini, **c)** Çevrimin verimini, **d)** Buharın kütleli debisini bulunuz.

C-9)



$$h_1 = h_f = 191.81 \frac{kJ}{kg}, \quad v_1 = v_f = 0.00101 \frac{m^3}{kg}$$

$$w_{pompa} = v_1 * (P_2 - P_1) = 0.00101 \frac{m^3}{kg} * (1000 - 10) = 10.09 \frac{kJ}{kg}$$

$$h_2 = h_1 + w_{pompa} = 191.81 + 10.09 = 201.9 \text{ kJ/kg}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_3 = 10 \text{ MPa} \\ T_3 = 500^\circ\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_3 = 3375.1 \text{ kJ/kg} \\ s_3 = 6.5995 \text{ kJ/kgK} \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_4 = 1 \text{ MPa} \\ s_3 = s_4 \end{array} \right\} h_4 = 2783.8 \text{ kJ/kg}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_5 = 1 \text{ MPa} \\ T_5 = 500^\circ\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_5 = 3479.1 \text{ kJ/kg} \\ s_5 = 7.7642 \text{ kJ/kgK} \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_6 = 1 \text{ MPa} \\ s_5 = s_6 \end{array} \right\} \begin{array}{l} x_6 = \frac{s_6 - s_f}{s_{fg}} = \frac{7.7652 - 0.6592}{7.4996} \Rightarrow x_6 \cong 0.95 \\ h_6 = h_f + x_6 * h_{fg} \Rightarrow h_6 = 2461.2 \frac{kJ}{kg} \end{array}$$

$$w_{net} = (h_3 - h_4) + (h_5 - h_6) = 1609.3 \text{ kJ/kg}$$

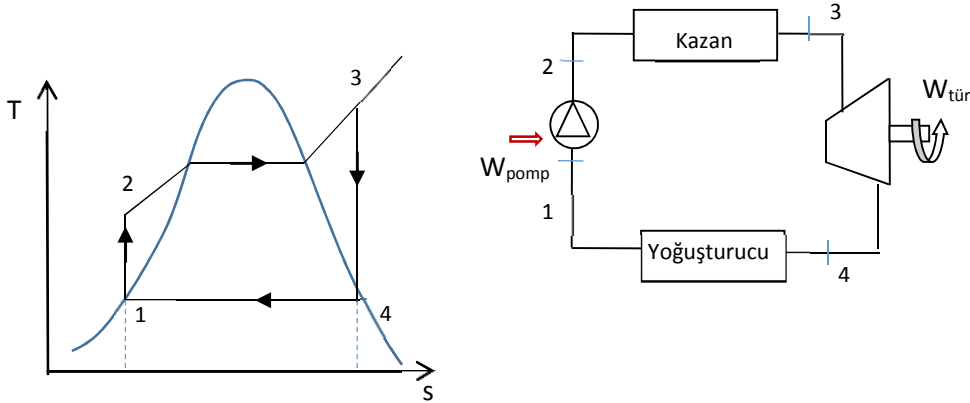
$$q_{giren} = (h_3 - h_2) + (h_5 - h_4) = 3868.5 \text{ kJ/kg}$$

$$W_{net} = W_{türbin} - W_{pompa} = 1599.3 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{m} = \frac{\dot{W}_{net}}{w_{net}} = \frac{8000 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{1599.3 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 50 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \quad \eta = \frac{w_{net}}{q_{giren}} = \%41.3$$

**S-10)** İdeal Rankine çevrimine göre çalışan bir buhar güç santralinde basınç limitleri 3 MPa ve 50 kPa dır. Türbinin girişinde buharın sıcaklığı 400°C ve çevrim boyunca dolaşan buharın debisi saniyede 25 kg olduğuna göre; a) Sistemi şematik olarak ve T-s diyagramında gösteriniz. b) Çevrimin ısıl verimini hesaplayınız. c) Santralden alınan net gücü bulunuz.

**C-10) a)**



**b) I.Durum**

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 50 \text{ kPa} \\ \text{Doymuş sıvı} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_s = h_1 = 340.49 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \\ v_s = v_1 = 0.001030 \text{ m}^3/\text{kg} \end{array}$$

**II.Durum**

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 3 \text{ MPa} \\ s_1 = s_2 \end{array} \right\} \begin{array}{l} w_p = v_1 * (P_2 - P_1) \\ w_p = 3.0385 \text{ kJ/kg} \end{array}$$

$$w_p = h_2 - h_1 \Rightarrow h_2 = 343.5285 \text{ kJ/kg}$$

**III.Durum**

$$\left. \begin{array}{l} P_3 = 3 \text{ MPa} \\ T_3 = 400^\circ\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Kızgın buhar} \\ h_3 = 3230.9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, s_3 = 6.9212 \text{ kJ/kgK} \end{array}$$

## IV.Durum

$$\left. \begin{array}{l} P_4 = 50 \text{ kPa} \\ s_3 = s_4 \end{array} \right\} \begin{array}{l} s_s = 1.0910 \\ s_b = 7.5939 \\ s_{sb} = 6.5029 \end{array}$$

$s_b > s_s$  olduğundan karışım bölgesi

$$x_4 = \frac{s_4 - s_s}{s_{sb}} = 0.8966$$

$$h_4 = h_s + x_4 * h_{sb} = 340.49 + 0.8966 * 2305.4$$

$$h_4 = 2407.5116 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{kazan} = \dot{m} * (h_3 - h_2) = 25 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 2887.3715 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 72184.285 \text{ kW}$$

$$q_{yoğ} = \dot{m} * (h_4 - h_1) = 25 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 2067.0216 = 51675.54 \text{ kW}$$

$$W_t = \dot{m} * (h_3 - h_4) = 25 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * 823.3884 = 20584.71 \text{ kW}$$

$$W_p = \dot{m} * w_p = 75.9625 \text{ kW}$$

$$\eta_{isil} = 1 - \frac{q_{yoğ}}{q_{kazan}} = 1 - 0.7159 = \%28.41$$

$$W_{net} = W_t - W_p = 20508.7475 \text{ kW} = 20.5088 \text{ MW}$$

**S-11)** Kömür yakarak 300 MW elektrik üreten bir buharlı güç santralinde, su buharı, türbine 5 MPa ve 450 °C'de girmekte ve 25 kPa yoğuşturucu basıncına genişlemektedir. Santralde kullanılan kömürün ısı değeri (kömür yandığı zaman açığa çıkan ısı) 29300 kJ/kg'dır. Bu enerjinin %75'inin kazanda buhara verildiğini ve elektrik jeneratörünün veriminin %96 olduğunu kabul ederek, **a)** toplam santra verimini (net elektrik gücünün, santralin birim zamanda tükettiği yakıt enerjisine oranı), **b)** bir saatte tüketilen kömür miktarını t/h olarak hesaplayınız. (**Not:** 1 metrik ton (t)=1000 kg)

**C-11) a) I. Durum**

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 25 \text{ kPa} \\ D.\text{sivi} \end{array} \right\} h_f = h_1 = 271.93 \text{ kJ / kg}, v_f = v_1 = 0.001020 \text{ m}^3 / \text{kg}$$

**II. Durum**

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 5 \text{ MPa} \\ s_1 = s_2 \end{array} \right\} w_p = v_1 * (P_2 - P_1) = 0.001020 * (5000 - 25) = 5.0745 \text{ kJ / kg}, h_2 = 277 \text{ kJ / kg}$$

**III. Durum**

$$\left. \begin{array}{l} P_3 = 5 \text{ MPa} \\ T_3 = 450^\circ \text{C} \end{array} \right\} h_3 = 3316.2 \text{ kJ / kg}, s_3 = 6.8186 \text{ kJ / (kg.K)}$$

**IV. Durum**

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 25 \text{ kPa} \\ s_3 = s_4 \end{array} \right\} x_4 = \frac{s_4 - s_f}{s_{fg}} = \frac{6.8186 - 0.8931}{6.9383} = 0.854$$

$$h_4 = h_f + x * h_{fg} = 271.93 + 0.854 * 2346.32 = 2275.67 \text{ kJ / kg}$$

$$w_{tur} = h_3 - h_4 = 3316.2 - 2275.67 = 1040.53 \text{ kJ / kg}$$

$$q_{kazan} = h_3 - h_2 = 3316.2 - 277 = 3039.2 \text{ kJ / kg}$$

$$q_{kon} = h_4 - h_1 = 2275.67 - 271.93 = 2003.74 \text{ kJ / kg}$$

$$w_{net} = w_{tur} - w_{pomp} = 1035.46 \text{ kJ / kg}$$

$$m_b = \frac{W}{w} = \frac{300000}{1035.46} = 289.73 \text{ kg / s}$$

$$Q_{kazan} = m_b * q_{kazan} = 877650.12 \text{ kW}$$

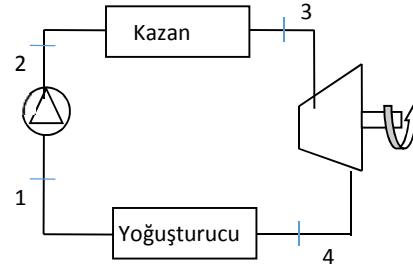
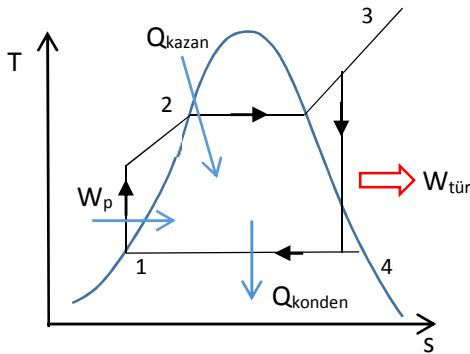
$$\eta_{isit} = \frac{W_{net}}{Q_{kazan}} = \frac{300000}{877650.12} * 0.75 * 0.96 = 0.246 \Rightarrow \%24.6$$

$$\text{b) } m_{k\ddot{o}m} = \frac{877650.12}{29300 * 0.75 * 0.96} * 3600 \text{ sn} = 149.769 \text{ t / h (150.1)}$$



**S-12)** İdeal Rankine çevrimine göre çalışan 30 MW'lık bir buhar güç santralinde buhar, 5 MPa ve 500 °C'de türbine girmektedir. Güç santralının kondenseri hava soğutmalı olup su buharı, kondenserden çevre sıcaklığından 10 °C daha düşük bir sıcaklıkta doymuş sıvı olarak çıkmaktadır. Çevre havasının sıcaklığı 30 °C ve güç santralinde yakıt olarak ısıl değeri 25000 kJ/kg olan kömür kullanılmaktadır. Buna göre; a) Sistemi şematik olarak çizip T-s Diyagramını çiziniz b) Santralin kazan kapasitesini c) Santralin günlük yaktığı kömür miktarını c) santralin ısıl verimini hesaplayınız.

**C-12)**



$$T_{kon} = 30 - 10 = 20^\circ\text{C} \text{ tablodan}; P_{kon} = P_1 = P_4 = 2.3392 \text{ kPa}$$

**I.Durum**

$$\left. \begin{array}{l} T_1 = 20^\circ\text{C} \\ \text{Doymuş sıvı} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_1 = h_f = 83.915 \\ s_1 = s_f = 0.2965 \text{ kJ/kgK} \\ v_1 = v_f = 0.001002 \text{ m}^3/\text{kg} \end{array}$$

**II.Durum**

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 5 \text{ MPa} \\ s_1 = s_2 \end{array} \right\} \begin{array}{l} w_p = v_1 * (P_2 - P_1) \\ w_p = 5 \text{ kJ/kg} \\ h_2 = w_p + h_1 = 88.915 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \end{array}$$

**III.Durum**

$$\left. \begin{array}{l} P_3 = 5 \text{ MPa} \\ T_3 = 500^\circ\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Kızgın Buhar} \\ h_3 = 3434.7 \text{ kJ/kg} \\ s_3 = 6.9781 \text{ kJ/kgK} \end{array}$$

**IV.Durum**

$$\left. \begin{array}{l} P_4 = 2.3392 \text{ kPa} \\ T_4 = 20^\circ\text{C} \\ s_3 = s_4 = 6.9781 \end{array} \right\} \begin{array}{l} s_f = 0.2965 \\ s_g = 8.6661 \\ s_f < s_4 < s_g \end{array}$$

Karışım Bölgesi

$$x_4 = \frac{s_4 - s_f}{s_g - s_f} = \frac{6.9781 - 0.2965}{8.6661 - 0.2965} = 0.7983$$

$$h_4 = h_f + x_4 * h_{fg} = 83.915 + 0.7983 * 2453.5$$

$$h_4 = 2042.54 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$W_{turbın} = \dot{m}_{buhar} * (h_3 - h_4) \Rightarrow \dot{m}_{buhar} = \frac{W_{turbın}}{h_3 - h_4} = \frac{30000 \text{ kW}}{3434.7 - 2042.54} = 21.55 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\text{b) } Q_{kazan} = \dot{m}_{buhar} * (h_3 - h_2) = 21.55 * (3434.7 - 88.915)$$

$$Q_{kazan} = 721 \text{ MW}$$

$$c) \dot{m}_{\text{kömür}} = \frac{Q_{\text{kazan}}}{Ha} = \frac{72101.67 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{25000 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 2.884 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\dot{m}_{\text{kömür}} = 2.884 \frac{\text{kg}}{\text{s}} * \frac{3600\text{s}}{1\text{h}} * \frac{24\text{h}}{1\text{gün}} = 249183.3 \frac{\text{kg}}{\text{gün}}$$

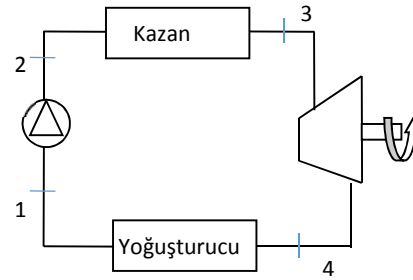
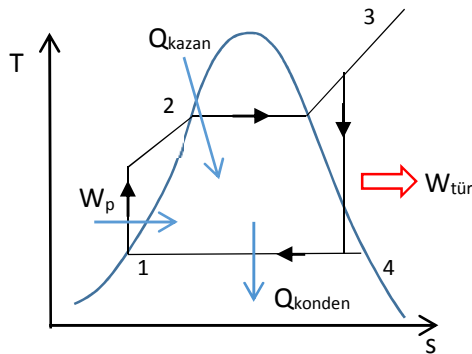
$$\dot{m}_{\text{kömür}} \cong 25 \text{ ton/gün}$$

$$W_p = \dot{m} * w_p = 107.75 \text{ kW}$$

$$d) \eta_{\text{ısı}} = \frac{W_{\text{net}}}{Q_{\text{giren}}} = \frac{30000 - 107.75}{72101.67} = 0.4145 = \%41.456$$

**S-13)** 300 MW gücünde bir buhar santrali, basit ideal Rankine çevrimine göre çalışmaktadır. Su buharı türbine 10 MPa basınç ve 500 °C sıcaklıkta girmekte ve 10 kPa yoğuşturucu basıncına genişlemektedir. Çevrimi, doymuş sıvı ve doymuş buhar eğrilerinin de yer aldığı bir T-s diyagramında gösterin ve **(a)** türbin çıkışında buharın kuruluk derecesini, **(b)** çevrimin ısı verimini, **(c)** çevrimde dolaşan su buharının kütleli debisini hesaplayınız.

**C-13)**



**I.Durum**

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 10 \text{ kPa} \\ \text{Doymuş sıvı} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_1 = h_f = 191.83 \text{ kJ/kg} \\ s_1 = s_f = 0.6493 \text{ kJ/kgK} \\ v_1 = v_f = 0.001010 \text{ m}^3/\text{kg} \end{array}$$

**III.Durum**

$$\left. \begin{array}{l} P_3 = 10 \text{ MPa} \\ T_3 = 500^\circ\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_3 = 3373.7 \text{ kJ/kg} \\ s_3 = 6.5966 \text{ kJ/kgK} \end{array}$$

**II.Durum**

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 10 \text{ MPa} \\ s_1 = s_2 \end{array} \right\} \begin{array}{l} w_p = v_1 * (P_2 - P_1) \\ w_p = 10.09 \text{ kJ/kg} \\ h_2 = w_p + h_1 = 201.92 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \end{array}$$

**IV.Durum**

$$\left. \begin{array}{l} P_4 = 10 \text{ kPa} \\ s_3 = s_4 = 6.5966 \\ s_f < s_4 < s_g \end{array} \right\}$$

$$x_4 = \frac{s_4 - s_f}{s_g - s_f} = \frac{6.5966 - 0.2965}{7.5009} = 0.7983$$

$$h_4 = h_f + x_4 * h_{fg} = 2089 \text{ kJ/kg}$$

$$b) \eta_{isil} = \frac{w_{net}}{q_{23}}$$

$$q_{23} = h_3 - h_2 = 3171.8, \quad q_{41} = 1897.17 \text{ kJ/kg}$$

$$w_{net} = q_{23} - q_{41} = 1274.63$$

$$\eta_{isil} = \frac{w_{net}}{q_{23}} = \frac{1274.63}{3171.8} = \% 40.2$$

$$c) W_{net} = \dot{m} * w_{net} \Rightarrow \dot{m} = \frac{W_{net}}{w_{net}} = \frac{30000 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{1274.63 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}}$$

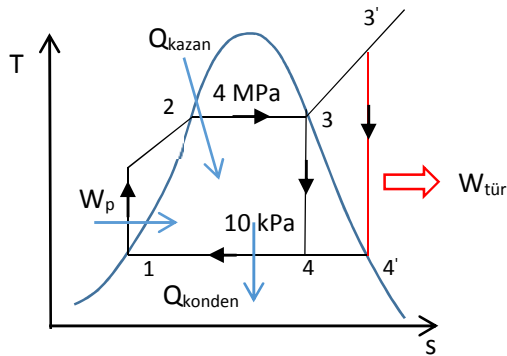
$$\dot{m} = 235.36 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

**S-14)** İdeal Rankine çevrimine göre çalışan bir buhar güç santralinde kazan basıncı 4 MPa, kondenser basıncı 10 kPa dır. Türbin girişinde buhar;

a) Doymuş buhar halinde ise,

b) 400°C' de kızgın buhar halinde ise çevrimin verimini bulunuz.

**C-14)**



a) I.Durum

$$P_1 = 10 \text{ kPa} \left\{ \begin{array}{l} h_1 = h_s = 191.83 \text{ kJ/kg} \\ v_1 = v_s = 0.001010 \text{ m}^3/\text{kg} \\ h_{sb} = 2392.8 \text{ kJ/kg} \end{array} \right.$$

II.Durum

$$w_p = v_1 * (P_2 - P_1) = 0.001010 * (4000 - 10)$$

$$w_p = 4.0299 \text{ kJ/kg}$$

$$w_p = h_2 - h_1 \Rightarrow h_2 = 195.86 \text{ kJ/kg}$$

III.Durum

$$\left. \begin{array}{l} P_3 = 4 \text{ MPa} \\ T_3 = 400^\circ\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_3 = 3213.6 \text{ kJ/kg} \\ s_3 = 6.7690 \text{ kJ/kgK} \end{array}$$

IV.Durum

$$\left. \begin{array}{l} P_3 = 10 \text{ kPa} \\ s_3 = s_4 \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_s = 191.83 \text{ kJ/kg}, h_{sb} = 2392.8 \text{ kJ/kg} \\ s_s = 0.6493 \text{ kJ/kgK}, s_{sb} = 7.5009 \\ x_4 = \frac{s_4 - s_s}{s_{sb}} = 0.723 \\ h_4 = h_s + x_4 * h_{sb} = 1921.82 \text{ kJ/kg} \end{array}$$

$$q_{kazan} = h_3 - h_2 = (2801.4 - 195.86) \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 2605.54 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$q_{yoğ} = h_4 - h_1 = 1921.81 - 191.83 = 1729.98 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$w_{tür} = h_3 - h_4 = 2801.4 - 1921.82 = 879.58 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\eta_{isil} = 1 - \frac{q_{yoğ}}{q_{kazan}} = 1 - 0.6639 = 0.336 \text{ (%36)}$$

$$w_{net} = w_{tür} - w_p = 875.55 \Rightarrow \eta_{isil} = \frac{w_{net}}{q_{kazan}} = 0.336 \text{ (%36)}$$

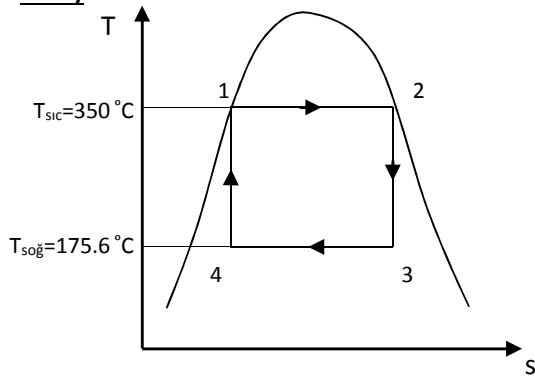
Verim = %33.6

**S-15)** Isıl verimi %28 olan Carnot çevrimine göre çalışan bir ısı makinasında çalışma akışkanı olarak u buharı kullanılmaktadır. Çalışma akışkanına 350°C' deki kaynaktan ısı verilmekte ve bu esnada akışkan doymuş sıvı halinden doymuş buhar haline geçmektedir.

a) Bu çevrimi doymuş sıvı ve doymuş buhar eğrilerini ihtiva eden T-s diyagramında gösteriniz.

b) Çalışma akışkanından soğuk ısı kaynağına ısının atılmasının başladığı ve bittiği hallerdeki kuruluk derecelerini bulunuz.

c) Çevrimde saatte 5 kg akışkan dolaştığına göre bu ısı makinasının gücünü bulunuz.

**C-15)**

$$a) \eta_{\text{isil}} = 1 - \frac{T_{\text{soğ}}}{T_{\text{sic}}} = 0.28 \Rightarrow \eta_{\text{isil}} = 1 - \frac{T_{\text{soğ}}}{350+273} = 0.28 \Rightarrow T_{\text{soğ}} = 448.67 \text{ K}$$

b) I ve II. Durum

$$\left. \begin{array}{l} T = 350^\circ\text{C} \\ \text{Doymuş sıvı-buhar} \\ \text{Karışımı} \end{array} \right\} \begin{array}{l} s_s = s_1 = 3.777 \text{ kJ/kgK} \\ s_b = s_2 = 5.2112 \text{ kJ/kgK} \\ h_1 = h_s = 1670.6 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, h_b = h_2 = 2563.9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, h_{sb} = 893.4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \end{array}$$

III ve IV. Durum

$$\left. \begin{array}{l} T = 175^\circ\text{C} \\ \text{Doymuş sıvı-buhar} \\ \text{Karışımı} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_s = 741.17, h_{sb} = 2032.4, h_b = 2773.6 \\ s_s = 2.0909, s_b = 6.6256, s_{sb} = 4.5347 \\ s_3 = s_2 = 5.2112 = s_s + x_3 * s_{sb} \Rightarrow x_3 = \frac{s_2 - s_s}{s_{sb}} = 0.688 \\ s_4 = s_1 = 3.7777 = s_s + x_4 * s_{sb} \Rightarrow x_4 = \frac{s_1 - s_s}{s_{sb}} = 0.3718 \end{array}$$

$$c) \eta_{\text{isil}} = \frac{W_{\text{net}}}{Q_{\text{sic}}}, Q_{\text{sic}} = T * \Delta S$$

$$s_1 = 3.7777 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}, s_2 = 5.2112 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}}$$

$$Q_{\text{sic}} = 623 \text{ K} * (s_2 - s_1) * \dot{m} = 623 \text{ K} * 1.4335 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} * 5 * \frac{1}{h} * \frac{1 \text{ h}}{3600 \text{ sn}}$$

$$Q_{\text{sic}} = 1.24 \text{ kW}$$

$$\eta_{\text{isil}} * Q_{\text{sic}} = W_{\text{net}}$$

$$W_{\text{net}} = 0.28 * 1.24 = 0.3472 \text{ kW}$$

Veya

$$W_{\text{net}} = \dot{m} * (h_3 - h_2)$$

$$h_2 = h_b = 2563.9 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, h_3 = h_s + x_3 * h_{sb} = 741.17 + 0.688 * 2032.4$$

$$h_3 = 2139.46 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad W_{\text{tür}} = 0.5894$$

$$W_{\text{pompa}} = \dot{m} * (h_4 - h_1) = 0.24136, W_{\text{net}} = W_{\text{tür}} - W_{\text{pompa}} = 0.348 \text{ kW}$$

**S-16)** İdeal Rankine çevrimine göre çalışan bir buhar güç santralinde buhar türbine 5 MPa ve 450 °C 'de girmektedir. Kondenser basıncı 25 kPa ise, T-s diyagramını çizip;

a) Bu çevrimin ısı verimini hesaplayınız.

b) Buhar türbine 600°C 'de girerse ısı verimini hesaplayınız.

**C-16)**

**I.Durum**

$$P_1 = 25 \text{ kPa} \left\{ \begin{array}{l} v_s = v_1 = 0.001020 \text{ m}^3/\text{kg} \\ h_s = h_1 = 271.93 \text{ kJ/kg} \\ h_{sb} = 2346.3 \text{ kJ/kg} \end{array} \right.$$

**II.Durum**

$$w_p = v * (P_2 - P_1) = 5.0745 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = h_1 + w_p = 277.0045 \text{ kJ/kg}$$

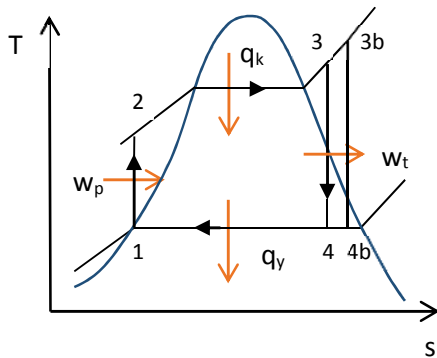
**III.Durum**

$$\left. \begin{array}{l} P_3 = 5 \text{ MPa} \\ T_3 = 450^\circ\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_3 = 3316.2 \text{ kJ/kg} \\ s_3 = 6.8186 \text{ kJ/kgK} \end{array}$$

**IV.Durum**

$$x_4 = \frac{s_3 - s_s}{s_{sb}} = \frac{(6.8186 - 0.8931)}{6.9383} = 0.854$$

$$h_4 = 271.93 + x_4 * 2346.3 = 2275.67 \text{ kJ/kg}$$



$$q_{kon} = h_4 - h_1 = 2003.7402 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{kazan} = h_3 - h_2 = 3039.1955 \text{ kJ/kg}$$

$$w_t = h_3 - h_4 = 1040.49 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_{\text{ısıt}} = 1 - \frac{q_{\text{kon}}}{q_{\text{kazan}}} = \%34.07$$

### b) III.Durum

$$\left. \begin{array}{l} P_3 = 5 \text{ MPa} \\ T_3 = 600^\circ \text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_3 = 3666.5 \text{ kJ/kg} \\ s_3 = 7.2589 \text{ kJ/kgK} \end{array}$$

### IV.Durum

$$x_4 = \frac{7.2589 - 0.8931}{6.9393} = 0.9174$$

$$h_4 = 2424.425 \text{ kJ/kg}$$

$$w_t = h_3 - h_4 = 1241.89 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$w_p = 5.074 \text{ kJ/kg}$$

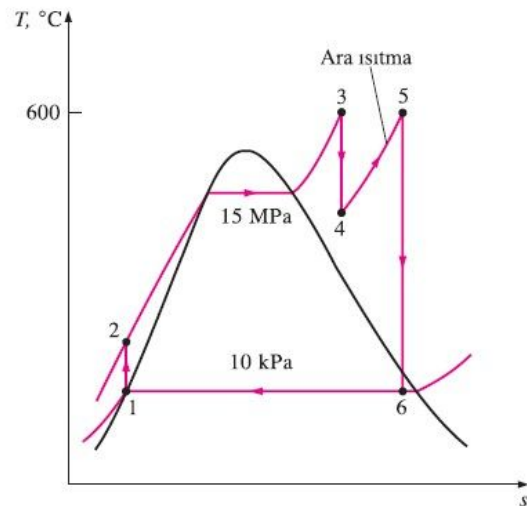
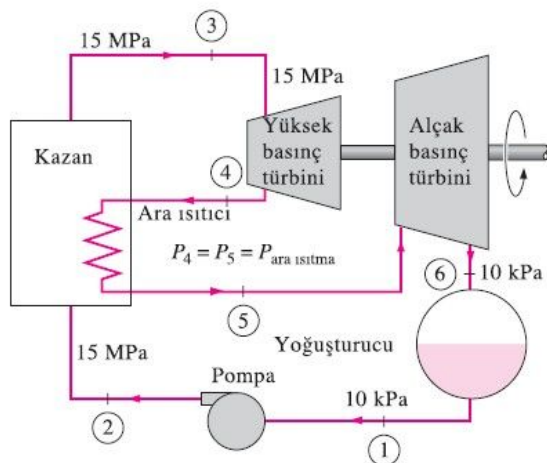
$$q_{\text{kon}} = h_4 - h_1 = 2152.49 \text{ kJ/kg}$$

$$q_{\text{kazan}} = h_3 - h_2 = 3389.49 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_{\text{ısıt}} = 1 - \frac{q_{\text{kon}}}{q_{\text{kazan}}} = \% 36.49$$

S-17) deal ara ısıtmalı Rankine çevrimine göre çalıştıran buharlı bir güç santralinde su buharı türbine 15 MPa basınç ve 600 °C sıcaklıkta girmektedir. Yoğurtucu basıncı 10 kPa'dır. Alçak basınç türbininin çıkışında buharın kuruluk derecesinin yüzde 89.6'nın altına düşmemesi istenmektedir. Ara ısıtma sonunda buharın türbin giriş sıcaklığına getirildiğini kabul ediniz. Buna göre; **a)** Sistemi ematik olarak çizip çevrimi T-s diyagramında gösteriniz. **b)** Buharın ara ısıtma basıncını, **c)** Çevrimin ısı verimini hesaplayınız. **d)** Santral gücü 50 MW ve 2000 kcal/kg ısı değere sahip linyit ile çalıştırılıyorsa ihtiyaç duyulan saatlik yakıt miktarını hesaplayınız.

C-17)



a) Ara ısıtma basıncı, 5 ve 6 hallerinde entropilerin eşit olmasından yola çıkarak bulunabilir.

6. Hali:  $P_6 = 10 \text{ kPa}$

$$x_6 = 0.896 \quad (\text{doymuş sıvı-buhar karışımı})$$

$$s_6 = h_f + x_6 * s_{fg} = 0.6492 + 0.896(7.4996) = 7.3688 \text{ kJ/kgK}$$

$$h_6 = h_f + x_6 * h_{fg} = 191.81 + 0.896(2392.1) = 2335.1 \text{ kJ/kg}$$

5. Hali:  $T_5 = 600^\circ\text{C}$  ,  $s_5 = s_6$

$$P_5 = 4.0 \text{ Mpa} , h_5 = 3674.9 \text{ kJ/kg}$$

Isıl verimin hesaplanabilmesi için diğer hallerde entalpilerin bulunması gerekmektedir:

1. Hali:  $P_1 = 10 \text{ kPa}$  , Doymuş sıvı

$$h_1 = h_{f@10\text{kPa}} = 191.81 \text{ kJ/kg} , v_1 = v_{f@10\text{kPa}} = 0.00101 \text{ m}^3/\text{kg}$$

2. Hali:  $P_2 = 15 \text{ MPa}$  ,  $s_2 = s_1$

$$w_{\text{pomp,g}} = v_1(P_2 - P_1) = (0.00101 \text{ m}^3/\text{kg}) * [(15000 - 10) \text{ kPa}] \left( \frac{1 \text{ kJ}}{1 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3} \right) = 15.14 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = h_1 + w_{\text{pomp,g}} = (191.81 + 15.14) \text{ kJ/kg} = 206.95 \text{ kJ/kg}$$

3. Hali:  $P_3 = 15 \text{ MPa}$  ,  $T_3 = 600^\circ\text{C}$

$$h_3 = 3583.1 \text{ kJ/kg} , s_3 = 6.6796 \text{ kJ/kgK}$$

4. Hali:  $P_4 = 4 \text{ MPa}$  ,  $s_4 = s_3$

$$h_4 = 3155.0 \text{ kJ/kg} , T_4 = 375.5^\circ\text{C}$$

Böylece

$$q_g = (h_3 - h_2) + (h_5 - h_4) = (3583.1 - 206.95) + (3674.9 - 3155.0) = 3896.1 \text{ kJ/kg}$$

$$q_c = (h_6 - h_1) = (2335.1 - 191.81) = 2143.3 \text{ kJ/kg}$$

$$\eta_{\text{ıstıl}} = 1 - \frac{q_c}{q_g} = 1 - \frac{2143.3 \text{ kJ/kg}}{3896.1 \text{ kJ/kg}} = 0.450 = \%45$$

$$\dot{m}_{\text{buhar}} = \frac{W_{\text{net}}}{(h_3 - h_4 + h_5 - h_6)} = \frac{50000 \text{ kJ/s}}{(3583.1 - 3155.0 + 3674.9 - 2335.1) \text{ kJ/kg}}$$

$$= 28.28 \text{ kg/s}$$

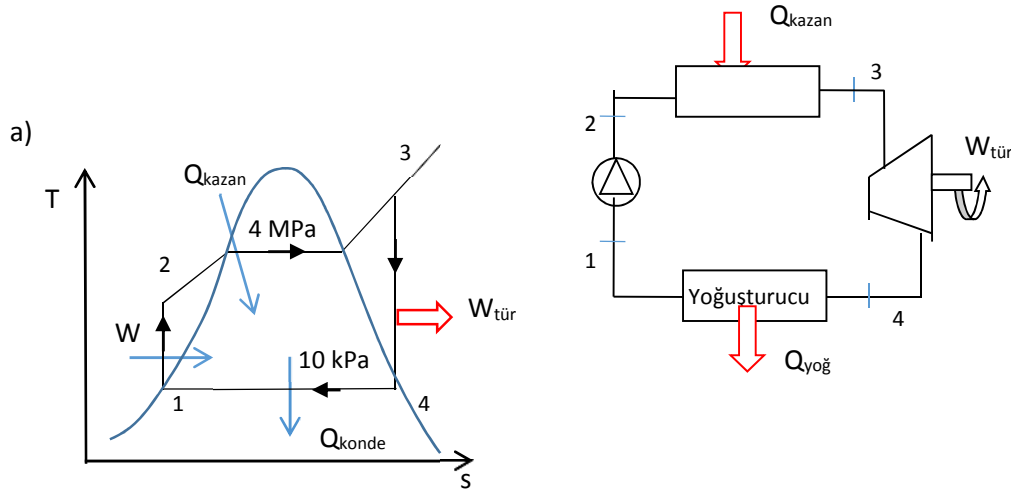
$$Q_{\text{kazan}} = \dot{m}_{\text{buhar}} * q_g = 28.28 * 3896.1 = 110181 \text{ kJ/s}$$

$$\dot{m}_{\text{yakıt}} = \frac{Q_{\text{kazan}}}{H_{\text{yakıt}}} = \frac{110181}{2000} = 55 \text{ kg/s} = 198 \text{ ton/saat}$$

S-18) Bir termik santralde  $5 \text{ kg/s}$  debiyle buhar,  $4 \text{ Mpa}$  ve  $400^\circ\text{C}$ 'de türbine girmekte ve  $10 \text{ kPa}$  basınca kadar genişlemektedir. Buna göre; (a) Sistemi şematik olarak ve T-s diagramını çizin. (b) Çevrimden elde edilebilecek net gücü (c) Çevrimin ısıl verimini (d)  $2000 \text{ kcal/kg}$  ısıl değere sahip linyit ile çalışıyorsa saatlik yakıt miktarını hesaplayınız.



C-18)

b) I. Durum $P_1 = 10 \text{ kPa}$ , Doymuş sıvı $h_1 = h_{f@10\text{kPa}} = 191.83 \text{ kJ/kg}$ ,  $v_1 = v_{f@10\text{kPa}} = 0.001010 \text{ m}^3/\text{kg}$ II. Durum $P_2 = 4 \text{ MPa}$ ,  $s_2 = s_1$  $w_{pomp,g} = v_1(P_2 - P_1) = 0.001010 \cdot (4000 - 10) = 4.0299 \text{ kJ/kg}$  $h_2 = h_1 + w_{pomp,g} = (191.83 + 4.0299) \text{ kJ/kg} = 195.86 \text{ kJ/kg}$ III. Durum $P_3 = 4 \text{ MPa}$ ,  $T_3 = 400^\circ\text{C}$  $h_3 = 3213.6 \text{ kJ/kg}$ ,  $s_3 = 6.7690 \text{ kJ/kgK}$ IV. Durum $P_4 = 10 \text{ kPa}$ ,  $s_4 = s_3 = 6.7690 \text{ kJ/kgK}$  $h_4 = 3155.0 \text{ kJ/kg}$ ,  $T_4 = 375.5^\circ\text{C}$  $x_4 = \frac{s_4 - s_f}{s_{fg}} = \frac{6.7690 - 0.6491}{7.5019} = 0.8157$ 

$$h_4 = h_f + x_4 \cdot h_{fg} = 191.83 + 0.8157(2392.8) = 2343.7 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{W}_t = \dot{m}(h_3 - h_4) = 5(3213.6 - 2143.7) = 5349.5 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_p = \dot{m} \cdot w_p = 5 \cdot 4.0299 = 20.15 \text{ kW}$$

$$W_{net} = \dot{W}_t - \dot{W}_p = 5329.35 \text{ kW}$$

$$\dot{Q}_{kazan} = \dot{m}(h_3 - h_2) = 5(3213.6 - 195.86) = 15088.7 \text{ kW}$$

$$\eta_{isil} = \frac{W_{net}}{Q_{kazan}} = \frac{5329.35}{15088.7} = 0.3532 = \%35.32$$

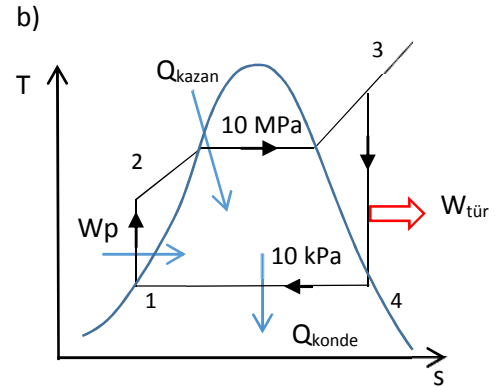
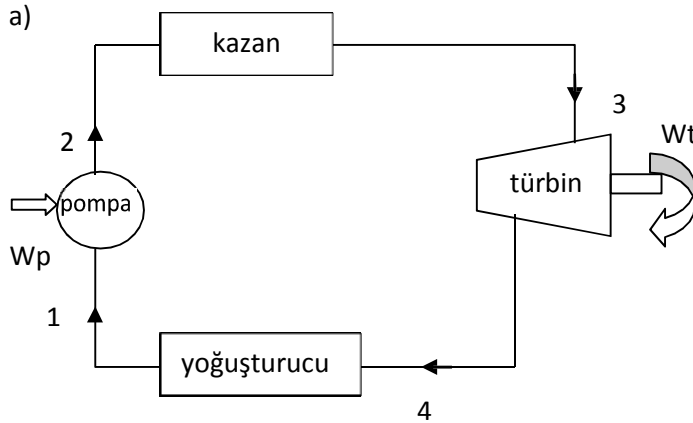
$$\dot{Q}_{kazan} = 15088.7 \text{ kJ/s} * 3600 \text{ s/1h} = 54319320 \text{ kJ/h}$$

$$H_{yakıt} = 2000 \text{ kcal/kg} * 4.186 \text{ kJ/kcal} = 8372 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{m}_{yakıt} = \frac{Q_{kazan}}{H_{yakıt}} = \frac{54319320}{8372} = 6488.21 \text{ kg/h}$$

S-19) Bir buharlı güç santrali, basit ideal Rankine çevrimine göre çalışmakta ve buhar türbine 10 MPa basınç, 500 °C sıcaklıkta ve 165 kg/s debi ile girmekte ve yoğuşturucuda 10 kPa basınçta yoğuşturulmaktadır. **(a)** Çevrimi şematik olarak çiziniz. **(b)** Çevrimi doymuş sıvı ve doymuş buhar eğrilerinin de yer aldığı T-s diyagramında gösteriniz. **(c)** Santral **gücünü** hesaplayınız. **(d)** Çevrimin ısıl verimini bulunuz.

C-19)



c) I. Durum

$P_1 = 10 \text{ kPa}$ , Doymuş sıvı

$$h_1 = h_{f@10\text{kPa}} = 191.8 \text{ kJ/kg}, v_1 = v_{f@10\text{kPa}} = 0.001010 \text{ m}^3/\text{kg}$$

II. Durum

$$P_2 = 10 \text{ MPa}, s_2 = s_1$$

$$w_{pomp,g} = v_1(P_2 - P_1) = 0.001010 * (10000 - 10) = 10.09 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = h_1 + w_{pomp,g} = (191.8 + 10.09) \text{ kJ/kg} = 201.9 \text{ kJ/kg}$$

III. Durum

$P_3 = 10 \text{ MPa}, T_3 = 500^\circ\text{C}$

$$h_3 = 3373.7 \text{ kJ/kg}, s_3 = 6.5966 \text{ kJ/kgK}$$

IV. Durum

$$P_4 = 10 \text{ kPa}, s_4 = s_3$$

$$x_4 = \frac{s_4 - s_f}{s_{fg}} = \frac{6.5966 - 0.6491}{7.5019} = 0.7927$$

$$h_4 = h_f + x_4 * h_{fg} = 191.8 + 0.7927(2392.8) = 2088.57 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{W}_t = \dot{m}(h_3 - h_4) = 165(3373.7 - 2088.57) = 212046.45 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_p = \dot{m} * w_p = 165 * 10.09 = 1664.85 \text{ kW}$$

$$W_{net} = \dot{W}_t - \dot{W}_p = 210381.6 \text{ kW} = 210 \text{ MW}$$

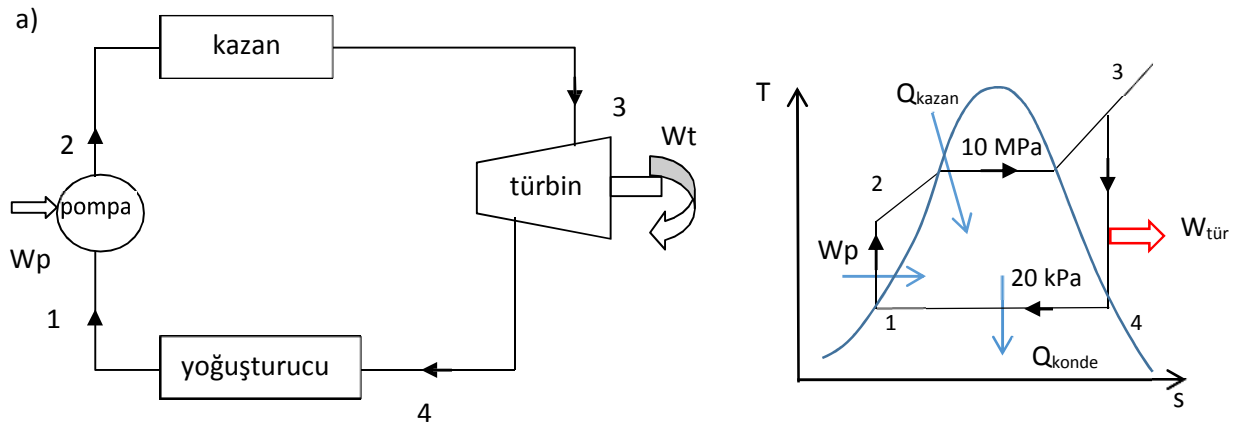
$$\dot{Q}_{kazan} = \dot{m}(h_3 - h_2) = 165(3373.7 - 201.9) = 523347 \text{ kW} = 523.347 \text{ MW}$$

$$\dot{Q}_{yoğuş} = \dot{m}(h_4 - h_1) = 165(2088.57 - 191.8) = 312967 \text{ kW} = 312.967 \text{ MW}$$

$$d) \eta_{ısı} = \frac{W_{net}}{Q_{kazan}} = \frac{210381.6}{523347} = 0.4019 = \%40.19$$

S-20) Buharlı bir güç santrali 20 kPa ve 10 Mpa basınç sınırları arasında ideal Rankine çevrimine göre çalışmaktadır. Çevrimde dolaşan buharın kütleli debisi 5 kg/s'dir. Türbin çıkışında buharın sıvı oranı %10 olarak tespit edilmiştir. (a) Çevrimi şematik olarak gösteriniz, T-s diyagramını çiziniz. (b) Çevrimin net gücünü bulunuz. (c) Çevrimin verimini bulunuz. (d) 8500 kJ/kg ısı değere sahip linyit ile çalışıyorsa saatlik yakıt miktarını hesaplayınız.

C-20)



b) I. Durum

$$P_1 = 20 \text{ kPa}, \text{ Doymuş sıvı}$$

$$h_1 = h_{f@20\text{kPa}} = 251.4 \text{ kJ/kg}, v_1 = v_{f@20\text{kPa}} = 0.001017 \text{ m}^3/\text{kg}$$

II. Durum

$$P_2 = 10 \text{ MPa}, s_2 = s_1$$

$$w_{pomp,g} = v_1(P_2 - P_1) = 0.001017 \cdot (10000 - 20) = 10.15 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = h_1 + w_{pomp,g} = (251.4 + 10.15) \text{ kJ/kg} = 261.55 \text{ kJ/kg}$$

IV. Durum

$$P_4 = 20 \text{ kPa}, x_4 = 0.9$$

$$h_4 = h_f + x_4 \cdot h_{fg} = 251.4 + 0.9(2358.3) = 2373.87 \text{ kJ/kg}$$

$$s_4 = s_f + x_4 \cdot s_{fg} = 0.8320 + 0.9(7.0766) = 7.20 \text{ kJ/kg}$$

III. Durum

$$P_3 = 10 \text{ MPa}, s_3 = s_4 = 7.20 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = 3902.5 \text{ kJ/kg}$$

$$W_{net} = \dot{W}_t - \dot{W}_p = \dot{m}[(h_3 - h_4) - (h_2 - h_1)]$$

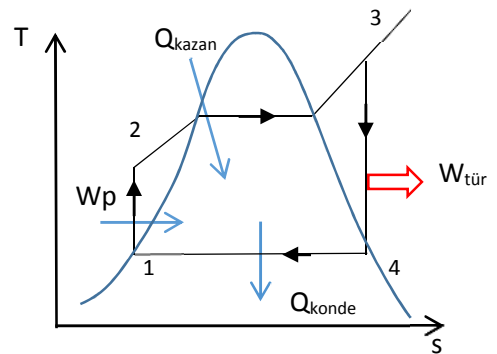
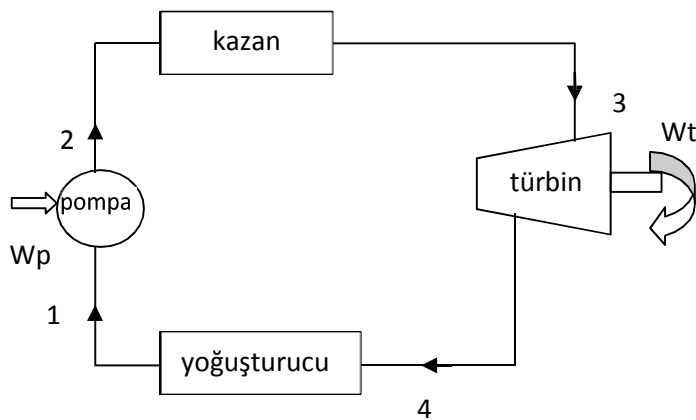
$$W_{net} = 5[(3902.5 - 2373.87) - (261.55 - 251.40)] = 7592.4 \text{ kW}$$

$$b) \eta_{\text{ısı}} = \frac{W_{net}}{Q_{kazan}} = \frac{h_3 - h_4}{h_3 - h_2} = \frac{3902.5 - 2373.87}{3902.5 - 261.55} = 0.42$$

$$c) \dot{m}_{\text{yakıt}} = \frac{Q_{kazan}}{H_{\text{yakıt}}} = \frac{5(3902.5 - 261.55)3600}{8500} = 7710.25 \text{ kg/h}$$

S-21) Kömür yakan ve ideal Rankine çevrimine göre çalışan bir termik santralde buhar türbine 5 Mpa ve 400°C girmektedir. Termik santralde kondanser sıcaklığı 65°C olup ısıyı yakınındaki nehre vermektedir. Buna göre: (a) çevrimi şematik olarak ve T-s diyagramında çiziniz. (b) Çevrimin ısı verimini bulunuz. (c) Buhar debisi 10 kg/s ise kazan gücü ve elde edilen net gücü hesaplayınız.

C-21)



I. Durum

$$\begin{aligned}
 T_1 &= 65^\circ\text{C}, \text{ Doymuş sıvı} \\
 h_1 &= h_f = 272.12 \text{ kJ/kg} \\
 s_1 &= s_f = 0.8937 \text{ kJ/kg} \\
 P_1 &= P_{\text{doyma}} = 25.043 \text{ kPa} \\
 v_1 &= v_f = 0.001020 \text{ m}^3/\text{kg}
 \end{aligned}$$

II. Durum

$$\begin{aligned}
 P_2 &= P_3 = 5 \text{ Mpa} \\
 s_1 &= s_2 = 0.8937 \text{ kJ/kg} \\
 w_{\text{pompa}} &= v_1(P_2 - P_1) = h_2 - h_1 = 0.001020 * (5000 - 25.43) \\
 h_2 - h_1 &= 5.07 \Rightarrow h_2 = 277.2
 \end{aligned}$$

III. Durum

$$\begin{aligned}
 P_3 &= 5 \text{ Mpa}, T_3 = 400^\circ\text{C} \\
 h_3 &= 3196.7 \text{ kJ/kg} \\
 s_3 &= 6.6483 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

IV. Durum

$$\begin{aligned}
 T_4 &= 65^\circ\text{C}, s_3 = s_4 \\
 s_f &= 0.8937 \text{ kJ/kg}, s_{fg} = 6.9362 \text{ kJ/kg} \\
 s_4 &= s_f + x * s_{fg} = 0.8937 + x(6.9361) = 6.6483 \text{ kJ/kg} \\
 x &= 0.83 \\
 h_4 &= h_f + x_4 * h_{fg} = 272.12 + 0.83(2345.4) = 2218.802 \text{ kJ/kg}
 \end{aligned}$$

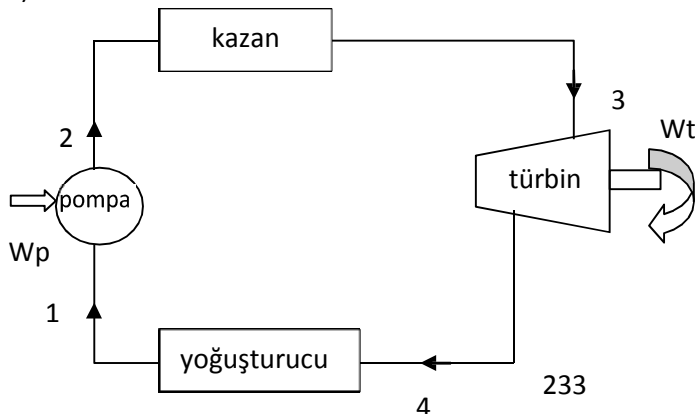
$$\eta_{\text{ısı}} = \frac{q_{\text{çıkan}}}{q_{\text{giren}}} = 1 - \frac{h_4 - h_1}{h_3 - h_2} = \frac{2218.802 - 272.12}{3196.7 - 277.2} = 0.3332$$

$$W_{\text{net}} = \dot{m} * (q_{\text{giren}} - q_{\text{çıkan}}) = 10(2919.5 - 1946.682) = 9728 \text{ kW}$$

S-22) Buharlı bir tip güç santrali, yoğuşturucu çıkış sıcaklığı  $80^\circ\text{C}$  ve kazan çıkış sıcaklığı  $500^\circ\text{C}$  olan bir Rankine çevrimine göre çalışacak şekilde tasarlanmıştır. Pompa çıkış basıncı 2 Mpa olduğuna göre; (a) Santali şematik olarak çiziniz. (b) Çevrimin T-s diyagramını çiziniz. (c) Çevrimin verimini hesaplayınız. (d) Bulduğunuz verimi aynı sıcaklık sınırları arasında çalışan Carnot ısı makinesinin verimi ile karşılaştırınız.

C-22)

a)





$$P_1 = 20 \text{ kPa Doymuş sıvı } (h_1 = 251.4 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, v_1 = 0.001017)$$

$$P_1 = P_4 = P_{\text{doyma}} = 0.02 \text{ MPa} = 20 \text{ kPa}$$

$$s_3 = s_4 = 6,6459$$

$$x_4 = \frac{s_2 - s_f}{s_g - s_f} = \frac{6,6459 - 0,8319}{7,9093 - 0,8319} = 0.8215$$

$$h_4 = 251.4 + 0.8215 * 2358.3 = 2188.74 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$d) w_p = v_1(P_2 - P_1) = 0.001017 * (5000 - 20) = 5.065 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{w}_p = 25.325 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} \quad h_2 = h_1 + w_p = 256.465 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$\dot{w}_t = \dot{m}(h_3 - h_4) = 5(3195.7 - 2188.74) = 5034.8 \text{ kW}$$

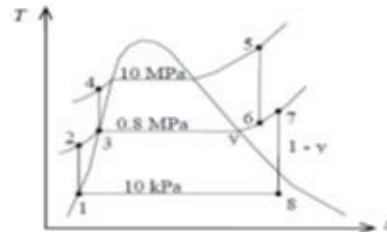
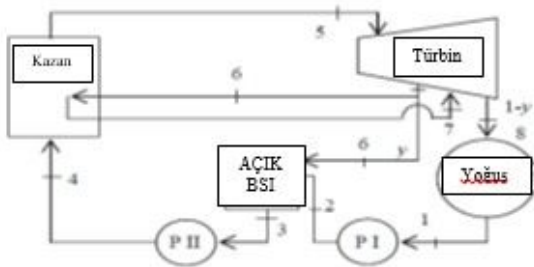
$$\dot{Q}_{\text{kazan}} = \dot{m}(h_3 - h_2) = 5(3195.7 - 256.456) = 1469.17 \text{ kW}$$

$$\dot{W}_{\text{net}} = \dot{w}_t - \dot{w}_p = 5009.5 \text{ kW}$$

$$\eta_{\text{ısıt}} = \frac{Q_{\text{kazan}}}{H_u} = \frac{1469.17 \frac{\text{kJ}}{\text{s}}}{29300 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} = 0.5016 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \frac{3600 \text{ s}}{1 \text{ h}} \frac{1 \text{ t}}{1000 \text{ kg}} = 1.8 \frac{\text{t}}{\text{h}}$$

S-23) Buharlı bir güç santrali ideal ara ısıtmalı-ara buhar almali Rankine çevrimine göre çalışmakta ve 80 MW net güç üretmektedir. Buhar yüksek basınç türbinine 10 MPa basınç ve 550 C sıcaklıkta girmekte, 0,8 MPa basınçta çıkmaktadır. Bu basınçta türbinden ayrılan bir miktar buhar, kazan besleme suyunu açık bir besleme suyu ısıtıcısında ısıtmak için kullanılmaktadır. Geri kalan buhar 500 C sıcaklıkta ısıtıldıktan sonra, alçak basınç türbininde 10 kPa ya da turucu basıncına kadar genişletilmektedir. Çevrimi T-s diyagramında göstererek; a) kazandan geçen buharın kütleli debisini, b) çevrimin ısı verimini hesaplayınız.

C-23)



$$P_1 = 10 \text{ kPa}, \quad h_1 = h_f = 191.81 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, \quad v_1 = v_f = 0.00101 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$w_{pomba1} = v_1 * (P_2 - P_1) = 0.00101 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} * (800 \text{ kPa} - 10 \text{ kPa}) \left( \frac{1 \text{ kJ}}{1 \text{ kPa} * \text{m}^3} \right) = 0.80 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_2 = w_{pomba1} + h_1 = 0.80 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 191.81 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 192.61 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$P_3 = 0.8 \text{ Mpa}, \quad h_3 = h_f = 720.87 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, \quad v_3 = v_f = 0.001115 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}}$$

$$w_{pomba2} = v_3 * (P_4 - P_3) = 0.001115 \frac{\text{m}^3}{\text{kg}} * (10000 \text{ kPa} - 800 \text{ kPa}) \left( \frac{1 \text{ kJ}}{1 \text{ kPa} * \text{m}^3} \right) = 10.26 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$h_4 = w_{pomba2} + h_3 = 10.26 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} + 720.87 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 731.12 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$P_5 = 10 \text{ Mpa}$$

$$T_5 = 550 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow \text{Kızgın Buhar bölgesi}$$

$$h_5 = 3502.0 \text{ kJ/kg}$$

$$s_5 = 6.7585 \text{ kJ/kgK}$$

$$P_6 = 0.8 \text{ Mpa}$$

$$s_5 = s_6 = 6.7585 \text{ kJ/kgK} \rightarrow \text{Kızgın Buhar bölgesi}$$

$$h_6 = 2812.1 \text{ kJ/kg}$$

$$P_7 = 0.8 \text{ Mpa}$$

$$T_7 = 500 \text{ }^\circ\text{C} \rightarrow \text{Kızgın Buhar bölgesi}$$

$$h_7 = 3481.3 \text{ kJ/kg}$$

$$s_7 = 7.8692 \text{ kJ/kgK}$$

$$P_8 = 10 \text{ kPa}$$

$$s_7 = s_8 = 7.8692 \text{ kJ/kgK} \rightarrow \text{Doymuş Sıvı - Buhar bölgesi}$$

$$x_8 = \frac{s_8 - s_f}{s_{fg}} = \frac{7.8692 - 0.6492}{7.4996} = 0.9627$$

$$h_8 = h_f + x_8 h_{fg} = 191.81 + (0.9627 + 2391.1) = 2494.7 \text{ kJ/kg}$$

$y$  değerini bulmak için AÇIK BSI sisteminde enerjinin korunumu denkleminde;

$$\sum (m_g h_g) = \sum (m_\zeta h_\zeta) = \dot{m}_6 h_6 + \dot{m}_2 h_2 = \dot{m}_3 h_3 \rightarrow y h_6 + (1 - y) h_2 = 1(h_3)$$

$$y = \frac{h_2 - h_3}{h_6 - h_2} = \frac{720.87 - 192.61}{2812.1 - 192.61} = 0.2017$$

$$q_g = (h_5 - h_4) + (1 - y) * (h_7 - h_6) \rightarrow (3502 - 731.2) + (1 - 0.2017)(3481.3 - 2812.1)$$

$$q_g = 3305 \text{ kJ/kg}$$

$$q_\zeta = (1 - y) * (h_8 - h_1) = (1 - 0.2017)(2494.7 - 191.81) = 1838.5 \text{ kJ/kg}$$

$$W_{net} = q_g - q_\zeta = 3305.1 - 1838.5 = 1466.6 \text{ kJ/kg}$$

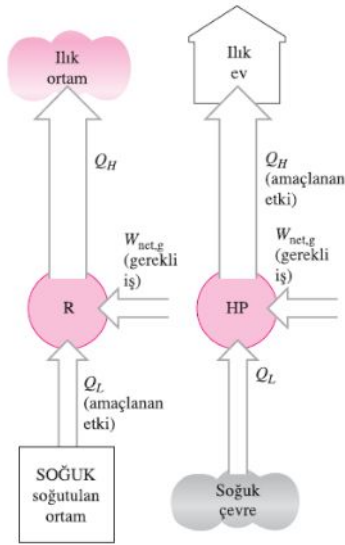
$$\dot{m} = \frac{W_{net}}{w_{net}} = \frac{80000 \text{ kJ/s}}{1466.1 \text{ kJ/kg}} = 54.5 \text{ kg/s}$$

$$\eta_{isil} = \frac{W_{net}}{q_g} = \frac{1466.1}{3305.1} = 0.444 = \%44.4$$



## Soğutma Çevrimi

## SOĞUTMA MAKİNALARI VE ISI POMPALARI



Dü ük sıcaklıktaki ortamdan yüksek sıcaklıktakine ısının aktarılması için so utma makinaları olarak adlandırılan özel cihazlara gereksinim duyulur. So utma makinaları ve ısı pompaları aslında aynı cihazlar olmakla birlikte, kullanım amaçları farklıdır.

$$COP_{SM} = \frac{\text{Elde edilmek istenen}}{\text{Harcanan}} = \frac{\text{Soğutma etkisi}}{\text{İş girişi}} = \frac{Q_L}{W_{net,g}}$$

$$COP_{IP} = \frac{\text{Elde edilmek istenen}}{\text{Harcanan}} = \frac{\text{Isıtma etkisi}}{\text{İş girişi}} = \frac{Q_H}{W_{net,g}}$$

$$COP_{IP} = COP_{SM} + 1$$

So utma makinesinin amacı so utulan ortamdan ısı çekmektir ( $Q_L$ ); ısı pompasının amacı ılık ortama ısı vermektir ( $Q_H$ )

$Q_L$  ve  $Q_H$  in sabit de erleri için

## TERS CARNOT ÇEVİRİMİ

$$COP_{SM,Carnot} = \frac{1}{T_H/T_L - 1}$$

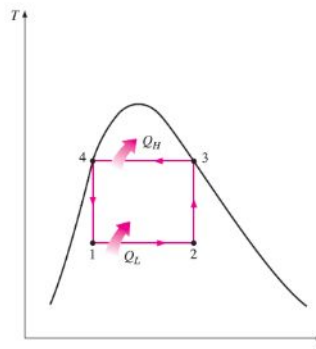
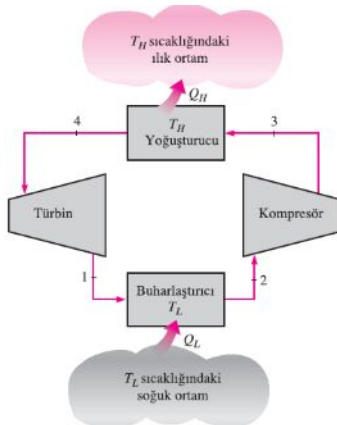
$$COP_{IP,Carnot} = \frac{1}{1 - T_L/T_H}$$

Tersinir Carnot çevrimi iki belirli sıcaklık seviyesi arasında çalış an en etkin so utma çevrimidir.

Di er taraftan 2–3 ve 4–1 hal de i imlerinin sa lanması uygulamada pek mümkün de ildir. Çünkü

2–3 hal de i iminde sıvı-buhar karı rının sıkı tırılması gerekmekte ve bunun için de iki evreli akı kanla çalış an bir kompresöre ihtiyaç

duyulmaktadır. Di er taraftan 4–1 hal de i imi sırasında sıvı oranı yüksek so utkanın türbinde genle mesi gerekir.



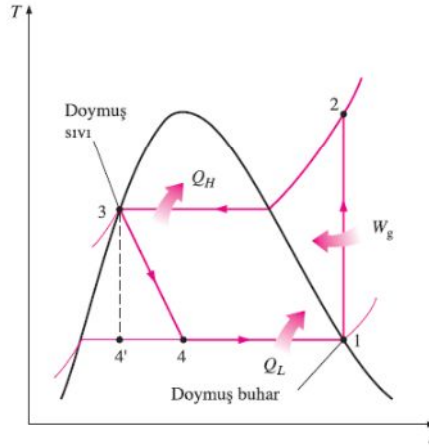
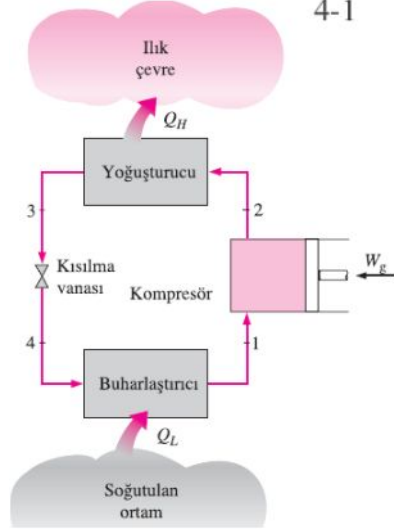
TL'nin yükselmesi veya TH'nin dü mesi durumunda her iki COP'nin de arttı na dikkat edilmelidir.

Carnot so utma makinesinin düzeni ve ters carnot çevriminin T-s diyagramı.

## İDEAL BUHAR SIKIŞTIRMALI SOĞUTMA ÇEVİRİMİ

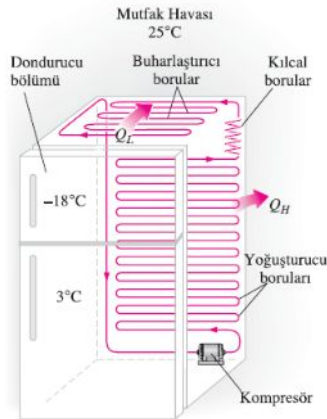
Buhar sıkı tırmalı so utma çevrimi so utma makinaları için ideal bir çevrimdir. Ters Carnot çevriminin aksine so utucu akı kan sıkı tırılmadan önce tümüyle buharla tırılır ve türbini yerini kısılma i lemi alır.

- 1-2 Kompresörde izantropik sıkıştırma
- 2-3 Yoğunlaştırıcıda çevreye sabit basınçta ısı verilmesi
- 3-4 Genleşme cihazında kısılma
- 4-1 Buharlaşırıcıda sabit basınçta ısı alınması



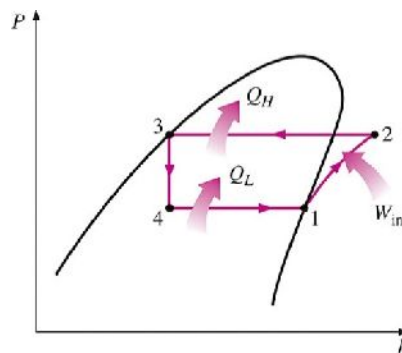
deal buhar sıkı tırmalı so utma çevriminin düzeni ve T-s diyagramı

ideal çevrimlerden farklı olarak, ideal buhar sıkı tırmalı so utma çevriminde tersinmez bir hal de i imi (kısılma) oldu undan içten tersinir bir çevrim de ildir. Kısılma vanası yerine bir türbin kullanmak hem daha masraflı olaca ı hem de sistemi daha karma ık yapaca ı için uygulanmaz.



Bir ev buzdolabı

Sürekli akı için enerji dengesi  $(q_g - q_ç) + (w_g - w_ç) = h_ç - h_g$



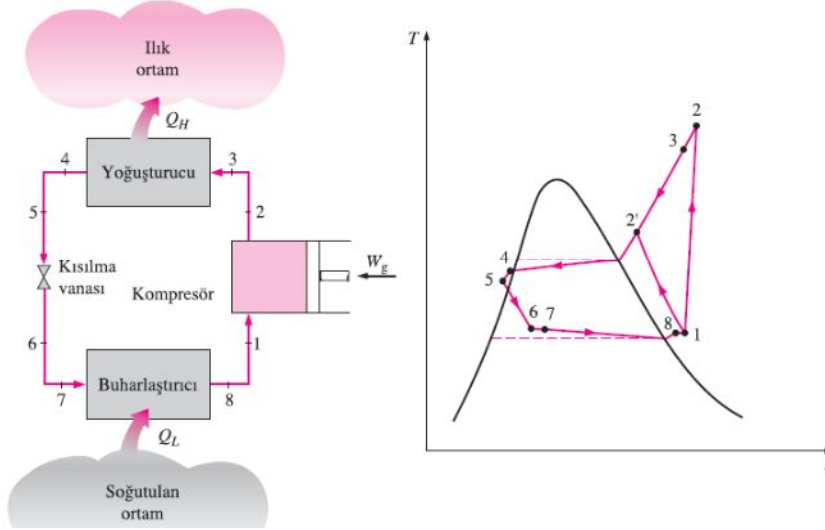
$$COP_{SM} = \frac{q_L}{w_{net,g}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1}$$

$$COP_{IP} = \frac{q_H}{w_{net,g}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1}$$

deal buhar sıkı tırmalı so utma çevriminin P-h diyagramı

## GERÇEK BUHAR SIKIŞTIRMALI SOĞUTMA ÇEVİRİMİ

Gerçek buhar sıkı tırmalı soğutma çevrimi ideal olandan bazı bakımlardan farklı olup, bu durum genellikle çevrimi oluşturan çeşitli elemanlardaki tersinmezliklerden kaynaklanır. Tersinmezliğin iki ana kaynağı, basıncın düşmesine neden olan akışkanın sürtünmesi ve çevreyle yapılan ısı alışverişidir. Tersinmezliklerin sonucu olarak COP azalır.



Gerçek buharlı çevrimin düzeni ve T-s diyagramı.

## FARKLILIKLAR

izotropik olmayan

sıkı tırma

Buharla tırcı çıkı ındaki kızgın buhar

Yo u turucu çıkı ındaki sıkı tırmı sıvı

Yo u turucu ve buharla tırcı çıkı ındaki basınç düşümleri

**S-1)** İdeal buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimine göre çalışan bir oto klima sisteminde R-134a soğutucu akışkanı kullanılmaktadır. Kayış kasnakla motor krank milinden 1.5 kW güç alan kompresör, R-134a'yı 200 kPa'dan 1200 kPa sıkıştırmaktadır. Bu arada 30 °C'deki dış hava oto klima sisteminin evaporatörü üzerinden geçerek 10 °C sıcaklığına düşmekte ve iç kabine verilerek soğutma sağlanmaktadır. Buna göre;

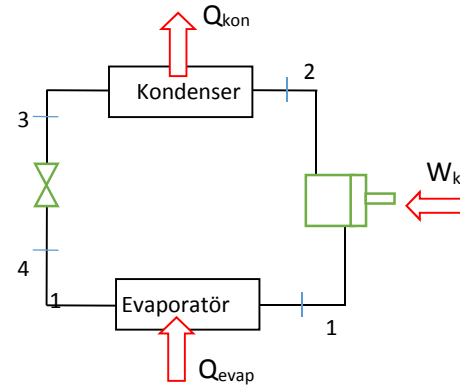
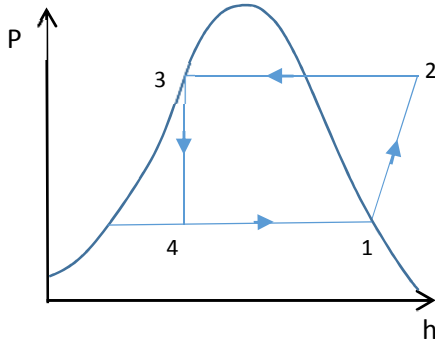
a) Sistemde dolaşan R-134a'nın kütleli debisini,

b) Evaporatör gücünü,

c) Çevrimin soğutma tesir katsayısını ( COP),

d) İçeri üflenen havanın hacimsel debisini m<sup>3</sup>/saat olarak hesaplayınız. **Not:** Hava için  $C_p=1.005$  kJ/kgK ,  $\rho=1.2$  kg/m<sup>3</sup>

**C-1)**



I.Durum

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 200 \text{ kPa} = 0.2 \text{ MPa} \\ \text{Doymuş buhar} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_1 = 241.3 \text{ kJ/kg} \\ s_1 = 0.9253 \text{ kJ/kgK} \end{array}$$

II.Durum

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 1200 \text{ kPa} = 1.2 \text{ MPa} \\ s_2 = s_1 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \underline{h} \\ 275.52 \\ 287.44 \end{array} \quad \begin{array}{l} \underline{s} \\ 0.9164 \\ 0.9527 \end{array} \quad \begin{array}{l} \\ \\ 0.9253 \text{ interpolasyon yapılarak} \end{array}$$

$$h_2 = 278.44 \text{ kJ/kg}$$

## III. Durum

$$h_3 = h_4 \Rightarrow P_3 = 1.2 \text{ MPa} \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} h_3 = h_f = 115.76 = h_4$$

Doymuş sıvı

$$\text{a) } W_k = \dot{m} * (h_2 - h_1) \Rightarrow \dot{m} = \frac{1.5 \text{ kW}}{278.44 - 241.33} = 0.004038 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

$$\text{b) } Q_{evap} = \dot{m} * (h_1 - h_4) = 0.004038 * (241.3 - 115.76) = 5.070 \text{ kW}$$

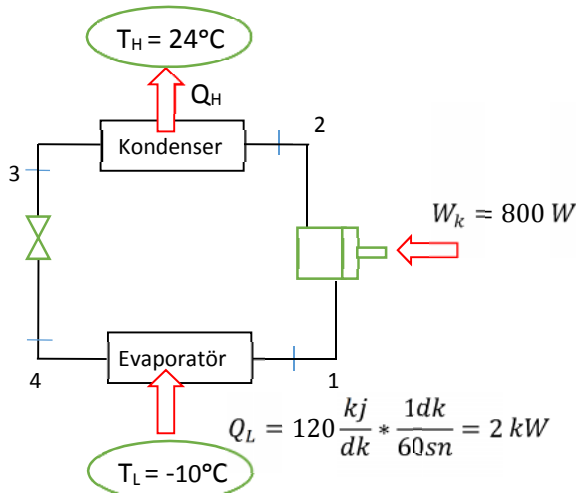
$$\text{c) } COP = \frac{Q_{evap}}{W_k} = \frac{5.070}{1.5} = 3.38$$

$$\text{d) } Q_{evap} = \dot{m}_{hava} * C_p * (T_{giriş} - T_{çıkış})$$

$$5.070 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = \dot{m}_{hava} * 1.005 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}^\circ\text{C}} * (30 - 10)^\circ\text{C}$$

$$\dot{m}_{hava} = 0.2522 \frac{\text{kg}}{\text{s}} \Rightarrow \dot{V}_{hava} = \frac{0.2522 \frac{\text{kg}}{\text{s}}}{\rho_{hava}} \Rightarrow \dot{V}_{hava} = 756.6 \frac{\text{m}^3}{\text{h}}$$

**S-2)** -10 °C sıcaklıkta tutulmak istenen bir derin dondurucudan dakikada 120 kJ ısı çekilmektedir. Çevre ortam 24 °C sıcaklıkta olup, soğutma için harcanan güç 800 W'tır. Buna göre, **a-** Gerekli tersinir gücü, **b-** Birim zamanda oluşan tersinmezliği, **c-** Derin dondurucunun ikinci yasa verimini hesaplayın.

**C-2)**

**a)** Gerekli tersinir güç Tersinir Carnot çevrimi ile bulunur.

$$COP_{soğ.tersinir} = \frac{T_L}{T_H - T_L} = \frac{Q_L}{W_{ter.}} = \frac{-10 + 273 \text{ K}}{24 - (-10)} = \frac{2 \text{ kW}}{W_{ter.}}$$

$$W_{ter.} = 0.2586 \text{ kW}$$

$$\text{b) } I = W - W_{tr} \Rightarrow I = 0.8 \text{ kW} - 0.2586 \text{ kW} \Rightarrow I = 0.5414 \text{ kW}$$

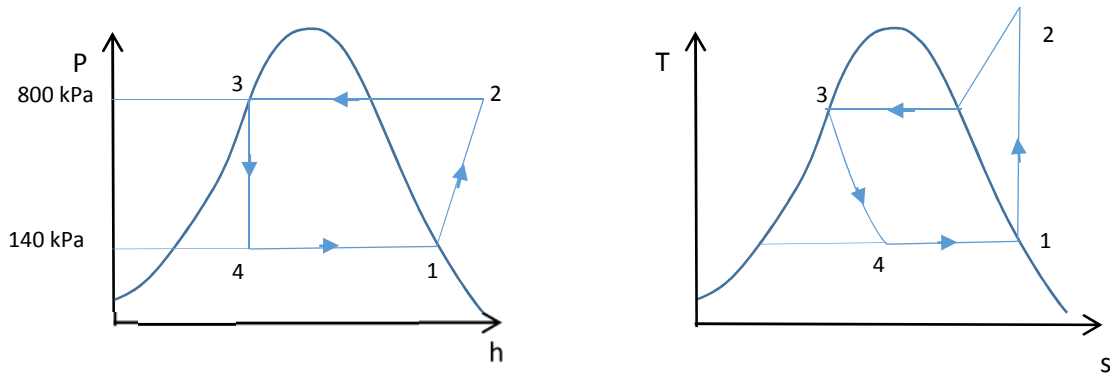
$$\text{c) } COP_{gerçek} = \frac{Q_L}{W} = \frac{2}{0.8} = 2.5$$

$$COP_{tersinir} = \frac{T_L}{T_H - T_L} = \frac{263K}{297K - 263K} = 7.7353$$

$$\eta_{II.kanun} = \frac{COP_{gerçek}}{COP_{tersinir}} = \frac{2.5}{7.7353} = 0.3232 \text{ (\%32.32)}$$

**S-3)** Bir soğutma sistemi, ideal buhar sıkıştırmak soğutma çevrimine göre çalışmaktadır. Çevrimin soğutma kapasitesi 300 kJ/dakika'dır. Soğutucu akışkan olarak **R-134a**'nın kullanıldığı çevrimde, akışkan kompresöre 140 kPa basınçta doymuş buhar olarak girmekte ve 800 kPa basınca sıkıştırılmaktadır. Buna göre, **a-** Çevrimi doymuş sıvı ve doymuş buhar eğrilerinin de yer aldığı P-h ve T-s diyagramlarında gösterin. **b-** Kısılma işlemi sonunda soğutucu akışkanın kuruluk derecesini, **c-** Çevrimin soğutma etkinlik katsayısını, **d-** kompresörü çalıştırmak için gerekli gücü hesaplayın.

**C-3)**



$$Q_{soğ} = Q_{evap} = 300 \frac{kJ}{dk} * \frac{1dk}{60sn} = 5 kJ/s$$

**I.Durum**

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 140 \text{ kPa} = 0.14 \text{ MPa} \\ \text{Doymuş buhar} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_g = h_1 = 236.04 \\ s_1 = s_g = 0.9322 \end{array}$$

**II.Durum**

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 800 \text{ kPa} \\ s_1 = s_2 = 0.9322 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Kızgın Buhar} \\ \begin{array}{ccc} T & h & s \\ 31.33 & 264.15 & 0.9066 \\ & & 0.9322 \\ 40 & 273.66 & 0.9374 \end{array} \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} \Delta s_1 = 0.308 \quad \Delta h_1 = 9.51 \\ \Delta s_2 = 0.0256 \quad \Delta h_2 = ? \end{array} \right\} \Delta h_2 = 7.9044$$

$$h_2 = 272.054 \text{ kJ/kg}$$

III.Durum

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 800 \text{ kPa} \\ \text{Doymuş sıvı} \end{array} \right\} h_3 = h_f = 93.42 = h_4$$

**b) IV.Durum**

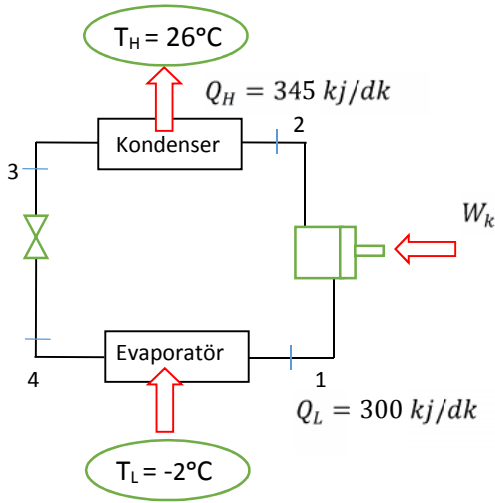
$$\left. \begin{array}{l} P_4 = 0.14 \text{ MPa} \\ \text{Karışım} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_f = 25.77, \quad h_{fg} = 210.27 \\ h_4 = h_f + x * h_{fg} \Rightarrow x \approx 0.3217 \end{array}$$

$$\text{c) } COP = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{236.04 - 93.42}{272.05 - 236.04} = \frac{142.62}{36.01} = 3.96$$

$$Q_{evap} = \dot{m} * (h_1 - h_4) \Rightarrow 5 \text{ kJ/s} = h_{fg} * \dot{m} \Rightarrow \dot{m} = 0.035098 \text{ kg/s}$$

$$W_{koml} = \dot{m} * (h_2 - h_1) = 1.26 \text{ kW}$$

**S-4)** Bir soğutma makinası 2 °C'deki soğutulacak mahalden 300 kJ/dak ısı çekmekte ve 26 °C'deki ortama 345 kJ/dak ısı terk etmektedir. Bu soğutma makinasının Termodinamiğin II. Kanununu ihlal edip etmediğini; Clasius eşitsizliğini ve Carnot prensibini kullanarak kontrol ediniz.

**C-4)**

## Clasius Eşitsizliği

$$\oint \frac{\delta Q}{T} \leq 0, \quad \oint \frac{\delta Q}{T} = \frac{Q_{soğ}}{T_{soğ}} + \frac{Q_{sic}}{T_{sic}} = \frac{300 \frac{\text{kJ}}{\text{dk}}}{275\text{K}} + \frac{-345 \frac{\text{kJ}}{\text{dk}}}{299\text{K}}$$

$$\oint \frac{\delta Q}{T} = -0.0629 \frac{\text{kJ}}{\text{dk}} < 0 \quad \text{olduğundan T. D. II. Kanununa uyuyor.}$$

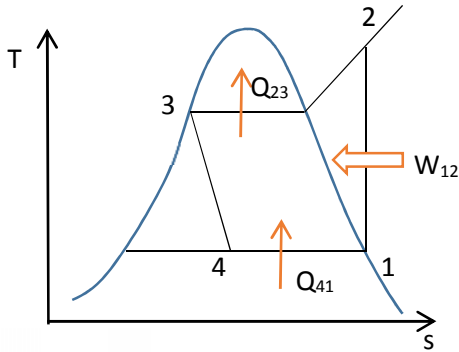
## Carnot prensibi

$$COP_{Carnot} < COP_{Carnot,tersinir}$$

$$\frac{Q_{soğ}}{Q_{sic} - Q_{soğ}} < \frac{T_{soğ}}{T_{sic} - T_{soğ}} \Rightarrow \frac{300}{345 - 300} < \frac{275}{299 - 275} \Rightarrow 6.667 < 11.45 \text{ II. Kanuna uyuyor}$$

**S-5)** Çalışma akışkanı Freon-12 olan bir ideal buhar sıkıştırma soğutma çevriminde buharlaştırıcı basıncı 0.7 MPa ve yoğuşturucu basıncı 0.12 MPa ise, birim kütle için, **a-** Soğutulacak ortamdan çekilecek ısıyı, **b-** Soğutma tesir katsayısını (COP) hesaplayınız.

**C-5)**



$$\text{a) } Q_{41} = h_1 - h_4 = 176.14 - 62.29 = 114 \text{ kJ/kg}$$

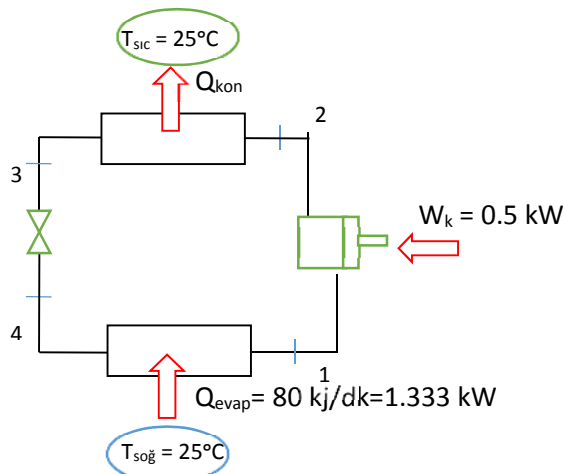
$$\text{b) } Q_{23} = h_2 - h_3 = 207.11 - 62.29 = 144.8 \text{ kJ/kg}$$

$$h_3 = h_4, \quad w_{komp} = h_2 - h_1 = 207.11 - 176.14 = 31 \text{ kJ/kg}$$

$$\text{c) } COP = \frac{Q_{41}}{w_{komp}} = \frac{114}{31} = 3.67$$

**S-6)** -7 °C sıcaklıkta tutulmak istenen bir soğutucudan 80 kJ/dakika değerinde ısı çekilmektedir. Çevre hava sıcaklığı 25 °C olup soğutucunun çektiği güç 0.5 kW olduğuna göre; **a)** Soğutucunun çekebileceği en düşük güç miktarını, **b)** Tersinmezliği, **c)** Bu soğutucunun 2. yasa verimini hesaplayınız.

**C-6)**





$$COP = \frac{Q_{evap}}{W_k} = \frac{1.333}{0.5} = 2.667$$

$$COP_{tersinir} = \frac{T_{soğ}}{T_{sic} - T_{soğ}} = \frac{266}{298 - 266} = 8.3125$$

a) En düşük güç tersinir olduğundan

$$COP_{tersinir} = \frac{Q_{evap}}{W_{k,t}} \Rightarrow 8.3125 = 1.333 \frac{kW}{W_{k,t}}$$

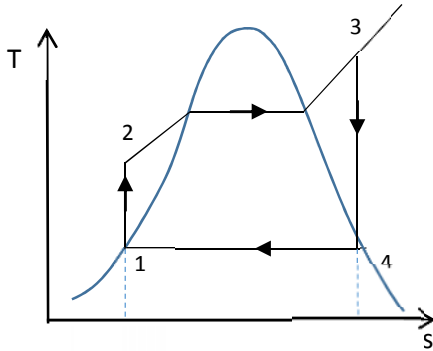
$$W_{k,t} = 0.1604 \text{ kW}$$

$$b) I = W_k - W_{k,t} = 0.5 - 0.16 = 0.34 \text{ kW}$$

$$c) \eta_{II} = \frac{COP}{COP_{tersinir}} = \frac{2.667}{8.3125} = 0.32 \text{ (%32)}$$

**S-7)** Basit ideal Rankine çevrimine göre çalışan bir buharlı güç santralinde net güç 45 MW'tır. Su buharı türbine 7 MPa ve 500 °C girmekte ve 10 kPa basıncındaki kondenserde yoğuşturulmaktadır. Yoğuşturucunun soğutulması için kondenserin etrafında 2000 kg/s kütleli debideki göl suyu dolaştırılmaktadır. Buna göre; **a)** sistemi şematik olarak çizip, çevrimi T-s diyagramında gösteriniz. **b)** Çevrimin ısı verimini, **c)** Buhar debisini, **d)** Soğutma suyu olarak göl suyundaki sıcaklık artışını hesaplayınız.

**C-7)**



$$h_1 = h_{f@10kPa} = 191.81 \frac{kJ}{kg}$$

$$v_1 = v_{f@10kPa} = 0.00101 \frac{m^3}{kg}$$

$$w_{pompu} = v_1 * (P_2 - P_1) = 0.00101 \frac{m^3}{kg} * (7000 - 10 \text{ kPa}) * \left( \frac{1kJ}{1kPa * m^3} \right)$$

$$w_{pompu} = 7.06 \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = h_1 + w_{pompa} = 191.81 + 7.06 = 198.87 \frac{kJ}{kg}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_3 = 7 \text{ MPa} \\ T_3 = 500^\circ\text{C} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_3 = 3411.4 \text{ kJ/kg} \\ s_3 = 6.8000 \text{ kJ/kgK} \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_4 = 10 \text{ kPa} \\ s_4 = s_3 \end{array} \right\} \begin{array}{l} x_4 = \frac{s_4 - s_f}{s_{fg}} = \frac{6.8000 - 0.6492}{7.4996} = 0.8201 \\ h_4 = h_f + x_4 * h_{fg} = 191.81 + (0.8201 * 2392.1) = 2153.6 \text{ kJ/kg} \end{array}$$

$$q_{giren} = h_3 - h_2 = 3411.4 - 198.87 = 2112.5 \frac{kJ}{kg}$$

$$q_{çıkan} = h_4 - h_1 = 2153.6 - 191.81 = 1961.8 \frac{kJ}{kg}$$

$$w_{net} = q_{giren} - q_{çıkan} = 2112.5 - 1961.8 = 150.7 \frac{kJ}{kg}$$

$$\eta_{th} = \frac{w_{net}}{q_{giren}} = \frac{150.7 \frac{kJ}{kg}}{2112.5 \frac{kJ}{kg}} = \%7.14$$

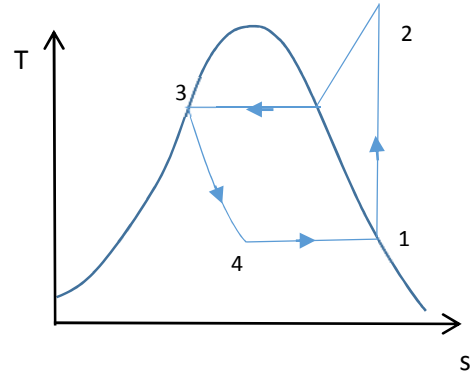
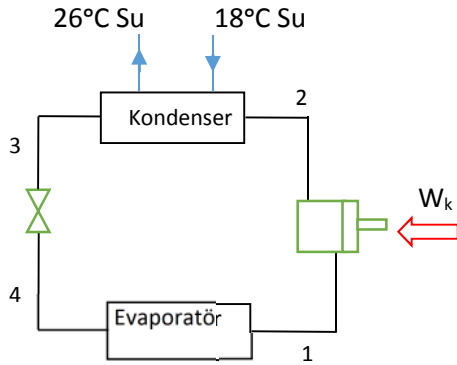
$$\text{c) } \dot{m} = \frac{\dot{w}_{net}}{w_{net}} = \frac{45000 \frac{kJ}{s}}{150.7 \frac{kJ}{kg}} = 298.5 \frac{kg}{s}$$

$$\text{d) } \dot{Q}_{çıkan} = \dot{m} * q_{çıkan} = (298.5 \frac{kg}{s}) * (1961.8 \frac{kJ}{kg}) = 586.5 \frac{kJ}{s}$$

$$\Delta T_{su} = \frac{\dot{Q}_{çıkan}}{(\dot{m} * C)_{su}} = \frac{586.5 \frac{kJ}{s}}{2000 \frac{kg}{s} * 4.18 \frac{kJ}{kg^\circ\text{C}}} = 7.1^\circ\text{C}$$

**S-8)** Soğutucu akışkan olarak R-134a kullanan ve ideal buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimine göre çalışan bir soğutma makinasında soğutulan ortam  $-30^\circ\text{C}$ 'de tutulmakta ve yoğuşturucuya  $18^\circ\text{C}$ 'de  $0.25 \text{ kg/s}$  debi ile girip,  $26^\circ\text{C}$  de çıkan suya yoğuşma ısı verilmektedir. Soğutucu akışkan yoğuşturucuya  $1.2 \text{ MPa}$  basınç ve  $65^\circ\text{C}$  de girmekte ve  $42^\circ\text{C}$  de çıkmaktadır. Kompresörün giriş koşulu  $60 \text{ kPa}$  ve  $-34^\circ\text{C}$  olup, sıkıştırma işlemi esnasında çevreden  $450 \text{ W}$  ısı kazanmaktadır. Buna göre **a)** Buharlaştırıcı girişindeki soğutucu akışkanın kuruluk derecesini **b-)** soğutma kapasitesini **c)** soğutma sisteminin COP değerini hesaplayınız.

## C-8)



$$\begin{array}{l}
 P_1 = 60 \text{ kPa} \\
 T_1 = -34^\circ\text{C} \\
 P_2 = 1200 \text{ kPa} \\
 T_2 = 65^\circ\text{C} \\
 P_3 = 1200 \text{ kPa} \\
 T_3 = 42^\circ\text{C} \\
 P_4 = 1200 \text{ kPa} \\
 h_4 = 111.23 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}
 \end{array}
 \left. \begin{array}{l}
 h_1 = 230.0 \text{ kJ/kg} \\
 h_2 = 245.16 \text{ kJ/kg} \\
 h_3 = 111.23 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = h_4 \\
 x_4 = 0.4795
 \end{array} \right\}$$

Su için

$$h_{su,1} = h_{f,18} = 75.47 \text{ kJ/kg}$$

$$h_{su,2} = h_{f,26} = 108.94 \text{ kJ/kg}$$

Yoğuşturucu için T.D.I. kanunu yazılırsa

$$\dot{m}_{soğ,akış} * (h_2 - h_3) = \dot{m}_{su} * (h_{su,2} - h_{su,1})$$

$$\dot{m} = \dot{m}_{soğ,akış} = \dot{m}_{su} * \frac{(h_{su,2} - h_{su,1})}{h_2 - h_3} = 0.25 * \frac{108.94 - 75.47}{295.16 - 111.23} = 0.0455 \frac{\text{kg}}{\text{s}}$$

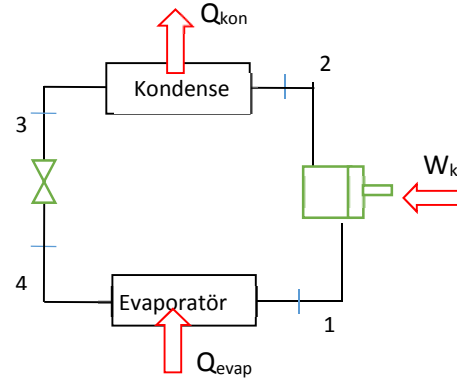
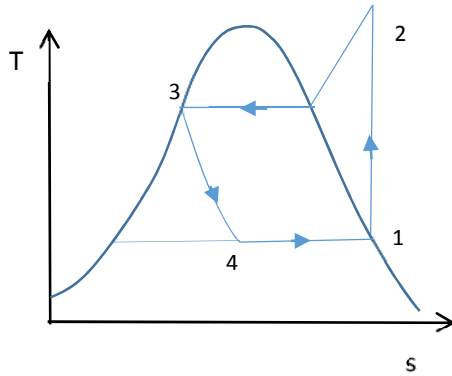
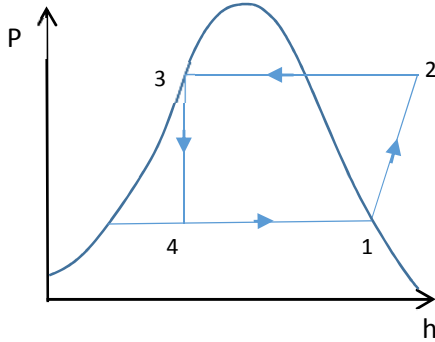
$$Q_H = \dot{m} * (h_2 - h_3) = 8.367 \text{ kW}$$

$$W_{komp} = \dot{m} * (h_2 - h_1) - Q_{çevre} = 2.513 \text{ kW}$$

$$Q_L = Q_H - W_{komp} = 8.367 - 2.513 = 5.85 \text{ kW}$$

$$\text{c) } COP = \frac{Q_L}{W_{komp}} = \frac{5.85}{2.513} = 2.33$$

**S-9)** 300 kJ/dk soğutma gücüne sahip bir soğutma makinası ideal buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimine göre çalışmakta ve soğutucu akışkan olarak freon-12 gazı kullanılmaktadır. Freon-12 kompresöre 140 kPa' da doymuş buhar olarak girmekte ve 800 kPa' a kadar sıkıştırılmaktadır. Buna göre; a) Sistemin şematik olarak, T-s (Sıcaklık-entropi) ve P-h (Basınç – entalpi) diyagramlarında gösteriniz. b) Kısma vanasının çıkışında soğutucu akışkanın kuruluk derecesini bulunuz. c) Sistemin soğutma tesir katsayısını bulunuz. d) Kompresör gücünü kW olarak hesaplayınız.

**C-9)****I.Durum**

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 140 \text{ kPa} \\ \text{Doymuş buhar} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_b = h_1 = 177.87 \text{ kJ/kg} \\ s_b = s_1 = 0.7102 \text{ kJ/kgK} \end{array}$$

**II.Durum**

$$\left. \begin{array}{l} s_1 = s_2 = 0.7102 \\ P_2 = 800 \text{ kPa} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Kızgın buhar interpolasyon yapılarak} \\ h_2 = 208.6467 \text{ kJ/kg} \end{array}$$

**III.Durum**

$$\left. \begin{array}{l} P_3 = 800 \text{ kPa} \\ \text{Doymuş sıvı} \end{array} \right\} h_s = h_3 = 67.43 \text{ kJ/kg}$$

**IV.Durum**

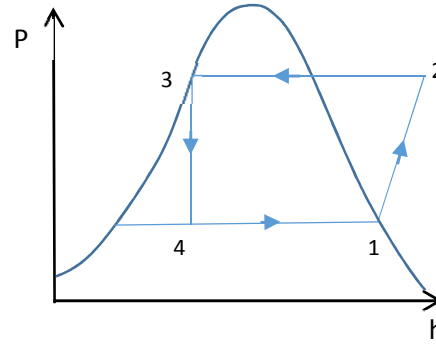
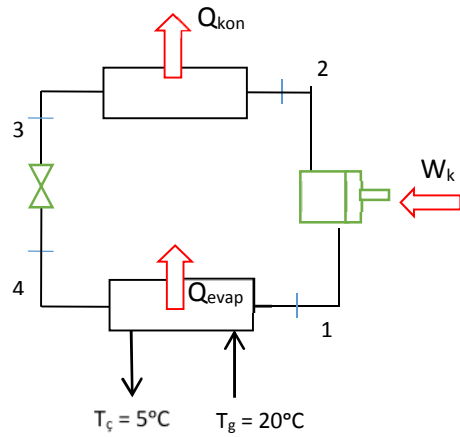
$$\left. \begin{array}{l} P_4 = 140 \text{ kPa} \\ \text{Doymuş sıvı} \end{array} \right\} h_3 = h_4 = h_s + x_4 * h_{sb} \Rightarrow 67.30 = 16.9 + x_4 * 161.78$$

Buhar karışımı  $x_4 = 0.3165$

$$\begin{aligned} \text{a) } Q_{evap} &= 300 \frac{kJ}{dk} = 5 \frac{kJ}{s} * \dot{m}_{R-12} * (h_1 - h_4) \Rightarrow \dot{m}_{R-12} = 0.04522 \text{ kg/s} \\ \text{b) } W_{komp} &= \dot{m}_{R-12} * (h_2 - h_1) = 1.3917 \text{ kW} \\ COP &= \frac{Q_{evap}}{W_{komp}} = 3.5926 \end{aligned}$$

**S-10)** Bir soğuk su makinası ideal soğutma çevrimine göre çalışmakta ve soğutucu akışkan olarak Freon-12 kullanmaktadır. Freon-12 doymuş buhar olarak 160 kPa basınçta kompresöre girmekte ve kondenserden doymuş sıvı olarak 700 kPa basınçta ayrılmaktadır. Su, soğutma makinasına 20 °C de girmekte 5 °C de çıkmaktadır. Saatte 12 kg soğuk su elde etmek için su soğutma makinasının kompresörüne gerekli olan **gücü** hesaplayınız. **Not:** Suyun özgül ısısı 4.186 kJ/kg K alınabilir.

**C-10)**



I.Durum

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 160 \text{ kPa} \\ \text{Doymuş buhar} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_1 = h_g = 179.41 \text{ kJ/kg} \\ s_1 = 0.7076 \text{ kJ/kgK} \end{array}$$

II.Durum

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 700 \text{ kPa} \\ s_1 = s_2 \end{array} \right\} h_2 = 205.358 \text{ kJ/kg}$$

III.Durum

$$\left. \begin{array}{l} P_3 = 700 \text{ kPa} \\ \text{Doymuş sıvı} \end{array} \right\} h_3 = h_f = 62.29 \frac{kJ}{kg} = h_4$$

$$Q_{evap} = Q_{su} = \dot{m}_{R-12} * (h_1 - h_4) \approx \dot{m}_{su} * C_p * (T_g - T_c)$$

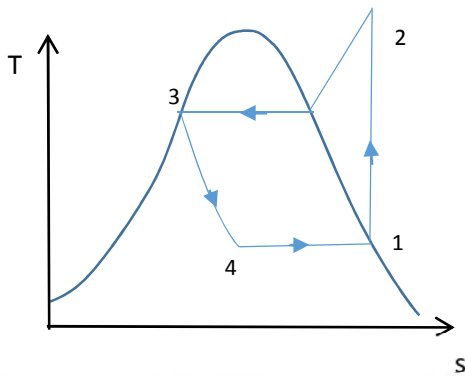
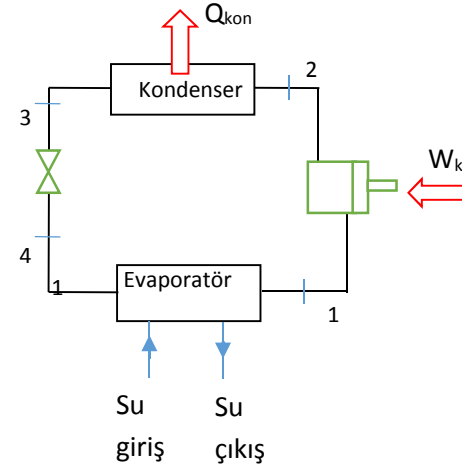
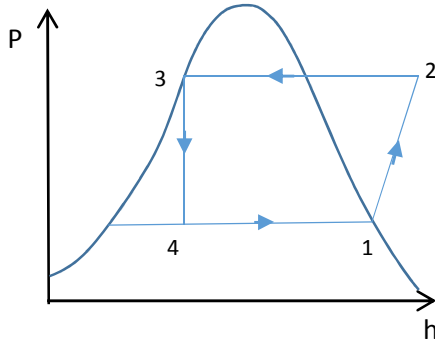
$$Q_{su} = 12 \frac{kg}{h} * 4.186 \frac{kJ}{kgK} * \frac{1h}{3600s} * (20 - 5)^\circ C = 0.2093 \frac{kJ}{s}$$

$$\dot{m}_{R-12} = \frac{0.2093 \frac{kJ}{s}}{(179.41 - 62.29) \frac{kJ}{kg}} \Rightarrow \dot{m}_{R-12} = 1.787 * 10^{-3} kg/s$$

$$W_{komut} = \dot{m}_{R-12} * (h_2 - h_1) = 0.04637 kW$$

**S-11)** Soğutucu akışkan olarak R-134a kullanan ve ideal buhar sıkıştırmalı soğutma çevrimine göre çalışan bir su soğutma makinasında Soğutucu akışkan kompresöre 320 kPa doymuş buhar olarak girmekte, kondenseri doymuş sıvı olarak 800 kPa basınçta terk etmektedir. Su soğutma makinasının evaporatörünün etrafından su soğutulmak üzere geçirilmektedir. Saate 20 litre su, evaporatörün bulunduğu hazneye 25°C'de girmekte 10 °C'de soğuk su olarak çıkmaktadır. Buna göre **a)** Sistemi şematik olarak çizip çevrimin P-h (Basınç-entalpi) ve T-s(Sıcaklık-Entropi) diyagramlarını çiziniz **b-)** Sudan çekilen ısı miktarını **c)** Su soğutma makinasında kompresörün çektiği gücü, **d)** Soğutma makinasının soğutma tesir katsayısını (COP ) hesaplayınız.

**C-11)**



**b)**  $Q_{su} = Q_{evap} = \dot{m}_{su} * C_{su} * (T_{sugiris} - T_{sucikis})$

$$Q_{evap} = 20 \frac{lt}{h} * \frac{1m^3}{1000lt} * \frac{1000kg}{m^3} * 4.186 \frac{kJ}{kgK} * (25 - 10)^\circ C = 0.3488 kW$$

c) I.Durum

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 320 \text{ kPa} \\ \text{Doymuş buhar} \end{array} \right\} \begin{array}{l} R - 134a \text{ tablosundan} \\ h_1 = h_g = 251.88 \\ s_1 = s_g = 0.93006 \end{array}$$

II.Durum

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 800 \text{ kPa} \\ s_1 = s_2 = 0.93006 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{Kızgın buhar tablosundan interpolasyon yapılarak} \\ \begin{array}{cc} h & s \\ 267.29 & 0.9183 \\ & \leftarrow 0.93006 \\ 276.45 & 0.9480 \end{array} \end{array}$$

$$\Delta h = \frac{9.16 * 0.01176}{0.0297} = 3.623, \quad h_2 = 270.913 \text{ kJ/kg}$$

III.Durum

$$\left. \begin{array}{l} P_3 = 800 \text{ kPa} \\ \text{Doymuş sıvı} \end{array} \right\} h_f = 95.47 \frac{kJ}{kg} = h_3$$

IV.Durum

$$h_3 = h_4 = 95.47 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{evap} = \dot{m}_{R-134a} * (h_1 - h_4) \Rightarrow \dot{m}_{R-134a} = \frac{0.3488 \frac{kJ}{s}}{(251.88 - 95.47) \frac{kJ}{kg}}$$

$$\dot{m}_{R-134a} = 0.00223 \frac{kg}{s}$$

$$W_{komp} = \dot{m}_{R-134a} * (h_2 - h_1) = 0.00223 \frac{kg}{s} * (270.913 - 251.88)$$

$$W_{komp} = 0.0424 \text{ kW}$$

$$d) COP = \frac{Q_{evap}}{W_{komp}} = \frac{0.3488 \text{ kW}}{0.0424} = 8.217$$

**S-12)** 25 °C sıcaklıktaki bir odada yapılan bitirme ödevine ait bir deneyde bir öğrenci, 2 kW gücünde elektrik çeken bir soğutma makinasının -30 °C sıcaklıkta tutulan bir ortamdan 30000 kJ ısı çektiğini ölçmüştür. Deney sırasında soğutma makinası 20 dakika çalışmıştır. Bu değerlerin doğruluğunu irdeleyiniz.





$$c) Q_{evap} = m * (h_1 - h_4) = 0.05 * (236.97 - 88.82) = 7.41 \text{ kW}$$

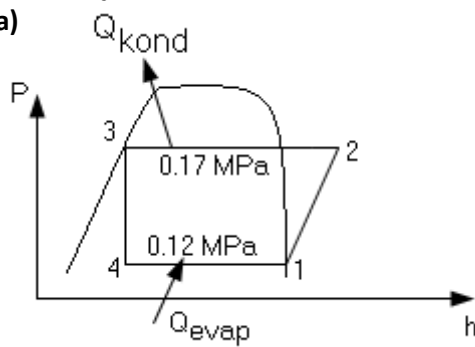
$$d) Q_{kon} = m * (h_2 - h_3) = 0.05 * (273.5 - 88.82) = 9.23 \text{ kW}$$

$$W_{komp} = Q_{kon} - Q_{evap} = 9.23 - 7.41 = 1.83 \text{ kW}$$

$$e) COP = \frac{Q_{evap}}{W_{komp}} = \frac{7.41}{1.83} = 4.06$$

Bülen Yeşilata

a)



$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 120 \text{ kPa} \\ \text{(Doymuş buhar)} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_1 = h_g = 385 \text{ kJ/kg} \\ s_1 = s_g = 1.7440 \text{ kJ/kg} \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 700 \text{ kPa} \\ s_1 = s_2 \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_2 = 408 \text{ kJ/kg} \\ T_2 = 34.95^\circ\text{C} \end{array}$$

$$\left. \begin{array}{l} P_3 = 700 \text{ kPa} \\ \text{(Doymuş sıvı)} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_3 = h_f = 237 \text{ kJ/kg} \\ h_4 = h_3 \end{array}$$

$$b) Q_{evap} = m * (h_1 - h_4) = 0.05 * (385 - 237) = 7.4 \text{ kW}$$

$$c) Q_{kon} = m * (h_2 - h_3) = 0.05 * (408 - 237) = 8.55 \text{ kW}$$

$$W_{komp} = Q_{kon} - Q_{evap} = 8.55 - 7.4 = 1.15 \text{ kW}$$

$$d) COP = \frac{Q_{evap}}{W_{komp}} = \frac{7.4}{1.15} = 6.43$$

**S-14)** Soğutucu akışkan olarak Freon – 12 kullanan ve ideal ters – Rankine çevrimine göre çalışan bir soğutma makinası düşünelim. Eğer sistemdeki akışkan debisi 0.1 kg/s ve buharlaştırıcı ve yoğuşturucu basınçları sırasıyla 0.7 MPa ve 0.12 MPa olursa, sistemi T – s diyagramında gösterip,

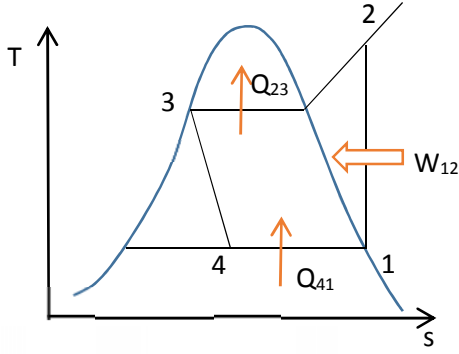
a) Soğutulacak mahalden çekilen ısıyı,

b) Kompresörün gücünü,

c) Çevreye verilen ısıyı,

d) Soğutma tesir katsayısını hesaplayınız.

$P_1$ (kPa)	$h_1$ (kJ/kg)	$s_b$ (kJ/kgK)	$P_2$ (MPa)	$h_2$ (kJ/kg)	$P_3$ (MPa)	$h_3 = h_4$
120	176.14	0.7133	0.7	207.11	0.7	62.29

**C-14)**

$$\text{a) } Q_{41} = Q_{\text{buharlaşma}} = \dot{m} * (h_4 - h_1) = 0.1 * (176.14 - 62.29) = 11.4 \text{ kW}$$

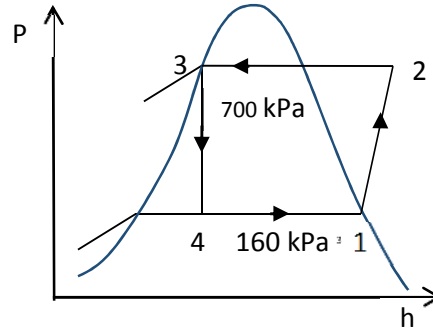
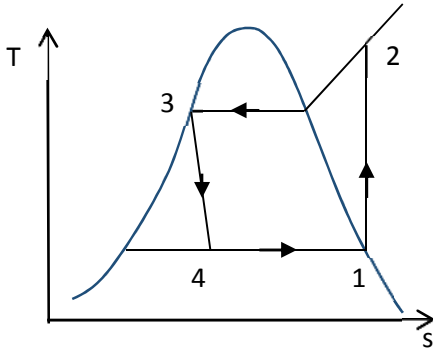
$$\text{b) } W_{12} = \dot{m} * (h_2 - h_1) = 0.1 * (207.11 - 176.14) = 3.1 \text{ kW}$$

$$Q_{23} = \dot{m} * (h_2 - h_3) = 0.1 * (-62.29 + 207.11) = 14.48 \text{ kW}$$

$$\text{c) } COP = \frac{Q_{41}}{W_{12}} = \frac{11.4}{3.1} = 3.67$$

**S-15)** Soğutucu akışkan olarak Freon-12 kullanan ideal buhar sıkıştırımlı çevrime göre çalışan bir buz makinası düşünelim. Soğutucu akışkan kompresöre 160 kPa basınçta doymuş buhar olarak girmekte, kondenser, doymuş sıvı olarak 700 kPa basınçta terk etmektedir. Su buz makinasının evaporatörüne 15°C ' de girmekte ve buz olarak -5°C de çıkmaktadır. 12kg/saat kapasiteli bir buz makinasında kompresörün harcadığı enerjiyi hesaplayınız.

Not: 15°C ' deki birim kütle suyu -5°C ' deki buza dönüştürmek için sudan 384 kJ ısı çekmek gerekir.

**C-15)**I.Durum

$$P_1 = 160 \text{ kPa} \left. \vphantom{P_1} \right\} h_1 = h_b = 179.41 \text{ kJ/kg}$$

II.Durum

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 700 \text{ kPa} \\ s_1 = s_2 \end{array} \right\} h_2 = 205.36 \text{ kJ/kg}$$

II.Durum

$$P_3 = 700 \text{ kPa} \left. \vphantom{P_3} \right\} h_3 = h_s = 62.29 \text{ kJ/kg}$$

VI.Durum

$$h_3 = h_4 = 62.29 \text{ kJ/kg}$$

$$Q_{evap} = \dot{m}_{buz} * Q_{buz} = 12 \frac{\text{kg}}{\text{h}} * 384 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 1.28 \text{ kW}$$

$$Q_{evap} = \dot{m}_{R-12} * q_{evap} \Rightarrow 1.28 \frac{\text{kJ}}{\text{s}} = \dot{m}_{R-12} * 117.12 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$q_{evap} = h_1 - h_4 = 62.29 - 179.41 = 117.2 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}, \quad \dot{m}_{R-12} = 0.010929 \text{ kg/s}$$

$$w_k = h_2 - h_1 = 205.36 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} - 179.41 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}} = 25.95 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}$$

$$W_k = \dot{m}_{R-12} * w_k = 0.2836 \text{ kW}$$

**S-16)** deal buhar sıkı tırmalı so utma çevrimine göre çalı an bir ısı pompasında so utucu akı kan olarak R-134a kullanılmaktadır. Kompresöre 140 kPa basınçta doymu buhar olarak giren akışkan 800 kPa basınca kadar yükseltilmektedir. Isı pompasının so utma kapasitesi 10 KW ise (a) Soğutma çevriminin akı masını çiziniz. Çevrimi T-s ve P-h diyagramlarında gösteriniz. (b) Soğutucu akışkanın debisini (kg/s) ve kompresörde harcanan gücü (KW) bulunuz. (c) Çevrimin  $COP_{ısıtma}$  ve  $COP_{soğutma}$  de erlerini bulunuz.

C-16)

Verilenler:

$$Q_{evap} = 10 \text{ KW}, P_{evap} = P_1 = 140 \text{ kPa}, P_{kond} = P_2 = 800 \text{ kPa}$$

1.Nokta:

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 140 \text{ kPa} \\ \text{Doymuş buhar} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_1 = h_g = 236.04 \text{ kJ/kg} \\ s_1 = s_g = 0.9322 \text{ kJ/kgK} \end{array}$$

2.Nokta:

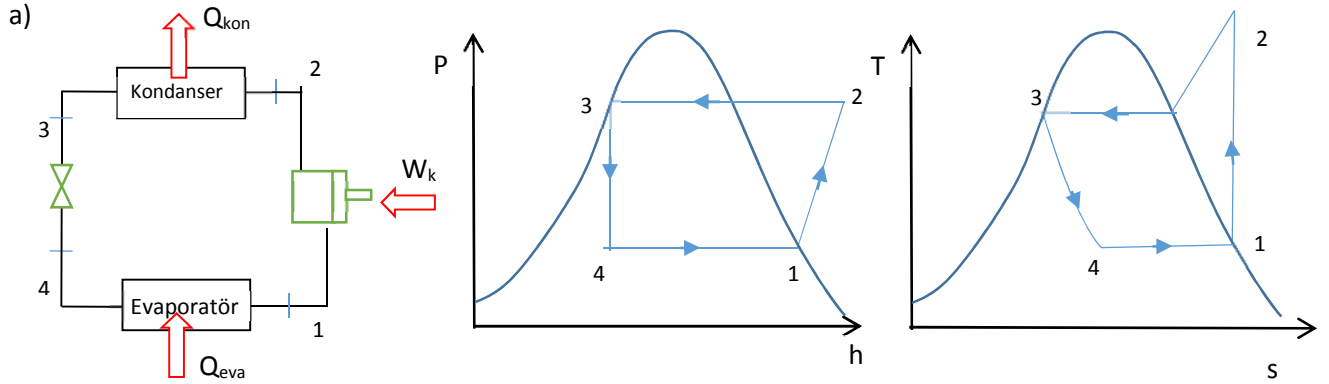
$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 800 \text{ kPa} \\ s_2 = s_1 = 0.9322 \text{ kJ/kgK} \\ \text{Kızgın buhar} \end{array} \right\} h_2 = 273 \text{ kJ/kg}$$

3.Nokta:

$$\left. \begin{array}{l} P_3 = P_2 = 800 \text{ kPa} \\ \text{Doymuş sıvı} \end{array} \right\} h_3 = h_f = 93.42 \text{ kJ/kg}$$

4.Nokta:

$$h_4 = h_3 = 93.42 \text{ kJ/kg}$$



b)  $Q_{evap} = \dot{m}(h_1 - h_4) \Rightarrow 10 \text{ kW} = \dot{m}(236.04 \text{ kJ/kg} - 93.42 \text{ kJ/kg})$

$$\dot{m} = 0.07 \text{ kg/s}$$

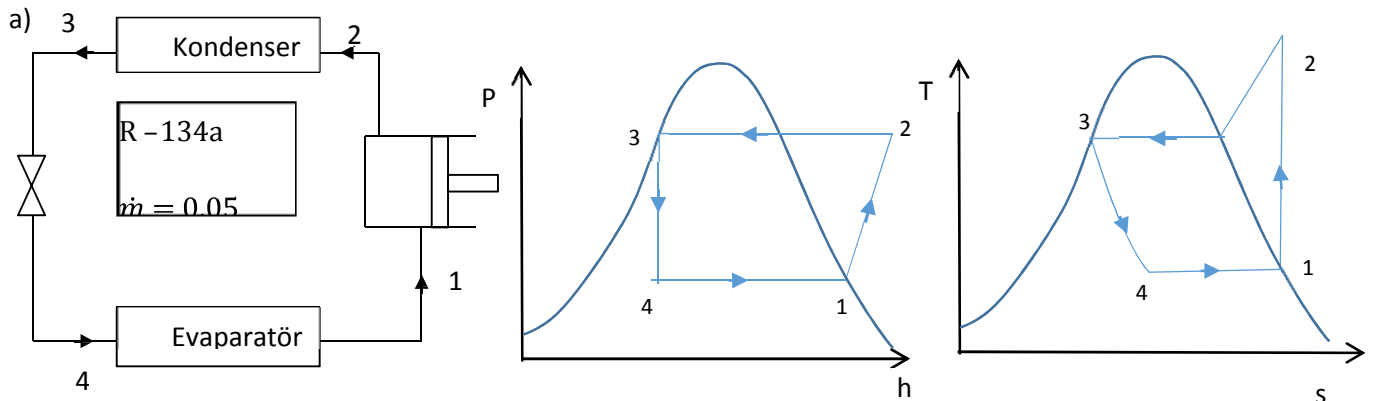
$$W_{komp} = \dot{m}(h_2 - h_1) = 0.07 \text{ kg/s} (273 \text{ kJ/kg} - 236.04 \text{ kJ/kg}) = 2.59 \text{ kW}$$

$$Q_{kond} = \dot{m}(h_2 - h_3) = 0.07 \text{ kg/s} (273 \text{ kJ/kg} - 93.42 \text{ kJ/kg}) = 12.52 \text{ kW}$$

c)  $COP_{ısıtma} = \frac{Q_{kond}}{Q_{komp}} = \frac{12.57}{2.59} = 4.85$  ,  $COP_{soğutma} = \frac{Q_{evap}}{Q_{komp}} = \frac{10}{2.59} = 3.86$

**S-17)** deal buhar sıkı tırmalı bir so utma çevrimine göre çalı an bir buzdolabında, so utucu akı kan R134a kompresöre 200 kPa ba langıçta doymu buhar olarak girmekte ve yo u turucudan (kondanserden) 0.6 MPa doymu sıvı olarak çıkmaktadır. Sistemde dola an so utucu akı kan debisi 0.05 kg/s'dir. Buna göre (a) Sistemi ematik olarak çizip, Çevrimi T-s ve P-h diyagramında gösteriniz, (b) Buharla ma sıcaklı ını ve so utulan ortamdan çekilen ısıyı, (c) Yo u ma sıcaklı ını ve kondanser ile dı arı atılan ısıyı (d) deal ve Carnot COP de erlerini bulunuz.

C-17)



1.Nokta:

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 200 \text{ kPa} \\ \text{Doymuş buhar} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_1 = h_g = 241.30 \text{ kJ/kg} \\ s_1 = s_g = 0.9253 \text{ kJ/kgK} \\ T_{evap} = -10.09^\circ\text{C} \end{array}$$

2.Nokta:

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 0.6 \text{ MPa} \\ s_2 = s_1 = 0.9253 \text{ kJ/kgK} \\ \text{Kızgın buhar} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{(interpolasyon yapılarak bulundu)} \\ h_2 = 263.85 \text{ kJ/kg} \end{array}$$

3.Nokta:

$$\left. \begin{array}{l} P_3 = 0.6 \text{ MP} \\ \text{Doymuş sıvı} \end{array} \right\} h_3 = h_f = 79.48 \text{ kJ/kg}$$

4.Nokta:

$$h_4 = h_3 = 79.48 \text{ kJ/kg}$$

$$b) Q_{evap} = \dot{m}(h_1 - h_4) = 0.05 \text{ kg/s} (161.82 \text{ kJ/kg}) = 8.09 \text{ kW}$$

$$c) Q_{kon} = \dot{m}(h_2 - h_3) = 0.05 \text{ kg/s} (184.37 \text{ kJ/kg}) = 9.2185 \text{ kW}$$

$$d) W_k = \dot{m}(h_2 - h_1) = 0.05 \text{ kg/s} (22.55 \text{ kJ/kg}) = 1.1275 \text{ kW}$$

$$COP_{soğutma} = \frac{Q_{evap}}{W_{komp}} = \frac{8.091}{1.1275} = 7.17$$

$$COP_{Carnot} = \frac{T_{evap}}{T_{kon} - T_{evap}} = \frac{T_L}{T_H - T_L} = \frac{-10.09 + 273}{31.67} = 8.3$$

**S-18)** So utucu akı kan R134a kullanan bir split klimanın so utma gücü 4 kW'tır. Evaporatörde buharla ma sıcaklı ı 4°C ve kondenserde yo u ma sıcaklı ı 40°C oldu una göre; (a) Sistemi ematik olarak çizip, Çevrimi T-s ve P-h diyagramında gösteriniz. (b) Sistemde dola an so utucu akı kanın debisini, (c) Kompresörün çekti i gücü, (d) deal ve Carnot so utma de erlerini hesaplayınız.

C-18)

I.Durum

$$\left. \begin{array}{l} T_1 = 4^\circ\text{C} \\ \text{Doymuş buhar} \end{array} \right\} \begin{array}{l} P_1 = 337.65 \text{ kPa} \\ h_1 = h_g = 249.53 \text{ kJ/kg} \\ s_1 = s_g = 0.9150 \text{ kJ/kgK} \end{array}$$

II.Durum

$$T_3 = 40^\circ\text{C} \rightarrow P_3 = 1016.4 \text{ kPa}$$

$$P_2 = P_3 = 1016.4 \text{ kPa}$$

$$s_1 = s_2 = 0.915 \text{ kJ/kgK}$$

$$h_2 = 271.35 \text{ kJ/kg}$$

III. Durum

$$T_3 = 40^\circ\text{C} \rightarrow h_f = h_3 = 106.19 \text{ kJ/kg} = h_4$$

$$Q_L = \dot{m}(h_1 - h_4)$$

$$\dot{m} = \frac{4 \text{ kW}}{(249.53 - 106.19) \text{ kJ/kg}} = 0.0279 \text{ kg/s}$$

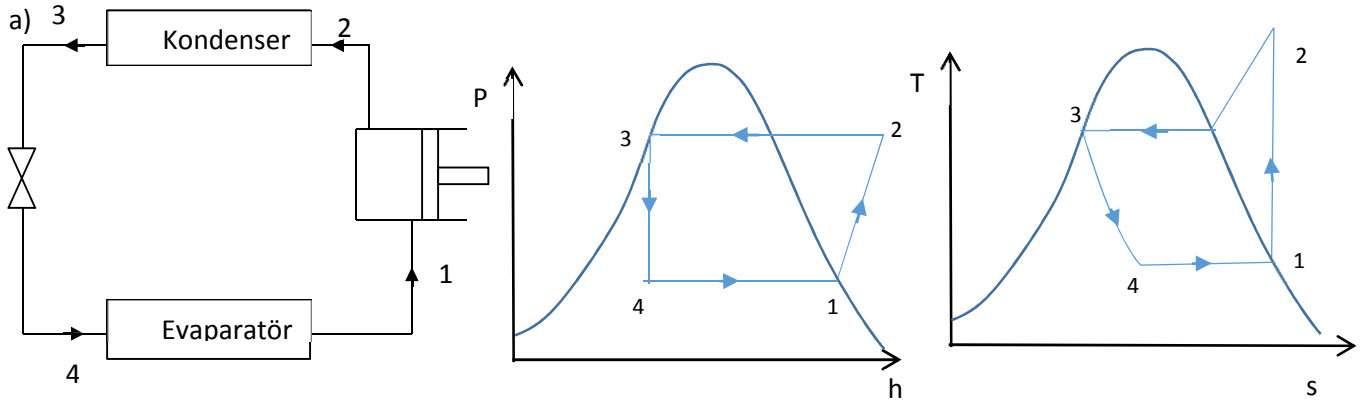
$$W_k = \dot{m}(h_2 - h_1) = 0.6087 \text{ kW}$$

$$COP_{\text{soğutma}} = \frac{Q_L}{W_k} = \frac{4 \text{ kW}}{0.6087 \text{ kW}} = 6.57$$

$$COP_{\text{Carnot}} = \frac{T_L}{T_H - T_L} = \frac{277}{36} = 7.69$$

**S-19)** Soğutucu akışkan R134a kullanılan bir buzdolabının kompresörü 1.2 kW güç çekmektedir. Evaporatörde buharlaşma sıcaklığı  $-22^\circ\text{C}$  ve kondanserde yoğuşma sıcaklığı  $38^\circ\text{C}$  olduğuna göre; (a) Bu buzdolabı sistemini elemanları ile birlikte ematik olarak çizip, soğutma çevriminin T-s ve P-h diyagramında gösteriniz (b) Buzdolabının soğutma gücünü (c) Buzdolabının bulunduğu çevreye verdiği ısı miktarını (d) Bu buzdolabının ideal ve Carnot COP soğutma değerlerini hesaplayınız.

C-19)



1. Nokta:

$$\left. \begin{array}{l} T_1 = -22^\circ\text{C} \\ \text{Doymuş buhar} \end{array} \right\} \begin{array}{l} P_1 = 121.92 \text{ kPa} \\ h_1 = h_g = 234.08 \text{ kJ/kg} \\ s_1 = s_g = 0.9351 \text{ kJ/kgK} \end{array}$$

2. Nokta:

$$\left. \begin{array}{l} T_{\text{kond}} = 38^\circ\text{C} \\ s_2 = s_1 = 0.9351 \text{ kJ/kgK} \\ \text{Kızgın buhar} \end{array} \right\} \begin{array}{l} P_{\text{kond}} = P_2 = 962.98 \text{ kPa} \\ h_2 = 273 \text{ kJ/kg} \\ T_2 = 47^\circ\text{C} \end{array}$$

3.Nokta:

$$\left. \begin{array}{l} P_3 = P_2 = 962.98 \text{ kPa} \\ \text{Doymuş sıvı} \end{array} \right\} h_3 = h_f = 103 \text{ kJ/kg}$$

4.Nokta:

$$h_3 = h_4 = 103 \text{ kJ/kg}$$

$$\dot{m} = \frac{\dot{W}_k}{(h_2 - h_1)} \Rightarrow \dot{m} = \frac{1.2 \text{ kW}}{(273 - 234.08) \text{ kJ/kg}} = 0.0308 \text{ kg/s}$$

$$Q_{\text{evap}} = \dot{m}(h_1 - h_4) = 0.0308 \text{ kg/s} (234.08 - 103) \text{ kJ/kg} = 4.03 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{kon}} = \dot{m}(h_2 - h_3) = 0.0308 \text{ kg/s} (273 - 103) \text{ kJ/kg} = 5.24 \text{ kW}$$

$$COP_{\text{soğutma}} = \frac{Q_{\text{evap}}}{\dot{W}_k} = \frac{4.03 \text{ kW}}{1.2 \text{ kW}} = 3.35$$

$$COP_{\text{Carnot}} = \frac{T_L}{T_H - T_L} = \frac{-22 + 273}{38 - (-22)} = 4.18$$

**S-20)** deal buhar sıkı tırmalı soğutma çevrimine göre 1.4 ve 0.32 MPa basınçları arasında çalışan bir ısı pompası soğutucu akışkan olarak R-134a kullanmaktadır. (a) Sistemi ematik olarak gösteriniz, Çevrimin T-s ve P-h diyagramlarını çiziniz. (b) Kompresör için gerekli gücü bulunuz. (c) Çevrimin verimini bulunuz. (d) Soğutulan ve ısıtılan ortamların minimum sıcaklıklarını tespit ediniz.

C-20)

1.Nokta:

$$\left. \begin{array}{l} P_1 = 0.32 \text{ MPa} \\ \text{Doymuş buhar} \end{array} \right\} \begin{array}{l} h_1 = h_g = 248.66 \text{ kJ/kg} \\ s_1 = s_g = 0.9177 \text{ kJ/kgK} \end{array}$$

2.Nokta:

$$\left. \begin{array}{l} P_2 = 1.4 \text{ MPa} \\ s_2 = s_1 = 0.9177 \text{ kJ/kgK} \\ \text{Kızgın buhar} \end{array} \right\} \begin{array}{l} \text{interpolasyon ile} \\ h_2 = 279.14 \text{ kJ/kg} \end{array}$$

3.Nokta:

$$\left. \begin{array}{l} P_3 = 1.4 \text{ MPa} \\ \text{Doymuş Buhar} \end{array} \right\} h_3 = h_f = 125.26 \text{ kJ/kg}$$

4.Nokta:

$$h_4 = h_3 = 125.26 \text{ kJ/kg}$$

$$a) W_k = h_2 - h_1 = 279.14 \text{ kJ/kg} - 248.66 \text{ kJ/kg} = 30.48 \text{ kJ/kg}$$

$$b) COP_S = \frac{Q_{evap}}{W_{komp}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} = \frac{248.66 - 125.26}{279.14 - 248.66} = 4.05$$

$$COP_I = \frac{Q_{kond}}{W_{komp}} = \frac{h_2 - h_3}{h_2 - h_1} = \frac{279.14 - 125.26}{279.14 - 248.66} = 5.04$$

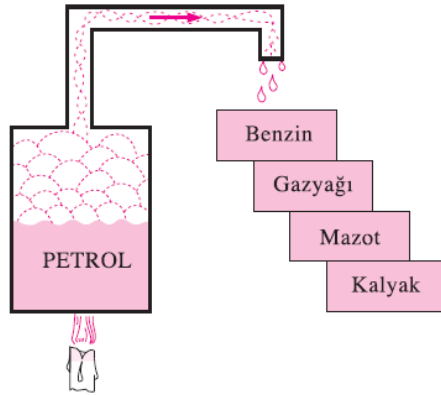
$$c) \text{Kondanser Sıcaklığı} \rightarrow T_{doyma} = 52.43^\circ\text{C}$$

$$\text{Evaporatör Sıcaklığı} \rightarrow T_{doyma} = 2.48^\circ\text{C}$$



## YAKITLAR VE YANMA

**YAKIT:** Isı enerjisi verecek şekilde yanabilen herhangi bir maddeye **yakıt** denir. Eniye bilinen yakıtlar esas olarak hidrojen ve karbondan meydana gelir. Onlara **hidrokarbon yakıtlar** denir ve  $C_nH_m$  genel formülü ile gösterilirler. Herfaza hidrokarbon yakıt bulunur. Örnek olarak kömür, gaz yağı ve doğal gaz verilebilir. Kömürün ana bileşeni karbondur. Kömürdeki en miktarlarda oksijen, hidrojen, azot, kükürt, nem ve kül içerir.



TABLO 15-1

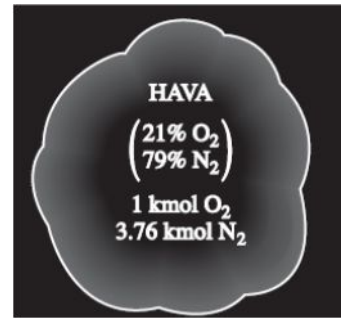
Taşıtlarda kullanılan bazı alternatif yakıtlar ile geleneksel petrol bazlı yakıtların kıyaslanması

Yakıt	Enerji içeriği kJ/L	Benzin Eşdeğeri,* L/L-benzin
Benzin	31,850	1
Hafif Mazot	33,170	0.96
Ağır Mazot	35,800	0.89
LPG (Sıvı petrol gazı, çoğu propan)	23,410	1.36
Etanol (etil alkol)	29,420	1.08
Metanol (metil alkol)	18,210	1.75
CNG (sıkıştırılmış doğal gaz, 200 atm de çoğu metan)	8,080	3.94
LNG (sıvı doğal gaz, çoğu metan)	20,490	1.55

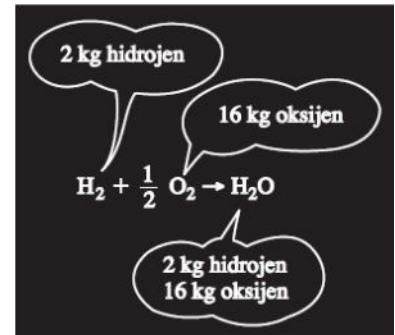
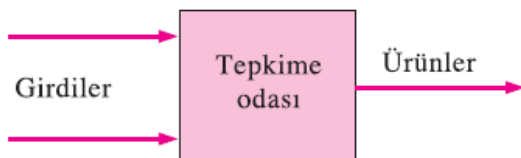
\* Enerji içeriği 1L benzinin enerji içeriğine eşit olan yakıt miktarı

Mol veya hacimce kuru hava %20.9 oksijen, %78.1 azot, %0.9 argon ve az miktarda karbon dioksit, helyum, neon ve hidrojen meydana gelir. Yanma işlemi incelenirken, havadaki argon azot olarak işlem görür ve eser miktarda bulunan diğer gazlar göz ardı edilir. O zaman, kuru hava, yaklaşık molce %2 oksijen ve %79 azotdan ibarettir. Bu nedenle, yanma odasına giren her mol oksijen  $0.79/0.21 = 3.76$  mol azot bulunur.

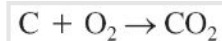
$$1 \text{ kmol } O_2 + 3.76 \text{ kmol } N_2 = 4.76 \text{ kmol hava}$$



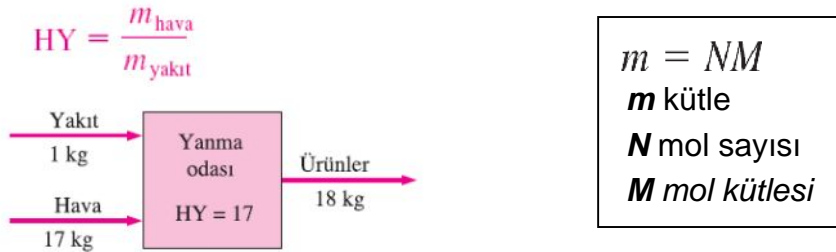
Yakıtın oksijen ile temas etmesinin yanma işlemi için yeterli olmadığından da söz edilmelidir. Yanmanın başlaması için yakıtın **tutu ma sıcaklığı** nın üstüne getirilmelidir. Bazı maddelerin atmosferde bulunan havadaki minimum tutu ma sıcaklıkları yaklaşık olarak benzin 260°C, karbon 400°C, hidrojen 580°C, karbonmonoksit 610°C ve metanın 630°C eklindedir. Bundan başka, yanmanın başlaması için, yakıt ve hava oranları yanma için uygun aralıkta olmalıdır. Örneğin, doğal gaz %5 den küçük yaklaşık %15 den büyük derimlerde yanmayacaktır.



Her bir elementin (ve atom sayısının) kütlesi kimyasal tepkimesi sırasında sabit kalır.



Yanma i lemlerinin analizinde, yakıt ve hava miktarlarını sayısal olarak ifade etmek için sık kullanılan büyüklük **hava-yakıt oranı (HY)** dir. Genellikle kütleyle ifade edilir ve yanma i lemlerinde *havanın kütlelerinin yakıtın kütlelerine oranı* olarak tanımlanır (Yani, *havayakıt* oranı havanın mol sayısının yakıtın mol sayısına oranı ekinde molsayısına göre de ifade edilebilir. Burada önceki tanım kullanılacaktır. Hava-yakıt oranının tersi **yakıt-hava oranıdır**.



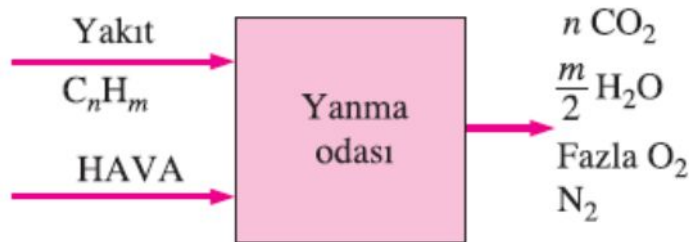
Hava –yakıt oranı (HY)yanma i leminde birim kütle yakıt başına kullanılan hava miktarını anlatır

### KURAMSAL VE GERÇEK YANMA İŞLEMLERİ

Yanmanın tam olduğunu varsayarak bir yakıtın yanmasını incelemek ço u zaman daha ö reticidir. E er tüm karbon yanarak CO<sub>2</sub>'e, tüm hidrojen yanarak H<sub>2</sub>O'a ve tüm kükürt ( e er varsa) yanarak SO<sub>2</sub>'ye dönü ürse yanma i lemi tamdır. Yani, yanma i lemi sırasında yakıtın tüm yanabilen bile enleriYanma i lemi yakıtın yanabilen tüm bile enleri tamamen yandı ında tamamlanır.Tersine, e er ürünler içinde yanmamı yakıtveya C,H<sub>2</sub>, CO ve OH gibi bile enler varsa yanma i lemi tamamlanmamı tır.

*Yetersiz oksijen* tam yanmamanın açık bir nedenidir ama tek nedeni de ildir.

Tam olmayan yanma yanma odasında tam yanma için gerekenden daha fazla oksijen oldu u zaman bile olabilir. Bu yakıt ve oksijenin temas etti i sınırlı bir süre içinde yanma odasında yeterli karı ma olmamasına yorulabilir.Yarım yanmanın di er bir nedeni de yüksek sıcaklıklarda önemli olan *ayrı madir*.



Yanma i lemi yakıtın yanabilen tüm bile enleri tamamen yandı ında tamamlanır.

**Stokiyometrik veya kuramsal hava:** Bir yakıtın tam yanması için gereken minimum hava miktarına **stokiyometrik veya kuramsal hava** denir.

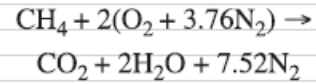
**Stokiyometrik veya kuramsal yanma:** Bir yakıtın kuramsal hava ile tamamen yanması sırasında meydana gelen ideal yanma işlemine yakıtın **stokiyometrik veya kuramsal yanması** denir.

**Fazla hava:** Gerçek yanma işlemlerinde, tam yanmayı sağlamak ve yanma odasının sıcaklığını kontrol etmek için stokiyometrik miktardan daha fazla hava kullanmak genel bir uygulamadır. Stokiyometrik miktardan fazla hava miktarına **fazla hava** denir.

**Eksik hava:** Stokiyometrik miktardan daha az havaya **eksik hava** denir.

**Edeerlik oranı:** Yanma işlemlerinde kullanılan hava miktarı gerçek yakıt-hava oranının kuramsal yakıt hava oranına oranı demek olan **edeerlik oranı** ile ifade edilir.

50% fazla hava = 150% teorik hava  
200% fazla hava = 300% teorik hava  
90% teorik hava = 10% eksik hava



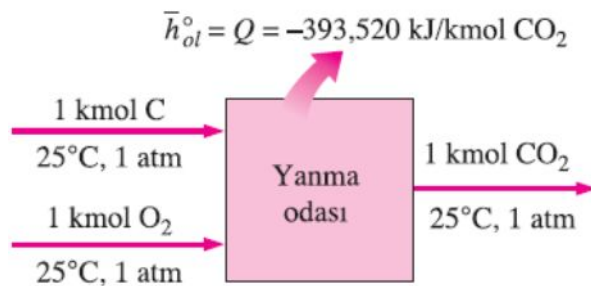
- Yanmamış yakıt yok
- Ürünlerde serbest oksijen yok

## OLUŞUM ENTALPİSİ VE YANMA ENTALPİSİ

**Tepkime entalpi,  $h_R$ :** Tepkime entalpi, tüm tepkime için, belli bir haldeki ürünlerin entalpileri ile aynı haldeki girdilerin entalpileri arasındaki fark olarak tanımlanır.

**Yanma entalpi  $h_C$ :** Yanma işleminde, tepkime entalpi genellikle yanma entalpi,  $h_Y$ , olarak adlandırılır. Bu 1 kmol (veya 1 kg) yakıt belli bir basınç ve sıcaklıkta tamamen yandığı zaman ortaya çıkan ısı miktarını temsil eder.

**Oluşum entalpi  $h_f$ :** Bu özellik *belli bir haldeki bir maddenin kendi kimyasal bileşiminden ileri gelen entalpi olarak* görülen **oluşum entalpi**,  $h_o$  dir. Başlangıç noktası olarak turmak üzere, tüm kararlı element ( $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2$ , ve C gibi)lerin  $25^\circ\text{C}$  ve 1 atm deki standart referans haldeki oluşum entalpileri sıfır kabul edilir. Yani, tüm kararlı elementler için  $h_{o,f}^\circ = 0$  dir. (Bu  $0.01^\circ\text{C}$  deki doymuş sıvı suyun iç enerjisinin sıfır olarak alınmasından farklı değildir)



$$Q = H_{\text{ürün}} - H_{\text{girdi}} = -393,520 \text{ kJ/kmol}$$

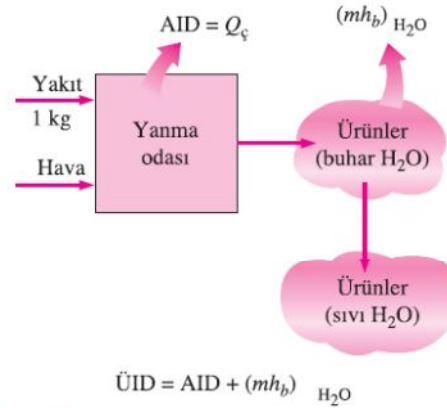
$$\bar{h}_{o,f,\text{CO}_2}^\circ = -393,520 \text{ kJ/kmol}$$

Yanma entalpi, bir yakıtın belli bir haldeki kararlı akım işlemi sırasında yanarken ortaya çıkan enerji miktarını gösterir.

**Isı değeri:** bir yakıt kararlı akım işleminde tamamen yandı ında ve ürünler girdilerin haline döndü ünde ortaya çıkan ısı miktarı olarak tanımlanır

**(HHV) üst ısı değeri:** Isı değeri ürünlerde bulunan suyun *fazına* bağlıdır. Ürünlerdeki su sıvı halde olduğunda ısı değerine **üst ısı değeri** denir.

**(LHV) alt ısı değeri:** ürünlerdeki su buharfazında ise **alt ısı değeri** denir



$$\text{Isı değeri} = |h_c| \quad (\text{kJ/kg yakıt})$$

$$\text{ÜID} = \text{AID} + (mh_b)_{\text{H}_2\text{O}} \quad (\text{kJ/kg yakıt})$$

Burada  $m$ , birim kütledeki yakıt başına ürünlerdeki suyun kütlesi, ve  $h_{fg}$  belli bir sıcaklıkta suyun buharlaşma entalpisidir.

$$\dot{E}_{\text{giren}} = \dot{E}_{\text{çıkan}}$$

$$\underbrace{\dot{Q}_g + \dot{W}_g + \sum \dot{n}_g (\bar{h}_{ol}^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_g}_{\text{Isı, iş ve kütle ile net enerji giriş hızı}} = \underbrace{\dot{Q}_c + \dot{W}_c + \sum \dot{n}_u (\bar{h}_{ol}^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_u}_{\text{Isı, iş ve kütle ile net enerji çıkış hızı}}$$

$$\underbrace{Q_g + W_g + \sum N_g (\bar{h}_{ol}^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_g}_{\text{Isı, iş ve kütle ile 1 mol yakıt için içeriye enerji transferi}} = \underbrace{Q_c + W_c + \sum N_u (\bar{h}_{ol}^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_u}_{\text{Isı, iş ve kütle ile 1 mol yakıt için dışarıya enerji transferi}}$$

Sisteme verilen ısı ve sistem tarafından yapılan iş pozitif büyüklükler olarak, yukarıdaki enerji denklik ba ıntısı aşağıda olduğu gibi daha kısa olarak ifade edilebilir.

$$Q - W = \sum N_u (\bar{h}_{ol}^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_u = \sum N_g (\bar{h}_{ol}^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_g$$

$$Q - W = H_{\text{ürün}} - H_{\text{girdi}} \quad (\text{kJ/kmolyakıt})$$

$$H_{\text{ürün}} = \sum N_u (\bar{h}_{ol}^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_u \quad (\text{kJ/kmolyakıt})$$

$$H_{\text{girdi}} = \sum N_g (\bar{h}_{ol}^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_g \quad (\text{kJ/kmolyakıt})$$

Eğer belli bir tepkimenin yanma entalpi  $h_y^\circ$  elde edilebilirse, 1 mol yakıt için kararlı akım enerjisi

$$Q - W = \bar{h}_y^\circ + \sum N_u (\bar{h} - \bar{h}^\circ)_u - \sum N_g (\bar{h} - \bar{h}^\circ)_g \quad (\text{kJ/kmol})$$

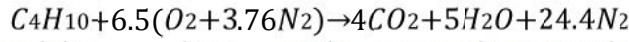
Yanma odasında normal olarak ısı çıkışı olur ama hiç ısı girişi olmaz. O zaman, *tipik kararlı akım yanma enerjisi* denilen enerji denkliği,

$$Q_c = \underbrace{\sum N_g (\bar{h}_{ol}^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_g}_{\text{1 Mol yakıtın kütlesiyle giren enerji}} - \underbrace{\sum N_u (\bar{h}_{ol}^\circ + \bar{h} - \bar{h}^\circ)_u}_{\text{1 Mol yakıtın kütlesiyle çıkan enerji}}$$

**S-1)** 25 °C ve 1 atm'de Bütan gazı ( $C_4H_{10}$ ) %150 teorik hava ile yakılmaktadır. Ürünlerin sıcaklık ve basıncı 25 °C ve 1 atm'dir. a) Hava-yakıt oranını, b)  $H_2O$ 'in ürünler içindeki yüzdesini, c) Bütanın %100 teorik hava ile yanması sonucunda elde edilecek ısı enerjisini (yanma entalpisini) bulunuz?  
 $M_{hava}=29\text{kg/kmol}$ ,  $M_{bütan}=58\text{ kg/kmol}$

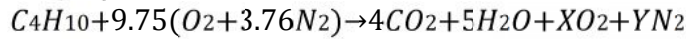
**C-1) Çözüm**

% 100 teorik hava için yanma denklemi



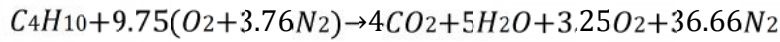
% 150 teorik hava için yanma havanın mol sayısı =  $1.5 * 6.5 = 9.75$  kmol olur.

% 150 teorik hava için yanma denklemi



$$\text{OKSİJEN: } (9.75 * 2) = (4 * 2) + (5 * 1) + 2X \quad X = 3.25$$

$$\text{AZOT: } 9.75 * 3.76 = Y \quad Y = 36.66$$



$$\text{a) } AF = \frac{m_{hava}}{m_{yakıt}} = \frac{9.75 * 4.76 * 29}{1 * 58} = 23.2$$

$$\text{b) } \%H_2O = \frac{5}{48.91} (\%100) = \%10.22$$

$$\text{c) } Q = H_P - H_R$$

$$Q = \sum \text{ürün } Ni(h_{fCO_2} + h_{fH_2O}) - \sum \text{giren } Ni(h_{fC_4H_{10}})_{giren}$$

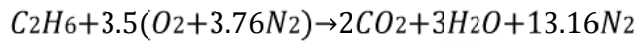
$$Q = (4) * (-393520) + (5) * (-241820) - (-126150)$$

$$Q = -2909330 \text{ kJ/kmolyakıt} = -2909.33 \text{ MJ}$$

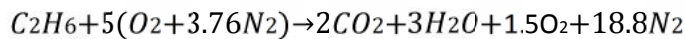
**S-2)** Etan ( $C_2H_6$ ) her bir mol yakıt başına 5 mol  $O_2$  içeren kuru havayla yakılmaktadır. Buna göre; **a)** Fazla hava yüzdesini, **b)** Hava-yakıt oranını hesaplayınız. **c)** Çi noktası sıcaklığını hesaplayınız.

**C-2)**

Stokiyometrik yanma denklemi:



istenilen yanma denklemi:



(a) Gerçek reaksiyonda 3.5 mol yerine 5 mol  $O_2$  kullanıldı için fazla hava vardır. Fazla hava yüzdesi:

$$\% \text{ fazla hava} = \frac{5 - 3.5}{3.5} * (\%100) = \%42.9$$

(b) Hava-yakıt oranı kütleli olup mol sayılarını moleküler a ırlıkla çarparak bulunabilir.

$$AF = \frac{(5) * (4.76) * (29)}{(1) * (30)} = 23.0 \text{ hava/kg yakıt}$$

(c) Çiy noktası sıcaklığını bulmak için yanma ürünlerinin içerisindeki su buharının kısmi bilmemiz gerekir. Atmosfer basıncı 100kPa alınarak:

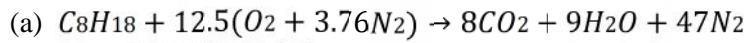
$$P_{v, su} = y_{H_2O} P_{atm} = \left( \frac{3}{25.3} \right) * (100) = 1.86 \text{ kPa}$$

Tablo C-2'den interpolasyonla çiy noktası sıcaklığı  $T_{çiy} = 49^\circ\text{C}$

**S-3)** Bir benzinli araçta hava ile yakıt (Oktan  $C_8H_{18}$ ) karıştırılarak tam yanma sağlanmaktadır.

**a)** Yanma reaksiyonunu yazınız. **b)** Hava-yakıt oranını (AF) bulunuz. (Oktan: 114 kg/kmol, Hava: 29 kg/kmol)

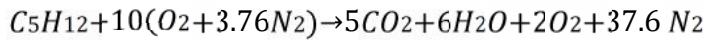
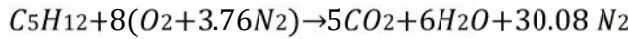
**C-3)**



$$(b) AF = \frac{(12.5) * (4.76) * (29)}{(114)} = 15.14 \text{ hava/kg yakıt}$$

**S-4)**  $C_5H_{12}$  yakıtı 10 mol hava ile reaksiyona giriyor. Yanma reaksiyonu tam kabul edilecektir. **a)** Hava fazlalık oranını bulunuz. **b)** Hava-yakıt oranını bulunuz **c)** Açığı çıkan ısı miktarını bulunuz. Yakıtın oluşum entalpisi: -158450 kJ/mol olarak alınacaktır.

**C-4)**



$$a) \frac{10-8}{8} = 0.25 \quad \%25 \text{ fazla hava}$$

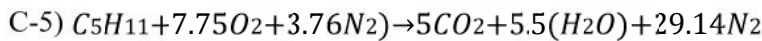
$$b) m_{AF} = \frac{m_{hava}}{m_{yakıt}} = \frac{10(29 * 4.76)}{72} = 19.172$$

$$c) Q = \Sigma h_{ürün} - \Sigma h_{giren} = 5 * h_{CO_2} + 6h_{H_2O} - h_{C_5H_{12}}$$

$$Q = (5) * (-393520) + (6) * (-241820) - (-158450)$$

$$Q = -3260070 \text{ kJ} = -3260.07 \text{ MJ}$$

**S-5)**  $C_5H_{11}$  ideal tam yanma koşullarında %50 fazla hava ile yanmaktadır. **a)** Hava yakıt oranını bulunuz. **b)** Ürünlerde  $H_2O$ 'nun yüzdesini bulunuz.



$$a) AF = \frac{29 * 4.76 * 11.625}{(12 * 5) + 11} = 22.6$$

$$b) \%H_2O = \frac{5.5}{5 + 5.5 + 43.71 + 3.875} * 100 = \%9.46$$

## KAYNAKLAR

- 1- Mühendisler için Termodinamik, Çeviri Editörü Hüsamettin BULUT, Nobel Kitabevi, 2013.
- 2- Mühendislik Yaklaşımıyla Termodinamik, Yunus A. Çengel ve Michael A. Boles, Palme Yayıncılık 2013, Güven Kitabevi 2008 ve Literatür Kitabevi 2000.
- 3- Mühendislikte Temel Termodinamik, Bülent YEŞİLATA.
- 4- Ders Notları, Hüsamettin BULUT.
- 5- Termodinamik Problemleri, Aksel ÖZTÜRK ve Abdurrahman KILIÇ, Seç Kitap Dağıtım, 1987.
- 6- Çözümlü Problemlerle Termodinamik, Ali GÜNGÖR, Palme Yayıncılık, 2014.
- 7- Çözümlü Problemlerle Uygulamalı Termodinamik, Ali GÜNGÖR, Palme Yayıncılık, 2015.
- 8- Mühendislik Termodinamiğinin İlkeleri, Çeviri Editörü: Azize Akçayoğlu, Palme Yayıncılık, 2015.

**SCHAUM'S  
OUTLINE OF**

# Mühendisler İçin Termodinamik

Thermodynamics  
for Engineers

**İkinci Basımdan Çeviri**  
Second Edition

**Merle C. POTTER, Ph.D.**  
**Craig W. SOMERTON, Ph.D.**

**Çeviri Editörü:**  
Prof. Dr. Hüsamettin BULUT

**Mc  
Graw  
Hill**

*nobel*

AKADEMİK YAYINCILIK



# EK A

# Birim Dönüşümleri

## Uzunluk

1 cm = 0.3937 inç
1 m = 3.281 ft
1 km = 0.6214 mil
1 in = 2.54 cm
1 ft = 0.3048 m
1 mil = 1.609 km
1 mil = 5280 ft
1 = 1760 yd

## İş ve Isı

1 J = 10 <sup>7</sup> ergs
1 ft-lbf = 1.356 J
1 Cal = 3.088 ft-lb
1 Cal = 0.003968 Btu
1 Btu = 1055 J
1 Btu = 0.2930 W·h
1 Btu = 778 ft-lb
1 kWh = 3412 Btu
1 therm = 10 <sup>5</sup> Btu
1 quad = 10 <sup>15</sup> Btu

## Kuvvet

1 lbf = 0.4448 × 10 <sup>6</sup> dyne
1 dyne = 2.248 × 10 <sup>-6</sup> lbf
1 kip = 1000 lbf
1 N = 0.2248 lbf
1 N = 10 <sup>5</sup> dyne

## Güç

1 ho = 550 ft-lb/s
1 BG = 2545 Btu/h
1 BG = 0.7455 kW
1 W = 1 J/s
1 W = 1.0 × 10 <sup>7</sup> dyne·cm/s
1 W = 3.412 Btu/h
1 kW = 1.341 BG
1 ton = 12,000 Btu/h
1 ton = 3.517 kW

## Kütle

1 oz = 28.35 gr
1 lbm = 0.4536 kg
1 slug = 32.17 lbm
1 slug = 14.59 kg
1 kg = 2.205 lbm

## Basınç

1 psi = 2.036 inç Hg
1 psi = 27.7 inç H <sub>2</sub> O
1 atm = 29.92 inç Hg
1 atm = 33.93 ft H <sub>2</sub> O
1 atm = 101.3 kPa
1 atm = 1.0133 bar
1 atm = 14.7 psi
1 inç Hg = 0.4912 psi
1 ft H <sub>2</sub> O = 0.4331 psi
1 psi = 6.895 kPa
1 kPa = 0.145 psi

## Hız

1 m/h = 1.467 ft/s
1 m/h = 0.8684 knot
1 ft/s = 0.3048 m/s
1 km/h = 0.2778 m/s
1 knot = 1.688 ft/s

## Hacim

1 ft <sup>3</sup> = 7.481 gal (U.S.)
1 ft <sup>3</sup> = 0.02832 m <sup>3</sup>
1 galon (ABD) = 231 inç <sup>3</sup>
1 galon (İngiliz) = 1.2 galon (ABD)
1 litre = 10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup>
1 litre = 0.03531 ft <sup>3</sup>
1 litre = 0.2642 galon
1 m <sup>3</sup> = 264.2 galon
1 m <sup>3</sup> = 35.31 ft <sup>3</sup>
1 ft <sup>3</sup> = 28.32 litre
1 inç <sup>3</sup> = 16.387 cm <sup>3</sup>

## EK B

# Malzeme Özellikleri

**Tablo B-1 Standart Atmosfer Özellikleri**

$$P_0 = 101.3 \text{ kPa}, \quad \rho_0 = 1.225 \text{ kg/m}^3$$

Yükseklik m	Sıcaklık °C	Basınç $P/P_0$	Yoğunluk $\rho/\rho_0$
0	15.2	1.000	1.000
1,000	9.7	0.8870	0.9075
2,000	2.2	0.7846	0.8217
3,000	-4.3	0.6920	0.7423
4,000	-10.8	0.6085	0.6689
5,000	-17.3	0.5334	0.6012
6,000	-23.8	0.4660	0.5389
7,000	-30.3	0.4057	0.4817
8,000	-36.8	0.3519	0.4292
10,000	-49.7	0.2615	0.3376
12,000	-56.3	0.1915	0.2546
14,000	-56.3	0.1399	0.1860
16,000	-56.3	0.1022	0.1359
18,000	-56.3	0.07466	0.09930
20,000	-56.3	0.05457	0.07258
30,000	-46.5	0.01181	0.01503
40,000	-26.6	$0.2834 \times 10^{-2}$	$0.3262 \times 10^{-2}$
50,000	-2.3	$0.7874 \times 10^{-3}$	$0.8383 \times 10^{-3}$
60,000	-17.2	$0.2217 \times 10^{-3}$	$0.2497 \times 10^{-3}$
70,000	-53.3	$0.5448 \times 10^{-4}$	$0.7146 \times 10^{-4}$

**Tablo B-1E Standart Atmosfer Özellikleri**

$$P_0 = 14.7 \text{ psia}, \rho_0 = 0.0763 \text{ kg/ft}^3$$

Yükseklik ft	Sıcaklık °F	Basınç $P/P_0$	Yoğunluk $\rho/\rho_0$
0	59.0	1.00	1.00
1,000	55.4	0.965	0.975
2,000	51.9	0.930	0.945
5,000	41.2	0.832	0.865
10,000	23.4	0.688	0.743
15,000	5.54	0.564	0.633
20,000	-12.3	0.460	0.536
25,000	-30.1	0.371	0.451
30,000	-48.0	0.297	0.376
35,000	-65.8	0.235	0.311
36,000	-67.6	0.224	0.299
40,000	-67.6	0.185	0.247
50,000	-67.6	0.114	0.153
100,000	-67.6	0.0106	0.0140
110,000	-47.4	0.00657	0.00831
150,000	113.5	0.00142	0.00129
200,000	160.0	$0.314 \times 10^{-3}$	$0.262 \times 10^{-3}$
260,000	-28	$0.351 \times 10^{-4}$	$0.422 \times 10^{-4}$

**Tablo B-2 Değişik İdeal Gazların Özellikleri**

Gaz	Kimyasal Formül	Mol Kütlesi	R		$C_p$		$C_v$		k
			kJ/kg·K	ft-lbf/lbm-°R	kJ/kg·K	Btu/lbm-°R	kJ/kg·K	Btu/lbm-°R	
Hava	—	28.97	0.287 0	53.34	1.003	0.240	0.717	0.171	1.400
Argon	Ar	39.95	0.208 1	38.68	0.520	0.1253	0.312	0.0756	1.667
Bütan	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58.12	0.143 0	26.58	1.716	0.415	1.573	0.381	1.091
Karbondioksit	CO <sub>2</sub>	44.01	0.188 9	35.10	0.842	0.203	0.653	0.158	1.289
Karbonmonoksit	CO	28.01	0.296 8	55.16	1.041	0.249	0.744	0.178	1.400
Etan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30.07	0.276 5	51.38	1.766	0.427	1.490	0.361	1.186
Etilen	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28.05	0.296 4	55.07	1.548	0.411	1.252	0.340	1.237
Helyum	He	4.00	2.077 0	386.0	5.198	1.25	3.116	0.753	1.667
Hidrojen	H <sub>2</sub>	2.02	4.124 2	766.4	14.209	3.43	10.085	2.44	1.409
Metan	CH <sub>4</sub>	16.04	0.518 4	96.35	2.254	0.532	1.735	0.403	1.299
Neon	Ne	20.18	0.412 0	76.55	1.020	0.246	0.618	0.1477	1.667
Azot	N <sub>2</sub>	28.01	0.296 8	55.15	1.042	0.248	0.745	0.177	1.400
Oktan	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114.23	0.072 8	13.53	1.711	0.409	1.638	0.392	1.044
Oksijen	O <sub>2</sub>	32.00	0.259 8	48.28	0.922	0.219	0.662	0.157	1.393
Propan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44.10	0.188 6	35.04	1.679	0.407	1.491	0.362	1.126
Buhar	H <sub>2</sub> O	18.02	0.461 5	85.76	1.872	0.445	1.411	0.335	1.327

Not:  $C_p$ ,  $C_v$  ve k 300 K'dedir. kJ/kg·K, kJ/kg·°C ile aynıdır.

KAYNAK: G. J. Van Wylen ve R. E. Sonntag, *Fundamentals of Classical Thermodynamics*, Wiley, New York, 1976.

Tablo B-3 Kritik Nokta Sabitleri

Madde	Formül	Mol		Sıcaklık		Basınç		Hacim		$Z_{cr}$
		Kütlesi	K	°R	MPa	psia	ft <sup>3</sup> /lbmol	m <sup>3</sup> /kmol		
Hava		28.97	133	239	3.77	547	1.41	0.0883	0.30	
Amonyak	NH <sub>3</sub>	17.03	405.5	729.8	11.28	1636	1.16	0.0724	0.243	
Argon	Ar	39.94	151	272	4.86	705	1.20	0.0749	0.290	
Benzen	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	78.11	562	1012	4.92	714	4.17	0.2603	0.274	
Bütan	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58.12	425.2	765.2	3.80	551	4.08	0.2547	0.274	
Karbondioksit	CO <sub>2</sub>	44.01	304.2	547.5	7.39	1070	1.51	0.0943	0.275	
Karbonmonoksit	CO	28.01	133	240	3.50	507	1.49	0.0930	0.294	
Karbon tetraklorid	CCl <sub>4</sub>	153.84	556.4	1001.5	4.56	661	4.42	0.2759	0.272	
Etan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30.07	305.5	549.8	4.88	708	2.37	0.148	0.284	
Etilen	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28.05	282.4	508.3	5.12	742	1.99	0.1242	0.271	
Helyum	He	4.00	5.3	9.5	0.23	33.2	0.926	0.0578	0.302	
Hidrojen	H <sub>2</sub>	2.02	33.3	59.9	1.30	188	1.04	0.0649	0.304	
Metan	CH <sub>4</sub>	16.04	191.1	343.9	4.64	673	1.59	0.0993	0.290	
Neon	Ne	20.18	44.5	80.1	2.73	395	0.668	0.0417	0.308	
Azot	N <sub>2</sub>	28.02	126.2	227.1	3.39	492	1.44	0.0899	0.291	
Oksijen	O <sub>2</sub>	32.00	154.8	278.6	5.08	736	1.25	0.078	0.308	
Propan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44.09	370.0	665.9	4.26	617	3.20	0.1998	0.277	
Propilen	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	42.08	365.0	656.9	4.62	670	2.90	0.1810	0.276	
R134a	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> F	102.03	374.3	613.7	4.07	596	2.96	0.2478	0.324	
Sülfür dioksit	SO <sub>2</sub>	64.06	430.7	775.2	7.88	1143	1.95	0.1217	0.269	
Su	H <sub>2</sub> O	18.02	647.4	1165.3	22.1	3204	0.90	0.0568	0.233	

KAYNAK: K. A. Kobe ve R. E. Lynn, Jr., Chem. Rev., 52: 117-236 (1953).

Tablo B-4 Sıvı ve Katıların Özgül Isıları

 $C_p$ , kJ/kg·°C

Sıvılar					
Madde	Durum	$C_p$	Madde	Durum	$C_p$
Su	1 atm, 25 °C	4.177	Gliserin	1 atm, 10 °C	2.32
Amonyak	doymuş, -20 °C	4.52	Bizmut	1 atm, 425 °C	0.144
	doymuş, 50 °C	5.10	Cıva	1 atm, 10 °C	0.138
Freon 12	doymuş, -20 °C	0.908	Sodyum	1 atm, 95 °C	1.38
	doymuş, 50 °C	1.02	Propan	1 atm, 0 °C	2.41
Benzen	1 atm, 15 °C	1.80	Etil alkol	1 atm, 25 °C	2.43
Katılar					
Madde	$T$ , °C	$C_p$	Madde	$T$ , °C	$C_p$
Buz	-11	2.033	Kurşun	-100	0.118
	-2.2	2.10		0	0.124
Alüminyum	-100	0.699		100	0.134
	0	0.870	Bakır	-100	0.328
	100	0.941		0	0.381
Demir	20	0.448		100	0.393
Gümüş	20	0.233			

KAYNAK: Kenneth Wark, *Thermodynamics*, 3d ed., McGraw-Hill, New York, 1981.

Tablo B-4E Sıvı ve Katıların Özgül Isıları

 $C_p$ , Btu/lbm-°F

Sıvılar					
Madde	Durum	$C_p$	Madde	Durum	$C_p$
Su	1 atm, 77 °C	1.00	Gliserin	1 atm, 50 °C	0.555
Amonyak	doymuş, -4 °C	1.08	Bizmut	1 atm, 800 °C	0.0344
	doymuş, 120 °C	1.22	Cıva	1 atm, 50 °C	0.0330
Freon 12	doymuş, -4 °C	0.217	Sodyum	1 atm, 200 °C	0.330
	doymuş, 120 °C	0.244	Propan	1 atm, 32 °C	0.577
Benzen	1 atm, 60 °F	0.431	Etil alkol	1 atm, 77 °C	0.581
Katılar					
Madde	$T$ , °F	$C_p$	Madde	$T$ , °F	$C_p$
Buz	-76	0.392	Gümüş	-4	0.0557
	-12	0.486	Kurşun	-150	0.0282
Alüminyum	-28	0.402		30	0.0297
	-150	0.167		210	0.0321
	30	0.208	Bakır	-150	0.0785
	210	0.225		30	0.0911
Demir	-4	0.107		210	0.0940

KAYNAK: Kenneth Wark, *Thermodynamics*, 3d ed., McGraw-Hill, New York, 1981.

Tablo B-5 Değişik İdeal Gazların Sabit Basıncıta Özgül Isısı

 $\theta \equiv T(\text{Kelvin})/100$ 

Gaz	$C_p$ kJ/kmol·K	Aralık K	Maks. Hata %
N <sub>2</sub>	$39.060 - 512.79\theta^{-1.5} + 1072.78\theta^{-2} - 820.40\theta^{-3}$	300-3500	0.43
O <sub>2</sub>	$37.432 + 0.020102\theta^{1.5} - 178.57\theta^{-1.5} + 236.88\theta^{-2}$	300-3500	0.30
H <sub>2</sub>	$56.505 - 702.74\theta^{-0.75} + 1165.0\theta^{-1} - 560.70\theta^{-1.5}$	300-3500	0.60
CO	$69.145 - 0.70463\theta^{0.75} - 200.77\theta^{-0.5} + 176.76\theta^{-0.75}$	300-3500	0.42
OH	$81.546 - 59.350\theta^{0.25} + 17.329\theta^{0.75} - 4.2660\theta$	300-3500	0.43
NO	$59.283 - 1.7096\theta^{0.5} - 70.613\theta^{-0.5} + 74.889\theta^{-1.5}$	300-3500	0.34
H <sub>2</sub> O	$143.05 - 183.54\theta^{0.25} + 82.751\theta^{0.5} - 3.6989\theta$	300-3500	0.43
CO <sub>2</sub>	$-3.7357 + 30.529\theta^{0.5} - 4.1034\theta + 0.024198\theta^2$	300-3500	0.19
NO <sub>2</sub>	$46.045 + 216.10\theta^{-0.5} - 363.66\theta^{-0.75} + 232.550\theta^{-2}$	300-3500	0.26
CH <sub>4</sub>	$-672.87 + 439.74\theta^{0.25} - 24.875\theta^{0.75} + 323.88\theta^{-0.5}$	300-2000	0.15
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	$-95.395 + 123.15\theta^{0.5} - 35.641\theta^{0.75} + 182.77\theta^{-3}$	300-2000	0.07

KAYNAK: G. J. Van Wylen ve R. E. Sonntag, *Fundamentals of Classical Thermodynamics*, Wiley

Tablo B-5E Değişik İdeal Gazların Sabit Basıncıta Özgül Isısı

$$\theta \equiv T(\text{Rankine})/180$$

Gaz	$C_p$ Btu/lbmol-°R	Aralık °R	Maks. Hata %
N <sub>2</sub>	$9.3355 - 122.56\theta^{-1.5} + 256.38\theta^{-2} - 196.08\theta^{-3}$	540-6300	0.43
O <sub>2</sub>	$8.9465 + 4.8044 \times 10^{-3}\theta^{1.5} - 42.679\theta^{-1.5} + 56.615\theta^{-2}$	540-6300	0.30
H <sub>2</sub>	$13.505 - 167.96\theta^{-0.75} + 278.44\theta^{-1} - 134.01\theta^{-1.5}$	540-6300	0.60
CO	$16.526 - 0.16841\theta^{0.75} - 47.985\theta^{-0.5} + 42.246\theta^{-0.75}$	540-6300	0.42
OH	$19.490 - 14.185\theta^{0.25} + 4.1418\theta^{0.75} - 1.0196\theta$	540-6300	0.43
NO	$14.169 - 0.40861\theta^{0.5} - 16.877\theta^{-0.5} + 17.899\theta^{-1.5}$	540-6300	0.34
H <sub>2</sub> O	$34.190 - 43.868\theta^{0.25} + 19.778\theta^{0.5} - 0.88407\theta$	540-6300	0.43
CO <sub>2</sub>	$-0.89286 + 7.2967\theta^{0.5} - 0.98074\theta + 5.7835 \times 10^{-3}\theta^{-2}$	540-6300	0.19
NO <sub>2</sub>	$11.005 + 51.650\theta^{0.5} - 86.916\theta^{0.75} + 55.580\theta^{-2}$	540-6300	0.26
CH <sub>4</sub>	$-160.82 + 105.10\theta^{0.25} - 5.9452\theta^{0.75} + 77.408\theta^{-0.5}$	540-3600	0.15
C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	$-22.800 + 29.433\theta^{0.5} - 8.5185\theta^{0.75} + 43.683\theta^{-3}$	540-3600	0.07

KAYNAK: G. J. Van Wylen ve R. E. Sonntag, *Fundamentals of Classical Thermodynamics*, Wiley, New York, 1976

Tablo B-6 Oluşum Entalpisi ve Buharlaştırma Entalpisi

25 °C (77 °F), 1 atm

Madde	Formül	$\bar{h}_f^\circ$ , kJ/kmol	$\bar{h}_{fg}$ , kJ/kmol	$\bar{h}_f^\circ$ , Btu/lbmol	$\bar{h}_{fg}$ , Btu/lbmol
Karbon	C(s)	0		0	
Hidrojen	H <sub>2</sub> (g)	0		0	
Azot	N <sub>2</sub> (g)	0		0	
Oksijen	O <sub>2</sub> (g)	0		0	
Karbonmonoksit	CO(g)	-110 530		-47,540	
Karbondioksit	CO <sub>2</sub> (g)	-393 520		-169,300	
Su	H <sub>2</sub> O(g)	-241 820		-104,040	
Su	H <sub>2</sub> O(l)	-285 830	44 010	-122,970	
Hidrojen peroksit	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (g)	-136 310	61 090	-58,640	26,260
Amonyak	NH <sub>3</sub> (g)	-46 190		-19,750	
Oksijen	O(g)	249 170		+ 107,210	
Hidrojen	H(g)	218 000		+ 93,780	
Azot	N(g)	472 680		+203,340	
Hidroksil	OH(g)	39 040		+ 16,790	
Metan	CH <sub>4</sub> (g)	-74 850		-32,210	
Asetilen (Etin)	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (g)	226 730		+ 97,540	
Etilen (Etin)	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (g)	52 280		+ 22,490	
Etan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (g)	-84 680		-36,420	
Propilen (Propen)	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> (g)	20 410		+ 8,790	
Propan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (g)	-103 850	15 060	-44,680	6,480
n-Bütan	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (g)	-126 150	21 060	-54,270	9,060
n-Pentan	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> (g)	-146 440	31 410		
n-Oktan	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> (g)	-208 450	41 460	-89,680	17,835
Benzen	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (g)	82 930	33 830	+ 35,680	14,550
Metil alkol	CH <sub>3</sub> OH(g)	-200 890	37 900	-86,540	16,090
Etil alkol	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH(g)	-235 310	42 340	-101,230	18,220

KAYNAK: JANAF Thermochemical Tables, NSRDS-NBS-37, 1971; *Selected Values of Chemical Thermodynamic Properties*, NBS Technical Note 270-3, 1968; and API Res. Project 44, Carnegie Press, Carnegie Institute of Technology, Pittsburgh, 1953.

**Tablo B-7 Oluşum Entalpisi ve Buharlaştırma Entalpisi**

25 °C (77 °F), 1 atm

Madde	Formül	-ÜİD, kJ/kmol	$\bar{h}_{fg}$ , kJ/kmol	-ÜİD, Btu/lbmol	$\bar{h}_{fg}$ , Btu/lbmol
Hidrojen	H <sub>2</sub> (g)	-285 840		-122,970	
Karbon	C(s)	-393 520		-169,290	
Karbonmonoksit	CO(g)	-282 990		-121,750	
Metan	CH <sub>4</sub> (g)	-890 360		-383,040	
Asetilen	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (g)	-1 299 600		-559,120	
Etilen	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (g)	-1 410 970		-607,010	
Etan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (g)	-1 559 900		-671,080	
Propilen	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> (g)	-2 058 500		-885,580	
Propan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (g)	-2 220 000	15 060	-955,070	6,480
n-Bütan	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (g)	-2 877 100	21 060	-1,237,800	9,060
n-Pentan	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub> (g)	-3 536 100	26 410	-1,521,300	11,360
n-Hekzan	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub> (g)	-4 194 800	31 530	-1,804,600	13,560
n-Heptan	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub> (g)	-4 853 500	36 520	-2,088,000	15,710
n-Oktan	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> (g)	-5 512 200	41 460	-2,371,400	17,835
Benzen	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (g)	-3 301 500	33 830	-1,420,300	14,550
Tolüen	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub> (g)	-3 947 900	39 920	-1,698,400	17,180
Metil alkol	CH <sub>3</sub> OH(g)	-764 540	37 900	-328,700	16,090
Etil alkol	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH(g)	-1 409 300	42 340	-606,280	18,220

Not: Su, yanma ürünlerinde sıvı olarak görülür.

KAYNAK: Kenneth Wark, *Thermodynamics*, 3d ed., McGraw-Hill, New York, 1981, pp. 834-835, Table A-23M.

**Tablo B-8 Van der Waals ve Redlich-Kwong Hâl Denklemi İçin Sabitler**

Van der Waals Denklemi				
	$a$ , kPa·m <sup>6</sup> /kg <sup>2</sup>	$b$ , m <sup>3</sup> /kg	$a$ , lbf·ft <sup>4</sup> /lbm <sup>2</sup>	$b$ , ft <sup>3</sup> /lbm
Hava	0.1630	0.00127	870	0.0202
Amonyak	1.468	0.00220	7850	0.0351
Karbon dioksit	0.1883	0.000972	1010	0.0156
Karbonmonoksit	0.1880	0.00141	1010	0.0227
Freon 12	0.0718	0.000803	394	0.0132
Helyum	0.214	0.00587	1190	0.0959
Hidrojen	6.083	0.0132	32,800	0.212
Metan	0.888	0.00266	4780	0.0427
Azot	0.1747	0.00138	934	0.0221
Oksijen	0.1344	0.000993	720	0.0159
Propan	0.481	0.00204	2580	0.0328
Su	1.703	0.00169	9130	0.0271

Tablo B-8 (Devamı)

Redlich-Kwong Denklemi				
	$a$ , kPa·m <sup>6</sup> ·K <sup>1/2</sup> /kg <sup>2</sup>	$b$ , m <sup>3</sup> /kg	$a$ , lbf·ft <sup>4</sup> ·°R <sup>1/2</sup> /lbm <sup>2</sup>	$b$ , ft <sup>3</sup> /lbm
Hava	1.905	0.000878	13,600	0.014
Amonyak	30.0	0.00152	215,000	0.0243
Karbondioksit	3.33	0.000674	24,000	0.0108
Karbonmonoksit	2.20	0.000978	15,900	0.0157
Freon 12	1.43	0.000557	10,500	0.00916
Helyum	0.495	0.00407	3,710	0.0665
Hidrojen	35.5	0.00916	257,000	0.147
Metan	12.43	0.00184	89,700	0.0296
Azot	1.99	0.000957	14,300	0.0153
Oksijen	1.69	0.000689	12,200	0.0110
Propan	9.37	0.00141	67,600	0.0228
Su	43.9	0.00117	316,000	0.0188



# Suyun Termodinamik Özellikleri (Buhar Tabloları)

Tablo C-1 Doymuş Suyun Özellikleri—Sıcaklık Tablosu

$T, ^\circ\text{C}$	$P, \text{MPa}$	Hacim, $\text{m}^3/\text{kg}$		Enerji, $\text{kJ}/\text{kg}$		Entalpi, $\text{kJ}/\text{kg}$			Entropi, $\text{kJ}/\text{kg}\cdot\text{K}$		
		$v_f$	$v_g$	$u_f$	$u_g$	$h_f$	$h_{fg}$	$h_g$	$s_f$	$s_{fg}$	$s_g$
0.010	0.0006113	0.001000	206.1	0.0	2375.3	0.0	2501.3	2501.3	0.0000	9.1571	9.1571
2	0.0007056	0.001000	179.9	8.4	2378.1	8.4	2496.6	2505.0	0.0305	9.0738	9.1043
5	0.0008721	0.001000	147.1	21.0	2382.2	21.0	2489.5	2510.5	0.0761	8.9505	9.0266
10	0.001228	0.001000	106.4	42.0	2389.2	42.0	2477.7	2519.7	0.1510	8.7506	8.9016
15	0.001705	0.001001	77.93	63.0	2396.0	63.0	2465.9	2528.9	0.2244	8.5578	8.7822
20	0.002338	0.001002	57.79	83.9	2402.9	83.9	2454.2	2538.1	0.2965	8.3715	8.6680
25	0.003169	0.001003	43.36	104.9	2409.8	104.9	2442.3	2547.2	0.3672	8.1916	8.5588
30	0.004246	0.001004	32.90	125.8	2416.6	125.8	2430.4	2556.2	0.4367	8.0174	8.4541
35	0.005628	0.001006	25.22	146.7	2423.4	146.7	2418.6	2565.3	0.5051	7.8488	8.3539
40	0.007383	0.001008	19.52	167.5	2430.1	167.5	2406.8	2574.3	0.5723	7.6855	8.2578
45	0.009593	0.001010	15.26	188.4	2436.8	188.4	2394.8	2583.2	0.6385	7.5271	8.1656
50	0.01235	0.001012	12.03	209.3	2443.5	209.3	2382.8	2592.1	0.7036	7.3735	8.0771
55	0.01576	0.001015	9.569	230.2	2450.1	230.2	2370.7	2600.9	0.7678	7.2243	7.9921
60	0.01994	0.001017	7.671	251.1	2456.6	251.1	2358.5	2609.6	0.8310	7.0794	7.9104
65	0.02503	0.001020	6.197	272.0	2463.1	272.0	2346.2	2618.2	0.8934	6.9384	7.8318
70	0.03119	0.001023	5.042	292.9	2469.5	293.0	2333.8	2626.8	0.9549	6.8012	7.7561
75	0.03858	0.001026	4.131	313.9	2475.9	313.9	2321.4	2635.3	1.0155	6.6678	7.6833
80	0.04739	0.001029	3.407	334.8	2482.2	334.9	2308.8	2643.7	1.0754	6.5376	7.6130
85	0.05783	0.001032	2.828	355.8	2488.4	355.9	2296.0	2651.9	1.1344	6.4109	7.5453
90	0.07013	0.001036	2.361	376.8	2494.5	376.9	2283.2	2660.1	1.1927	6.2872	7.4799
95	0.08455	0.001040	1.982	397.9	2500.6	397.9	2270.2	2668.1	1.2503	6.1664	7.4167

Tablo C-1 (Devamı)

T, °C	P, MPa	Hacim, m <sup>3</sup> /kg		Enerji, kJ/kg		Entalpi, kJ/kg			Entropi, kJ/kg·K		
		$v_f$	$v_g$	$u_f$	$u_g$	$h_f$	$h_{fg}$	$h_g$	$s_f$	$s_{fg}$	$s_g$
100	0.1013	0.001044	1.673	418.9	2506.5	419.0	2257.0	2676.0	1.3071	6.0486	7.3557
110	0.1433	0.001052	1.210	461.1	2518.1	461.3	2230.2	2691.5	1.4188	5.8207	7.2395
120	0.1985	0.001060	0.8919	503.5	2529.2	503.7	2202.6	2706.3	1.5280	5.6024	7.1304
130	0.2701	0.001070	0.6685	546.0	2539.9	546.3	2174.2	2720.5	1.6348	5.3929	7.0277
140	0.3613	0.001080	0.5089	588.7	2550.0	589.1	2144.8	2733.9	1.7395	5.1912	6.9307
150	0.4758	0.001090	0.3928	631.7	2559.5	632.2	2114.2	2746.4	1.8422	4.9965	6.8387
160	0.6178	0.001102	0.3071	674.9	2568.4	675.5	2082.6	2758.1	1.9431	4.8079	6.7510
170	0.7916	0.001114	0.2428	718.3	2576.5	719.2	2049.5	2768.7	2.0423	4.6249	6.6672
180	1.002	0.001127	0.1941	762.1	2583.7	763.2	2015.0	2778.2	2.1400	4.4466	6.5866
190	1.254	0.001141	0.1565	806.2	2590.0	807.5	1978.8	2786.4	2.2363	4.2724	6.5087
200	1.554	0.001156	0.1274	850.6	2595.3	852.4	1940.8	2793.2	2.3313	4.1018	6.4331
210	1.906	0.001173	0.1044	895.5	2599.4	897.7	1900.8	2798.5	2.4253	3.9340	6.3593
220	2.318	0.001190	0.08620	940.9	2602.4	943.6	1858.5	2802.1	2.5183	3.7686	6.2869
230	2.795	0.001209	0.07159	986.7	2603.9	990.1	1813.9	2804.0	2.6105	3.6050	6.2155
240	3.344	0.001229	0.05977	1033.2	2604.0	1037.3	1766.5	2803.8	2.7021	3.4425	6.1446
250	3.973	0.001251	0.05013	1080.4	2602.4	1085.3	1716.2	2801.5	2.7933	3.2805	6.0738
260	4.688	0.001276	0.04221	1128.4	2599.0	1134.4	1662.5	2796.9	2.8844	3.1184	6.0028
270	5.498	0.001302	0.03565	1177.3	2593.7	1184.5	1605.2	2789.7	2.9757	2.9553	5.9310
280	6.411	0.001332	0.03017	1227.4	2586.1	1236.0	1543.6	2779.6	3.0674	2.7905	5.8579
290	7.436	0.001366	0.02557	1278.9	2576.0	1289.0	1477.2	2766.2	3.1600	2.6230	5.7830
300	8.580	0.001404	0.02168	1332.0	2563.0	1344.0	1405.0	2749.0	3.2540	2.4513	5.7053
310	9.856	0.001447	0.01835	1387.0	2546.4	1401.3	1326.0	2727.3	3.3500	2.2739	5.6239
320	11.27	0.001499	0.01549	1444.6	2525.5	1461.4	1238.7	2700.1	3.4487	2.0883	5.5370
330	12.84	0.001561	0.01300	1505.2	2499.0	1525.3	1140.6	2665.9	3.5514	1.8911	5.4425
340	14.59	0.001638	0.01080	1570.3	2464.6	1594.2	1027.9	2622.1	3.6601	1.6765	5.3366
350	16.51	0.001740	0.008815	1641.8	2418.5	1670.6	893.4	2564.0	3.7784	1.4338	5.2122
360	18.65	0.001892	0.006947	1725.2	2351.6	1760.5	720.7	2481.2	3.9154	1.1382	5.0536
370	21.03	0.002213	0.004931	1844.0	2229.0	1890.5	442.2	2332.7	4.1114	0.6876	4.7990
374.136	22.088	0.003155	0.003155	2029.6	2029.6	2099.3	0.0	2099.3	4.4305	0.0000	4.4305

KAYNAK: Keenan, Keyes, Hill, and Moore, *Steam Tables*, Wiley, New York, 1969; G. J. Van Wylen and R. E. Sonntag, *Fundamentals of Classical Thermodynamics*, Wiley, New York, 1973.

**Tablo C-2 Doymuş Suyun Özellikleri—Basınç Tablosu**

P, MPa	T, °C	Hacim, m <sup>3</sup> /kg		Enerji, kJ/kg		Entalpi, kJ/kg			Entropi, kJ/kg·K		
		<i>v<sub>f</sub></i>	<i>v<sub>g</sub></i>	<i>u<sub>f</sub></i>	<i>u<sub>g</sub></i>	<i>h<sub>f</sub></i>	<i>h<sub>fg</sub></i>	<i>h<sub>g</sub></i>	<i>s<sub>f</sub></i>	<i>s<sub>fg</sub></i>	<i>s<sub>g</sub></i>
0.000611	0.01	0.001000	206.1	0.0	2375.3	0.0	2501.3	2501.3	0.0000	9.1571	9.1571
0.0008	3.8	0.001000	159.7	15.8	2380.5	15.8	2492.5	2508.3	0.0575	9.0007	9.0582
0.001	7.0	0.001000	129.2	29.3	2385.0	29.3	2484.9	2514.2	0.1059	8.8706	8.9765
0.0012	9.7	0.001000	108.7	40.6	2388.7	40.6	2478.5	2519.1	0.1460	8.7639	8.9099
0.0014	12.0	0.001001	93.92	50.3	2391.9	50.3	2473.1	2523.4	0.1802	8.6736	8.8538
0.0016	14.0	0.001001	82.76	58.9	2394.7	58.9	2468.2	2527.1	0.2101	8.5952	8.8053
0.0018	15.8	0.001001	74.03	66.5	2397.2	66.5	2464.0	2530.5	0.2367	8.5259	8.7626
0.002	17.5	0.001001	67.00	73.5	2399.5	73.5	2460.0	2533.5	0.2606	8.4639	8.7245
0.003	24.1	0.001003	45.67	101.0	2408.5	101.0	2444.5	2545.5	0.3544	8.2240	8.5784
0.004	29.0	0.001004	34.80	121.4	2415.2	121.4	2433.0	2554.4	0.4225	8.0529	8.4754
0.006	36.2	0.001006	23.74	151.5	2424.9	151.5	2415.9	2567.4	0.5208	7.8104	8.3312
0.008	41.5	0.001008	18.10	173.9	2432.1	173.9	2403.1	2577.0	0.5924	7.6371	8.2295
0.01	45.8	0.001010	14.67	191.8	2437.9	191.8	2392.8	2584.6	0.6491	7.5019	8.1510
0.012	49.4	0.001012	12.36	206.9	2442.7	206.9	2384.1	2591.0	0.6961	7.3910	8.0871
0.014	52.6	0.001013	10.69	220.0	2446.9	220.0	2376.6	2596.6	0.7365	7.2968	8.0333
0.016	55.3	0.001015	9.433	231.5	2450.5	231.5	2369.9	2601.4	0.7719	7.2149	7.9868
0.018	57.8	0.001016	8.445	241.9	2453.8	241.9	2363.9	2605.8	0.8034	7.1425	7.9459
0.02	60.1	0.001017	7.649	251.4	2456.7	251.4	2358.3	2609.7	0.8319	7.0774	7.9093
0.03	69.1	0.001022	5.229	289.2	2468.4	289.2	2336.1	2625.3	0.9439	6.8256	7.7695
0.04	75.9	0.001026	3.993	317.5	2477.0	317.6	2319.1	2636.7	1.0260	6.6449	7.6709
0.06	85.9	0.001033	2.732	359.8	2489.6	359.8	2293.7	2653.5	1.1455	6.3873	7.5328
0.08	93.5	0.001039	2.087	391.6	2498.8	391.6	2274.1	2665.7	1.2331	6.2023	7.4354
0.1	99.6	0.001043	1.694	417.3	2506.1	417.4	2258.1	2675.5	1.3029	6.0573	7.3602
0.12	104.8	0.001047	1.428	439.2	2512.1	439.3	2244.2	2683.5	1.3611	5.9378	7.2980
0.14	109.3	0.001051	1.237	458.2	2517.3	458.4	2232.0	2690.4	1.4112	5.8360	7.2472
0.16	113.3	0.001054	1.091	475.2	2521.8	475.3	2221.2	2696.5	1.4553	5.7472	7.2025
0.18	116.9	0.001058	0.9775	490.5	2525.9	490.7	2211.1	2701.8	1.4948	5.6683	7.1631
0.2	120.2	0.001061	0.8857	504.5	2529.5	504.7	2201.9	2706.6	1.5305	5.5975	7.1280
0.3	133.5	0.001073	0.6058	561.1	2543.6	561.5	2163.8	2725.3	1.6722	5.3205	6.9927
0.4	143.6	0.001084	0.4625	604.3	2553.6	604.7	2133.8	2738.5	1.7770	5.1197	6.8967
0.6	158.9	0.001101	0.3157	669.9	2567.4	670.6	2086.2	2756.8	1.9316	4.8293	6.7609
0.8	170.4	0.001115	0.2404	720.2	2576.8	721.1	2048.0	2769.1	2.0466	4.6170	6.6636
1	179.9	0.001127	0.1944	761.7	2583.6	762.8	2015.3	2778.1	2.1391	4.4482	6.5873
1.2	188.0	0.001139	0.1633	797.3	2588.8	798.6	1986.2	2784.8	2.2170	4.3072	6.5242
1.4	195.1	0.001149	0.1408	828.7	2592.8	830.3	1959.7	2790.0	2.2847	4.1854	6.4701
1.6	201.4	0.001159	0.1238	856.9	2596.0	858.8	1935.2	2794.0	2.3446	4.0780	6.4226
1.8	207.2	0.001168	0.1104	882.7	2598.4	884.8	1912.3	2797.1	2.3986	3.9816	6.3802
2	212.4	0.001177	0.09963	906.4	2600.3	908.8	1890.7	2799.5	2.4478	3.8939	6.3417
3	233.9	0.001216	0.06668	1004.8	2604.1	1008.4	1795.7	2804.1	2.6462	3.5416	6.1878
4	250.4	0.001252	0.04978	1082.3	2602.3	1087.3	1714.1	2801.4	2.7970	3.2739	6.0709
6	275.6	0.001319	0.03244	1205.4	2589.7	1213.3	1571.0	2784.3	3.0273	2.8627	5.8900
8	295.1	0.001384	0.02352	1305.6	2569.8	1316.6	1441.4	2758.0	3.2075	2.5365	5.7440
10	311.1	0.001452	0.01803	1393.0	2544.4	1407.6	1317.1	2724.7	3.3603	2.2546	5.6149
12	324.8	0.001527	0.01426	1472.9	2513.7	1491.3	1193.6	2684.9	3.4970	1.9963	5.4933
14	336.8	0.001611	0.01149	1548.6	2476.8	1571.1	1066.5	2637.6	3.6240	1.7486	5.3726
16	347.4	0.001711	0.009307	1622.7	2431.8	1650.0	930.7	2580.7	3.7468	1.4996	5.2464
18	357.1	0.001840	0.007491	1698.9	2374.4	1732.0	777.2	2509.2	3.8722	1.2332	5.1054
20	365.8	0.002036	0.005836	1785.6	2293.2	1826.3	583.7	2410.0	4.0146	0.9135	4.9281
22.088	374.136	0.003155	0.003155	2029.6	2029.6	2099.3	0.0	2099.3	4.4305	0.0000	4.4305

KAYNAK: Keenan, Keyes, Hill, and Moore, *Steam Tables*, Wiley, New York, 1969; G. J. Van Wylen and R. E. Sonntag, *Fundamentals of Classical Thermodynamics*, Wiley, New York, 1973.

**Tablo C-3 Kızgın Buhar** [ $T$  (°C),  $v$  (m<sup>3</sup>/kg),  $u$  ve  $h$  (kJ/kg),  $s$  (kJ/kg·K) olarak verilmiştir.]

$T$	$v$	$u$	$h$	$s$	$v$	$u$	$h$	$s$	$v$	$u$	$h$	$s$
	$P = 0.010$ MPa (45.81 °C)				$P = 0.050$ MPa (81.33 °C)				$P = 0.10$ MPa (99.63 °C)			
Doy.	14.674	2437.9	2584.7	8.1502	3.240	2483.9	2645.9	7.5939	1.6940	2506.1	2675.5	7.3594
50	14.869	2443.9	2592.6	8.1749								
100	17.196	2515.5	2687.5	8.4479	3.418	2511.6	2682.5	7.6947	1.6958	2506.7	2676.2	7.3614
150	19.512	2587.9	2783.0	8.6882	3.889	2585.6	2780.1	7.9401	1.9364	2582.8	2776.4	7.6134
200	21.825	2661.3	2879.5	8.9038	4.356	2659.9	2877.7	8.1580	2.172	2658.1	2875.3	7.8343
250	24.136	2736.0	2977.3	9.1002	4.820	2735.0	2976.0	8.3556	2.406	2733.7	2974.3	8.0333
300	26.445	2812.1	3076.5	9.2813	5.284	2811.3	3075.5	8.5373	2.639	2810.4	3074.3	8.2158
400	31.063	2968.9	3279.6	9.6077	6.209	2968.5	3278.9	8.8642	3.103	2967.9	3278.2	8.5435
500	35.679	3132.3	3489.1	9.8978	7.134	3132.0	3488.7	9.1546	3.565	3131.6	3488.1	8.8342
600	40.295	3302.5	3705.4	10.1608	8.057	3302.2	3705.1	9.4178	4.028	3301.9	3704.7	9.0976
700	44.911	3479.6	3928.7	10.4028	8.981	3479.4	3928.5	9.6599	4.490	3479.2	3928.2	9.3398
800	49.526	3663.8	4159.0	10.6281	9.904	3663.6	4158.9	9.8852	4.952	3663.5	4158.6	9.5652
900	54.141	3855.0	4396.4	10.8396	10.828	3854.9	4396.3	10.0967	5.414	3854.8	4396.1	9.7767
1000	58.757	4053.0	4640.6	11.0393	11.751	4052.9	4640.5	10.2964	5.875	4052.8	4640.3	9.9764
1100	63.372	4257.5	4891.2	11.2287	12.674	4257.4	4891.1	10.4859	6.337	4257.3	4891.0	10.1659
1200	67.987	4467.9	5147.8	11.4091	13.597	4467.8	5147.7	10.6662	6.799	4467.7	5147.6	10.3463
1300	72.602	4683.7	5409.7	11.5811	14.521	4683.6	5409.6	10.8382	7.260	4683.5	5409.5	10.5183
	$P = 0.20$ MPa (120.23 °C)				$P = 0.30$ MPa (133.55 °C)				$P = 0.40$ MPa (143.63 °C)			
Doy.	.8857	2529.5	2706.7	7.1272	.6058	2543.6	2725.3	6.9919	.4625	2553.6	2738.6	6.8959
150	.9596	2576.9	2768.8	7.2795	.6339	2570.8	2761.0	7.0778	.4708	2564.5	2752.8	6.9299
200	1.0803	2654.4	2870.5	7.5066	.7163	2650.7	2865.6	7.3115	.5342	2646.8	2860.5	7.1706
250	1.1988	2731.2	2971.0	7.7086	.7964	2728.7	2967.6	7.5166	.5951	2726.1	2964.2	7.3789
300	1.3162	2808.6	3071.8	7.8926	.8753	2806.7	3069.3	7.7022	.6548	2804.8	3066.8	7.5662
400	1.5493	2966.7	3276.6	8.2218	1.0315	2965.6	3275.6	8.0330	.7726	2964.4	3273.4	7.8985
500	1.7814	3130.8	3487.1	8.5133	1.1867	3130.0	3486.0	8.3251	.8893	3129.2	3484.9	8.1913
600	2.013	3301.4	3704.0	8.7770	1.3414	3300.8	3703.2	8.5892	1.0055	3300.2	3702.4	8.4558
700	2.244	3478.8	3927.6	9.0194	1.4957	3478.4	3927.1	8.8319	1.1215	3477.9	3926.5	8.6987
800	2.475	3663.1	4158.2	9.2449	1.6499	3662.9	4157.8	9.0576	1.2372	3662.4	4157.3	8.9244
900	2.706	3854.5	4395.8	9.4566	1.8041	3854.2	4395.4	9.2692	1.3529	3853.9	4395.1	9.1362
1000	2.937	4052.5	4640.0	9.6563	1.9581	4052.3	4639.7	9.4690	1.4685	4052.0	4639.4	9.3360
1100	3.168	4257.0	4890.7	9.8458	2.1121	4256.5	4890.4	9.6585	1.5840	4256.5	4890.2	9.5256
1200	3.399	4467.5	5147.3	10.0262	2.2661	4467.2	5147.1	9.8389	1.6996	4467.0	5146.8	9.7060
1300	3.630	4683.2	5409.3	10.1982	2.4201	4683.0	5409.0	10.0110	1.8151	4682.8	5408.8	9.8780
	$P = 0.50$ MPa (151.86 °C)				$P = 0.60$ MPa (158.85 °C)				$P = 0.80$ MPa (170.43 °C)			
Doy.	.3749	2561.2	2748.7	6.8213	.3157	2567.4	2756.8	6.7600	.2404	2576.8	2769.1	6.6628
200	.4249	2642.9	2855.4	7.0592	.3520	2638.9	2850.1	6.9665	.2608	2630.6	2839.3	6.8158
250	.4744	2723.5	2960.7	7.2709	.3938	2720.9	2957.2	7.1816	.2931	2715.5	2950.0	7.0384
300	.5226	2802.9	3064.2	7.4599	.4344	2801.0	3061.6	7.3724	.3241	2797.2	3056.5	7.2328
350	.5701	2882.6	3167.7	7.6329	.4742	2881.2	3165.7	7.5464	.3544	2878.2	3161.7	7.4089
400	.6173	2963.2	3271.9	7.7938	.5137	2962.1	3270.3	7.7079	.3843	2959.7	3267.1	7.5716
500	.7109	3128.4	3483.9	8.0873	.5920	3127.6	3482.8	8.0021	.4433	3126.0	3480.6	7.8673
600	.8041	3299.6	3701.7	8.3522	.6697	3299.1	3700.9	8.2674	.5018	3297.9	3699.4	8.1333
700	.8969	3477.5	3925.9	8.5952	.7472	3477.0	3925.3	8.5107	.5601	3476.2	3924.2	8.3770
800	.9896	3662.1	4156.9	8.8211	.8245	3661.8	4156.5	8.7367	.6181	3661.1	4155.6	8.6033
900	1.0822	3853.6	4394.7	9.0329	.9017	3853.4	4394.4	8.9486	.6761	3852.8	4393.7	8.8153
1000	1.1747	4051.8	4639.1	9.2328	.9788	4051.5	4638.8	9.1485	.7340	4051.0	4638.2	9.0153
1100	1.2672	4256.3	4889.9	9.4224	1.0559	4256.1	4889.6	9.3381	.7919	4255.6	4889.1	9.2050
1200	1.3596	4466.8	5146.6	9.6029	1.1330	4466.5	5146.3	9.5185	.8497	4466.1	5145.9	9.3855
1300	1.4521	4682.5	5408.6	9.7749	1.2101	4682.3	5408.3	9.6906	.9076	4681.8	5407.9	9.5575

**Tablo C-3 (Devamı)**

T	P = 1.00 MPa (179.91 °C)				P = 1.20 MPa (187.99 °C)				P = 1.40 MPa (195.07 °C)			
	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s
Doy.	.19 444	2583.6	2778.1	6.5865	.163 33	2588.8	2784.8	6.5233	.140 84	2592.8	2790.0	6.4693
200	.2060	2621.9	2827.9	6.6940	.169 30	2612.8	2815.9	6.5898	.143 02	2603.1	2803.3	6.4975
250	.2327	2709.9	2942.6	6.9247	.192 34	2704.2	2935.0	6.8294	.163 50	2698.3	2927.2	6.7467
300	.2579	2793.2	3051.2	7.1229	.2138	2789.2	3045.8	7.0317	.182 28	2785.2	3040.4	6.9534
350	.2825	2875.2	3157.7	7.3011	.2345	2872.2	3153.6	7.2121	.2003	2869.2	3149.5	7.1360
400	.3066	2957.3	3263.9	7.4651	.2548	2954.9	3260.7	7.3774	.2178	2952.5	3257.5	7.3026
500	.3541	3124.4	3478.5	7.7622	.2946	3122.8	3476.3	7.6759	.2521	3321.1	3474.1	7.6027
600	.4011	3296.8	3697.9	8.0290	.3339	3295.6	3696.3	7.9435	.2860	3294.4	3694.8	7.8710
700	.4478	3475.3	3923.1	8.2731	.3729	3474.4	3922.0	8.1881	.3195	3473.6	3920.8	8.1160
800	.4943	3660.4	4154.7	8.4996	.4118	3659.7	4153.8	8.4148	.3528	3659.0	4153.0	8.8431
900	.5407	3852.2	4392.9	8.7118	.4505	3851.6	4392.2	8.6272	.3861	3851.1	4391.5	8.5556
1000	.5871	4050.5	4637.6	8.9119	.4892	4050.0	4637.0	8.8274	.4192	4049.5	4636.4	8.7559
1100	.6335	4255.1	4888.6	9.1017	.5278	4254.6	4888.0	9.0172	.4524	4254.1	4887.5	8.9457
1200	.6798	4465.6	5145.4	9.2822	.5665	4465.1	5144.9	9.1977	.4855	4464.7	5144.4	9.1262
1300	.7261	4681.3	5407.4	9.4543	.6051	4680.9	5407.0	9.3698	.5186	4680.4	5406.5	9.2984
	P = 1.60 MPa (201.41 °C)				P = 1.80 MPa (207.15 °C)				P = 2.00 MPa (212.42 °C)			
Doy.	.123 80	2596.0	2794.0	6.4218	.110 42	2598.4	2797.1	6.3794	.099 63	2600.3	2799.5	6.3409
225	.132 87	2644.7	2857.3	6.5518	.136 73	2636.6	2846.7	6.4808	.103 77	2628.3	2835.8	6.4147
250	.141 84	2692.3	2919.2	6.6732	.124 97	2686.0	2911.0	6.6066	.111 44	2679.6	2902.5	6.5453
300	.158 62	2781.1	3034.8	6.8844	.140 21	2776.9	3029.2	6.8226	.125 47	2772.6	3023.5	6.7664
350	.174 56	2866.1	3145.4	7.0694	.154 57	2863.0	3141.2	7.0100	.138 57	2859.8	3137.0	6.9563
400	.190 05	2950.1	3254.2	7.2374	.168 47	2947.7	3250.9	7.1794	.151 20	2945.2	3247.6	7.1271
500	.2203	3119.5	3472.0	7.5390	.195 50	3117.9	3469.8	7.4825	.175 68	3116.2	3467.6	7.4317
600	.2500	3293.3	3693.2	7.8080	.2220	3292.1	3691.7	7.7523	.199 60	3290.9	3690.1	7.7024
700	.2794	3472.7	3919.7	8.0535	.2482	3471.8	3918.5	7.9983	.2232	3470.9	3917.4	7.9487
800	.3086	3658.3	4152.1	8.2808	.2742	3657.6	4151.2	8.2258	.2467	3657.0	4150.3	8.1765
900	.3377	3850.5	4390.8	8.4935	.3001	3849.9	4390.1	8.4386	.2700	3849.3	4389.4	8.3895
1000	.5668	4049.0	4635.8	8.6938	.3260	4048.5	4635.2	8.6391	.2933	4048.0	4634.6	8.5901
1100	.3958	4253.7	4887.0	8.8837	.3518	4253.2	4886.4	8.8290	.3166	4252.7	4885.9	8.7800
1200	.4248	4464.2	5143.9	9.0643	.3776	4463.7	5143.4	9.0096	.3398	4463.3	5142.9	8.9607
1300	.4538	4679.9	5406.0	9.2364	.4034	4679.5	5405.6	9.1818	.3631	4679.0	5405.1	9.1329
	P = 2.50 MPa (233.99 °C)				P = 3.00 MPa (233.90 °C)				P = 3.50 MPa (242.60 °C)			
Doy.	.079 98	2603.1	2803.1	6.2575	.066 68	2604.1	2804.2	6.1869	.057 07	2603.7	2803.4	6.1253
225	.080 27	2605.6	2806.3	6.2639								
250	.087 00	2662.6	2880.1	6.4085	.070 58	2644.0	2855.8	6.2872	.058 72	2623.7	2829.2	6.1749
300	.098 90	2761.6	3008.8	6.6438	.081 14	2750.1	2993.5	6.5390	.068 42	2738.0	2977.5	6.4461
350	.109 76	2851.9	3126.3	6.8403	.090 53	2843.7	3115.3	6.7428	.076 78	2835.3	3104.0	6.6579
400	.120 10	2939.1	3239.3	7.0148	.099 36	2932.8	3230.9	6.9212	.084 53	2926.4	3222.3	6.8405
450	.130 14	3025.5	3350.8	7.1746	.107 87	3020.4	3344.0	7.0834	.091 96	3015.3	3337.2	7.0052
500	.139 98	3112.1	3462.1	7.3234	.116 19	3108.0	3456.5	7.2338	.099 18	3103.0	3450.9	7.1572
600	.159 30	3288.0	3686.3	7.5960	.132 43	3285.0	3682.3	7.5085	.113 24	3282.1	3678.4	7.4339
700	.178 32	3468.7	3914.5	7.8435	.148 38	3466.5	3911.7	7.7571	.126 99	3464.3	3908.8	7.6837
800	.197 16	3655.3	4148.2	8.0720	.164 14	3653.5	4145.9	7.9862	.140 56	3651.8	4143.7	7.9134
900	.215 90	3847.9	4387.6	8.2853	.179 80	3846.5	4385.9	8.1999	.154 02	3845.0	4384.1	8.1276
1000	.2346	4046.7	4633.1	8.4861	.195 41	4045.4	4631.6	8.4009	.167 43	4044.1	4630.1	8.3288
1100	.2532	4251.5	4884.6	8.6762	.210 98	4250.3	4883.3	8.5912	.180 80	4249.2	4881.9	8.5192
1200	.2718	4462.1	5141.7	8.8569	.226 52	4460.9	5140.5	8.7720	.194 15	4459.8	5139.3	8.7000
1300	.2905	4677.8	5404.0	9.0291	.242 06	4676.6	5402.8	8.9442	.207 49	4675.5	5401.7	8.8723

Tablo C-3 (Devamı)

T	v				u				h				s			
	P = 4.0 MPa (250.40 °C)				P = 4.5 MPa (257.49 °C)				P = 5.0 MPa (263.99 °C)							
	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s				
Doy.	.049 78	2602.3	2801.4	6.0701	.044 06	2600.1	2798.3	6.0198	.039 44	2597.1	2794.3	5.9734				
275	.054 57	2667.9	2886.2	6.2285	.047 30	2650.3	2863.2	6.1401	.041 41	2631.3	2838.3	6.0544				
300	.058 84	2725.3	2960.7	6.3615	.051 35	2712.0	2943.1	6.2828	.045 32	2698.0	2924.5	6.2084				
350	.066 45	2826.7	3092.5	6.5821	.058 40	2817.8	3080.6	6.5131	.051 94	2808.7	3068.4	6.4493				
400	.073 41	2919.9	3213.6	6.7690	.064 75	2913.3	3204.7	6.7047	.057 81	2906.6	3195.7	6.6459				
450	.080 02	3010.2	3330.3	6.9363	.070 74	3005.0	3323.3	6.8746	.063 30	2999.7	3316.2	6.8186				
500	.086 43	3099.5	3445.3	7.0901	.076 51	3095.3	3439.6	7.0301	.068 57	3091.0	3433.8	6.9759				
600	.098 85	3279.1	3674.4	7.3688	.087 65	3276.0	3670.5	7.3110	.078 69	3273.0	3666.5	7.2589				
700	.110 95	3462.1	3905.9	7.6198	.098 47	3459.9	3903.0	7.5631	.088 49	3457.6	3900.1	7.5122				
800	.122 87	3650.0	4141.5	7.8502	.109 11	3648.3	4139.3	7.7942	.098 11	3646.6	4137.1	7.7440				
900	.134 69	3843.6	4382.3	8.0647	.119 65	3842.2	4380.6	8.0091	.107 62	3840.7	4378.8	7.9593				
1000	.146 45	4042.9	4628.7	8.2662	.130 13	4041.6	4627.2	8.2108	.117 07	4040.4	4625.7	8.1612				
1100	.158 17	4248.0	4880.6	8.4567	.140 56	4246.8	4879.3	8.4015	.126 48	4245.6	4878.0	8.3520				
1200	.169 87	4458.6	5138.1	8.6376	.150 98	4457.5	5136.9	8.5825	.135 87	4456.3	5135.7	8.5331				
1300	.181 56	4674.3	5400.5	8.8100	.161 39	4673.1	5399.4	8.7549	.145 26	4672.0	5398.2	8.7055				
	P = 6.0 MPa (275.64 °C)				P = 7.0 MPa (285.88 °C)				P = 8.0 MPa (295.06 °C)							
Doy.	.032 44	2589.7	2784.3	5.8892	.027 37	2580.5	2772.1	5.8133	.023 52	2569.8	2758.0	5.7432				
300	.036 16	2667.2	2884.2	6.0674	.029 47	2632.2	2838.4	5.9305	.024 26	2590.9	2785.0	5.7906				
350	.042 23	2789.6	3043.0	6.3335	.035 24	2769.4	3016.0	6.2283	.029 95	2747.7	2987.3	6.1301				
400	.047 39	2892.9	3177.2	6.5408	.039 93	2878.6	3158.1	6.4478	.034 32	2863.8	3138.3	6.3634				
450	.052 14	2988.9	3301.8	6.7193	.044 16	2978.0	3287.1	6.6327	.038 17	2966.7	3272.0	6.5551				
500	.056 65	3082.2	3422.2	6.8803	.048 14	3073.4	3410.3	6.7975	.041 75	3064.3	3398.3	6.7240				
550	.061 01	3174.6	3540.6	7.0288	.051 95	3167.2	3530.9	6.9486	.045 16	3159.8	3521.0	6.8778				
600	.065 25	3266.9	3658.4	7.1677	.055 65	3260.7	3650.3	7.0894	.048 45	3254.4	3642.0	7.0206				
700	.073 52	3453.1	3894.2	7.4234	.062 83	3448.5	3888.3	7.3476	.054 81	3443.9	3882.4	7.2812				
800	.081 60	3643.1	4132.7	7.6566	.069 81	3639.5	4128.2	7.5822	.060 97	3636.0	4123.8	7.5173				
900	.089 58	3837.8	4375.3	7.8727	.076 69	3835.0	4371.8	7.7991	.067 02	3832.1	4368.3	7.7351				
1000	.097 49	4037.8	4622.7	8.0751	.083 50	4035.3	4619.8	8.0020	.073 01	4032.8	4616.9	7.9384				
1100	.105 36	4243.3	4875.4	8.2661	.090 27	4240.9	4872.8	8.1933	.078 96	4238.6	4870.3	8.1300				
1200	.113 21	4454.0	5133.3	8.4474	.097 03	4451.7	5130.9	8.3747	.084 89	4449.5	5128.5	8.3115				
1300	.121 06	4669.6	5396.0	8.6199	.103 77	4667.3	5393.7	8.5473	.090 80	4665.0	5391.5	8.4842				
	P = 9.0 MPa (303.40 °C)				P = 10.0 MPa (311.06 °C)				P = 12.5 MPa (327.89 °C)							
Doy.	.020 48	2557.8	2742.1	5.6772	.018 026	2544.4	2724.7	5.6141	.013 495	2505.1	2673.8	5.4624				
325	.023 27	2646.6	2856.0	5.8712	.019 861	2610.4	2809.1	5.7568								
350	.025 80	2724.4	2956.6	6.0361	.022 42	2699.4	2923.4	5.9443	.016 126	2624.6	2826.2	5.7118				
400	.029 93	2848.4	3117.8	6.2854	.026 41	2832.4	3096.5	6.2120	.020 00	2789.3	3039.3	6.0417				
450	.033 50	2955.2	3256.6	6.4844	.029 75	2943.4	3240.9	6.4190	.022 99	2912.5	3199.8	6.2719				
500	.036 77	3055.2	3336.1	6.6576	.032 79	3045.8	3373.7	6.5966	.025 60	3021.7	3341.8	6.4618				
550	.039 87	3152.2	3511.0	6.8142	.035 64	3144.6	3500.9	6.7561	.028 01	3125.0	3475.2	6.6290				
600	.042 85	3248.1	3633.7	6.9589	.038 37	3241.7	3625.3	6.9029	.030 29	3225.4	3604.0	6.7810				
650	.045 74	3343.6	3755.3	7.0943	.041 01	3338.2	3748.2	7.0398	.032 48	3324.4	3730.4	6.9218				
700	.048 57	3439.3	3876.5	7.2221	.043 58	3434.7	3870.5	7.1687	.034 60	3422.9	3855.3	7.0536				
800	.054 09	3632.5	4119.3	7.4596	.048 59	3628.9	4114.8	7.4077	.038 69	3620.0	4103.6	7.2965				
900	.059 50	3829.2	4364.3	7.6783	.053 49	3826.3	4361.2	7.6272	.042 67	3819.1	4352.5	7.5182				
1000	.064 85	4030.3	4614.0	7.8821	.058 32	4027.8	4611.0	7.8315	.046 58	4021.6	4603.8	7.7237				
1100	.070 16	4236.3	4867.7	8.0740	.063 12	4234.0	4865.1	8.0237	.050 45	4228.2	4858.8	7.9165				
1200	.075 44	4447.2	5126.2	8.2556	.067 89	4444.9	5123.8	8.2055	.054 30	4439.3	5118.0	8.0987				
1300	.080 72	4662.7	5389.2	8.4284	.072 65	4460.5	5387.0	8.3783	.058 13	4654.8	5381.4	8.2717				



Tablo C-4 Sıkıştırılmış Sıvı

T	P = 5 MPa (263.99°C)				P = 10 MPa (311.06°C)				P = 15 MPa (342.42°C)			
	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s
0	0.000 997 7	0.04	5.04	0.0001	0.000 995 2	0.09	10.04	0.0002	0.000 992 8	0.15	15.05	0.0004
20	0.000 999 5	83.65	88.65	0.2956	0.000 997 2	83.36	93.33	0.2945	0.000 995 0	83.06	97.99	0.2934
40	0.001 005 6	166.95	171.97	0.5705	0.001 003 4	166.35	176.38	0.5686	0.001 001 3	165.76	180.78	0.5666
60	0.001 014 9	250.23	255.30	0.8285	0.001 012 7	249.36	259.49	0.8258	0.001 010 5	248.51	263.67	0.8232
80	0.001 026 8	333.72	338.85	1.0720	0.001 024 5	332.59	342.83	1.0688	0.001 022 2	331.48	346.81	1.0656
100	0.001 041 0	417.52	422.72	1.3030	0.001 038 5	416.12	426.50	1.2992	0.001 036 1	414.74	430.28	1.2955
120	0.001 057 6	501.80	507.09	1.5233	0.001 054 9	500.08	510.64	1.5189	0.001 052 2	498.40	514.19	1.5145
140	0.001 076 8	586.76	592.15	1.7343	0.001 073 7	584.68	595.42	1.7292	0.001 070 7	582.66	598.72	1.7242
160	0.001 098 8	672.62	678.12	1.9375	0.001 095 3	670.13	681.08	1.9317	0.001 091 8	667.71	684.09	1.9260
180	0.001 124 0	759.63	765.25	2.1341	0.001 119 9	756.65	767.84	2.1275	0.001 115 9	753.76	770.50	2.1210
200	0.001 153 0	848.1	853.9	2.3255	0.001 148 0	844.5	856.0	2.3178	0.001 143 3	841.0	858.2	2.3104
220	0.001 186 6	938.4	944.4	2.5128	0.001 180 5	934.1	945.9	2.5039	0.001 174 8	929.9	947.5	2.4953
240	0.001 226 4	1031.4	1037.5	2.6979	0.001 218 7	1026.0	1038.1	2.6872	0.001 211 4	1020.8	1039.0	2.6771
260	0.001 274 9	1127.9	1134.3	2.8830	0.001 264 5	1121.1	1133.7	2.8699	0.001 255 0	1114.6	1133.4	2.8576
T	P = 20 MPa (365.81°C)				P = 30 MPa				P = 50 MPa			
	v	u	h	s	v	u	h	s	v	u	h	s
0	0.000 990 4	0.19	20.01	0.0004	0.000 985 6	0.25	29.82	0.0001	0.000 976 6	0.20	49.03	0.0014
20	0.000 992 8	82.77	102.62	0.2923	0.000 988 6	82.17	111.84	0.2899	0.000 980 4	81.00	130.02	0.2848
40	0.000 999 2	165.17	185.16	0.5646	0.000 995 1	164.04	193.89	0.5607	0.000 987 2	161.86	211.21	0.5527
60	0.001 008 4	247.68	267.85	0.8206	0.001 004 2	246.06	276.19	0.8154	0.000 996 2	242.98	292.79	0.8052
80	0.001 019 9	330.40	350.80	1.0624	0.001 015 6	328.30	358.77	1.0561	0.001 007 3	324.34	374.70	1.0440
100	0.001 033 7	413.39	434.06	1.2917	0.001 029 0	410.78	441.66	1.2844	0.001 020 1	405.88	456.89	1.2703
120	0.001 049 6	496.76	517.76	1.5102	0.001 044 5	493.59	524.93	1.5018	0.001 034 8	487.65	539.39	1.4857
140	0.001 067 8	580.69	602.04	1.7193	0.001 062 1	576.88	608.75	1.7098	0.001 051 5	569.77	622.35	1.6915
160	0.001 088 5	665.35	687.12	1.9204	0.001 082 1	660.82	693.28	1.9096	0.001 070 3	652.41	705.92	1.8891
180	0.001 112 0	750.95	773.20	2.1147	0.001 104 7	745.59	778.73	2.1024	0.001 091 2	735.69	790.25	2.0794
200	0.001 138 8	837.7	860.5	2.3031	0.001 130 2	831.4	865.3	2.2893	0.001 114 6	819.7	875.5	2.2634
240	0.001 204 6	1016.0	1040.0	2.6674	0.001 192 0	1006.9	1042.6	2.6490	0.001 170 2	990.7	1049.2	2.6158
280	0.001 296 5	1204.7	1230.6	3.0248	0.001 275 5	1190.7	1229.0	2.9986	0.001 241 5	1167.2	1229.3	2.9537
320	0.001 443 7	1415.7	1444.6	3.3979	0.001 399 7	1390.7	1432.7	3.3539	0.001 338 8	1353.3	1420.2	3.2868
360	0.001 822 6	1702.8	1739.3	3.8772	0.001 626 5	1626.6	1675.4	3.7494	0.001 483 8	1556.0	1630.2	3.6291

KAYNAK: Keenan, Keyes, Hill, and Moore, *Steam Tables*, Wiley, New York, 1969; G. J. Van Wylen and R. E. Sonntag, *Fundamentals of Classical Thermodynamics*, Wiley, New York, 1973.



Tablo C-5 Doymuş Katı—Buhar

T, °C	P, kPa	Hacim, m <sup>3</sup> /kg		Enerji, kJ/kg			Entalpi, kJ/kg			Entropi, kJ/kg·K		
		Doy. Katı $v_i \times 10^3$	Doy. Buhar $v_g$	Doy. Katı $u_i$	Sübl. $u_{ig}$	Doy. Buhar $u_g$	Doy. Katı $h_i$	Sübl. $h_{ig}$	Doy. Buhar $h_g$	Doy. Katı $s_i$	Sübl. $s_{ig}$	Doy. Buhar $s_g$
0.01	0.6113	1.0908	206.1	-333.40	2708.7	2375.3	-333.40	2834.8	2501.4	-1.221	10.378	9.156
0	0.6108	1.0908	206.3	-333.43	2708.8	2375.3	-333.43	2834.8	2501.3	-1.221	10.378	9.157
-2	0.5176	1.0904	241.7	-337.62	2710.2	2372.6	-337.62	2835.3	2497.7	-1.237	10.456	9.219
-4	0.4375	1.0901	283.8	-341.78	2711.6	2369.8	-341.78	2835.7	2494.0	-1.253	10.536	9.283
-6	0.3689	1.0898	334.2	-345.91	2712.9	2367.0	-345.91	2836.2	2490.3	-1.268	10.616	9.348
-8	0.3102	1.0894	394.4	-350.02	2714.2	2364.2	-350.02	2836.6	2486.6	-1.284	10.698	9.414
-10	0.2602	1.0891	466.7	-354.09	2715.5	2361.4	-354.09	2837.0	2482.9	-1.299	10.781	9.481
-12	0.2176	1.0888	553.7	-358.14	2716.8	2358.7	-358.14	2837.3	2479.2	-1.315	10.865	9.550
-14	0.1815	1.0884	658.8	-362.15	2718.0	2355.9	-362.15	2837.6	2475.5	-1.331	10.950	9.619
-16	0.1510	1.0881	786.0	-366.14	2719.2	2353.1	-366.14	2837.9	2471.8	-1.346	11.036	9.690
-20	0.1035	1.0874	1128.6	-374.03	2721.6	2347.5	-374.03	2838.4	2464.3	-1.377	11.212	9.835
-24	0.0701	1.0868	1640.1	-381.80	2723.7	2342.0	-381.80	2838.7	2456.9	-1.408	11.394	9.985
-28	0.0469	1.0861	2413.7	-389.45	2725.8	2336.4	-389.45	2839.0	2449.5	-1.439	11.580	10.141
-32	0.0309	1.0854	3600	-396.98	2727.8	2330.8	-396.98	2839.1	2442.1	-1.471	11.773	10.303
-36	0.0201	1.0848	5444	-404.40	2729.6	2325.2	-404.40	2839.1	2434.7	-1.501	11.972	10.470
-40	0.0129	1.0841	8354	-411.70	2731.3	2319.6	-411.70	2838.9	2427.2	-1.532	12.176	10.644

KAYNAK: Keenan, Keyes, Hill, and Moore, *Steam Tables*, Wiley, New York, 1969; G. J. Van Wylen and R. E. Sonntag, *Fundamentals of Classical Thermodynamics*, Wiley, New York, 1973.

# EK D

## R134a'nın Termodinamik Özellikleri

Tablo D-1 Doymuş R134a—Sıcaklık Tablosu

Sıcaklık °C	Basınç kPa	Özgül Hacim m <sup>3</sup> /kg		İç Enerji kJ/kg		Entalpi kJ/kg			Entropi kJ/kg·K	
		Doymuş Sıvı $v_f \times 10^3$	Doymuş Buhar $v_g$	Doymuş Sıvı $u_f$	Doymuş Buhar $u_g$	Doymuş Sıvı $h_f$	Buhar- laşma $h_{fg}$	Doymuş Buhar $h_g$	Doymuş Sıvı $s_f$	Doymuş Buhar $s_g$
-40	51.64	0.7055	0.3569	-0.04	204.45	0.00	222.88	222.88	0.0000	0.9560
-36	63.32	0.7113	0.2947	4.68	206.73	4.73	220.67	225.40	0.0201	0.9506
-32	77.04	0.7172	0.2451	9.47	209.01	9.52	218.37	227.90	0.0401	0.9456
-28	93.05	0.7233	0.2052	14.31	211.29	14.37	216.01	230.38	0.0600	0.9411
-26	101.99	0.7265	0.1882	16.75	212.43	16.82	214.80	231.62	0.0699	0.9390
-24	111.60	0.7296	0.1728	19.21	213.57	19.29	213.57	232.85	0.0798	0.9370
-22	121.92	0.7328	0.1590	21.68	214.70	21.77	212.32	234.08	0.0897	0.9351
-20	132.99	0.7361	0.1464	24.17	215.84	24.26	211.05	235.31	0.0996	0.9332
-18	144.83	0.7395	0.1350	26.67	216.97	26.77	209.76	236.53	0.1094	0.9315
-16	157.48	0.7428	0.1247	29.18	218.10	29.30	208.45	237.74	0.1192	0.9298
-12	185.40	0.7498	0.1068	34.25	220.36	34.39	205.77	240.15	0.1388	0.9267
-8	217.04	0.7569	0.0919	39.38	222.60	39.54	203.00	242.54	0.1583	0.9239
-4	252.74	0.7644	0.0794	44.56	224.84	44.75	200.15	244.90	0.1777	0.9213
0	292.82	0.7721	0.0689	49.79	227.06	50.02	197.21	247.23	0.1970	0.9190
4	337.65	0.7801	0.0600	55.08	229.27	55.35	194.19	249.53	0.2162	0.9169
8	387.56	0.7884	0.0525	60.43	231.46	60.73	191.07	251.80	0.2354	0.9150
12	442.94	0.7971	0.0460	65.83	233.63	66.18	187.85	254.03	0.2545	0.9132
16	504.16	0.8062	0.0405	71.29	235.78	71.69	184.52	256.22	0.2735	0.9116
20	571.60	0.8157	0.0358	76.80	237.91	77.26	181.09	258.36	0.2924	0.9102
24	645.66	0.8257	0.0317	82.37	240.01	82.90	177.55	260.45	0.3113	0.9089
26	685.30	0.8309	0.0298	85.18	241.05	85.75	175.73	261.48	0.3208	0.9082
28	726.75	0.8362	0.0281	88.00	242.08	88.61	173.89	262.50	0.3302	0.9076
30	770.06	0.8417	0.0265	90.84	243.10	91.49	172.00	263.50	0.3396	0.9070
32	815.28	0.8473	0.0250	93.70	244.12	94.39	170.09	264.48	0.3490	0.9064
34	862.47	0.8530	0.0236	96.58	245.12	97.31	168.14	265.45	0.3584	0.9058
36	911.68	0.8590	0.0223	99.47	246.11	100.25	166.15	266.40	0.3678	0.9053
38	962.98	0.8651	0.0210	102.38	247.09	103.21	164.12	267.33	0.3772	0.9047

Sıcaklık °C	Basınç kPa	Özgül Hacim m <sup>3</sup> /kg		İç Enerji kJ/kg		Entalpi kJ/kg			Entropi kJ/kg·K	
		Doymuş Sıvı	Doymuş Buhar	Doymuş Sıvı	Doymuş Buhar	Doymuş Sıvı	Buhar- laşma	Doymuş Buhar	Doymuş Sıvı	Doymuş Buhar
		$v_f \times 10^3$	$v_g$	$u_f$	$u_g$	$h_f$	$h_{fg}$	$h_g$	$s_f$	$s_g$
40	1016.4	0.8714	0.0199	105.30	248.06	106.19	162.05	268.24	0.3866	0.9041
42	1072.0	0.8780	0.0188	108.25	249.02	109.19	159.94	269.14	0.3960	0.9035
44	1129.9	0.8847	0.0177	111.22	249.96	112.22	157.79	270.01	0.4054	0.9030
48	1252.6	0.8989	0.0159	117.22	251.79	118.35	153.33	271.68	0.4243	0.9017
52	1385.1	0.9142	0.0142	123.31	253.55	124.58	148.66	273.24	0.4432	0.9004
56	1527.8	0.9308	0.0127	129.51	255.23	130.93	143.75	274.68	0.4622	0.8990
60	1681.3	0.9488	0.0114	135.82	256.81	137.42	138.57	275.99	0.4814	0.8973
70	2116.2	1.0027	0.0086	152.22	260.15	154.34	124.08	278.43	0.5302	0.8918
80	2632.4	1.0766	0.0064	169.88	262.14	172.71	106.41	279.12	0.5814	0.8827
90	3243.5	1.1949	0.0046	189.82	261.34	193.69	82.63	276.32	0.6380	0.8655
100	3974.2	1.5443	0.0027	218.60	248.49	224.74	34.40	259.13	0.7196	0.8117

KAYNAK: Tablo D-1'den D-3'e D. P. Wilson and R. S. Basu, "Thermodynamic Properties of a New Stratospherically Safe Working Fluid—Refrigerant 134a," *ASHRAE Trans.*, Vol. 94, Pt. 2, 1988, pp. 2095–2118'den alınan denklemlere dayanmaktadır.

Tablo D-2 Doymuş R134a—Basınç Tablosu

Basınç kPa	Sıcaklık °C	Özgül Hacim m <sup>3</sup> /kg		İç Enerji kJ/kg		Entalpi kJ/kg			Entropi kJ/kg·K	
		Doymuş Sıvı	Doymuş Buhar	Doymuş Sıvı	Doymuş Buhar	Doymuş Sıvı	Buhar- laşma	Doymuş Buhar	Doymuş Sıvı	Doymuş Buhar
		$v_f \times 10^3$	$v_g$	$u_f$	$u_g$	$h_f$	$h_{fg}$	$h_g$	$s_f$	$s_g$
60	-37.07	0.7097	0.3100	3.14	206.12	3.46	221.27	224.72	0.0147	0.9520
80	-31.21	0.7184	0.2366	10.41	209.46	10.47	217.92	228.39	0.0440	0.9447
100	-26.43	0.7258	0.1917	16.22	212.18	16.29	215.06	231.35	0.0678	0.9395
120	-22.36	0.7323	0.1614	21.23	214.50	21.32	212.54	233.86	0.0879	0.9354
140	-18.80	0.7381	0.1395	25.66	216.52	25.77	210.27	236.04	0.1055	0.9322
160	-15.62	0.7435	0.1229	29.66	218.32	29.78	208.19	237.97	0.1211	0.9295
180	-12.73	0.7485	0.1098	33.31	219.94	33.45	206.26	239.71	0.1352	0.9273
200	-10.09	0.7532	0.0993	36.69	221.43	36.84	204.46	241.30	0.1481	0.9253
240	-5.37	0.7618	0.0834	42.77	224.07	42.95	201.14	244.09	0.1710	0.9222
280	-1.23	0.7697	0.0719	48.18	226.38	48.39	198.13	246.52	0.1911	0.9197
320	2.48	0.7770	0.0632	53.06	228.43	53.31	195.35	248.66	0.2089	0.9177
360	5.84	0.7839	0.0564	57.54	230.28	57.82	192.76	250.58	0.2251	0.9160
400	8.93	0.7904	0.0509	61.69	231.97	62.00	190.32	252.32	0.2399	0.9145
500	15.74	0.8056	0.0409	70.93	235.64	71.33	184.74	256.07	0.2723	0.9117
600	21.58	0.8196	0.0341	78.99	238.74	79.48	179.71	259.19	0.2999	0.9097
700	26.72	0.8328	0.0292	86.19	241.42	86.78	175.07	261.85	0.3242	0.9080
800	31.33	0.8454	0.0255	92.75	243.78	93.42	170.73	264.15	0.3459	0.9066
900	35.53	0.8576	0.0226	98.79	245.88	99.56	166.62	266.18	0.3656	0.9054
1000	39.39	0.8695	0.0202	104.42	247.77	105.29	162.68	267.97	0.3838	0.9043
1200	46.32	0.8928	0.0166	114.69	251.03	115.76	155.23	270.99	0.4164	0.9023
1400	52.43	0.9159	0.0140	123.98	253.74	125.26	148.14	273.40	0.4453	0.9003
1600	57.92	0.9392	0.0121	132.52	256.00	134.02	141.31	275.33	0.4714	0.8982
1800	62.91	0.9631	0.0105	140.49	257.88	142.22	134.60	276.83	0.4954	0.8959
2000	67.49	0.9878	0.0093	148.02	259.41	149.99	127.95	277.94	0.5178	0.8934
2500	77.59	1.0562	0.0069	165.48	261.84	168.12	111.06	279.17	0.5687	0.8854
3000	86.22	1.1416	0.0053	181.88	262.16	185.30	92.71	278.01	0.6156	0.8735

Tablo D-3 Kızgın Buhar R134a

$T, ^\circ\text{C}$	$v, \text{m}^3/\text{kg}$	$u, \text{kJ/kg}$	$h, \text{kJ/kg}$	$s, \text{kJ/kg}\cdot\text{K}$	$v, \text{m}^3/\text{kg}$	$u, \text{kJ/kg}$	$h, \text{kJ/kg}$	$s, \text{kJ/kg}\cdot\text{K}$
$P = 0.06 \text{ MPa } (-37.07 ^\circ\text{C})$					$P = 0.10 \text{ MPa } (-26.43 ^\circ\text{C})$			
Doy.	0.31003	206.12	224.72	0.9520	0.19170	212.18	231.35	0.9395
-20	0.33536	217.86	237.98	1.0062	0.19770	216.77	236.54	0.9602
-10	0.34992	224.97	245.96	1.0371	0.20686	224.01	244.70	0.9918
0	0.36433	232.24	254.10	1.0675	0.21587	231.41	252.99	1.0227
10	0.37861	239.69	262.41	1.0973	0.22473	238.96	261.43	1.0531
20	0.39279	247.32	270.89	1.1267	0.23349	246.67	270.02	1.0829
30	0.40688	255.12	279.53	1.1557	0.24216	254.54	278.76	1.1122
40	0.42091	263.10	288.35	1.1844	0.25076	262.58	287.66	1.1411
50	0.43487	271.25	297.34	1.2126	0.25930	270.79	296.72	1.1696
60	0.44879	279.58	306.51	1.2405	0.26779	279.16	305.94	1.1977
70	0.46266	288.08	315.84	1.2681	0.27623	287.70	315.32	1.2254
80	0.47650	296.75	325.34	1.2954	0.28464	296.40	324.87	1.2528
90	0.49031	305.58	335.00	1.3224	0.29302	305.27	334.57	1.2799
$P = 0.14 \text{ MPa } (-18.80 ^\circ\text{C})$					$P = 0.18 \text{ MPa } (-12.73 ^\circ\text{C})$			
Doy.	0.13945	216.52	236.04	0.9322	0.10983	219.94	239.71	0.9273
-10	0.14519	223.03	243.40	0.9606	0.11135	222.02	242.06	0.9362
0	0.15219	230.55	251.86	0.9922	0.11678	229.67	250.69	0.9684
10	0.15875	238.21	260.43	1.0230	0.12207	237.44	259.41	0.9998
20	0.16520	246.01	269.13	1.0532	0.12723	245.33	268.23	1.0304
30	0.17155	253.96	277.97	1.0828	0.13230	253.36	277.17	1.0604
40	0.17783	262.06	286.96	1.1120	0.13730	261.53	286.24	1.0898
50	0.18404	270.32	296.09	1.1407	0.14222	269.85	295.45	1.1187
60	0.19020	278.74	305.37	1.1690	0.14710	278.31	304.79	1.1472
70	0.19633	287.32	314.80	1.1969	0.15193	286.93	314.28	1.1753
80	0.20241	296.06	324.39	1.2244	0.15672	295.71	323.92	1.2030
90	0.20846	304.95	334.14	1.2516	0.16148	304.63	333.70	1.2303
100	0.21449	314.01	344.04	1.2785	0.16622	313.72	343.63	1.2573
$P = 0.20 \text{ MPa } (-10.09 ^\circ\text{C})$					$P = 0.24 \text{ MPa } (-5.37 ^\circ\text{C})$			
Doy.	0.09933	221.43	241.30	0.9253	0.08343	224.07	244.09	0.9222
-10	0.09938	221.50	241.38	0.9256				
0	0.10438	229.23	250.10	0.9582	0.08574	228.31	248.89	0.9399
10	0.10922	237.05	258.89	0.9898	0.08993	236.26	257.84	0.9721
20	0.11394	244.99	267.78	1.0206	0.09399	244.30	266.85	1.0034
30	0.11856	253.06	276.77	1.0508	0.09794	252.45	275.95	1.0339
40	0.12311	261.26	285.88	1.0804	0.10181	260.72	285.16	1.0637
50	0.12758	269.61	295.12	1.1094	0.10562	269.12	294.47	1.0930
60	0.13201	278.10	304.50	1.1380	0.10937	277.67	303.91	1.1218
70	0.13639	286.74	314.02	1.1661	0.11307	286.35	313.49	1.1501
80	0.14073	295.53	323.68	1.1939	0.11674	295.18	323.19	1.1780
90	0.14504	304.47	333.48	1.2212	0.12037	304.15	333.04	1.2055
100	0.14932	313.57	343.43	1.2483	0.12398	313.27	343.03	1.2326

**Tablo D-3 (Devamı)**

$T, ^\circ\text{C}$	$v, \text{m}^3/\text{kg}$	$u, \text{kJ/kg}$	$h, \text{kJ/kg}$	$s, \text{kJ/kg}\cdot\text{K}$	$v, \text{m}^3/\text{kg}$	$u, \text{kJ/kg}$	$h, \text{kJ/kg}$	$s, \text{kJ/kg}\cdot\text{K}$
$P = 0.28 \text{ MPa } (-1.23 ^\circ\text{C})$					$P = 0.32 \text{ MPa } (2.48 ^\circ\text{C})$			
Doy.	0.07193	226.38	246.52	0.9197	0.06322	228.43	248.66	0.917
0	0.07240	227.37	247.64	0.9238				
10	0.07613	235.44	256.76	0.9566	0.06576	234.61	255.65	0.942
20	0.07972	243.59	265.91	0.9883	0.06901	242.87	264.95	0.974
30	0.08320	251.83	275.12	1.0192	0.07214	251.19	274.28	1.006
40	0.08660	260.17	284.42	1.0494	0.07518	259.61	283.67	1.036
50	0.08992	268.64	293.81	1.0789	0.07815	268.14	293.15	1.066
60	0.09319	277.23	303.32	1.1079	0.08106	276.79	302.72	1.095
70	0.09641	285.96	312.95	1.1364	0.08392	285.56	312.41	1.124
80	0.09960	294.82	322.71	1.1644	0.08674	294.46	322.22	1.152
90	0.10275	303.83	332.60	1.1920	0.08953	303.50	332.15	1.180
100	0.10587	312.98	342.62	1.2193	0.09229	312.68	342.21	1.207
110	0.10897	322.27	352.78	1.2461	0.09503	322.00	352.40	1.234
120	0.11205	331.71	363.08	1.2727	0.09774	331.45	362.73	1.261
$P = 0.40 \text{ MPa } (8.93 ^\circ\text{C})$					$P = 0.50 \text{ MPa } (15.74 ^\circ\text{C})$			
Doy.	0.05089	231.97	252.32	0.9145	0.04086	235.64	256.07	0.911
10	0.05119	232.87	253.35	0.9182				
20	0.05397	241.37	262.96	0.9515	0.04188	239.40	260.34	0.926
30	0.05662	249.89	272.54	0.9837	0.04416	248.20	270.28	0.959
40	0.05917	258.47	282.14	1.0148	0.04633	256.99	280.16	0.991
50	0.06164	267.13	291.79	1.0452	0.04842	265.83	290.04	1.022
60	0.06405	275.89	301.51	1.0748	0.05043	274.73	299.95	1.053
70	0.06641	284.75	311.32	1.1038	0.05240	283.72	309.92	1.082
80	0.06873	293.73	321.23	1.1322	0.05432	292.80	319.96	1.111
90	0.07102	302.84	331.25	1.1602	0.05620	302.00	330.10	1.139
100	0.07327	312.07	341.38	1.1878	0.05805	311.31	340.33	1.167
110	0.07550	321.44	351.64	1.2149	0.05988	320.74	350.68	1.194
120	0.07771	330.94	362.03	1.2417	0.06168	330.30	361.14	1.221
130	0.07991	340.58	372.54	1.2681	0.06347	339.98	371.72	1.248
140	0.08208	350.35	383.18	1.2941	0.06524	349.79	382.42	1.274
$P = 0.60 \text{ MPa } (21.58 ^\circ\text{C})$					$P = 0.70 \text{ MPa } (26.72 ^\circ\text{C})$			
Doy.	0.03408	238.74	259.19	0.9097	0.02918	241.42	261.85	0.9080
30	0.03581	246.41	267.89	0.9388	0.02979	244.51	265.37	0.9197
40	0.03774	255.45	278.09	0.9719	0.03157	253.83	275.93	0.9539
50	0.03958	264.48	288.23	1.0037	0.03324	263.08	286.35	0.9867
60	0.04134	273.54	298.35	1.0346	0.03482	272.31	296.69	1.0182
70	0.04304	282.66	308.48	1.0645	0.03634	281.57	307.01	1.0487
80	0.04469	291.86	318.67	1.0938	0.03781	290.88	317.35	1.0784
90	0.04631	301.14	328.93	1.1225	0.03924	300.27	327.74	1.1074
100	0.04790	310.53	339.27	1.1505	0.04064	309.74	338.19	1.1358
110	0.04946	320.03	349.70	1.1781	0.04201	319.31	348.71	1.1637
120	0.05099	329.64	360.24	1.2053	0.04335	328.98	359.33	1.1910
130	0.05251	339.38	370.88	1.2320	0.04468	338.76	370.04	1.2179
140	0.05402	349.23	381.64	1.2584	0.04599	348.66	380.86	1.2444
150	0.05550	359.21	392.52	1.2844	0.04729	358.68	391.79	1.2706
160	0.05698	369.32	403.51	1.3100	0.04857	368.82	402.82	1.2963

Tablo D-3 (Devamı)

$T, ^\circ\text{C}$	$v, \text{m}^3/\text{kg}$	$u, \text{kJ/kg}$	$h, \text{kJ/kg}$	$s, \text{kJ/kg}\cdot\text{K}$	$v, \text{m}^3/\text{kg}$	$u, \text{kJ/kg}$	$h, \text{kJ/kg}$	$s, \text{kJ/kg}\cdot\text{K}$
$P = 0.80 \text{ MPa} (31.33 ^\circ\text{C})$					$P = 0.90 \text{ MPa} (35.53 ^\circ\text{C})$			
Doy.	0.02547	243.78	264.15	0.9066	0.02255	245.88	266.18	0.9054
40	0.02691	252.13	273.66	0.9374	0.02325	250.32	271.25	0.9217
50	0.02846	261.62	284.39	0.9711	0.02472	260.09	282.34	0.9566
60	0.02992	271.04	294.98	1.0034	0.02609	269.72	293.21	0.9897
70	0.03131	280.45	305.50	1.0345	0.02738	279.30	303.94	1.0214
80	0.03264	289.89	316.00	1.0647	0.02861	288.87	314.62	1.0521
90	0.03393	299.37	326.52	1.0940	0.02980	298.46	325.28	1.0819
100	0.03519	308.93	337.08	1.1227	0.03095	308.11	335.96	1.1109
110	0.03642	318.57	347.71	1.1508	0.03207	317.82	346.68	1.1392
120	0.03762	328.31	358.40	1.1784	0.03316	327.62	357.47	1.1670
130	0.03881	338.14	369.19	1.2055	0.03423	337.52	368.33	1.1943
140	0.03997	348.09	380.07	1.2321	0.03529	347.51	379.27	1.2211
150	0.04113	358.15	391.05	1.2584	0.03633	357.61	390.31	1.2475
160	0.04227	368.32	402.14	1.2843	0.03736	367.82	401.44	1.2735
170	0.04340	378.61	413.33	1.3098	0.03838	378.14	412.68	1.2992
180	0.04452	389.02	424.63	1.3351	0.03939	388.57	424.02	1.3245
$P = 1.00 \text{ MPa} (39.39 ^\circ\text{C})$					$P = 1.20 \text{ MPa} (46.32 ^\circ\text{C})$			
Doy.	0.02020	247.77	267.97	0.9043	0.01663	251.03	270.99	0.9023
40	0.02029	248.39	268.68	0.9066				
50	0.02171	258.48	280.19	0.9428	0.01712	254.98	275.52	0.9164
60	0.02301	268.35	291.36	0.9768	0.01835	265.42	287.44	0.9527
70	0.02423	278.11	302.34	1.0093	0.01947	275.59	298.96	0.9868
80	0.02538	287.82	313.20	1.0405	0.02051	285.62	310.24	1.0192
90	0.02649	297.53	324.01	1.0707	0.02150	295.59	321.39	1.0503
100	0.02755	307.27	334.82	1.1000	0.02244	305.54	332.47	1.0804
110	0.02858	317.06	345.65	1.1286	0.02335	315.50	343.52	1.1096
120	0.02959	326.93	356.52	1.1567	0.02423	325.51	354.58	1.1381
130	0.03058	336.88	367.46	1.1841	0.02508	335.58	365.68	1.1660
140	0.03154	346.92	378.46	1.2111	0.02592	345.73	376.83	1.1933
150	0.03250	357.06	389.56	1.2376	0.02674	355.95	388.04	1.2201
160	0.03344	367.31	400.74	1.2638	0.02754	366.27	399.33	1.2465
170	0.03436	377.66	412.02	1.2895	0.02834	376.69	410.70	1.2724
180	0.03528	388.12	423.40	1.3149	0.02912	387.21	422.16	1.2980
$P = 1.40 \text{ MPa} (52.43 ^\circ\text{C})$					$P = 1.60 \text{ MPa} (57.92 ^\circ\text{C})$			
Doy.	0.01405	253.74	273.40	0.9003	0.01208	256.00	275.33	0.8982
60	0.01495	262.17	283.10	0.9297	0.01233	258.48	278.20	0.9069
70	0.01603	272.87	295.31	0.9658	0.01340	269.89	291.33	0.9457
80	0.01701	283.29	307.10	0.9997	0.01435	280.78	303.74	0.9813
90	0.01792	293.55	318.63	1.0319	0.01521	291.39	315.72	1.0148
100	0.01878	303.73	330.02	1.0628	0.01601	301.84	327.46	1.0467
110	0.01960	313.88	341.32	1.0927	0.01677	312.20	339.04	1.0773
120	0.02039	324.05	352.59	1.1218	0.01750	322.53	350.53	1.1069
130	0.02115	334.25	363.86	1.1501	0.01820	332.87	361.99	1.1357
140	0.02189	344.50	375.15	1.1777	0.01887	343.24	373.44	1.1638
150	0.02262	354.82	386.49	1.2048	0.01953	353.66	384.91	1.1912
160	0.02333	365.22	397.89	1.2315	0.02017	364.15	396.43	1.2181
170	0.02403	375.71	409.36	1.2576	0.02080	374.71	407.99	1.2445
180	0.02472	386.29	420.90	1.2834	0.02142	385.35	419.62	1.2704
190	0.02541	396.96	432.53	1.3088	0.02203	396.08	431.33	1.2960
200	0.02608	407.73	444.24	1.3338	0.02263	406.90	443.11	1.3212

# EK E

## İdeal Gaz Tabloları

Tablo E-1 Havanın Özellikleri

$T, K$	$h, kJ/kg$	$P_r$	$u, kJ/kg$	$v_r$	$s^\circ, kJ/kg \cdot K$	$T, K$	$h, kJ/kg$	$P_r$	$u, kJ/kg$	$v_r$	$s^\circ, kJ/kg \cdot K$
200	199.97	0.3363	142.56	1707	1.29559	780	800.03	43.35	576.12	51.64	2.69013
220	219.97	0.4690	156.82	1346	1.39105	820	843.98	52.49	608.59	44.84	2.74504
240	240.02	0.6355	171.13	1084	1.47824	860	888.27	63.09	641.40	39.12	2.79783
260	260.09	0.8405	185.45	887.8	1.55848	900	932.93	75.29	674.58	34.31	2.84856
280	280.13	1.0889	199.75	738.0	1.63279	940	977.92	89.28	708.08	30.22	2.89748
290	290.16	1.2311	206.91	676.1	1.66802	980	1023.25	105.2	741.98	26.73	2.94468
300	300.19	1.3860	214.07	621.2	1.70203	1020	1068.89	123.4	776.10	23.72	2.99034
310	310.24	1.5546	221.25	572.3	1.73498	1060	1114.86	143.9	810.62	21.14	3.03449
320	320.29	1.7375	228.43	528.6	1.76690	1100	1161.07	167.1	845.33	18.896	3.07732
340	340.42	2.149	242.82	454.1	1.82790	1140	1207.57	193.1	880.35	16.946	3.11883
360	360.58	2.626	257.24	393.4	1.88543	1180	1254.34	222.2	915.57	15.241	3.15916
380	380.77	3.176	271.69	343.4	1.94001	1220	1301.31	254.7	951.09	13.747	3.19834
400	400.98	3.806	286.16	301.6	1.99194	1260	1348.55	290.8	986.90	12.435	3.23638
420	421.26	4.522	300.69	266.6	2.04142	1300	1395.97	330.9	1022.82	11.275	3.27345
440	441.61	5.332	315.30	236.8	2.08870	1340	1443.60	375.3	1058.94	10.247	3.30959
460	462.02	6.245	329.97	211.4	2.13407	1380	1491.44	424.2	1095.26	9.337	3.34474
480	482.49	7.268	344.70	189.5	2.17760	1420	1539.44	478.0	1131.77	8.526	3.37901
500	503.02	8.411	359.49	170.6	2.21952	1460	1587.63	537.1	1168.49	7.801	3.41247
520	523.63	9.684	374.36	154.1	2.25997	1500	1635.97	601.9	1205.41	7.152	3.44516
540	544.35	11.10	389.34	139.7	2.29906	1540	1684.51	672.8	1242.43	6.569	3.47712
560	565.17	12.66	404.42	127.0	2.33685	1580	1733.17	750.0	1279.65	6.046	3.50829
580	586.04	14.38	419.55	115.7	2.37348	1620	1782.00	834.1	1316.96	5.574	3.53879
600	607.02	16.28	434.78	105.8	2.40902	1660	1830.96	925.6	1354.48	5.147	3.56867
620	628.07	18.36	450.09	96.92	2.44356	1700	1880.1	1025	1392.7	4.761	3.5979
640	649.22	20.65	465.05	88.99	2.47716	1800	2003.3	1310	1487.2	3.944	3.6684
660	670.47	23.13	481.01	81.89	2.50985	1900	2127.4	1655	1582.6	3.295	3.7354
680	691.82	25.85	496.62	75.50	2.54175	2000	2252.1	2068	1678.7	2.776	3.7994
700	713.27	28.80	512.33	69.76	2.57277	2100	2377.4	2559	1775.3	2.356	3.8605
720	734.82	32.02	528.14	64.53	2.60319	2200	2503.2	3138	1872.4	2.012	3.9191
740	756.44	35.50	544.02	59.82	2.63280						

KAYNAK: J. H. Keenan and J. Kaye, *Gas Tables*, Wiley, New York, 1945.

Tablo E-2 Azotun (N<sub>2</sub>) Mol Özellikleri

$\bar{h}_f^\circ = 0 \text{ kJ/kmol}$							
T, K	$\bar{h}$ , kJ/kmol	$\bar{u}$ , kJ/kmol	$\bar{s}$ , ° kJ/kmol·K	T, K	$\bar{h}$ , kJ/kmol	$\bar{u}$ , kJ/kmol	$\bar{s}$ , ° kJ/kmol·K
0	0	0	0	1000	30 129	21 815	228.057
220	6 391	4 562	182.639	1020	30 784	22 304	228.706
240	6 975	4 979	185.180	1040	31 442	22 795	229.344
260	7 558	5 396	187.514	1060	32 101	23 288	229.973
280	8 141	5 813	189.673	1080	32 762	23 782	230.591
298	8 669	6 190	191.502	1100	33 426	24 280	231.199
300	8 723	6 229	191.682	1120	34 092	24 780	231.799
320	9 306	6 645	193.562	1140	34 760	25 282	232.391
340	9 888	7 061	195.328	1160	35 430	25 786	232.973
360	10 471	7 478	196.995	1180	36 104	26 291	233.549
380	11 055	7 895	198.572	1200	36 777	26 799	234.115
400	11 640	8 314	200.071	1240	38 129	27 819	235.223
420	12 225	8 733	201.499	1260	38 807	28 331	235.766
440	12 811	9 153	202.863	1280	39 488	28 845	236.302
460	13 399	9 574	204.170	1300	40 170	29 361	236.831
480	13 988	9 997	205.424	1320	40 853	29 878	237.353
500	14 581	10 423	206.630	1340	41 539	30 398	237.867
520	15 172	10 848	207.792	1360	42 227	30 919	238.376
540	15 766	11 277	208.914	1380	42 915	31 441	238.878
560	16 363	11 707	209.999	1400	43 605	31 964	239.375
580	16 962	12 139	211.049	1440	44 988	33 014	240.350
600	17 563	12 574	212.066	1480	46 377	34 071	241.301
620	18 166	13 011	213.055	1520	47 771	35 133	242.228
640	18 772	13 450	214.018	1560	49 168	36 197	243.137
660	19 380	13 892	214.954	1600	50 571	37 268	244.028
680	19 991	14 337	215.866	1700	54 099	39 965	246.166
700	20 604	14 784	216.756	1800	57 651	42 685	248.195
720	21 220	15 234	217.624	1900	61 220	45 423	250.128
740	21 839	15 686	218.472	2000	64 810	48 181	251.969
760	22 460	16 141	219.301	2100	68 417	50 957	253.726
780	23 085	16 599	220.113	2200	72 040	53 749	255.412
800	23 714	17 061	220.907	2300	75 676	56 553	257.02
820	24 342	17 524	221.684	2400	79 320	59 366	258.580
840	24 974	17 990	222.447	2500	82 981	62 195	260.073
860	25 610	18 459	223.194	2600	86 650	65 033	261.512
880	26 248	18 931	223.927	2700	90 328	67 880	262.902
900	26 890	19 407	224.647	2800	94 014	70 734	264.241
920	27 532	19 883	225.353	2900	97 705	73 593	265.538
940	28 178	20 362	226.047	3000	101 407	76 464	266.793
960	28 826	20 844	226.728	3100	105 115	79 341	268.007
980	29 476	21 328	227.398	3200	108 830	82 224	269.186

KAYNAK: JANAF Thermochemical Tables, NSRDS-NBS-37, 1971.



Tablo E-3 Oksijenin (O<sub>2</sub>) Mol Özellikleri

$\bar{h}_f^\circ = 0 \text{ kJ/kmol}$							
$T$	$\bar{h}$	$\bar{u}$	$\bar{s}^\circ$	$T$	$\bar{h}$	$\bar{u}$	$\bar{s}^\circ$
0	0	0	0	1020	32 088	23 607	244.164
220	6 404	4 575	196.171	1040	32 789	24 142	244.844
240	6 984	4 989	198.696	1060	33 490	24 677	245.513
260	7 566	5 405	201.027	1080	34 194	25 214	246.171
280	8 150	5 822	203.191	1100	34 899	25 753	246.818
298	8 682	6 203	205.033	1120	35 606	26 294	247.454
300	8 736	6 242	205.213	1140	36 314	26 836	248.081
320	9 325	6 664	207.112	1160	37 023	27 379	248.698
340	9 916	7 090	208.904	1180	37 734	27 923	249.307
360	10 511	7 518	210.604	1200	38 447	28 469	249.906
380	11 109	7 949	212.222	1220	39 162	29 018	250.497
400	11 711	8 384	213.765	1240	39 877	29 568	251.079
420	12 314	8 822	215.241	1260	40 594	30 118	251.653
440	12 923	9 264	216.656	1280	41 312	30 670	252.219
460	13 535	9 710	218.016	1300	42 033	31 224	252.776
480	14 151	10 160	219.326	1320	42 753	31 778	253.325
500	14 770	10 614	220.589	1340	43 475	32 334	253.868
520	15 395	11 071	221.812	1360	44 198	32 891	254.404
540	16 022	11 533	222.997	1380	44 923	33 449	254.932
560	16 654	11 998	224.146	1400	45 648	34 008	255.454
580	17 290	12 467	225.262	1440	47 102	35 129	256.475
600	17 929	12 940	226.346	1480	48 561	36 256	257.474
620	18 572	13 417	227.400	1520	50 024	37 387	258.450
640	19 219	13 898	228.429	1540	50 756	37 952	258.928
660	19 870	14 383	229.430	1560	51 490	38 520	259.402
680	20 524	14 871	230.405	1600	52 961	39 658	260.333
700	21 184	15 364	231.358	1700	56 652	42 517	262.571
720	21 845	15 859	232.291	1800	60 371	45 405	264.701
740	22 510	16 357	233.201	1900	64 116	48 319	266.722
760	23 178	16 859	234.091	2000	67 881	51 253	268.655
780	23 850	17 364	234.960	2100	71 668	54 208	270.504
800	24 523	17 872	235.810	2200	75 484	57 192	272.278
820	25 199	18 382	236.644	2300	79 316	60 193	273.981
840	25 877	18 893	237.462	2400	83 174	63 219	275.625
860	26 559	19 408	238.264	2500	87 057	66 271	277.207
880	27 242	19 925	239.051	2600	90 956	69 339	278.738
900	27 928	20 445	239.823	2700	94 881	72 433	280.219
920	28 616	20 967	240.580	2800	98 826	75 546	281.654
940	29 306	21 491	241.323	2900	102 793	78 682	283.048
960	29 999	22 017	242.052	3000	106 780	81 837	284.399
980	30 692	22 544	242.768	3100	110 784	85 009	285.713
1000	31 389	23 075	243.471	3200	114 809	88 203	286.989

KAYNAK: JANAF Thermochemical Tables, NSRDS-NBS-37, 1971.

**Tablo E-3 Karbondioksidin (CO<sub>2</sub>) Mol Özellikleri**

$\bar{h}_f^\circ = -393\,520 \text{ kJ/kmol}$							
$T$	$\bar{h}$	$\bar{u}$	$\bar{s}^\circ$	$T$	$\bar{h}$	$\bar{u}$	$\bar{s}^\circ$
0	0	0	0	1020	43 859	35 378	270.293
220	6 601	4 772	202.966	1040	44 953	36 306	271.354
240	7 280	5 285	205.920	1060	46 051	37 238	272.400
260	7 979	5 817	208.717	1080	47 153	38 174	273.430
280	8 697	6 369	211.376	1100	48 258	39 112	274.445
298	9 364	6 885	213.685	1120	49 369	40 057	275.444
300	9 431	6 939	213.915	1140	50 484	41 006	276.430
320	10 186	7 526	216.351	1160	51 602	41 957	277.403
340	10 959	8 131	218.694	1180	52 724	42 913	278.361
360	11 748	8 752	220.948	1200	53 848	43 871	279.307
380	12 552	9 392	223.122	1220	54 977	44 834	280.238
400	13 372	10 046	225.225	1240	56 108	45 799	281.158
420	14 206	10 714	227.258	1260	57 244	46 768	282.066
440	15 054	11 393	229.230	1280	58 381	47 739	282.962
460	15 916	12 091	231.144	1300	59 522	48 713	283.847
480	16 791	12 800	233.004	1320	60 666	49 691	284.722
500	17 678	13 521	234.814	1340	61 813	50 672	285.586
520	18 576	14 253	236.575	1360	62 963	51 656	286.439
540	19 485	14 996	238.292	1380	64 116	52 643	287.283
560	20 407	15 751	239.962	1400	65 271	53 631	288.106
580	21 337	16 515	241.602	1440	67 586	55 614	289.743
600	22 280	17 291	243.199	1480	69 911	57 606	291.333
620	23 231	18 076	244.758	1520	72 246	59 609	292.888
640	24 190	18 869	246.282	1560	74 590	61 620	294.411
660	25 160	19 672	247.773	1600	76 944	63 741	295.901
680	26 138	20 484	249.233	1700	82 856	68 721	299.482
700	27 125	21 305	250.663	1800	88 806	73 840	302.884
720	28 121	22 134	252.065	1900	94 793	78 996	306.122
740	29 124	22 972	253.439	2000	100 804	84 185	309.210
760	30 135	23 817	254.787	2100	106 864	89 404	312.160
780	31 154	24 669	256.110	2200	112 939	94 648	314.988
800	32 179	25 527	257.408	2300	119 035	99 912	317.695
820	33 212	26 394	258.682	2400	125 152	105 197	320.302
840	34 251	27 267	259.934	2500	131 290	110 504	322.308
860	35 296	28 125	261.164	2600	137 449	115 832	325.222
880	36 347	29 031	262.371	2700	143 620	121 172	327.549
900	37 405	29 922	263.559	2800	149 808	126 528	329.800
920	38 467	30 818	264.728	2900	156 009	131 898	331.975
940	39 535	31 719	265.877	3000	162 226	137 283	334.084
960	40 607	32 625	267.007	3100	168 456	142 681	336.126
980	41 685	33 537	268.119	3200	174 695	148 089	338.109
1000	42 769	34 455	269.215				

KAYNAK: JANAF Thermochemical Tables, NSRDS-NBS-37, 1971.

Tablo E-5 Karbonmonoksidin (CO) Mol Özellikleri

$\bar{h}_f^\circ = -110530 \text{ kJ/kmol}$							
$T$	$\bar{h}$	$\bar{u}$	$\bar{s}^\circ$	$T$	$\bar{h}$	$\bar{u}$	$\bar{s}^\circ$
0	0	0	0	1040	31 688	23 041	235.728
220	6 391	4 562	188.683	1060	32 357	23 544	236.364
240	6 975	4 979	191.221	1080	33 029	24 049	236.992
260	7 558	5 396	193.554	1100	33 702	24 557	237.609
280	8 140	5 812	195.713	1120	34 377	25 065	238.217
300	8 723	6 229	197.723	1140	35 054	25 575	238.817
320	9 306	6 645	199.603	1160	35 733	26 088	239.407
340	9 889	7 062	201.371	1180	36 406	26 602	239.989
360	10 473	7 480	203.040	1200	37 095	27 118	240.663
380	11 058	7 899	204.622	1220	37 780	27 637	241.128
400	11 644	8 319	206.125	1240	38 466	28 426	241.686
420	12 232	8 740	207.549	1260	39 154	28 678	242.236
440	12 821	9 163	208.929	1280	39 844	29 201	242.780
460	13 412	9 587	210.243	1300	40 534	29 725	243.316
480	14 005	10 014	211.504	1320	41 226	30 251	243.844
500	14 600	10 443	212.719	1340	41 919	30 778	244.366
520	15 197	10 874	213.890	1360	42 613	31 306	244.880
540	15 797	11 307	215.020	1380	43 309	31 836	245.388
560	16 399	11 743	216.115	1400	44 007	32 367	245.889
580	17 003	12 181	217.175	1440	45 408	33 434	246.876
600	17 611	12 622	218.204	1480	46 813	34 508	247.839
620	18 221	13 066	219.205	1520	48 222	35 584	248.778
640	18 833	13 512	220.179	1560	49 635	36 665	249.695
660	19 449	13 962	221.127	1600	51 053	37 750	250.592
680	20 068	14 414	222.052	1700	54 609	40 474	252.751
700	20 690	14 870	222.953	1800	58 191	43 225	254.797
720	21 315	15 328	223.833	1900	61 794	45 997	256.743
740	21 943	15 789	224.692	2000	65 408	48 780	258.600
760	22 573	16 255	225.533	2100	69 044	51 584	260.370
780	23 208	16 723	226.357	2200	72 688	54 396	262.065
800	23 844	17 193	227.162	2300	76 345	57 222	263.692
820	24 483	17 665	227.952	2400	80 015	60 060	265.253
840	25 124	18 140	228.724	2500	83 692	62 906	266.755
860	25 768	18 617	229.482	2600	87 383	65 766	268.202
880	26 415	19 099	230.227	2700	91 077	68 628	269.596
900	27 066	19 583	230.957	2800	94 784	71 504	270.943
920	27 719	20 070	231.674	2900	98 495	74 383	272.249
940	28 375	20 559	232.379	3000	102 210	77 267	273.508
960	29 033	21 051	233.072	3100	105 939	80 164	274.730
980	29 693	21 545	233.752	3150	107 802	81 612	275.326
1000	30 355	22 041	234.421	3200	109 667	83 061	275.914
1020	31 020	22 540	235.079				

KAYNAK: JANAF Thermochemical Tables, NSRDS-NBS-37, 1971.

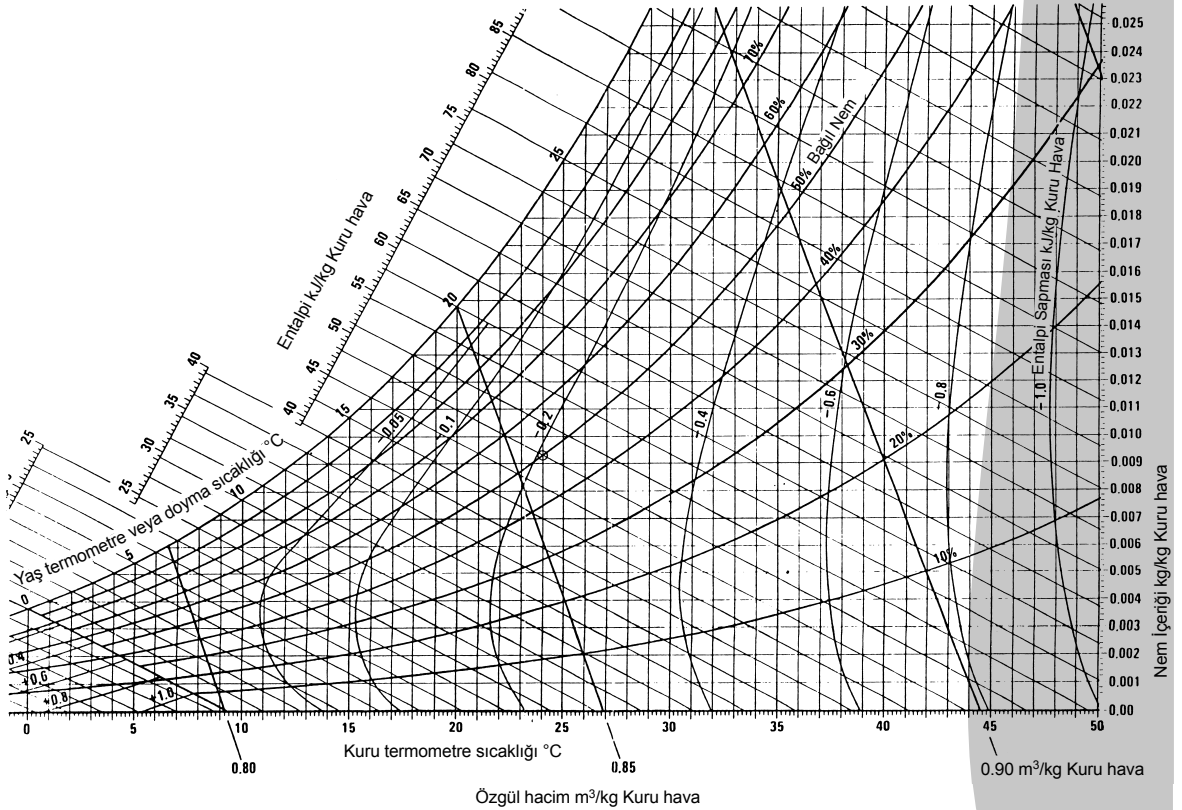
Tablo E-6 Suyun (H<sub>2</sub>O) Mol Özellikleri

$\bar{h}_f^\circ = -241\,810 \text{ kJ/kmol}$							
$T$	$\bar{h}$	$\bar{u}$	$\bar{s}^\circ$	$T$	$\bar{h}$	$\bar{u}$	$\bar{s}^\circ$
0	0	0	0	1020	36 709	28 228	233.415
220	7 295	5 466	178.576	1040	37 542	28 895	234.223
240	7 961	5 965	181.471	1060	38 380	29 567	235.020
260	8 627	6 466	184.139	1080	39 223	30 243	235.806
280	9 296	6 968	186.616	1100	40 071	30 925	236.584
298	9 904	7 425	188.720	1120	40 923	31 611	237.352
300	9 966	7 472	188.928	1140	41 780	32 301	238.110
320	10 639	7 978	191.098	1160	42 642	32 997	238.859
340	11 314	8 487	193.144	1180	43 509	33 698	239.600
360	11 992	8 998	195.081	1200	44 380	34 403	240.333
380	12 672	9 513	196.920	1220	45 256	35 112	241.057
400	13 356	10 030	198.673	1240	46 137	35 827	241.773
420	14 043	10 551	200.350	1260	47 022	36 546	242.482
440	14 734	11 075	201.955	1280	47 912	37 270	243.183
460	15 428	11 603	203.497	1300	48 807	38 000	243.877
480	16 126	12 135	204.982	1320	49 707	38 732	244.564
500	16 828	12 671	206.413	1340	50 612	39 470	245.243
520	17 534	13 211	207.799	1360	51 521	40 213	245.915
540	18 245	13 755	209.139	1400	53 351	41 711	247.241
560	18 959	14 303	210.440	1440	55 198	43 226	248.543
580	19 678	14 856	211.702	1480	57 062	44 756	249.820
600	20 402	15 413	212.920	1520	58 942	46 304	251.074
620	21 130	15 975	214.122	1560	60 838	47 868	252.305
640	21 862	16 541	215.285	1600	62 748	49 445	253.513
660	22 600	17 112	216.419	1700	67 589	53 455	256.450
680	23 342	17 688	217.527	1800	72 513	57 547	259.262
700	24 088	18 268	218.610	1900	77 517	61 720	261.969
720	24 840	18 854	219.668	2000	82 593	65 965	264.571
740	25 597	19 444	220.707	2100	87 735	70 275	267.081
760	26 358	20 039	221.720	2200	92 940	74 649	269.500
780	27 125	20 639	222.717	2300	98 199	79 076	271.839
800	27 896	21 245	223.693	2400	103 508	83 553	274.098
820	28 672	21 855	224.651	2500	108 868	88 082	276.286
840	29 454	22 470	225.592	2600	114 273	92 656	278.407
860	30 240	23 090	226.517	2700	119 717	97 269	280.462
880	31 032	23 715	227.426	2800	125 198	101 917	282.453
900	31 828	24 345	228.321	2900	130 717	106 605	284.390
920	32 629	24 980	229.202	3000	136 264	111 321	286.273
940	33 436	25 621	230.070	3100	141 846	116 072	288.102
960	34 247	26 265	230.924	3150	144 648	118 458	288.9
980	35 061	26 913	231.767	3200	147 457	120 851	289.884
1000	35 882	27 568	232.597	3250	150 250	123 250	290.7

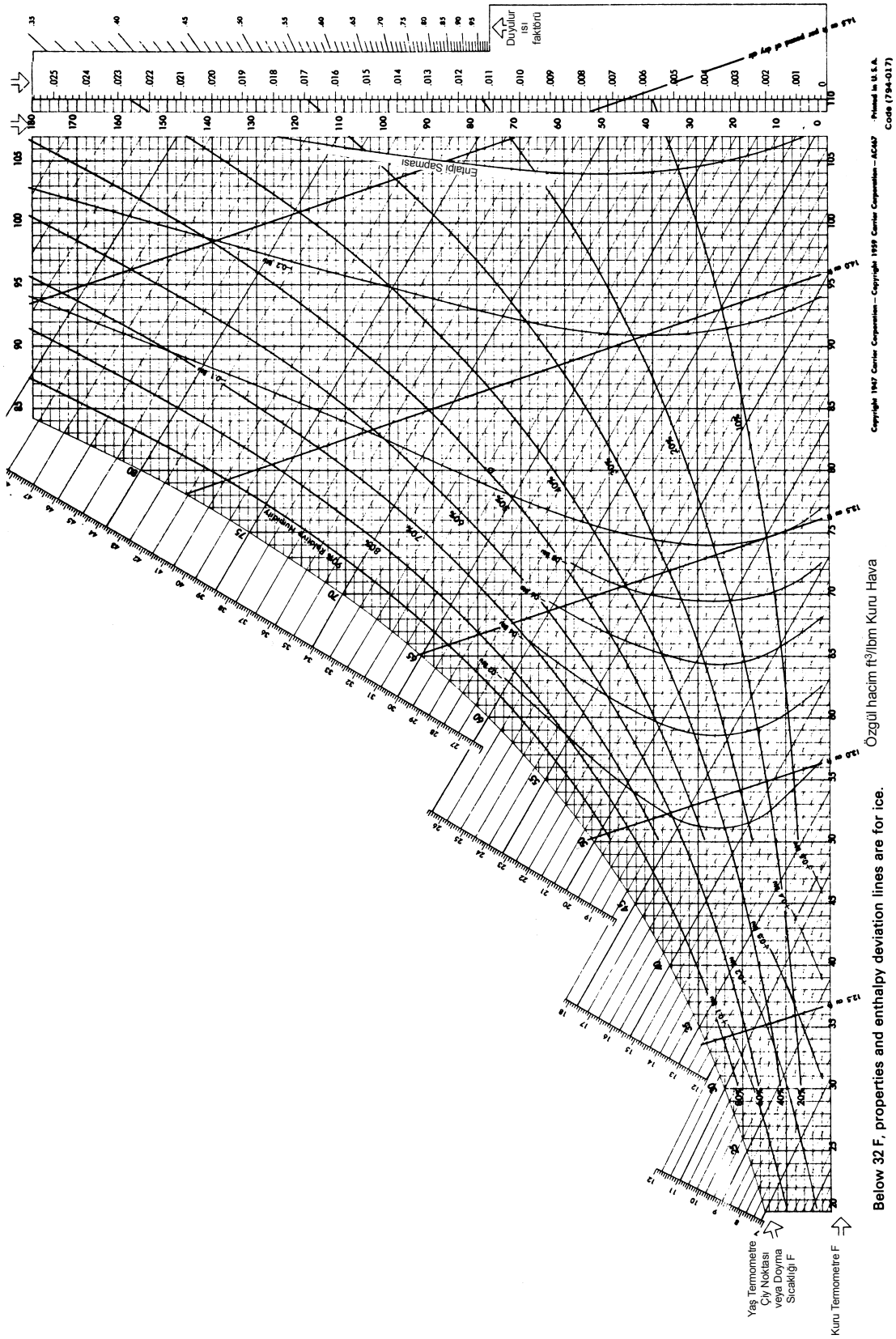
KAYNAK: JANAF Thermochemical Tables, NSRDS-NBS-37, 1971.

EK F

# Psikrometrik Diyagram



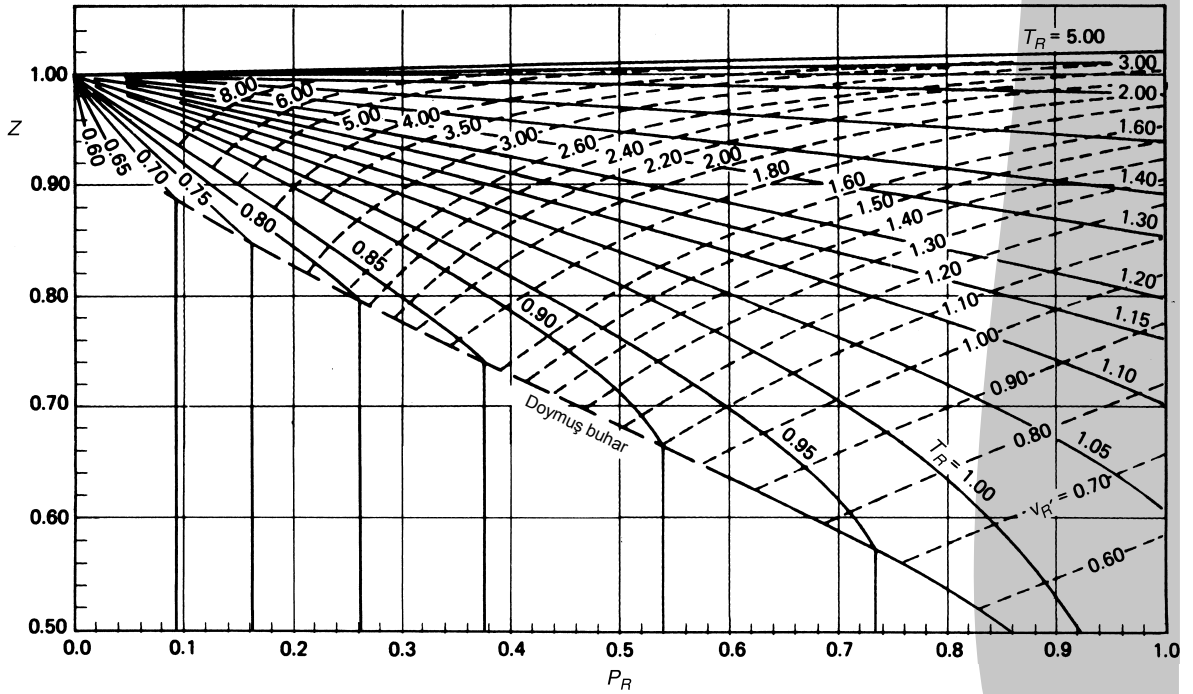
Şekil F-1 Psikrometrik diyagram,  $P = 1$  atm. (Carrier Şirketi)



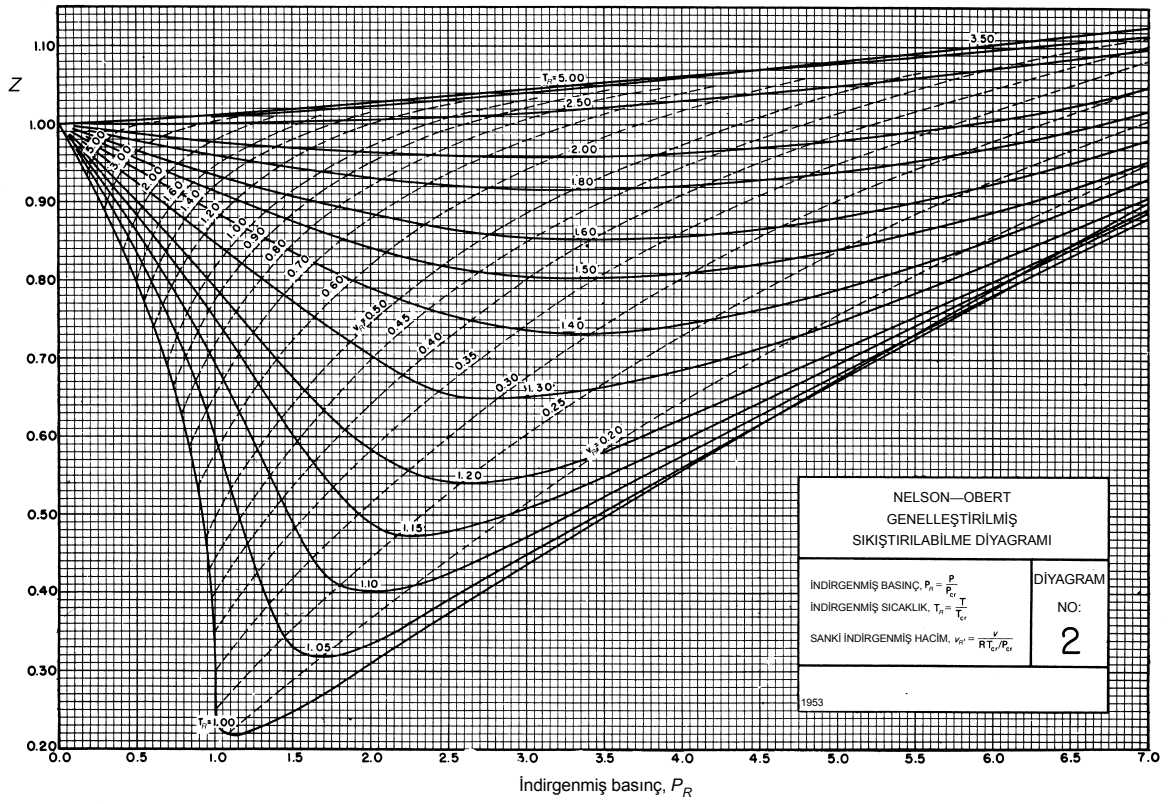
Şekil F-IE Psikrometrik diyagram,  $P = 1$  atm. (Carrier Şirketi)

EKG

# Sıkıştırılabilirlik Diyagramı



Şekil G-1 Sıkıştırılabilirlik diyagramı.

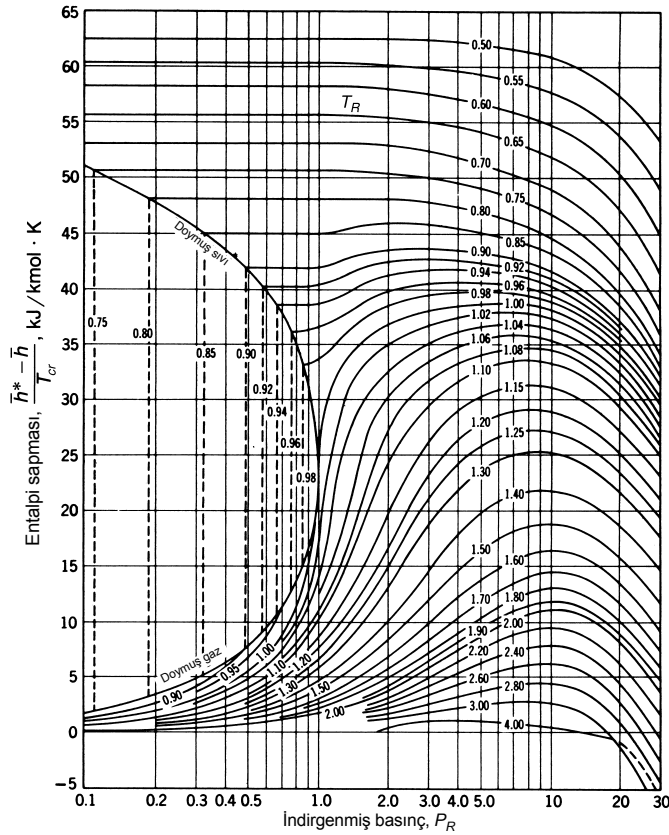


Şekil G-2 Sıkıştırılabilme diyagramı (devam). [V. M. Faires, *Problems on Thermodynamics*, Macmillan, New York, 1962. Data from L. C. Nelson and E. F. Obert, *Generalized Compressibility Charts*, *Chem. Eng.* **61**: 203 (1954).]

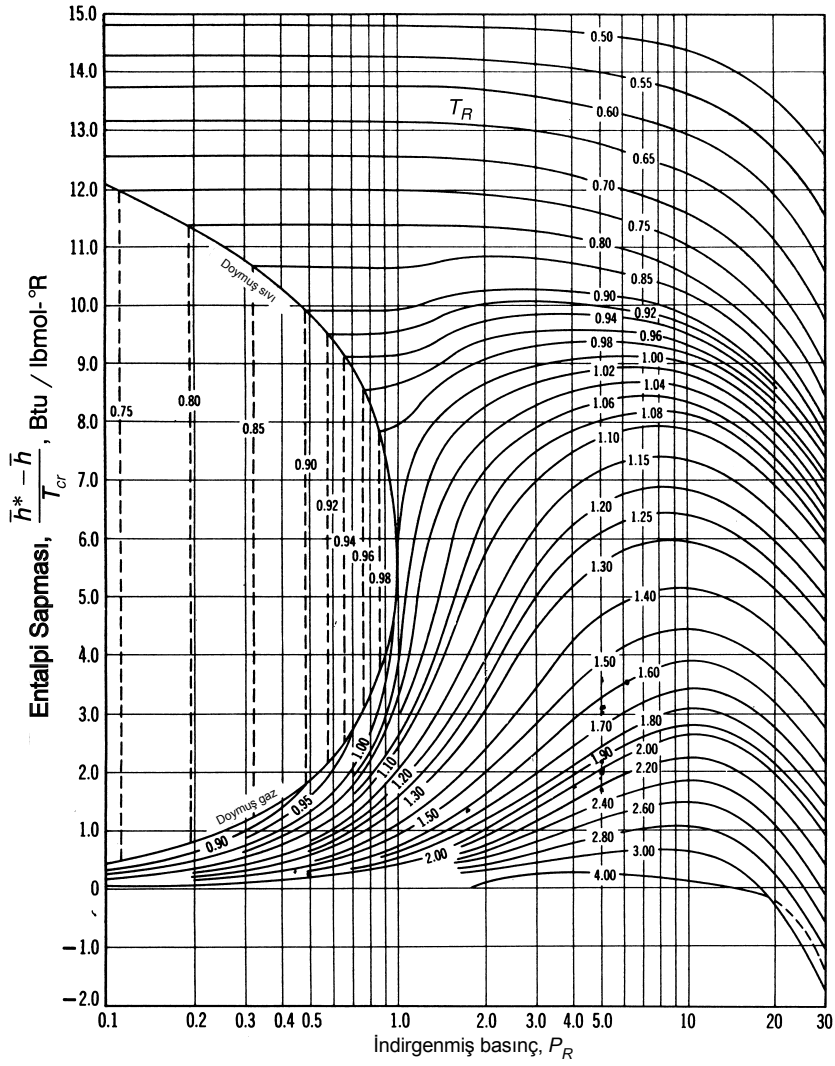


# EK H

## Entalpi Sapma Diyagramları



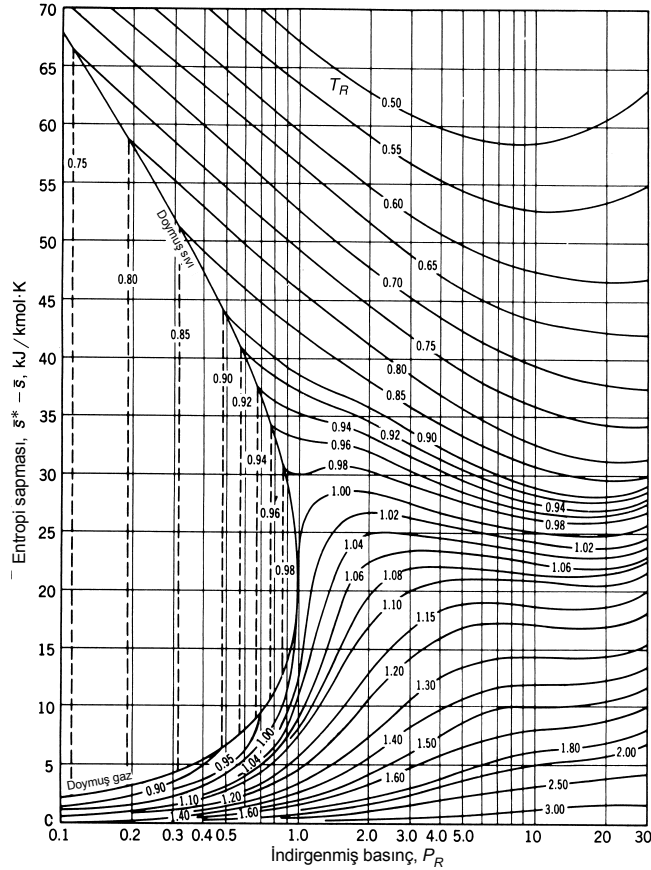
Şekil H-1 Entalpi Sapma Diyagramı. [G. J. Van Wylen and R. E. Sonntag, *Fundamentals of Classical Thermodynamics*, 3d ed., Wiley, New York.]



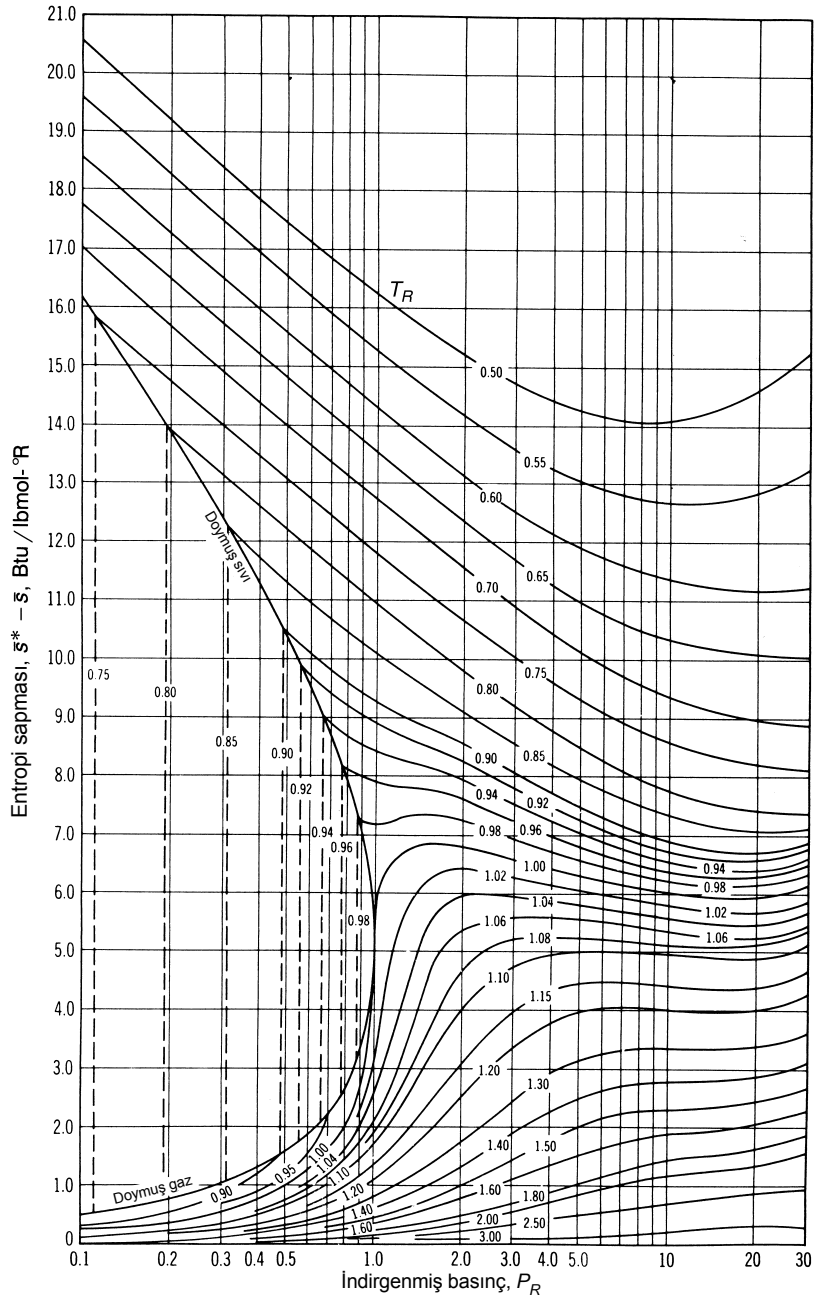
Şekil H-1E Entalpi Sapma Diyagramı. [G. J. Van Wylen and R. E. Sonntag, *Fundamentals of Classical Thermodynamics*, 3d ed., Wiley, New York.]

# EK I

## Entropi Sapma Diyagramları



Şekil I-1 [G. J. Van Wylen and R. E. Sonntag, *Fundamentals of Classical Thermodynamics*, 3d ed., Wiley, New York.]



Şekil I-1E [G. J. Van Wylen and R. E. Sonntag, *Fundamentals of Classical Thermodynamics*, 3d ed., Wiley, New York.]



# Ek 1

## ÖZELİK TABLOLARI VE DİYAGRAMLARI

<b>Tablo A-1</b>	Mol kütlesi, gaz sabiti ve kritik-nokta özellikleri	<b>Tablo A-20</b>	CO <sub>2</sub> , Karbondioksitin mükemmel gaz özellikleri
<b>Tablo A-2</b>	Bilinen bazı gazların ideal-gaz özgül ısınma	<b>Tablo A-21</b>	CO, Karbonmonoksitin mükemmel gaz özellikleri
<b>Tablo A-3</b>	Bilinen bazı sıvı, katı ve yiyeceklerin özellikleri	<b>Tablo A-22</b>	H <sub>2</sub> , Hidrojenin mükemmel gaz özellikleri
<b>Tablo A-4</b>	Doymuş su - Sıcaklık tablosu	<b>Tablo A-23</b>	H <sub>2</sub> O, Su buharının mükemmel gaz özellikleri
<b>Tablo A-5</b>	Doymuş su - Basınç tablosu	<b>Tablo A-24</b>	O, Tek atomlu oksijenin mükemmel gaz özellikleri
<b>Tablo A-6</b>	Kızgın su buharı	<b>Tablo A-25</b>	OH, Hidroksilin mükemmel gaz özellikleri
<b>Tablo A-7</b>	Sıkıştırılmış sıvı su	<b>Tablo A-26</b>	25°C, sıcaklık ve 1 atm basınçta Oluşum entalpisi, oluşum Gibbs fonksiyonu ve mutlak entropi
<b>Tablo A-8</b>	Doymuş buz - su buharı	<b>Tablo A-27</b>	Bilinen bazı yakıtların ve hidrokarbonların özellikleri
<b>Tablo A-9</b>	Su için <i>T-s</i> diyagramı	<b>Tablo A-28</b>	$K_p$ denge sabitinin doğal logaritması
<b>Tablo A-10</b>	Su için Mollier diyagramı	<b>Tablo A-29</b>	Genelleştirilmiş entalpi sapma diyagramı
<b>Tablo A-11</b>	Doymuş soğutucu akışkan-134a— Sıcaklık tablosu	<b>Tablo A-30</b>	Genelleştirilmiş entropi sapma diyagramı
<b>Tablo A-12</b>	Doymuş soğutucu akışkan-134a— Basınç tablosu	<b>Tablo A-31</b>	1 atm toplam basınç için Psikrometrik diyagram
<b>Tablo A-13</b>	Kızgın soğutucu akışkan-134a	<b>Tablo A-32</b>	$k = 1.4$ olan bir ideal gaz için bir-boyutlu, izantropik sıkıştırılabilir akış fonksiyonları
<b>Tablo A-14</b>	Soğutucu akışkan-134a' nın <i>P-h</i> diyagramı	<b>Tablo A-33</b>	$k = 1.4$ olan bir ideal gaz için bir-boyutlu normal şok fonksiyonları
<b>Tablo A-15</b>	Nelson–Obert genelleştirilmiş sıkıştırılabilirlik diyagramı	<b>Tablo A-34</b>	$k = 1.4$ olan bir ideal gaz için Rayleigh akış fonksiyonları
<b>Tablo A-16</b>	Yüksek seviyelerde atmosferin özellikleri		
<b>Tablo A-17</b>	Havanın mükemmel-gaz özellikleri		
<b>Tablo A-18</b>	N <sub>2</sub> , Azotun mükemmel gaz özellikleri		
<b>Tablo A-19</b>	O <sub>2</sub> , Oksijenin mükemmel gaz özellikleri		





## 884 | Termodinamik

TABLO A – 1

Mol kütlesi, gaz sabiti ve kritik nokta özellikleri

Madde	Kimyasal Formül	Mol kütlesi, $M$ kg/kmol	Gaz sabiti, $R$ kJ/kg · K*	Kritik nokta özellikleri		
				Sıcaklık, K	Basınç, MPa	Hacim, m <sup>3</sup> /kmol
Hava	—	28.97	0.2870	132.5	3.77	0.0883
Amonyak	NH <sub>3</sub>	17.03	0.4882	405.5	11.28	0.0724
Argon	Ar	39.948	0.2081	151	4.86	0.0749
Benzen	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	78.115	0.1064	562	4.92	0.2603
Bromin	Br <sub>2</sub>	159.808	0.0520	584	10.34	0.1355
<i>n</i> -Büten	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58.124	0.1430	425.2	3.80	0.2547
Karbon dioksit	CO <sub>2</sub>	44.01	0.1889	304.2	7.39	0.0943
Karbon monoksit	CO	28.011	0.2968	133	3.50	0.0930
Carbon tetrachloride	CCl <sub>4</sub>	153.82	0.05405	556.4	4.56	0.2759
Klorin	Cl <sub>2</sub>	70.906	0.1173	417	7.71	0.1242
Klorofrom	CHCl <sub>3</sub>	119.38	0.06964	536.6	5.47	0.2403
Dichlorodifluoromethane (R-12)	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	120.91	0.06876	384.7	4.01	0.2179
Dichlorofluoromethane (R-21)	CHCl <sub>2</sub> F	102.92	0.08078	451.7	5.17	0.1973
Etan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30.070	0.2765	305.5	4.48	0.1480
Etit alkol	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH	46.07	0.1805	516	6.38	0.1673
Etilen	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	28.054	0.2964	282.4	5.12	0.1242
Helyum	He	4.003	2.0769	5.3	0.23	0.0578
<i>n</i> -Heksan	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86.179	0.09647	507.9	3.03	0.3677
Hidrojen (normal)	H <sub>2</sub>	2.016	4.1240	33.3	1.30	0.0649
Kripton	Kr	83.80	0.09921	209.4	5.50	0.0924
Metan	CH <sub>4</sub>	16.043	0.5182	191.1	4.64	0.0993
Metil alkol	CH <sub>3</sub> OH	32.042	0.2595	513.2	7.95	0.1180
Metil klor	CH <sub>3</sub> Cl	50.488	0.1647	416.3	6.68	0.1430
Neon	Ne	20.183	0.4119	44.5	2.73	0.0417
Nitrojen	N <sub>2</sub>	28.013	0.2968	126.2	3.39	0.0899
Nitrous oxide	N <sub>2</sub> O	44.013	0.1889	309.7	7.27	0.0961
Azot oksit	O <sub>2</sub>	31.999	0.2598	154.8	5.08	0.0780
Propan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44.097	0.1885	370	4.26	0.1998
Propilan	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	42.081	0.1976	365	4.62	0.1810
Kükürt dioksit	SO <sub>2</sub>	64.063	0.1298	430.7	7.88	0.1217
Tetrafluoroetan (R-134a)	CF <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> F	102.03	0.08149	374.2	4.059	0.1993
Trichlorofluorometan (R-11)	CCl <sub>3</sub> F	137.37	0.06052	471.2	4.38	0.2478
Su	H <sub>2</sub> O	18.015	0.4615	647.1	22.06	0.0560
Xenon	Xe	131.30	0.06332	289.8	5.88	0.1186

\*Not: kJ/kg · K birimi kJ/kg · C° birimi ile eşdeğerdir. Gaz sabiti  $R = R_u/M$ 'den hesaplanır ve burada  $R_u = 8.31447$  kJ/kmol · K ve  $M$  ise molar kütledir.

Kaynak: K. A. Kobe and R. E. Lynn, Jr., *Chemical Review* 52 (1953), pp. 117–236; and ASHRAE, *Handbook of Fundamentals* (Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1993), pp. 16.4 and 36.1.



**TABLO A-2**

Bilinen bazı gazların mükemmel-gaz özgül ısıları

(a) 300 K sıcaklıkta

Gaz	Kimyasal formülü	Gaz sabiti, $R$ kJ/kg · K	$c_p$ kJ/kg · K	$c_v$ kJ/kg · K	$k$
Hava	—	0.2870	1.005	0.718	1.400
Argon	Ar	0.2081	0.5203	0.3122	1.667
Bütan	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	0.1433	1.7164	1.5734	1.091
Karbon dioksit	CO <sub>2</sub>	0.1889	0.846	0.657	1.289
Karbon monoksit	CO	0.2968	1.040	0.744	1.400
Etan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0.2765	1.7662	1.4897	1.186
Etilen	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0.2964	1.5482	1.2518	1.237
Helyum	He	2.0769	5.1926	3.1156	1.667
Hidrojen	H <sub>2</sub>	4.1240	14.307	10.183	1.405
Metan	CH <sub>4</sub>	0.5182	2.2537	1.7354	1.299
Neon	Ne	0.4119	1.0299	0.6179	1.667
Azot	N <sub>2</sub>	0.2968	1.039	0.743	1.400
Oktan	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	0.0729	1.7113	1.6385	1.044
Oksijen	O <sub>2</sub>	0.2598	0.918	0.658	1.395
Propan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0.1885	1.6794	1.4909	1.126
Su buharı	H <sub>2</sub> O	0.4615	1.8723	1.4108	1.327

Not: kJ/kg · K birimi kJ/kg · °C birimiyle eşdeğerdir.

Kaynak: *Chemical and Process Thermodynamics* 3/E by Kyle, B. G., © 2000. "Pearson Education, Inc., Upper Saddle River, NJ'nin izniyle uyumlanmıştır.



## 886 | Termodinamik

TABLO A-2

Bilinen bazı gazların mükemmel-gaz özgül ısıları (Devam)

(b) Değişik sıcaklıklarda

Sıcaklık, K	$c_p$ kJ/kg · K	$c_v$ kJ/kg · K	$k$	$c_p$ kJ/kg · K	$c_v$ kJ/kg · K	$k$	$c_p$ kJ/kg · K	$c_v$ kJ/kg · K	$k$
	<i>Hava</i>			<i>Karbon dioksit, CO<sub>2</sub></i>			<i>Karbon monoksit, CO</i>		
250	1.003	0.716	1.401	0.791	0.602	1.314	1.039	0.743	1.400
300	1.005	0.718	1.400	0.846	0.657	1.288	1.040	0.744	1.399
350	1.008	0.721	1.398	0.895	0.706	1.268	1.043	0.746	1.398
400	1.013	0.726	1.395	0.939	0.750	1.252	1.047	0.751	1.395
450	1.020	0.733	1.391	0.978	0.790	1.239	1.054	0.757	1.392
500	1.029	0.742	1.387	1.014	0.825	1.229	1.063	0.767	1.387
550	1.040	0.753	1.381	1.046	0.857	1.220	1.075	0.778	1.382
600	1.051	0.764	1.376	1.075	0.886	1.213	1.087	0.790	1.376
650	1.063	0.776	1.370	1.102	0.913	1.207	1.100	0.803	1.370
700	1.075	0.788	1.364	1.126	0.937	1.202	1.113	0.816	1.364
750	1.087	0.800	1.359	1.148	0.959	1.197	1.126	0.829	1.358
800	1.099	0.812	1.354	1.169	0.980	1.193	1.139	0.842	1.353
900	1.121	0.834	1.344	1.204	1.015	1.186	1.163	0.866	1.343
1000	1.142	0.855	1.336	1.234	1.045	1.181	1.185	0.888	1.335
	<i>Hidrojen, H<sub>2</sub></i>			<i>Azot, N<sub>2</sub></i>			<i>Oksijen, O<sub>2</sub></i>		
250	14.051	9.927	1.416	1.039	0.742	1.400	0.913	0.653	1.398
300	14.307	10.183	1.405	1.039	0.743	1.400	0.918	0.658	1.395
350	14.427	10.302	1.400	1.041	0.744	1.399	0.928	0.668	1.389
400	14.476	10.352	1.398	1.044	0.747	1.397	0.941	0.681	1.382
450	14.501	10.377	1.398	1.049	0.752	1.395	0.956	0.696	1.373
500	14.513	10.389	1.397	1.056	0.759	1.391	0.972	0.712	1.365
550	14.530	10.405	1.396	1.065	0.768	1.387	0.988	0.728	1.358
600	14.546	10.422	1.396	1.075	0.778	1.382	1.003	0.743	1.350
650	14.571	10.447	1.395	1.086	0.789	1.376	1.017	0.758	1.343
700	14.604	10.480	1.394	1.098	0.801	1.371	1.031	0.771	1.337
750	14.645	10.521	1.392	1.110	0.813	1.365	1.043	0.783	1.332
800	14.695	10.570	1.390	1.121	0.825	1.360	1.054	0.794	1.327
900	14.822	10.698	1.385	1.145	0.849	1.349	1.074	0.814	1.319
1000	14.983	10.859	1.380	1.167	0.870	1.341	1.090	0.830	1.313

Kaynak: Kenneth Wark, *Thermodynamics*, 4th ed. (New York: McGraw-Hill, 1983), p. 783, Tablo A-4M. İlk olarak "Tables of Thermal Properties of Gases, NBS Circular 564, 1955) adlı kaynakta yayınlanmıştır.





TABLO A-2

Bilinen bazı gazların mükemmel-gaz özgül ısıları (Devam)

(c) Sıcaklığın fonksiyonu olarak

$$\bar{c}_p = a + bT + cT^2 + dT^3$$

(T K ve  $c_p$  kJ/kmol · K birimlerinde)

Madde	Kimyasal formülü	a	b	c	d	Sıcaklık aralığı, K	% hata	
							Maks.	Ort.
Azot	N <sub>2</sub>	28.90	-0.1571 × 10 <sup>-2</sup>	0.8081 × 10 <sup>-5</sup>	-2.873 × 10 <sup>-9</sup>	273-1800	0.59	0.34
Oksijen	O <sub>2</sub>	25.48	1.520 × 10 <sup>-2</sup>	-0.7155 × 10 <sup>-5</sup>	1.312 × 10 <sup>-9</sup>	273-1800	1.19	0.28
Hava	—	28.11	0.1967 × 10 <sup>-2</sup>	0.4802 × 10 <sup>-5</sup>	-1.966 × 10 <sup>-9</sup>	273-1800	0.72	0.33
Hidrojen	H <sub>2</sub>	29.11	-0.1916 × 10 <sup>-2</sup>	0.4003 × 10 <sup>-5</sup>	-0.8704 × 10 <sup>-9</sup>	273-1800	1.01	0.26
Karbon monoksit	CO	28.16	0.1675 × 10 <sup>-2</sup>	0.5372 × 10 <sup>-5</sup>	-2.222 × 10 <sup>-9</sup>	273-1800	0.89	0.37
Karbon dioksit	CO <sub>2</sub>	22.26	5.981 × 10 <sup>-2</sup>	-3.501 × 10 <sup>-5</sup>	7.469 × 10 <sup>-9</sup>	273-1800	0.67	0.22
Su buharı	H <sub>2</sub> O	32.24	0.1923 × 10 <sup>-2</sup>	1.055 × 10 <sup>-5</sup>	-3.595 × 10 <sup>-9</sup>	273-1800	0.53	0.24
Azot oksit	NO	29.34	-0.09395 × 10 <sup>-2</sup>	0.9747 × 10 <sup>-5</sup>	-4.187 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.97	0.36
Azot oksit	N <sub>2</sub> O	24.11	5.8632 × 10 <sup>-2</sup>	-3.562 × 10 <sup>-5</sup>	10.58 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.59	0.26
Azot dioksit	NO <sub>2</sub>	22.9	5.715 × 10 <sup>-2</sup>	-3.52 × 10 <sup>-5</sup>	7.87 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.46	0.18
Amonyak	NH <sub>3</sub>	27.568	2.5630 × 10 <sup>-2</sup>	0.99072 × 10 <sup>-5</sup>	-6.6909 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.91	0.36
Kükürt	S <sub>2</sub>	27.21	2.218 × 10 <sup>-2</sup>	-1.628 × 10 <sup>-5</sup>	3.986 × 10 <sup>-9</sup>	273-1800	0.99	0.38
Kükürt dioksit	SO <sub>2</sub>	25.78	5.795 × 10 <sup>-2</sup>	-3.812 × 10 <sup>-5</sup>	8.612 × 10 <sup>-9</sup>	273-1800	0.45	0.24
Kükürt trioksit	SO <sub>3</sub>	16.40	14.58 × 10 <sup>-2</sup>	-11.20 × 10 <sup>-5</sup>	32.42 × 10 <sup>-9</sup>	273-1300	0.29	0.13
Asetilen	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	21.8	9.2143 × 10 <sup>-2</sup>	-6.527 × 10 <sup>-5</sup>	18.21 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	1.46	0.59
Benzen	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	-36.22	48.475 × 10 <sup>-2</sup>	-31.57 × 10 <sup>-5</sup>	77.62 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.34	0.20
Metanol	CH <sub>4</sub> O	19.0	9.152 × 10 <sup>-2</sup>	-1.22 × 10 <sup>-5</sup>	-8.039 × 10 <sup>-9</sup>	273-1000	0.18	0.08
Etanol	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	19.9	20.96 × 10 <sup>-2</sup>	-10.38 × 10 <sup>-5</sup>	20.05 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.40	0.22
Hidrojen klorür	HCl	30.33	-0.7620 × 10 <sup>-2</sup>	1.327 × 10 <sup>-5</sup>	-4.338 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.22	0.08
Metan	CH <sub>4</sub>	19.89	5.024 × 10 <sup>-2</sup>	1.269 × 10 <sup>-5</sup>	-11.01 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	1.33	0.57
Etan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	6.900	17.27 × 10 <sup>-2</sup>	-6.406 × 10 <sup>-5</sup>	7.285 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.83	0.28
Propan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	-4.04	30.48 × 10 <sup>-2</sup>	-15.72 × 10 <sup>-5</sup>	31.74 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.40	0.12
n-Bütan	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	3.96	37.15 × 10 <sup>-2</sup>	-18.34 × 10 <sup>-5</sup>	35.00 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.54	0.24
i-Bütan	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	-7.913	41.60 × 10 <sup>-2</sup>	-23.01 × 10 <sup>-5</sup>	49.91 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.25	0.13
n-Pentan	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	6.774	45.43 × 10 <sup>-2</sup>	-22.46 × 10 <sup>-5</sup>	42.29 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.56	0.21
n-Heksan	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	6.938	55.22 × 10 <sup>-2</sup>	-28.65 × 10 <sup>-5</sup>	57.69 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.72	0.20
Etilen	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	3.95	15.64 × 10 <sup>-2</sup>	-8.344 × 10 <sup>-5</sup>	17.67 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.54	0.13
Propilen	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	3.15	23.83 × 10 <sup>-2</sup>	-12.18 × 10 <sup>-5</sup>	24.62 × 10 <sup>-9</sup>	273-1500	0.73	0.17

Kaynak: B. G. Kyle, *Chemical and Process Thermodynamics* (Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 1984) izin alınarak kullanılmıştır.



## 888 | Termodinamik

TABLO A-3

Bilinen bazı sıvı, katı ve yiyeceklerin özellikleri

(a) Sıvılar

Madde	1 atm basınçta kaynama verileri		Donma verileri		Sıvı özellikleri		
	Normal kaynama noktası, °C	Buharlaştırma gizli ısı $h_{fg}$ , kJ/kg	Donma noktası, °C	Füzyon gizli ısı $h_{if}$ , kJ/kg	Sıcaklık, °C	Yoğunluk $\rho$ , kg/m <sup>3</sup>	Özgül ısı $c_p$ , kJ/kg · K
Amonyak	-33.3	1357	-77.7	322.4	-33.3 -20 0 25	682 665 639 602	4.43 4.52 4.60 4.80
Argon	-185.9	161.6	-189.3	28	-185.6	1394	1.14
Benzen	80.2	394	5.5	126	20	879	1.72
Tuzlu su (Kütlese %20 sodyum klorür)	103.9	—	-17.4	—	20	1150	3.11
<i>n</i> -Bütan	-0.5	385.2	-138.5	80.3	-0.5	601	2.31
Karbon dioksit	-78.4*	230.5 (at 0°C)	-56.6	—	0	298	0.59
Etanol	78.2	838.3	-114.2	109	25	783	2.46
Etil alkol	78.6	855	-156	108	20	789	2.84
Etilen glikol	198.1	800.1	-10.8	181.1	20	1109	2.84
Gliserin	179.9	974	18.9	200.6	20	1261	2.32
Helyum	-268.9	22.8	—	—	-268.9	146.2	22.8
Hidrojen	-252.8	445.7	-259.2	59.5	-252.8	70.7	10.0
İzobütan	-11.7	367.1	-160	105.7	-11.7	593.8	2.28
Kerosen	204–293	251	-24.9	—	20	820	2.00
Civa	356.7	294.7	-38.9	11.4	25	13,560	0.139
Metan	-161.5	510.4	-182.2	58.4	-161.5 -100	423 301	3.49 5.79
Metanol	64.5	1100	-97.7	99.2	25	787	2.55
Azot	-195.8	198.6	-210	25.3	-195.8 -160	809 596	2.06 2.97
Oktan	124.8	306.3	-57.5	180.7	20	703	2.10
Yağ (hafif)	—	—	—	—	25	910	1.80
Oksijen	-183	212.7	-218.8	13.7	-183	1141	1.71
Petrol	—	230–384	—	—	20	640	2.0
Propan	-42.1	427.8	-187.7	80.0	-42.1 0 50	581 529 449	2.25 2.53 3.13
Soğutucu akışkan-134a	-26.1	217.0	-96.6	—	-50 -26.1 0	1443 1374 1295	1.23 1.27 1.34
Su	100	2257	0.0	333.7	0 25 50 75 100	1000 997 988 975 958	4.22 4.18 4.18 4.19 4.22

\* Sublimasyon sıcaklığı. (Üçlü-nokta basıncı olan 518 kPa basıncının altındaki basınçlarda karbon dioksit katı veya gaz durumundadır. Karbon dioksitin donma noktası sıcaklığı da üçlü-nokta sıcaklığı olan -56.5°C'dir.



Bilinen bazı sıvı, katı ve yiyeceklerin özellikleri (*Devam*)

(b) Katılar (aksi belirtilmediği sürece değerler oda sıcaklığındadır.)

Madde	Yoğunluk, $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Özgül ısı, $c_p$ kJ/kg · K	Madde	Yoğunluk, $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Özgül ısı, $c_p$ kJ/kg · K
Metaller			Metal olmayanlar		
Alüminyum			Asfalt	2110	0.920
200 K		0.797	Tuğla, bilinen	1922	0.79
250 K		0.859	Tuğla, ateş tuğlası (500°C)	2300	0.960
300 K	2,700	0.902	Beton	2300	0.653
350 K		0.929	Kil	1000	0.920
400 K		0.949	Elmas	2420	0.616
450 K		0.973	Cam, pencere	2700	0.800
500 K		0.997	Cam, ateşe dayanıklı	2230	0.840
Bronz (%76 Cu, %2 Zn, %2 Al)	8,280	0.400	Grafit	2500	0.711
Pirinç, sarı (%65 Cu, %35 Zn)	8,310	0.400	Granit	2700	1.017
Bakır			Alçıtaşı ve sıva	800	1.09
-173°C		0.254	Buz		
-100°C	0.342	240 K	200 K		1.56
-50°C		0.367	220 K	1.86	1.71
0°C		0.381	260 K		2.01
27°C	8,900	0.386	273 K	921	2.11
100°C		0.393	Kireçtaşı	1650	0.909
200°C		0.403	Mermer	2600	0.880
Demir	7,840	0.45	Kontrplak (köknar)	545	1.21
Kurşun	11,310	0.128	Lastik (yumuşak)	1100	1.840
Magnezyum	1,730	1.000	Lastik (sert)	1150	2.009
Nikel	8,890	0.440	Kum	1520	0.800
Gümüş	10,470	0.235	Taş	1500	0.800
Çelik, yumuşak	7,830	0.500	Tahta, sert (akçaağaç, meşe, vb.)	721	1.26
Tungsten	19,400	0.130	Tahta, yumuşak (köknar, çam, vb.)	513	1.38

(c) Yiyecekler

Yiyecek	Su içeriği, % (kütle)	Donma noktası °C	Özgül ısı, kJ/ (kg.K)		Füzyon gizli ısı, kJ/kg	Yiyecek	Su içeriği, % (kütle)	Donma noktası °C	Özgül ısı, kJ/ (kg.K)		Füzyon gizli ısı, kJ/kg
			Donma nok. üst.	Donma nok. alt.					Donma nok. üst.	Donma nok. alt.	
Elma	84	-1.1	3.65	1.90	281	Marul	95	-0.2	4.02	2.04	317
Muz	75	-0.8	3.35	1.78	251	Süt, tümü	88	-0.6	3.79	1.95	294
Siğir eti	67	—	3.08	1.68	224	Portakal	87	-0.8	3.75	1.94	291
Brokoli	90	-0.6	3.86	1.97	301	Patates	78	-0.6	3.45	1.82	261
Tereyağı	16	—	—	1.04	53	Som balığı	64	-2.2	2.98	1.65	214
Peynir, İsviçre	39	-10.0	2.15	1.33	130	Karides	83	-2.2	3.62	1.89	277
Kiraz	80	-1.8	3.52	1.85	267	İspanak	93	-0.3	3.96	2.01	311
Piliç	74	-2.8	3.32	1.77	247	Çilek	90	-0.8	3.86	1.97	301
Mısır	74	-0.6	3.32	1.77	247	Domates, olgun	94	-0.5	3.99	2.02	314
Yumurta, Tümü	74	-0.6	3.32	1.77	247	Hindi	64	—	2.98	1.65	214
Dondurma	63	-5.6	2.95	1.63	210	Karpuz	93	-0.4	3.96	2.01	311

Kaynak: Değerler çeşitli elkitaplardan ve kaynaklardan alınmış veya hesaplanmıştır. Yiyeceklerin donma noktası ve su içeriği verileri "ASHRAE, *Handbook of Fundamentals*, SI version (Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1993), Bölüm 30, Tablo 1" adlı kaynaktan alınmıştır. Donma noktası, meyve ve sebzeler için donmanın başladığı sıcaklık, diğer yiyecekler için ise ortalama donma sıcaklığıdır.



## 890 | Termodinamik

TABLO A-4

Doymuş su — Sıcaklık tablosu

Sıcaklık, $T$ °C	Doymuş basıncı, $P_{\text{doy}}$ kPa	Özgül hacim, $\text{m}^3/\text{kg}$		İç enerji, $\text{kJ}/\text{kg}$			Entalpi, $\text{kJ}/\text{kg}$			Entropi, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$		
		Doymuş sıvı, $v_f$	Doymuş buhar, $v_g$	Doymuş sıvı, $u_f$	Doymuş Buhar., $u_{fg}$	Doymuş buhar, $u_g$	Doymuş sıvı, $h_f$	Doymuş Buhar., $h_{fg}$	Doymuş buhar, $h_g$	Doymuş sıvı, $s_f$	Doymuş Buhar., $s_{fg}$	Doymuş buhar, $s_g$
0.01	0.6117	0.001000	206.00	0.000	2374.9	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1556	9.1556
5	0.8725	0.001000	147.03	21.019	2360.8	2381.8	21.020	2489.1	2510.1	0.0763	8.9487	9.0249
10	1.2281	0.001000	106.32	42.020	2346.6	2388.7	42.022	2477.2	2519.2	0.1511	8.7488	8.8999
15	1.7057	0.001001	77.885	62.980	2332.5	2395.5	62.982	2465.4	2528.3	0.2245	8.5559	8.7803
20	2.3392	0.001002	57.762	83.913	2318.4	2402.3	83.915	2453.5	2537.4	0.2965	8.3696	8.6661
25	3.1698	0.001003	43.340	104.83	2304.3	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1895	8.5567
30	4.2469	0.001004	32.879	125.73	2290.2	2415.9	125.74	2429.8	2555.6	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6291	0.001006	25.205	146.63	2276.0	2422.7	146.64	2417.9	2564.6	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3851	0.001008	19.515	167.53	2261.9	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6832	8.2556
45	9.5953	0.001010	15.251	188.43	2247.7	2436.1	188.44	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.026	209.33	2233.4	2442.7	209.34	2382.0	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.763	0.001015	9.5639	230.24	2219.1	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.947	0.001017	7.6670	251.16	2204.7	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9082
65	25.043	0.001020	6.1935	272.09	2190.3	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9360	7.8296
70	31.202	0.001023	5.0396	293.04	2175.8	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.597	0.001026	4.1291	313.99	2161.3	2475.3	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6655	7.6812
80	47.416	0.001029	3.4053	334.97	2146.6	2481.6	335.02	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111
85	57.868	0.001032	2.8261	355.96	2131.9	2487.8	356.02	2295.3	2651.4	1.1346	6.4089	7.5435
90	70.183	0.001036	2.3593	376.97	2117.0	2494.0	377.04	2282.5	2659.6	1.1929	6.2853	7.4782
95	84.609	0.001040	1.9808	398.00	2102.0	2500.1	398.09	2269.6	2667.6	1.2504	6.1647	7.4151
100	101.42	0.001043	1.6720	419.06	2087.0	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.0470	7.3542
105	120.90	0.001047	1.4186	440.15	2071.8	2511.9	440.28	2243.1	2683.4	1.3634	5.9319	7.2952
110	143.38	0.001052	1.2094	461.27	2056.4	2517.7	461.42	2229.7	2691.1	1.4188	5.8193	7.2382
115	169.18	0.001056	1.0360	482.42	2040.9	2523.3	482.59	2216.0	2698.6	1.4737	5.7092	7.1829
120	198.67	0.001060	0.89133	503.60	2025.3	2528.9	503.81	2202.1	2706.0	1.5279	5.6013	7.1292
125	232.23	0.001065	0.77012	524.83	2009.5	2534.3	525.07	2188.1	2713.1	1.5816	5.4956	7.0771
130	270.28	0.001070	0.66808	546.10	1993.4	2539.5	546.38	2173.7	2720.1	1.6346	5.3919	7.0265
135	313.22	0.001075	0.58179	567.41	1977.3	2544.7	567.75	2159.1	2726.9	1.6872	5.2901	6.9773
140	361.53	0.001080	0.50850	588.77	1960.9	2549.6	589.16	2144.3	2733.5	1.7392	5.1901	6.9294
145	415.68	0.001085	0.44600	610.19	1944.2	2554.4	610.64	2129.2	2739.8	1.7908	5.0919	6.8827
150	476.16	0.001091	0.39248	631.66	1927.4	2559.1	632.18	2113.8	2745.9	1.8418	4.9953	6.8371
155	543.49	0.001096	0.34648	653.19	1910.3	2563.5	653.79	2098.0	2751.8	1.8924	4.9002	6.7927
160	618.23	0.001102	0.30680	674.79	1893.0	2567.8	675.47	2082.0	2757.5	1.9426	4.8066	6.7492
165	700.93	0.001108	0.27244	696.46	1875.4	2571.9	697.24	2065.6	2762.8	1.9923	4.7143	6.7067
170	792.18	0.001114	0.24260	718.20	1857.5	2575.7	719.08	2048.8	2767.9	2.0417	4.6233	6.6650
175	892.60	0.001121	0.21659	740.02	1839.4	2579.4	741.02	2031.7	2772.7	2.0906	4.5335	6.6242
180	1002.8	0.001127	0.19384	761.92	1820.9	2582.8	763.05	2014.2	2777.2	2.1392	4.4448	6.5841
185	1123.5	0.001134	0.17390	783.91	1802.1	2586.0	785.19	1996.2	2781.4	2.1875	4.3572	6.5447
190	1255.2	0.001141	0.15636	806.00	1783.0	2589.0	807.43	1977.9	2785.3	2.2355	4.2705	6.5059
195	1398.8	0.001149	0.14089	828.18	1763.6	2591.7	829.78	1959.0	2788.8	2.2831	4.1847	6.4678
200	1554.9	0.001157	0.12721	850.46	1743.7	2594.2	852.26	1939.8	2792.0	2.3305	4.0997	6.4302



TABLO A-4

Doymuş su — Sıcaklık tablosu

Sıcaklık, $T$ °C	Doyma basıncı $P_{\text{doy}}$ kPa	Özgül hacim, $\text{m}^3/\text{kg}$		İç enerji, $\text{kJ}/\text{kg}$			Entalpi, $\text{kJ}/\text{kg}$			Entropi, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$		
		Doymuş sıvı, $v_f$	Doymuş buhar, $v_g$	Doymuş sıvı, $u_f$	Buhar., $u_{fg}$	Doymuş buhar, $u_g$	Doymuş sıvı, $h_f$	Buhar., $h_{fg}$	Doymuş buhar, $h_g$	Doymuş sıvı, $s_f$	Buhar., $s_{fg}$	Doymuş buhar, $s_g$
205	1724.3	0.001164	0.11508	872.86	1723.5	2596.4	874.87	1920.0	2794.8	2.3776	4.0154	6.3930
210	1907.7	0.001173	0.10429	895.38	1702.9	2598.3	897.61	1899.7	2797.3	2.4245	3.9318	6.3563
215	2105.9	0.001181	0.094680	918.02	1681.9	2599.9	920.50	1878.8	2799.3	2.4712	3.8489	6.3200
220	2319.6	0.001190	0.086094	940.79	1660.5	2601.3	943.55	1857.4	2801.0	2.5176	3.7664	6.2840
225	2549.7	0.001199	0.078405	963.70	1638.6	2602.3	966.76	1835.4	2802.2	2.5639	3.6844	6.2483
230	2797.1	0.001209	0.071505	986.76	1616.1	2602.9	990.14	1812.8	2802.9	2.6100	3.6028	6.2128
235	3062.6	0.001219	0.065300	1010.0	1593.2	2603.2	1013.7	1789.5	2803.2	2.6560	3.5216	6.1775
240	3347.0	0.001229	0.059707	1033.4	1569.8	2603.1	1037.5	1765.5	2803.0	2.7018	3.4405	6.1424
245	3651.2	0.001240	0.054656	1056.9	1545.7	2602.7	1061.5	1740.8	2802.2	2.7476	3.3596	6.1072
250	3976.2	0.001252	0.050085	1080.7	1521.1	2601.8	1085.7	1715.3	2801.0	2.7933	3.2788	6.0721
255	4322.9	0.001263	0.045941	1104.7	1495.8	2600.5	1110.1	1689.0	2799.1	2.8390	3.1979	6.0369
260	4692.3	0.001276	0.042175	1128.8	1469.9	2598.7	1134.8	1661.8	2796.6	2.8847	3.1169	6.0017
265	5085.3	0.001289	0.038748	1153.3	1443.2	2596.5	1159.8	1633.7	2793.5	2.9304	3.0358	5.9662
270	5503.0	0.001303	0.035622	1177.9	1415.7	2593.7	1185.1	1604.6	2789.7	2.9762	2.9542	5.9305
275	5946.4	0.001317	0.032767	1202.9	1387.4	2590.3	1210.7	1574.5	2785.2	3.0221	2.8723	5.8944
280	6416.6	0.001333	0.030153	1228.2	1358.2	2586.4	1236.7	1543.2	2779.9	3.0681	2.7898	5.8579
285	6914.6	0.001349	0.027756	1253.7	1328.1	2581.8	1263.1	1510.7	2773.7	3.1144	2.7066	5.8210
290	7441.8	0.001366	0.025554	1279.7	1296.9	2576.5	1289.8	1476.9	2766.7	3.1608	2.6225	5.7834
295	7999.0	0.001384	0.023528	1306.0	1264.5	2570.5	1317.1	1441.6	2758.7	3.2076	2.5374	5.7450
300	8587.9	0.001404	0.021659	1332.7	1230.9	2563.6	1344.8	1404.8	2749.6	3.2548	2.4511	5.7059
305	9209.4	0.001425	0.019932	1360.0	1195.9	2555.8	1373.1	1366.3	2739.4	3.3024	2.3633	5.6657
310	9865.0	0.001447	0.018333	1387.7	1159.3	2547.1	1402.0	1325.9	2727.9	3.3506	2.2737	5.6243
315	10,556	0.001472	0.016849	1416.1	1121.1	2537.2	1431.6	1283.4	2715.0	3.3994	2.1821	5.5816
320	11,284	0.001499	0.015470	1445.1	1080.9	2526.0	1462.0	1238.5	2700.6	3.4491	2.0881	5.5372
325	12,051	0.001528	0.014183	1475.0	1038.5	2513.4	1493.4	1191.0	2684.3	3.4998	1.9911	5.4908
330	12,858	0.001560	0.012979	1505.7	993.5	2499.2	1525.8	1140.3	2666.0	3.5516	1.8906	5.4422
335	13,707	0.001597	0.011848	1537.5	945.5	2483.0	1559.4	1086.0	2645.4	3.6050	1.7857	5.3907
340	14,601	0.001638	0.010783	1570.7	893.8	2464.5	1594.6	1027.4	2622.0	3.6602	1.6756	5.3358
345	15,541	0.001685	0.009772	1605.5	837.7	2443.2	1631.7	963.4	2595.1	3.7179	1.5585	5.2765
350	16,529	0.001741	0.008806	1642.4	775.9	2418.3	1671.2	892.7	2563.9	3.7788	1.4326	5.2114
355	17,570	0.001808	0.007872	1682.2	706.4	2388.6	1714.0	812.9	2526.9	3.8442	1.2942	5.1384
360	18,666	0.001895	0.006950	1726.2	625.7	2351.9	1761.5	720.1	2481.6	3.9165	1.1373	5.0537
365	19,822	0.002015	0.006009	1777.2	526.4	2303.6	1817.2	605.5	2422.7	4.0004	0.9489	4.9493
370	21,044	0.002217	0.004953	1844.5	385.6	2230.1	1891.2	443.1	2334.3	4.1119	0.6890	4.8009
373.95	22,064	0.003106	0.003106	2015.7	0	2015.7	2084.3	0	2084.3	4.4070	0	4.4070

*Kaynak:* A-4 - A-8 Tabloları, S. A. Klein and F. L. Alvarado tarafından geliştirilen "Engineering Equation Solver" (EES) yazılımı kullanılarak üretilmiştir. Hesaplarda, yüksek doğrulukta hesap yapan Steam (IAPWS) tarafından yayınlanan "1995 Formulation for the Thermodynamic Properties of Ordinary Water Substance for General and Scientific Use" adlı yayına dayalıdır. Bu yayındaki formülasyon, aynı zamanda EES yazılımında da STEAM rutini olarak kullanılabilir olan, "Hear, Gallagher ve Kell" in 1984 formülasyonunun (NBS/NRC Steam Tables, Hemisphere Publishing Co., 1984) yerini almıştır. Yeni formülasyon Saul ve Wagner' in (J. Phys. Chem. Ref. Data, 893, 1987) korelasyonlarına dayanmakta olup, "International Temperature Scale of 1990" a göre düzenlenmiştir. Söz konusu düzenlemeler Wagner ve Pruss (J. Phys. Chem. Ref. Data, 22, 783, 1993) tarafından açıklanmıştır. Buzun özellikleri Hyland ve Wexler' e ("Formulations for the Thermodynamic Properties of the Saturated Phases of H<sub>2</sub>O from 173.15 K to 473.15 K," ASHARE Trans., Part 2A, Paper 2793, 1983) dayalıdır.



## 892 | Termodinamik

TABLO A-5

Doymuş su - Basınç tablosu

Basınç., <i>P</i> kPa	Doyma sıcaklığı., <i>T<sub>doy</sub></i> °C	Özgül hacim, <i>m</i> <sup>3</sup> / <i>kg</i>		İç enerji, <i>kJ/kg</i>			Entalpi, <i>kJ/kg</i>			Entropi, <i>kJ/(kg.K)</i>		
		Doymuş sıvı, <i>v<sub>f</sub></i>	Doymuş buhar, <i>v<sub>g</sub></i>	Doymuş sıvı, <i>u<sub>f</sub></i>	Buhar., <i>u<sub>fg</sub></i>	Doymuş buhar, <i>u<sub>g</sub></i>	Doymuş sıvı, <i>h<sub>f</sub></i>	Buhar., <i>h<sub>fg</sub></i>	Doymuş buhar, <i>h<sub>g</sub></i>	Doymuş sıvı, <i>s<sub>f</sub></i>	Buhar., <i>s<sub>fg</sub></i>	Doymuş buhar, <i>s<sub>g</sub></i>
1.0	6.97	0.001000	129.19	29.302	2355.2	2384.5	29.303	2484.4	2513.7	0.1059	8.8690	8.9749
1.5	13.02	0.001001	87.964	54.686	2338.1	2392.8	54.688	2470.1	2524.7	0.1956	8.6314	8.8270
2.0	17.50	0.001001	66.990	73.431	2325.5	2398.9	73.433	2459.5	2532.9	0.2606	8.4621	8.7227
2.5	21.08	0.001002	54.242	88.422	2315.4	2403.8	88.424	2451.0	2539.4	0.3118	8.3302	8.6421
3.0	24.08	0.001003	45.654	100.98	2306.9	2407.9	100.98	2443.9	2544.8	0.3543	8.2222	8.5765
4.0	28.96	0.001004	34.791	121.39	2293.1	2414.5	121.39	2432.3	2553.7	0.4224	8.0510	8.4734
5.0	32.87	0.001005	28.185	137.75	2282.1	2419.8	137.75	2423.0	2560.7	0.4762	7.9176	8.3938
7.5	40.29	0.001008	19.233	168.74	2261.1	2429.8	168.75	2405.3	2574.0	0.5763	7.6738	8.2501
10	45.81	0.001010	14.670	191.79	2245.4	2437.2	191.81	2392.1	2583.9	0.6492	7.4996	8.1488
15	53.97	0.001014	10.020	225.93	2222.1	2448.0	225.94	2372.3	2598.3	0.7549	7.2522	8.0071
20	60.06	0.001017	7.6481	251.40	2204.6	2456.0	251.42	2357.5	2608.9	0.8320	7.0752	7.9073
25	64.96	0.001020	6.2034	271.93	2190.4	2462.4	271.96	2345.5	2617.5	0.8932	6.9370	7.8302
30	69.09	0.001022	5.2287	289.24	2178.5	2467.7	289.27	2335.3	2624.6	0.9441	6.8234	7.7675
40	75.86	0.001026	3.9933	317.58	2158.8	2476.3	317.62	2318.4	2636.1	1.0261	6.6430	7.6691
50	81.32	0.001030	3.2403	340.49	2142.7	2483.2	340.54	2304.7	2645.2	1.0912	6.5019	7.5931
75	91.76	0.001037	2.2172	384.36	2111.8	2496.1	384.44	2278.0	2662.4	1.2132	6.2426	7.4558
100	99.61	0.001043	1.6941	417.40	2088.2	2505.6	417.51	2257.5	2675.0	1.3028	6.0562	7.3589
101.325	99.97	0.001043	1.6734	418.95	2087.0	2506.0	419.06	2256.5	2675.6	1.3069	6.0476	7.3545
125	105.97	0.001048	1.3750	444.23	2068.8	2513.0	444.36	2240.6	2684.9	1.3741	5.9100	7.2841
150	111.35	0.001053	1.1594	466.97	2052.3	2519.2	467.13	2226.0	2693.1	1.4337	5.7894	7.2231
175	116.04	0.001057	1.0037	486.82	2037.7	2524.5	487.01	2213.1	2700.2	1.4850	5.6865	7.1716
200	120.21	0.001061	0.88578	504.50	2024.6	2529.1	504.71	2201.6	2706.3	1.5302	5.5968	7.1270
225	123.97	0.001064	0.79329	520.47	2012.7	2533.2	520.71	2191.0	2711.7	1.5706	5.5171	7.0877
250	127.41	0.001067	0.71873	535.08	2001.8	2536.8	535.35	2181.2	2716.5	1.6072	5.4453	7.0525
275	130.58	0.001070	0.65732	548.57	1991.6	2540.1	548.86	2172.0	2720.9	1.6408	5.3800	7.0207
300	133.52	0.001073	0.60582	561.11	1982.1	2543.2	561.43	2163.5	2724.9	1.6717	5.3200	6.9917
325	136.27	0.001076	0.56199	572.84	1973.1	2545.9	573.19	2155.4	2728.6	1.7005	5.2645	6.9650
350	138.86	0.001079	0.52422	583.89	1964.6	2548.5	584.26	2147.7	2732.0	1.7274	5.2128	6.9402
375	141.30	0.001081	0.49133	594.32	1956.6	2550.9	594.73	2140.4	2735.1	1.7526	5.1645	6.9171
400	143.61	0.001084	0.46242	604.22	1948.9	2553.1	604.66	2133.4	2738.1	1.7765	5.1191	6.8955
450	147.90	0.001088	0.41392	622.65	1934.5	2557.1	623.14	2120.3	2743.4	1.8205	5.0356	6.8561
500	151.83	0.001093	0.37483	639.54	1921.2	2560.7	640.09	2108.0	2748.1	1.8604	4.9603	6.8207
550	155.46	0.001097	0.34261	655.16	1908.8	2563.9	655.77	2096.6	2752.4	1.8970	4.8916	6.7886
600	158.83	0.001101	0.31560	669.72	1897.1	2566.8	670.38	2085.8	2756.2	1.9308	4.8285	6.7593
650	161.98	0.001104	0.29260	683.37	1886.1	2569.4	684.08	2075.5	2759.6	1.9623	4.7699	6.7322
700	164.95	0.001108	0.27278	696.23	1875.6	2571.8	697.00	2065.8	2762.8	1.9918	4.7153	6.7071
750	167.75	0.001111	0.25552	708.40	1865.6	2574.0	709.24	2056.4	2765.7	2.0195	4.6642	6.6837



TABLO A-5

Doymuş su - Basınç tablosu (Devam)

Basınç., <i>P</i> kPa	Doyma sıcaklığı., <i>T<sub>doym</sub></i> °C	Özgül hacim, m <sup>3</sup> /kg		İç enerji, kJ/kg			Entalpi, kJ/kg		Entalpi, kJ/(kg.K)			
		Doymuş Sıvı, <i>v<sub>f</sub></i>	Doymuş buhar, <i>v<sub>g</sub></i>	Doymuş sıvı, <i>u<sub>f</sub></i>	Buhar., <i>u<sub>fg</sub></i>	Doymuş buhar, <i>u<sub>g</sub></i>	Doymuş sıvı, <i>h<sub>f</sub></i>	Buhar., <i>h<sub>fg</sub></i>	Doymuş buhar, <i>h<sub>g</sub></i>	Doymuş Isıvı, <i>s<sub>f</sub></i>	Buhar., <i>s<sub>fg</sub></i>	Doymuş buhar, <i>s<sub>g</sub></i>
800	170.41	0.001115	0.24035	719.97	1856.1	2576.0	720.87	2047.5	2768.3	2.0457	4.6160	6.6616
850	172.94	0.001118	0.22690	731.00	1846.9	2577.9	731.95	2038.8	2770.8	2.0705	4.5705	6.6409
900	175.35	0.001121	0.21489	741.55	1838.1	2579.6	742.56	2030.5	2773.0	2.0941	4.5273	6.6213
950	177.66	0.001124	0.20411	751.67	1829.6	2581.3	752.74	2022.4	2775.2	2.1166	4.4862	6.6027
1000	179.88	0.001127	0.19436	761.39	1821.4	2582.8	762.51	2014.6	2777.1	2.1381	4.4470	6.5850
1100	184.06	0.001133	0.17745	779.78	1805.7	2585.5	781.03	1999.6	2780.7	2.1785	4.3735	6.5520
1200	187.96	0.001138	0.16326	796.96	1790.9	2587.8	798.33	1985.4	2783.8	2.2159	4.3058	6.5217
1300	191.60	0.001144	0.15119	813.10	1776.8	2589.9	814.59	1971.9	2786.5	2.2508	4.2428	6.4936
1400	195.04	0.001149	0.14078	828.35	1763.4	2591.8	829.96	1958.9	2788.9	2.2835	4.1840	6.4675
1500	198.29	0.001154	0.13171	842.82	1750.6	2593.4	844.55	1946.4	2791.0	2.3143	4.1287	6.4430
1750	205.72	0.001166	0.11344	876.12	1720.6	2596.7	878.16	1917.1	2795.2	2.3844	4.0033	6.3877
2000	212.38	0.001177	0.099587	906.12	1693.0	2599.1	908.47	1889.8	2798.3	2.4467	3.8923	6.3390
2250	218.41	0.001187	0.088717	933.54	1667.3	2600.9	936.21	1864.3	2800.5	2.5029	3.7926	6.2954
2500	223.95	0.001197	0.079952	958.87	1643.2	2602.1	961.87	1840.1	2801.9	2.5542	3.7016	6.2558
3000	233.85	0.001217	0.066667	1004.6	1598.5	2603.2	1008.3	1794.9	2803.2	2.6454	3.5402	6.1856
3500	242.56	0.001235	0.057061	1045.4	1557.6	2603.0	1049.7	1753.0	2802.7	2.7253	3.3991	6.1244
4000	250.35	0.001252	0.049779	1082.4	1519.3	2601.7	1087.4	1713.5	2800.8	2.7966	3.2731	6.0696
5000	263.94	0.001286	0.039448	1148.1	1448.9	2597.0	1154.5	1639.7	2794.2	2.9207	3.0530	5.9737
6000	275.59	0.001319	0.032449	1205.8	1384.1	2589.9	1213.8	1570.9	2784.6	3.0275	2.8627	5.8902
7000	285.83	0.001352	0.027378	1258.0	1323.0	2581.0	1267.5	1505.2	2772.6	3.1220	2.6927	5.8148
8000	295.01	0.001384	0.023525	1306.0	1264.5	2570.5	1317.1	1441.6	2758.7	3.2077	2.5373	5.7450
9000	303.35	0.001418	0.020489	1350.9	1207.6	2558.5	1363.7	1379.3	2742.9	3.2866	2.3925	5.6791
10,000	311.00	0.001452	0.018028	1393.3	1151.8	2545.2	1407.8	1317.6	2725.5	3.3603	2.2556	5.6159
11,000	318.08	0.001488	0.015988	1433.9	1096.6	2530.4	1450.2	1256.1	2706.3	3.4299	2.1245	5.5544
12,000	324.68	0.001526	0.014264	1473.0	1041.3	2514.3	1491.3	1194.1	2685.4	3.4964	1.9975	5.4939
13,000	330.85	0.001566	0.012781	1511.0	985.5	2496.6	1531.4	1131.3	2662.7	3.5606	1.8730	5.4336
14,000	336.67	0.001610	0.011487	1548.4	928.7	2477.1	1571.0	1067.0	2637.9	3.6232	1.7497	5.3728
15,000	342.16	0.001657	0.010341	1585.5	870.3	2455.7	1610.3	1000.5	2610.8	3.6848	1.6261	5.3108
16,000	347.36	0.001710	0.009312	1622.6	809.4	2432.0	1649.9	931.1	2581.0	3.7461	1.5005	5.2466
17,000	352.29	0.001770	0.008374	1660.2	745.1	2405.4	1690.3	857.4	2547.7	3.8082	1.3709	5.1791
18,000	356.99	0.001840	0.007504	1699.1	675.9	2375.0	1732.2	777.8	2510.0	3.8720	1.2343	5.1064
19,000	361.47	0.001926	0.006677	1740.3	598.9	2339.2	1776.8	689.2	2466.0	3.9396	1.0860	5.0256
20,000	365.75	0.002038	0.005862	1785.8	509.0	2294.8	1826.6	585.5	2412.1	4.0146	0.9164	4.9310
21,000	369.83	0.002207	0.004994	1841.6	391.9	2233.5	1888.0	450.4	2338.4	4.1071	0.7005	4.8076
22,000	373.71	0.002703	0.003644	1951.7	140.8	2092.4	2011.1	161.5	2172.6	4.2942	0.2496	4.5439
22,064	373.95	0.003106	0.003106	2015.7	0	2015.7	2084.3	0	2084.3	4.4070	0	4.4070



## 894 | Termodinamik

TABLO A-6

Kızgın su buharı

$T$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/(kg.K)
<b><math>P = 0.01</math> MPa (45.81°C)*</b>				<b><math>P = 0.05</math> MPa (81.32°C)</b>				<b><math>P = 0.10</math> MPa (99.61°C)</b>				
Doymuş†	14.670	2437.2	2583.9	8.1488	3.2403	2483.2	2645.2	7.5931	1.6941	2505.6	2675.0	7.3589
50	14.867	2443.3	2592.0	8.1741								
100	17.196	2515.5	2687.5	8.4489	3.4187	2511.5	2682.4	7.6953	1.6959	2506.2	2675.8	7.3611
150	19.513	2587.9	2783.0	8.6893	3.8897	2585.7	2780.2	7.9413	1.9367	2582.9	2776.6	7.6148
200	21.826	2661.4	2879.6	8.9049	4.3562	2660.0	2877.8	8.1592	2.1724	2658.2	2875.5	7.8356
250	24.136	2736.1	2977.5	9.1015	4.8206	2735.1	2976.2	8.3568	2.4062	2733.9	2974.5	8.0346
300	26.446	2812.3	3076.7	9.2827	5.2841	2811.6	3075.8	8.5387	2.6389	2810.7	3074.5	8.2172
400	31.063	2969.3	3280.0	9.6094	6.2094	2968.9	3279.3	8.8659	3.1027	2968.3	3278.6	8.5452
500	35.680	3132.9	3489.7	9.8998	7.1338	3132.6	3489.3	9.1566	3.5655	3132.2	3488.7	8.8362
600	40.296	3303.3	3706.3	10.1631	8.0577	3303.1	3706.0	9.4201	4.0279	3302.8	3705.6	9.0999
700	44.911	3480.8	3929.9	10.4056	8.9813	3480.6	3929.7	9.6626	4.4900	3480.4	3929.4	9.3424
800	49.527	3665.4	4160.6	10.6312	9.9047	3665.2	4160.4	9.8883	4.9519	3665.0	4160.2	9.5682
900	54.143	3856.9	4398.3	10.8429	10.8280	3856.8	4398.2	10.1000	5.4137	3856.7	4398.0	9.7800
1000	58.758	4055.3	4642.8	11.0429	11.7513	4055.2	4642.7	10.3000	5.8755	4055.0	4642.6	9.9800
1100	63.373	4260.0	4893.8	11.2326	12.6745	4259.9	4893.7	10.4897	6.3372	4259.8	4893.6	10.1698
1200	67.989	4470.9	5150.8	11.4132	13.5977	4470.8	5150.7	10.6704	6.7988	4470.7	5150.6	10.3504
1300	72.604	4687.4	5413.4	11.5857	14.5209	4687.3	5413.3	10.8429	7.2605	4687.2	5413.3	10.5229
<b><math>P = 0.20</math> MPa (120.21°C)</b>				<b><math>P = 0.30</math> MPa (133.52°C)</b>				<b><math>P = 0.40</math> MPa (143.61°C)</b>				
Doymuş	0.88578	2529.1	2706.3	7.1270	0.60582	2543.2	2724.9	6.9917	0.46242	2553.1	2738.1	6.8955
150	0.95986	2577.1	2769.1	7.2810	0.63402	2571.0	2761.2	7.0792	0.47088	2564.4	2752.8	6.9306
200	1.08049	2654.6	2870.7	7.5081	0.71643	2651.0	2865.9	7.3132	0.53434	2647.2	2860.9	7.1723
250	1.19890	2731.4	2971.2	7.7100	0.79645	2728.9	2967.9	7.5180	0.59520	2726.4	2964.5	7.3804
300	1.31623	2808.8	3072.1	7.8941	0.87535	2807.0	3069.6	7.7037	0.65489	2805.1	3067.1	7.5677
400	1.54934	2967.2	3277.0	8.2236	1.03155	2966.0	3275.5	8.0347	0.77265	2964.9	3273.9	7.9003
500	1.78142	3131.4	3487.7	8.5153	1.18672	3130.6	3486.6	8.3271	0.88936	3129.8	3485.5	8.1933
600	2.01302	3302.2	3704.8	8.7793	1.34139	3301.6	3704.0	8.5915	1.00558	3301.0	3703.3	8.4580
700	2.24434	3479.9	3928.8	9.0221	1.49580	3479.5	3928.2	8.8345	1.12152	3479.0	3927.6	8.7012
800	2.47550	3664.7	4159.8	9.2479	1.65004	3664.3	4159.3	9.0605	1.23730	3663.9	4158.9	8.9274
900	2.70656	3856.3	4397.7	9.4598	1.80417	3856.0	4397.3	9.2725	1.35298	3855.7	4396.9	9.1394
1000	2.93755	4054.8	4642.3	9.6599	1.95824	4054.5	4642.0	9.4726	1.46859	4054.3	4641.7	9.3396
1100	3.16848	4259.6	4893.3	9.8497	2.11226	4259.4	4893.1	9.6624	1.58414	4259.2	4892.9	9.5295
1200	3.39938	4470.5	5150.4	10.0304	2.26624	4470.3	5150.2	9.8431	1.69966	4470.2	5150.0	9.7102
1300	3.63026	4687.1	5413.1	10.2029	2.42019	4686.9	5413.0	10.0157	1.81516	4686.7	5412.8	9.8828
<b><math>P = 0.50</math> MPa (151.83°C)</b>				<b><math>P = 0.60</math> MPa (158.83°C)</b>				<b><math>P = 0.80</math> MPa (170.41°C)</b>				
Doymuş	0.37483	2560.7	2748.1	6.8207	0.31560	2566.8	2756.2	6.7593	0.24035	2576.0	2768.3	6.6616
200	0.42503	2643.3	2855.8	7.0610	0.35212	2639.4	2850.6	6.9683	0.26088	2631.1	2839.8	6.8177
250	0.47443	2723.8	2961.0	7.2725	0.39390	2721.2	2957.6	7.1833	0.29321	2715.9	2950.4	7.0402
300	0.52261	2803.3	3064.6	7.4614	0.43442	2801.4	3062.0	7.3740	0.32416	2797.5	3056.9	7.2345
350	0.57015	2883.0	3168.1	7.6346	0.47428	2881.6	3166.1	7.5481	0.35442	2878.6	3162.2	7.4107
400	0.61731	2963.7	3272.4	7.7956	0.51374	2962.5	3270.8	7.7097	0.38429	2960.2	3267.7	7.5735
500	0.71095	3129.0	3484.5	8.0893	0.59200	3128.2	3483.4	8.0041	0.44332	3126.6	3481.3	7.8692
600	0.80409	3300.4	3702.5	8.3544	0.66976	3299.8	3701.7	8.2695	0.50186	3298.7	3700.1	8.1354
700	0.89696	3478.6	3927.0	8.5978	0.74725	3478.1	3926.4	8.5132	0.56011	3477.2	3925.3	8.3794
800	0.98966	3663.6	4158.4	8.8240	0.82457	3663.2	4157.9	8.7395	0.61820	3662.5	4157.0	8.6061
900	1.08227	3855.4	4396.6	9.0362	0.90179	3855.1	4396.2	8.9518	0.67619	3854.5	4395.5	8.8185
1000	1.17480	4054.0	4641.4	9.2364	0.97893	4053.8	4641.1	9.1521	0.73411	4053.3	4640.5	9.0189
1100	1.26728	4259.0	4892.6	9.4263	1.05603	4258.8	4892.4	9.3420	0.79197	4258.3	4891.9	9.2090
1200	1.35972	4470.0	5149.8	9.6071	1.13309	4469.8	5149.6	9.5229	0.84980	4469.4	5149.3	9.3898
1300	1.45214	4686.6	5412.6	9.7797	1.21012	4686.4	5412.5	9.6955	0.90761	4686.1	5412.2	9.5625

\*Parantez içinde verilen sıcaklıklar, belirtilen basınçtaki doyma sıcaklığıdır.

† Belirtilen basınçta doymuş buharın özellikleri.





TABLO A-6

Kızgın su buharı (Devam)

$T$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/(kg.K)	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/(kg.K)	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/(kg.K)
<b><math>P = 1.00 \text{ MPa (179.88}^\circ\text{C)}</math></b>				<b><math>P = 1.20 \text{ MPa (187.96}^\circ\text{C)}</math></b>				<b><math>P = 1.40 \text{ MPa (195.04}^\circ\text{C)}</math></b>				
Doymuş	0.19437	2582.8	2777.1	6.5850	0.16326	2587.8	2783.8	6.5217	0.14078	2591.8	2788.9	6.4675
200	0.20602	2622.3	2828.3	6.6956	0.16934	2612.9	2816.1	6.5909	0.14303	2602.7	2803.0	6.4975
250	0.23275	2710.4	2943.1	6.9265	0.19241	2704.7	2935.6	6.8313	0.16356	2698.9	2927.9	6.7488
300	0.25799	2793.7	3051.6	7.1246	0.21386	2789.7	3046.3	7.0335	0.18233	2785.7	3040.9	6.9553
350	0.28250	2875.7	3158.2	7.3029	0.23455	2872.7	3154.2	7.2139	0.20029	2869.7	3150.1	7.1379
400	0.30661	2957.9	3264.5	7.4670	0.25482	2955.5	3261.3	7.3793	0.21782	2953.1	3258.1	7.3046
500	0.35411	3125.0	3479.1	7.7642	0.29464	3123.4	3477.0	7.6779	0.25216	3121.8	3474.8	7.6047
600	0.40111	3297.5	3698.6	8.0311	0.33395	3296.3	3697.0	7.9456	0.28597	3295.1	3695.5	7.8730
700	0.44783	3476.3	3924.1	8.2755	0.37297	3475.3	3922.9	8.1904	0.31951	3474.4	3921.7	8.1183
800	0.49438	3661.7	4156.1	8.5024	0.41184	3661.0	4155.2	8.4176	0.35288	3660.3	4154.3	8.3458
900	0.54083	3853.9	4394.8	8.7150	0.45059	3853.3	4394.0	8.6303	0.38614	3852.7	4393.3	8.5587
1000	0.58721	4052.7	4640.0	8.9155	0.48928	4052.2	4639.4	8.8310	0.41933	4051.7	4638.8	8.7595
1100	0.63354	4257.9	4891.4	9.1057	0.52792	4257.5	4891.0	9.0212	0.45247	4257.0	4890.5	8.9497
1200	0.67983	4469.0	5148.9	9.2866	0.56652	4468.7	5148.5	9.2022	0.48558	4468.3	5148.1	9.1308
1300	0.72610	4685.8	5411.9	9.4593	0.60509	4685.5	5411.6	9.3750	0.51866	4685.1	5411.3	9.3036
<b><math>P = 1.60 \text{ MPa (201.37}^\circ\text{C)}</math></b>				<b><math>P = 1.80 \text{ MPa (207.11}^\circ\text{C)}</math></b>				<b><math>P = 2.00 \text{ MPa (212.38}^\circ\text{C)}</math></b>				
Doymuş	0.12374	2594.8	2792.8	6.4200	0.11037	2597.3	2795.9	6.3775	0.09959	2599.1	2798.3	6.3390
225	0.13293	2645.1	2857.8	6.5537	0.11678	2637.0	2847.2	6.4825	0.10381	2628.5	2836.1	6.4160
250	0.14190	2692.9	2919.9	6.6753	0.12502	2686.7	2911.7	6.6088	0.11150	2680.3	2903.3	6.5475
300	0.15866	2781.6	3035.4	6.8864	0.14025	2777.4	3029.9	6.8246	0.12551	2773.2	3024.2	6.7684
350	0.17459	2866.6	3146.0	7.0713	0.15460	2863.6	3141.9	7.0120	0.13860	2860.5	3137.7	6.9583
400	0.19007	2950.8	3254.9	7.2394	0.16849	2948.3	3251.6	7.1814	0.15122	2945.9	3248.4	7.1292
500	0.22029	3120.1	3472.6	7.5410	0.19551	3118.5	3470.4	7.4845	0.17568	3116.9	3468.3	7.4337
600	0.24999	3293.9	3693.9	7.8101	0.22200	3292.7	3692.3	7.7543	0.19962	3291.5	3690.7	7.7043
700	0.27941	3473.5	3920.5	8.0558	0.24822	3472.6	3919.4	8.0005	0.22326	3471.7	3918.2	7.9509
800	0.30865	3659.5	4153.4	8.2834	0.27426	3658.8	4152.4	8.2284	0.24674	3658.0	4151.5	8.1791
900	0.33780	3852.1	4392.6	8.4965	0.30020	3851.5	4391.9	8.4417	0.27012	3850.9	4391.1	8.3925
1000	0.36687	4051.2	4638.2	8.6974	0.32606	4050.7	4637.6	8.6427	0.29342	4050.2	4637.1	8.5936
1100	0.39589	4256.6	4890.0	8.8878	0.35188	4256.2	4889.6	8.8331	0.31667	4255.7	4889.1	8.7842
1200	0.42488	4467.9	5147.7	9.0689	0.37766	4467.6	5147.3	9.0143	0.33989	4467.2	5147.0	8.9654
1300	0.45383	4684.8	5410.9	9.2418	0.40341	4684.5	5410.6	9.1872	0.36308	4684.2	5410.3	9.1384
<b><math>P = 2.50 \text{ MPa (223.95}^\circ\text{C)}</math></b>				<b><math>P = 3.00 \text{ MPa (233.85}^\circ\text{C)}</math></b>				<b><math>P = 3.50 \text{ MPa (242.56}^\circ\text{C)}</math></b>				
Doymuş	0.07995	2602.1	2801.9	6.2558	0.06667	2603.2	2803.2	6.1856	0.05706	2603.0	2802.7	6.1244
225	0.08026	2604.8	2805.5	6.2629								
250	0.08705	2663.3	2880.9	6.4107	0.07063	2644.7	2856.5	6.2893	0.05876	2624.0	2829.7	6.1764
300	0.09894	2762.2	3009.6	6.6459	0.08118	2750.8	2994.3	6.5412	0.06845	2738.8	2978.4	6.4484
350	0.10979	2852.5	3127.0	6.8424	0.09056	2844.4	3116.1	6.7450	0.07680	2836.0	3104.9	6.6601
400	0.12012	2939.8	3240.1	7.0170	0.09938	2933.6	3231.7	6.9235	0.08456	2927.2	3223.2	6.8428
450	0.13015	3026.2	3351.6	7.1768	0.10789	3021.2	3344.9	7.0856	0.09198	3016.1	3338.1	7.0074
500	0.13999	3112.8	3462.8	7.3254	0.11620	3108.6	3457.2	7.2359	0.09919	3104.5	3451.7	7.1593
600	0.15931	3288.5	3686.8	7.5979	0.13245	3285.5	3682.8	7.5103	0.11325	3282.5	3678.9	7.4357
700	0.17835	3469.3	3915.2	7.8455	0.14841	3467.0	3912.2	7.7590	0.12702	3464.7	3909.3	7.6855
800	0.19722	3656.2	4149.2	8.0744	0.16420	3654.3	4146.9	7.9885	0.14061	3652.5	4144.6	7.9156
900	0.21597	3849.4	4389.3	8.2882	0.17988	3847.9	4387.5	8.2028	0.15410	3846.4	4385.7	8.1304
1000	0.23466	4049.0	4635.6	8.4897	0.19549	4047.7	4634.2	8.4045	0.16751	4046.4	4632.7	8.3324
1100	0.25330	4254.7	4887.9	8.6804	0.21105	4253.6	4886.7	8.5955	0.18087	4252.5	4885.6	8.5236
1200	0.27190	4466.3	5146.0	8.8618	0.22658	4465.3	5145.1	8.7771	0.19420	4464.4	5144.1	8.7053
1300	0.29048	4683.4	5409.5	9.0349	0.24207	4682.6	5408.8	8.9502	0.20750	4681.8	5408.0	8.8786



## 896 | Termodinamik

TABLO A-6

Kızın su buharı (Devam)

$T$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/(kg.K)	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/(kg.K)
<b><math>P = 4.0 \text{ MPa (250.35}^\circ\text{C)}</math></b>				<b><math>P = 4.5 \text{ MPa (257.44}^\circ\text{C)}</math></b>				<b><math>P = 5.0 \text{ MPa (263.94}^\circ\text{C)}</math></b>				
Doymuş	0.04978	2601.7	2800.8	6.0696	0.04406	2599.7	2798.0	6.0198	0.03945	2597.0	2794.2	5.9737
275	0.05461	2668.9	2887.3	6.2312	0.04733	2651.4	2864.4	6.1429	0.04144	2632.3	2839.5	6.0571
300	0.05887	2726.2	2961.7	6.3639	0.05138	2713.0	2944.2	6.2854	0.04535	2699.0	2925.7	6.2111
350	0.06647	2827.4	3093.3	6.5843	0.05842	2818.6	3081.5	6.5153	0.05197	2809.5	3069.3	6.4516
400	0.07343	2920.8	3214.5	6.7714	0.06477	2914.2	3205.7	6.7071	0.05784	2907.5	3196.7	6.6483
450	0.08004	3011.0	3331.2	6.9386	0.07076	3005.8	3324.2	6.8770	0.06332	3000.6	3317.2	6.8210
500	0.08644	3100.3	3446.0	7.0922	0.07652	3096.0	3440.4	7.0323	0.06858	3091.8	3434.7	6.9781
600	0.09886	3279.4	3674.9	7.3706	0.08766	3276.4	3670.9	7.3127	0.07870	3273.3	3666.9	7.2605
700	0.11098	3462.4	3906.3	7.6214	0.09850	3460.0	3903.3	7.5647	0.08852	3457.7	3900.3	7.5136
800	0.12292	3650.6	4142.3	7.8523	0.10916	3648.8	4140.0	7.7962	0.09816	3646.9	4137.7	7.7458
900	0.13476	3844.8	4383.9	8.0675	0.11972	3843.3	4382.1	8.0118	0.10769	3841.8	4380.2	7.9619
1000	0.14653	4045.1	4631.2	8.2698	0.13020	4043.9	4629.8	8.2144	0.11715	4042.6	4628.3	8.1648
1100	0.15824	4251.4	4884.4	8.4612	0.14064	4250.4	4883.2	8.4060	0.12655	4249.3	4882.1	8.3566
1200	0.16992	4463.5	5143.2	8.6430	0.15103	4462.6	5142.2	8.5880	0.13592	4461.6	5141.3	8.5388
1300	0.18157	4680.9	5407.2	8.8164	0.16140	4680.1	5406.5	8.7616	0.14527	4679.3	5405.7	8.7124
<b><math>P = 6.0 \text{ MPa (275.59}^\circ\text{C)}</math></b>				<b><math>P = 7.0 \text{ MPa (285.83}^\circ\text{C)}</math></b>				<b><math>P = 8.0 \text{ MPa (295.01}^\circ\text{C)}</math></b>				
Doymuş	0.03245	2589.9	2784.6	5.8902	0.027378	2581.0	2772.6	5.8148	0.023525	2570.5	2758.7	5.7450
300	0.03619	2668.4	2885.6	6.0703	0.029492	2633.5	2839.9	5.9337	0.024279	2592.3	2786.5	5.7937
350	0.04225	2790.4	3043.9	6.3357	0.035262	2770.1	3016.9	6.2305	0.029975	2748.3	2988.1	6.1321
400	0.04742	2893.7	3178.3	6.5432	0.039958	2879.5	3159.2	6.4502	0.034344	2864.6	3139.4	6.3658
450	0.05217	2989.9	3302.9	6.7219	0.044187	2979.0	3288.3	6.6353	0.038194	2967.8	3273.3	6.5579
500	0.05667	3083.1	3423.1	6.8826	0.048157	3074.3	3411.4	6.8000	0.041767	3065.4	3399.5	6.7266
550	0.06102	3175.2	3541.3	7.0308	0.051966	3167.9	3531.6	6.9507	0.045172	3160.5	3521.8	6.8800
600	0.06527	3267.2	3658.8	7.1693	0.055665	3261.0	3650.6	7.0910	0.048463	3254.7	3642.4	7.0221
700	0.07355	3453.0	3894.3	7.4247	0.062850	3448.3	3888.3	7.3487	0.054829	3443.6	3882.2	7.2822
800	0.08165	3643.2	4133.1	7.6582	0.069856	3639.5	4128.5	7.5836	0.061011	3635.7	4123.8	7.5185
900	0.08964	3838.8	4376.6	7.8751	0.076750	3835.7	4373.0	7.8014	0.067082	3832.7	4369.3	7.7372
1000	0.09756	4040.1	4625.4	8.0786	0.083571	4037.5	4622.5	8.0055	0.073079	4035.0	4619.6	7.9419
1100	0.10543	4247.1	4879.7	8.2709	0.090341	4245.0	4877.4	8.1982	0.079025	4242.8	4875.0	8.1350
1200	0.11326	4459.8	5139.4	8.4534	0.097075	4457.9	5137.4	8.3810	0.084934	4456.1	5135.5	8.3181
1300	0.12107	4677.7	5404.1	8.6273	0.103781	4676.1	5402.6	8.5551	0.090817	4674.5	5401.0	8.4925
<b><math>P = 9.0 \text{ MPa (303.35}^\circ\text{C)}</math></b>				<b><math>P = 10.0 \text{ MPa (311.00}^\circ\text{C)}</math></b>				<b><math>P = 12.5 \text{ MPa (327.81}^\circ\text{C)}</math></b>				
Doymuş	0.020489	2558.5	2742.9	5.6791	0.018028	2545.2	2725.5	5.6159	0.013496	2505.6	2674.3	5.4638
325	0.023284	2647.6	2857.1	5.8738	0.019877	2611.6	2810.3	5.7596	0.016138	2624.9	2826.6	5.7130
350	0.025816	2725.0	2957.3	6.0380	0.022440	2699.6	2924.0	5.9460	0.020030	2789.6	3040.0	6.0433
400	0.029960	2849.2	3118.8	6.2876	0.026436	2833.1	3097.5	6.2141	0.023019	2913.7	3201.5	6.2749
450	0.033524	2956.3	3258.0	6.4872	0.029782	2944.5	3242.4	6.4219	0.025630	3023.2	3343.6	6.4651
500	0.036793	3056.3	3387.4	6.6603	0.032811	3047.0	3375.1	6.5995	0.028033	3126.1	3476.5	6.6317
550	0.039885	3153.0	3512.0	6.8164	0.035655	3145.4	3502.0	6.7585	0.030306	3225.8	3604.6	6.7828
600	0.042861	3248.4	3634.1	6.9605	0.038378	3242.0	3625.8	6.9045	0.032491	3324.1	3730.2	6.9227
650	0.045755	3343.4	3755.2	7.0954	0.041018	3338.0	3748.1	7.0408	0.034612	3422.0	3854.6	7.0540
700	0.048589	3438.8	3876.1	7.2229	0.043597	3434.0	3870.0	7.1693	0.038724	3618.8	4102.8	7.2967
800	0.054132	3632.0	4119.2	7.4606	0.048629	3628.2	4114.5	7.4085	0.042720	3818.9	4352.9	7.5195
900	0.059562	3829.6	4365.7	7.6802	0.053547	3826.5	4362.0	7.6290	0.046641	4023.5	4606.5	7.7269
1000	0.064919	4032.4	4616.7	7.8855	0.058391	4029.9	4613.8	7.8349	0.050510	4233.1	4864.5	7.9220
1100	0.070224	4240.7	4872.7	8.0791	0.063183	4238.5	4870.3	8.0289	0.054342	4447.7	5127.0	8.1065
1200	0.075492	4454.2	5133.6	8.2625	0.067938	4452.4	5131.7	8.2126	0.058147	4667.3	5394.1	8.2819
1300	0.080733	4672.9	5399.5	8.4371	0.072667	4671.3	5398.0	8.3874				



TABLO A-6

Kızgın su buharı

$T$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/(kg.K)	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/(kg.K)	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/(kg.K)
<b><math>P = 15.0 \text{ MPa (342.16}^\circ\text{C)}</math></b>				<b><math>P = 17.5 \text{ MPa (354.67}^\circ\text{C)}</math></b>				<b><math>P = 20.0 \text{ MPa (365.75}^\circ\text{C)}</math></b>				
Doymuş	0.010341	2455.7	2610.8	5.3108	0.007932	2390.7	2529.5	5.1435	0.005862	2294.8	2412.1	4.9310
350	0.011481	2520.9	2693.1	5.4438								
400	0.015671	2740.6	2975.7	5.8819	0.012463	2684.3	2902.4	5.7211	0.009950	2617.9	2816.9	5.5526
450	0.018477	2880.8	3157.9	6.1434	0.015204	2845.4	3111.4	6.0212	0.012721	2807.3	3061.7	5.9043
500	0.020828	2998.4	3310.8	6.3480	0.017385	2972.4	3276.7	6.2424	0.014793	2945.3	3241.2	6.1446
550	0.022945	3106.2	3450.4	6.5230	0.019305	3085.8	3423.6	6.4266	0.016571	3064.7	3396.2	6.3390
600	0.024921	3209.3	3583.1	6.6796	0.021073	3192.5	3561.3	6.5890	0.018185	3175.3	3539.0	6.5075
650	0.026804	3310.1	3712.1	6.8233	0.022742	3295.8	3693.8	6.7366	0.019695	3281.4	3675.3	6.6593
700	0.028621	3409.8	3839.1	6.9573	0.024342	3397.5	3823.5	6.8735	0.021134	3385.1	3807.8	6.7991
800	0.032121	3609.3	4091.1	7.2037	0.027405	3599.7	4079.3	7.1237	0.023870	3590.1	4067.5	7.0531
900	0.035503	3811.2	4343.7	7.4288	0.030348	3803.5	4334.6	7.3511	0.026484	3795.7	4325.4	7.2829
1000	0.038808	4017.1	4599.2	7.6378	0.033215	4010.7	4592.0	7.5616	0.029020	4004.3	4584.7	7.4950
1100	0.042062	4227.7	4858.6	7.8339	0.036029	4222.3	4852.8	7.7588	0.031504	4216.9	4847.0	7.6933
1200	0.045279	4443.1	5122.3	8.0192	0.038806	4438.5	5117.6	7.9449	0.033952	4433.8	5112.9	7.8802
1300	0.048469	4663.3	5390.3	8.1952	0.041556	4659.2	5386.5	8.1215	0.036371	4655.2	5382.7	8.0574
<b><math>P = 25.0 \text{ MPa}</math></b>				<b><math>P = 30.0 \text{ MPa}</math></b>				<b><math>P = 35.0 \text{ MPa}</math></b>				
375	0.001978	1799.9	1849.4	4.0345	0.001792	1738.1	1791.9	3.9313	0.001701	1702.8	1762.4	3.8724
400	0.006005	2428.5	2578.7	5.1400	0.002798	2068.9	2152.8	4.4758	0.002105	1914.9	1988.6	4.2144
425	0.007886	2607.8	2805.0	5.4708	0.005299	2452.9	2611.8	5.1473	0.003434	2253.3	2373.5	4.7751
450	0.009176	2721.2	2950.6	5.6759	0.006737	2618.9	2821.0	5.4422	0.004957	2497.5	2671.0	5.1946
500	0.011143	2887.3	3165.9	5.9643	0.008691	2824.0	3084.8	5.7956	0.006933	2755.3	2997.9	5.6331
550	0.012736	3020.8	3339.2	6.1816	0.010175	2974.5	3279.7	6.0403	0.008348	2925.8	3218.0	5.9093
600	0.014140	3140.0	3493.5	6.3637	0.011445	3103.4	3446.8	6.2373	0.009523	3065.6	3399.0	6.1229
650	0.015430	3251.9	3637.7	6.5243	0.012590	3221.7	3599.4	6.4074	0.010565	3190.9	3560.7	6.3030
700	0.016643	3359.9	3776.0	6.6702	0.013654	3334.3	3743.9	6.5599	0.011523	3308.3	3711.6	6.4623
800	0.018922	3570.7	4043.8	6.9322	0.015628	3551.2	4020.0	6.8301	0.013278	3531.6	3996.3	6.7409
900	0.021075	3780.2	4307.1	7.1668	0.017473	3764.6	4288.8	7.0695	0.014904	3749.0	4270.6	6.9853
1000	0.023150	3991.5	4570.2	7.3821	0.019240	3978.6	4555.8	7.2880	0.016450	3965.8	4541.5	7.2069
1100	0.025172	4206.1	4835.4	7.5825	0.020954	4195.2	4823.9	7.4906	0.017942	4184.4	4812.4	7.4118
1200	0.027157	4424.6	5103.5	7.7710	0.022630	4415.3	5094.2	7.6807	0.019398	4406.1	5085.0	7.6034
1300	0.029115	4647.2	5375.1	7.9494	0.024279	4639.2	5367.6	7.8602	0.020827	4631.2	5360.2	7.7841
<b><math>P = 40.0 \text{ MPa}</math></b>				<b><math>P = 50.0 \text{ MPa}</math></b>				<b><math>P = 60.0 \text{ MPa}</math></b>				
375	0.001641	1677.0	1742.6	3.8290	0.001560	1638.6	1716.6	3.7642	0.001503	1609.7	1699.9	3.7149
400	0.001911	1855.0	1931.4	4.1145	0.001731	1787.8	1874.4	4.0029	0.001633	1745.2	1843.2	3.9317
425	0.002538	2097.5	2199.0	4.5044	0.002009	1960.3	2060.7	4.2746	0.001816	1892.9	2001.8	4.1630
450	0.003692	2364.2	2511.8	4.9449	0.002487	2160.3	2284.7	4.5896	0.002086	2055.1	2180.2	4.4140
500	0.005623	2681.6	2906.5	5.4744	0.003890	2528.1	2722.6	5.1762	0.002952	2393.2	2570.3	4.9356
550	0.006985	2875.1	3154.4	5.7857	0.005118	2769.5	3025.4	5.5563	0.003955	2664.6	2901.9	5.3517
600	0.008089	3026.8	3350.4	6.0170	0.006108	2947.1	3252.6	5.8245	0.004833	2866.8	3156.8	5.6527
650	0.009053	3159.5	3521.6	6.2078	0.006957	3095.6	3443.5	6.0373	0.005591	3031.3	3366.8	5.8867
700	0.009930	3282.0	3679.2	6.3740	0.007717	3228.7	3614.6	6.2179	0.006265	3175.4	3551.3	6.0814
800	0.011521	3511.8	3972.6	6.6613	0.009073	3472.2	3925.8	6.5225	0.007456	3432.6	3880.0	6.4033
900	0.012980	3733.3	4252.5	6.9107	0.010296	3702.0	4216.8	6.7819	0.008519	3670.9	4182.1	6.6725
1000	0.014360	3952.9	4527.3	7.1355	0.011441	3927.4	4499.4	7.0131	0.009504	3902.0	4472.2	6.9099
1100	0.015686	4173.7	4801.1	7.3425	0.012534	4152.2	4778.9	7.2244	0.010439	4130.9	4757.3	7.1255
1200	0.016976	4396.9	5075.9	7.5357	0.013590	4378.6	5058.1	7.4207	0.011339	4360.5	5040.8	7.3248
1300	0.018239	4623.3	5352.8	7.7175	0.014620	4607.5	5338.5	7.6048	0.012213	4591.8	5324.5	7.5111



## 898 | Termodinamik

TABLO A-7

Sıkıştırılmış sıvı buharı

$T$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ (kJ/kg·K)	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/kg · K	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ (kJ/kg·K)
<b><math>P = 5 \text{ MPa (263.94}^\circ\text{C)}</math></b>				<b><math>P = 10 \text{ MPa (311.00}^\circ\text{C)}</math></b>				<b><math>P = 15 \text{ MPa (342.16}^\circ\text{C)}</math></b>				
Doymuş	0.0012862	1148.1	1154.5	2.9207	0.0014522	1393.3	1407.9	3.3603	0.0016572	1585.5	1610.3	3.6848
0	0.0009977	0.04	5.03	0.0001	0.0009952	0.12	10.07	0.0003	0.0009928	0.18	15.07	0.0004
20	0.0009996	83.61	88.61	0.2954	0.0009973	83.31	93.28	0.2943	0.0009951	83.01	97.93	0.2932
40	0.0010057	166.92	171.95	0.5705	0.0010035	166.33	176.37	0.5685	0.0010013	165.75	180.77	0.5666
60	0.0010149	250.29	255.36	0.8287	0.0010127	249.43	259.55	0.8260	0.0010105	248.58	263.74	0.8234
80	0.0010267	333.82	338.96	1.0723	0.0010244	332.69	342.94	1.0691	0.0010221	331.59	346.92	1.0659
100	0.0010410	417.65	422.85	1.3034	0.0010385	416.23	426.62	1.2996	0.0010361	414.85	430.39	1.2958
120	0.0010576	501.91	507.19	1.5236	0.0010549	500.18	510.73	1.5191	0.0010522	498.50	514.28	1.5148
140	0.0010769	586.80	592.18	1.7344	0.0010738	584.72	595.45	1.7293	0.0010708	582.69	598.75	1.7243
160	0.0010988	672.55	678.04	1.9374	0.0010954	670.06	681.01	1.9316	0.0010920	667.63	684.01	1.9259
180	0.0011240	759.47	765.09	2.1338	0.0011200	756.48	767.68	2.1271	0.0011160	753.58	770.32	2.1206
200	0.0011531	847.92	853.68	2.3251	0.0011482	844.32	855.80	2.3174	0.0011435	840.84	858.00	2.3100
220	0.0011868	938.39	944.32	2.5127	0.0011809	934.01	945.82	2.5037	0.0011752	929.81	947.43	2.4951
240	0.0012268	1031.6	1037.7	2.6983	0.0012192	1026.2	1038.3	2.6876	0.0012121	1021.0	1039.2	2.6774
260	0.0012755	1128.5	1134.9	2.8841	0.0012653	1121.6	1134.3	2.8710	0.0012560	1115.1	1134.0	2.8586
280					0.0013226	1221.8	1235.0	3.0565	0.0013096	1213.4	1233.0	3.0410
300					0.0013980	1329.4	1343.3	3.2488	0.0013783	1317.6	1338.3	3.2279
320									0.0014733	1431.9	1454.0	3.4263
340									0.0016311	1567.9	1592.4	3.6555
<b><math>P = 20 \text{ MPa (365.75}^\circ\text{C)}</math></b>				<b><math>P = 30 \text{ MPa}</math></b>				<b><math>P = 50 \text{ MPa}</math></b>				
Doymuş	0.0020378	1785.8	1826.6	4.0146	0.0009857	0.29	29.86	0.0003	0.0009767	0.29	49.13	-0.0010
0	0.0009904	0.23	20.03	0.0005	0.0009886	82.11	111.77	0.2897	0.0009805	80.93	129.95	0.2845
20	0.0009929	82.71	102.57	0.2921	0.0009951	164.05	193.90	0.5607	0.0009872	161.90	211.25	0.5528
40	0.0009992	165.17	185.16	0.5646	0.0010042	246.14	276.26	0.8156	0.0009962	243.08	292.88	0.8055
60	0.0010084	247.75	267.92	0.8208	0.0010155	328.40	358.86	1.0564	0.0010072	324.42	374.78	1.0442
80	0.0010199	330.50	350.90	1.0627	0.0010290	410.87	441.74	1.2847	0.0010201	405.94	456.94	1.2705
100	0.0010337	413.50	434.17	1.2920	0.0010445	493.66	525.00	1.5020	0.0010349	487.69	539.43	1.4859
120	0.0010496	496.85	517.84	1.5105	0.0010623	576.90	608.76	1.7098	0.0010517	569.77	622.36	1.6916
140	0.0010679	580.71	602.07	1.7194	0.0010823	660.74	693.21	1.9094	0.0010704	652.33	705.85	1.8889
160	0.0010886	665.28	687.05	1.9203	0.0011049	745.40	778.55	2.1020	0.0010914	735.49	790.06	2.0790
180	0.0011122	750.78	773.02	2.1143	0.0011304	831.11	865.02	2.2888	0.0011149	819.45	875.19	2.2628
200	0.0011390	837.49	860.27	2.3027	0.0011595	918.15	952.93	2.4707	0.0011412	904.39	961.45	2.4414
220	0.0011697	925.77	949.16	2.4867	0.0011927	1006.9	1042.7	2.6491	0.0011708	990.55	1049.1	2.6156
240	0.0012053	1016.1	1040.2	2.6676	0.0012314	1097.8	1134.7	2.8250	0.0012044	1078.2	1138.4	2.7864
260	0.0012472	1109.0	1134.0	2.8469	0.0012770	1191.5	1229.8	3.0001	0.0012430	1167.7	1229.9	2.9547
280	0.0012978	1205.6	1231.5	3.0265	0.0013322	1288.9	1328.9	3.1761	0.0012879	1259.6	1324.0	3.1218
300	0.0013611	1307.2	1334.4	3.2091	0.0014014	1391.7	1433.7	3.3558	0.0013409	1354.3	1421.4	3.2888
320	0.0014450	1416.6	1445.5	3.3996	0.0014932	1502.4	1547.1	3.5438	0.0014049	1452.9	1523.1	3.4575
340	0.0015693	1540.2	1571.6	3.6086	0.0016276	1626.8	1675.6	3.7499	0.0014848	1556.5	1630.7	3.6301
360	0.0018248	1703.6	1740.1	3.8787	0.0018729	1782.0	1838.2	4.0026	0.0015884	1667.1	1746.5	3.8102

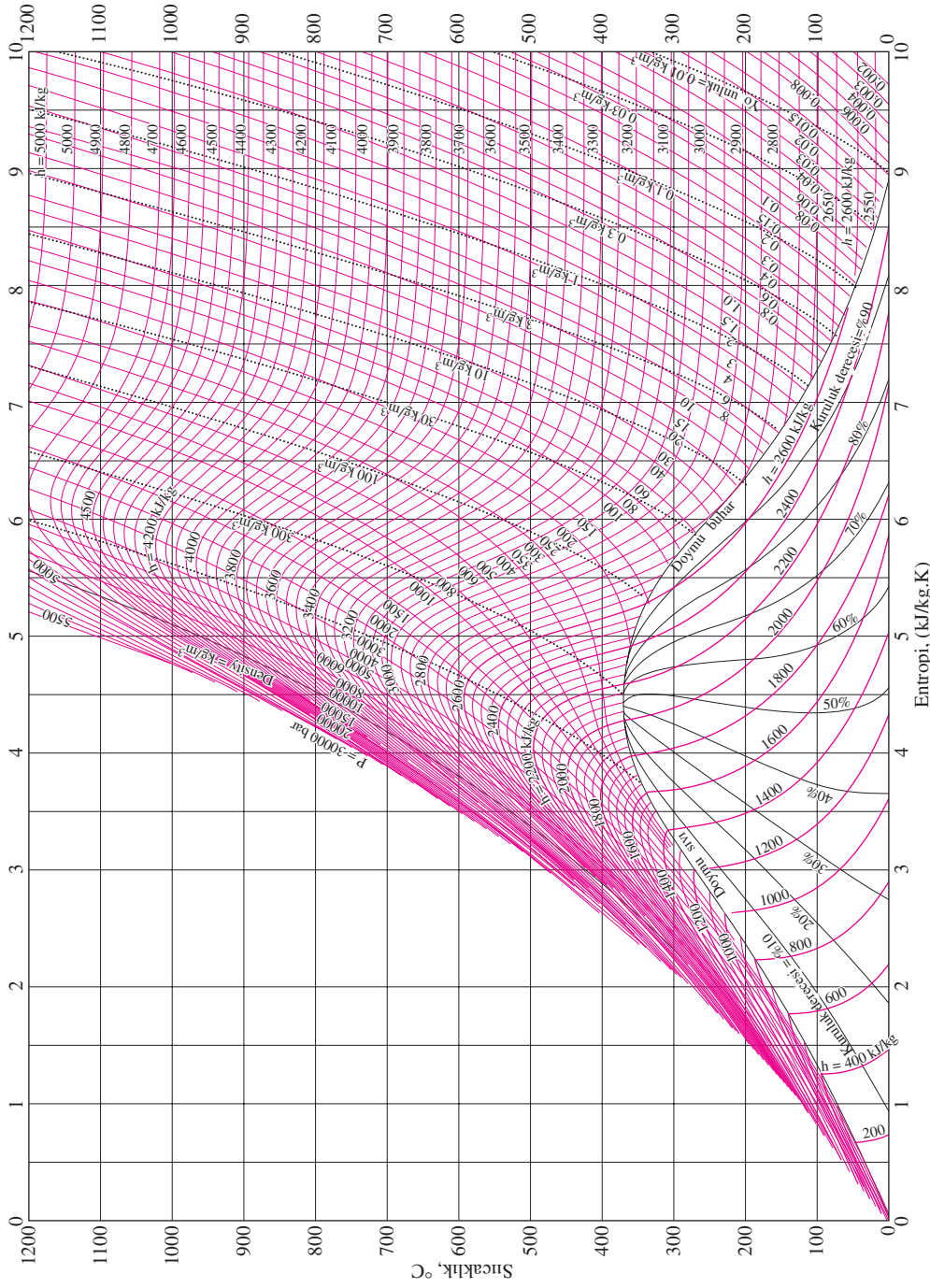


TABLO A-8

Doymuş buz - su buharı

Sıcaklık, $T$ °C	Doymuş basıncı, $P_{\text{doym}}$ kPa	Özgül hacim, $m^3/kg$		İç enerji, kJ/kg			Entalpi, kJ/kg			Entropi, kJ/(kg.K)		
		Doymuş buz, $v_i$	Doymuş buhar, $v_g$	Doymuş buz, $u_i$	Sübl., $u_{ig}$	Doymuş buhar, $u_g$	Doymuş buz, $h_i$	Sübl., $h_{ig}$	Doymuş buhar, $h_g$	Doymuş buz, $s_i$	Sübl., $s_{ig}$	Doymuş buhar, $s_g$
0.01	0.61169	0.001091	205.99	-333.40	2707.9	2374.5	-333.40	2833.9	2500.5	-1.2202	10.374	9.154
0	0.61115	0.001091	206.17	-333.43	2707.9	2374.5	-333.43	2833.9	2500.5	-1.2204	10.375	9.154
-2	0.51772	0.001091	241.62	-337.63	2709.4	2371.8	-337.63	2834.5	2496.8	-1.2358	10.453	9.218
-4	0.43748	0.001090	283.84	-341.80	2710.8	2369.0	-341.80	2835.0	2493.2	-1.2513	10.533	9.282
-6	0.36873	0.001090	334.27	-345.94	2712.2	2366.2	-345.93	2835.4	2489.5	-1.2667	10.613	9.347
-8	0.30998	0.001090	394.66	-350.04	2713.5	2363.5	-350.04	2835.8	2485.8	-1.2821	10.695	9.413
-10	0.25990	0.001089	467.17	-354.12	2714.8	2360.7	-354.12	2836.2	2482.1	-1.2976	10.778	9.480
-12	0.21732	0.001089	554.47	-358.17	2716.1	2357.9	-358.17	2836.6	2478.4	-1.3130	10.862	9.549
-14	0.18121	0.001088	659.88	-362.18	2717.3	2355.2	-362.18	2836.9	2474.7	-1.3284	10.947	9.618
-16	0.15068	0.001088	787.51	-366.17	2718.6	2352.4	-366.17	2837.2	2471.0	-1.3439	11.033	9.689
-18	0.12492	0.001088	942.51	-370.13	2719.7	2349.6	-370.13	2837.5	2467.3	-1.3593	11.121	9.761
-20	0.10326	0.001087	1131.3	-374.06	2720.9	2346.8	-374.06	2837.7	2463.6	-1.3748	11.209	9.835
-22	0.08510	0.001087	1362.0	-377.95	2722.0	2344.1	-377.95	2837.9	2459.9	-1.3903	11.300	9.909
-24	0.06991	0.001087	1644.7	-381.82	2723.1	2341.3	-381.82	2838.1	2456.2	-1.4057	11.391	9.985
-26	0.05725	0.001087	1992.2	-385.66	2724.2	2338.5	-385.66	2838.2	2452.5	-1.4212	11.484	10.063
-28	0.04673	0.001086	2421.0	-389.47	2725.2	2335.7	-389.47	2838.3	2448.8	-1.4367	11.578	10.141
-30	0.03802	0.001086	2951.7	-393.25	2726.2	2332.9	-393.25	2838.4	2445.1	-1.4521	11.673	10.221
-32	0.03082	0.001086	3610.9	-397.00	2727.2	2330.2	-397.00	2838.4	2441.4	-1.4676	11.770	10.303
-34	0.02490	0.001085	4432.4	-400.72	2728.1	2327.4	-400.72	2838.5	2437.7	-1.4831	11.869	10.386
-36	0.02004	0.001085	5460.1	-404.40	2729.0	2324.6	-404.40	2838.4	2434.0	-1.4986	11.969	10.470
-38	0.01608	0.001085	6750.5	-408.07	2729.9	2321.8	-408.07	2838.4	2430.3	-1.5141	12.071	10.557
-40	0.01285	0.001084	8376.7	-411.70	2730.7	2319.0	-411.70	2838.3	2426.6	-1.5296	12.174	10.644

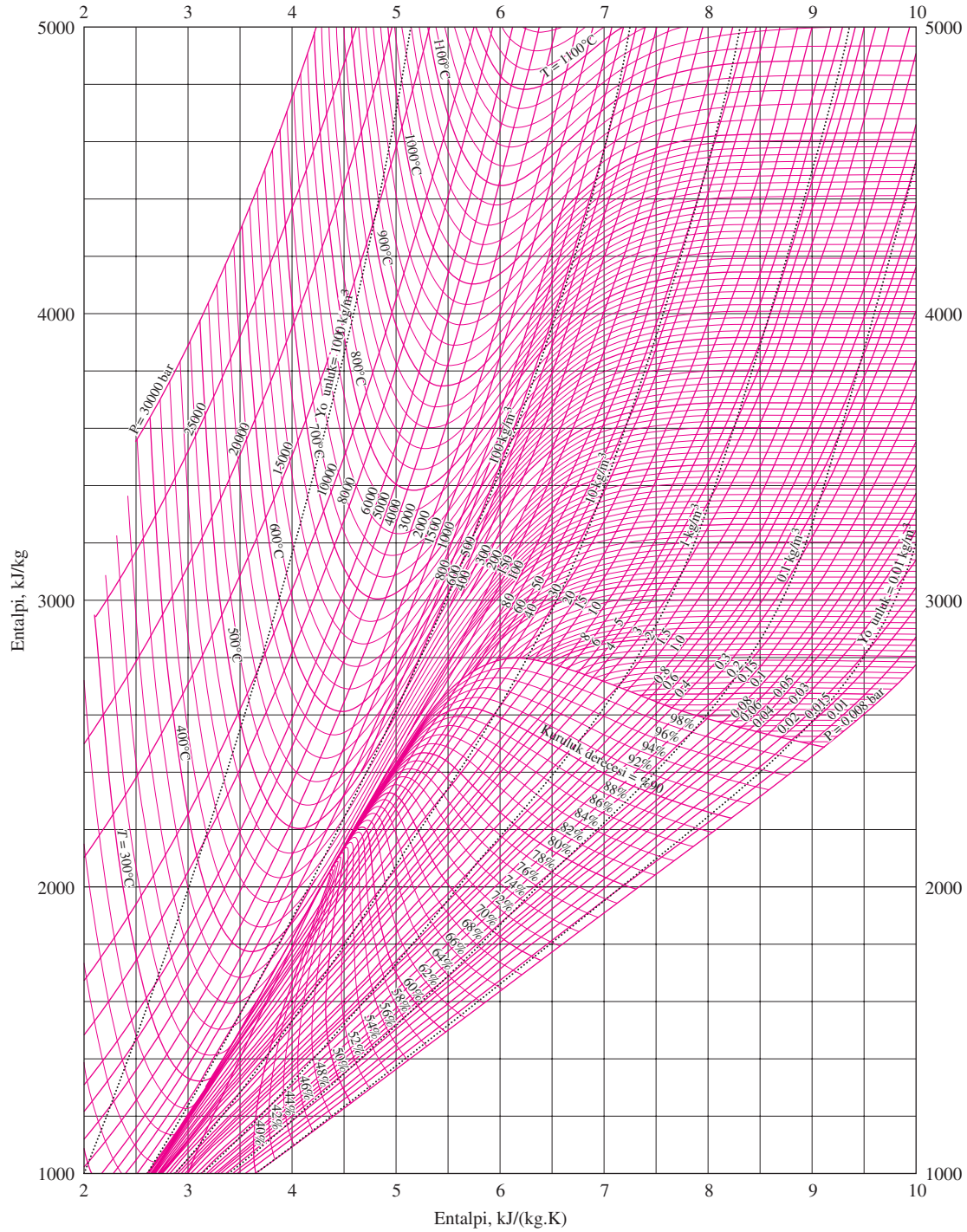
## 900 — Termodinamik



## ŞEKİL A-9

Su için T-s diyagramı

Kaynak: NBS/NRC Steam Tables/1 by Lester Haar, John S. Gallagher, and George S. Keil.. Copyright © 1984. "Reutledge/ Taylor & Francis Books, Inc." den izin alınarak bastırılmıştır.



### ŞEKİL A-10

#### Su için Mollier diyagramı

Kaynak: NBS/NRC Steam Tables/1 by Lester Haar, John S. Gallagher, and George S. Kell. Copyright © 1984."Routledge/Taylor & Francis Books, Inc." izin alınarak basılmıştır.



## 902 | Termodinamik

TABLO A-11

Doymuş soğutucu akışkan- 134a - Sıcaklık tablosu

Sıcak., $T$ °C	Doyma basıncı., $P_{\text{doym}}$ kPa	Özgül, hacim $\text{m}^3/\text{kg}$		İç enerji $\text{kJ/kg}$			Entalpi $\text{kJ/kg}$			Entropi, $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$		
		Doymuş sıvı $v_f$	Doymuş buhar, $v_g$	Doymuş sıvı, $u_f$	Buhar., $u_{fg}$	Doymuş buhar, $u_g$	Doymuş sıvı, $h_f$	Buhar., $h_{fg}$	Doymuş buhar, $h_g$	Doymuş sıvı, $s_f$	Buhar., $s_{fg}$	Doymuş buhar, $s_g$
-40	51.25	0.0007054	0.36081	-0.036	207.40	207.37	0.000	225.86	225.86	0.00000	0.96866	0.96866
-38	56.86	0.0007083	0.32732	2.475	206.04	208.51	2.515	224.61	227.12	0.01072	0.95511	0.96584
-36	62.95	0.0007112	0.29751	4.992	204.67	209.66	5.037	223.35	228.39	0.02138	0.94176	0.96315
-34	69.56	0.0007142	0.27090	7.517	203.29	210.81	7.566	222.09	229.65	0.03199	0.92859	0.96058
-32	76.71	0.0007172	0.24711	10.05	201.91	211.96	10.10	220.81	230.91	0.04253	0.91560	0.95813
-30	84.43	0.0007203	0.22580	12.59	200.52	213.11	12.65	219.52	232.17	0.05301	0.90278	0.95579
-28	92.76	0.0007234	0.20666	15.13	199.12	214.25	15.20	218.22	233.43	0.06344	0.89012	0.95356
-26	101.73	0.0007265	0.18946	17.69	197.72	215.40	17.76	216.92	234.68	0.07382	0.87762	0.95144
-24	111.37	0.0007297	0.17395	20.25	196.30	216.55	20.33	215.59	235.92	0.08414	0.86527	0.94941
-22	121.72	0.0007329	0.15995	22.82	194.88	217.70	22.91	214.26	237.17	0.09441	0.85307	0.94748
-20	132.82	0.0007362	0.14729	25.39	193.45	218.84	25.49	212.91	238.41	0.10463	0.84101	0.94564
-18	144.69	0.0007396	0.13583	27.98	192.01	219.98	28.09	211.55	239.64	0.11481	0.82908	0.94389
-16	157.38	0.0007430	0.12542	30.57	190.56	221.13	30.69	210.18	240.87	0.12493	0.81729	0.94222
-14	170.93	0.0007464	0.11597	33.17	189.09	222.27	33.30	208.79	242.09	0.13501	0.80561	0.94063
-12	185.37	0.0007499	0.10736	35.78	187.62	223.40	35.92	207.38	243.30	0.14504	0.79406	0.93911
-10	200.74	0.0007535	0.099516	38.40	186.14	224.54	38.55	205.96	244.51	0.15504	0.78263	0.93766
-8	217.08	0.0007571	0.092352	41.03	184.64	225.67	41.19	204.52	245.72	0.16498	0.77130	0.93629
-6	234.44	0.0007608	0.085802	43.66	183.13	226.80	43.84	203.07	246.91	0.17489	0.76008	0.93497
-4	252.85	0.0007646	0.079804	46.31	181.61	227.92	46.50	201.60	248.10	0.18476	0.74896	0.93372
-2	272.36	0.0007684	0.074304	48.96	180.08	229.04	49.17	200.11	249.28	0.19459	0.73794	0.93253
0	293.01	0.0007723	0.069255	51.63	178.53	230.16	51.86	198.60	250.45	0.20439	0.72701	0.93139
2	314.84	0.0007763	0.064612	54.30	176.97	231.27	54.55	197.07	251.61	0.21415	0.71616	0.93031
4	337.90	0.0007804	0.060338	56.99	175.39	232.38	57.25	195.51	252.77	0.22387	0.70540	0.92927
6	362.23	0.0007845	0.056398	59.68	173.80	233.48	59.97	193.94	253.91	0.23356	0.69471	0.92828
8	387.88	0.0007887	0.052762	62.39	172.19	234.58	62.69	192.35	255.04	0.24323	0.68410	0.92733
10	414.89	0.0007930	0.049403	65.10	170.56	235.67	65.43	190.73	256.16	0.25286	0.67356	0.92641
12	443.31	0.0007975	0.046295	67.83	168.92	236.75	68.18	189.09	257.27	0.26246	0.66308	0.92554
14	473.19	0.0008020	0.043417	70.57	167.26	237.83	70.95	187.42	258.37	0.27204	0.65266	0.92470
16	504.58	0.0008066	0.040748	73.32	165.58	238.90	73.73	185.73	259.46	0.28159	0.64230	0.92389
18	537.52	0.0008113	0.038271	76.08	163.88	239.96	76.52	184.01	260.53	0.29112	0.63198	0.92310





TABLO A-11

Doymuş soğutucu akışkan- 134a - Sıcaklık tablosu (Devam)

Sıcak., $T$ °C	Doyma basıncı., $P_{\text{doy}}$ kPa	Specific volume, $\text{m}^3/\text{kg}$		Internal energy, $\text{kJ}/\text{kg}$			Enthalpy, $\text{kJ}/\text{kg}$			Entropy, $\text{kJ}/\text{kg} \cdot \text{K}$		
		Doymuş sıvı, $v_f$	Doymuş buhar, $v_g$	Doymuş sıvı, $u_f$	Doymuş Buhar., $u_{fg}$	Doymuş buhar, $u_g$	Doymuş sıvı, $h_f$	Doymuş Buhar., $h_{fg}$	Doymuş buhar, $h_g$	Doymuş sıvı, $s_f$	Doymuş Buhar., $s_{fg}$	Doymuş buhar, $s_g$
20	572.07	0.0008161	0.035969	78.86	162.16	241.02	79.32	182.27	261.59	0.30063	0.62172	0.92234
22	608.27	0.0008210	0.033828	81.64	160.42	242.06	82.14	180.49	262.64	0.31011	0.61149	0.92160
24	646.18	0.0008261	0.031834	84.44	158.65	243.10	84.98	178.69	263.67	0.31958	0.60130	0.92088
26	685.84	0.0008313	0.029976	87.26	156.87	244.12	87.83	176.85	264.68	0.32903	0.59115	0.92018
28	727.31	0.0008366	0.028242	90.09	155.05	245.14	90.69	174.99	265.68	0.33846	0.58102	0.91948
30	770.64	0.0008421	0.026622	92.93	153.22	246.14	93.58	173.08	266.66	0.34789	0.57091	0.91879
32	815.89	0.0008478	0.025108	95.79	151.35	247.14	96.48	171.14	267.62	0.35730	0.56082	0.91811
34	863.11	0.0008536	0.023691	98.66	149.46	248.12	99.40	169.17	268.57	0.36670	0.55074	0.91743
36	912.35	0.0008595	0.022364	101.55	147.54	249.08	102.33	167.16	269.49	0.37609	0.54066	0.91675
38	963.68	0.0008657	0.021119	104.45	145.58	250.04	105.29	165.10	270.39	0.38548	0.53058	0.91606
40	1017.1	0.0008720	0.019952	107.38	143.60	250.97	108.26	163.00	271.27	0.39486	0.52049	0.91536
42	1072.8	0.0008786	0.018855	110.32	141.58	251.89	111.26	160.86	272.12	0.40425	0.51039	0.91464
44	1130.7	0.0008854	0.017824	113.28	139.52	252.80	114.28	158.67	272.95	0.41363	0.50027	0.91391
46	1191.0	0.0008924	0.016853	116.26	137.42	253.68	117.32	156.43	273.75	0.42302	0.49012	0.91315
48	1253.6	0.0008996	0.015939	119.26	135.29	254.55	120.39	154.14	274.53	0.43242	0.47993	0.91236
52	1386.2	0.0009150	0.014265	125.33	130.88	256.21	126.59	149.39	275.98	0.45126	0.45941	0.91067
56	1529.1	0.0009317	0.012771	131.49	126.28	257.77	132.91	144.38	277.30	0.47018	0.43863	0.90880
60	1682.8	0.0009498	0.011434	137.76	121.46	259.22	139.36	139.10	278.46	0.48920	0.41749	0.90669
65	1891.0	0.0009750	0.009950	145.77	115.05	260.82	147.62	132.02	279.64	0.51320	0.39039	0.90359
70	2118.2	0.0010037	0.008642	154.01	108.14	262.15	156.13	124.32	280.46	0.53755	0.36227	0.89982
75	2365.8	0.0010372	0.007480	162.53	100.60	263.13	164.98	115.85	280.82	0.56241	0.33272	0.89512
80	2635.3	0.0010772	0.006436	171.40	92.23	263.63	174.24	106.35	280.59	0.58800	0.30111	0.88912
85	2928.2	0.0011270	0.005486	180.77	82.67	263.44	184.07	95.44	279.51	0.61473	0.26644	0.88117
90	3246.9	0.0011932	0.004599	190.89	71.29	262.18	194.76	82.35	277.11	0.64336	0.22674	0.87010
95	3594.1	0.0012933	0.003726	202.40	56.47	258.87	207.05	65.21	272.26	0.67578	0.17711	0.85289
100	3975.1	0.0015269	0.002630	218.72	29.19	247.91	224.79	33.58	258.37	0.72217	0.08999	0.8

Kaynak: A-11 - A-13 Tabloları, S? A-? Klean ve F? L? Alvarado tarafından geliştirilen "Engineering Equation Solver" (EES) yazılımı kullanılarak üretilmiştir. Hesaplarda R134a rutini kullanılmıştır. Bu rutin R. Tillner-Roth ve H? D? Baehr tarafından geliştirilen temel durum denklemlerine dayalıdır ("An International Standart Formulation for the Thermodynamic Properties of 1,1,1,2- Tetrafluoroethane (HFC-134a) for Temperatures from 170 K 455 K and Pressures up to 70 MPa," J. Phys. Chem, Ref. Data, Vol. 23, No. 5, 1994). Doymuş sıvının entalpi ve entropisine -40°C (and -40°F) sıcaklıkta sıfır değeri verilmiştir.



## 904 | Termodinamik

TABLO A-12

Doymuş soğutucu akışkan-134a — Basınç tablosu

Basınç, $P$ kPa	Doyma Sıcak., $T_{\text{sat}}$ °C	Özgül Hacim, $\text{m}^3/\text{kg}$		İç enerji, $\text{kJ}/\text{kg}$			Entalpi, $\text{kJ}/\text{kg}$			Entropi, $\text{kJ}/\text{kg} \cdot$		
		Doymuş sıvı, $v_f$	Doymuş buhar, $v_g$	Doymuş buz, $u_f$	Doymuş Buhar., $u_{fg}$	Doymuş buhar, $u_g$	Doymuş sıvı, $h_f$	Doymuş Buhar., $h_{fg}$	Doymuş buhar, $h_g$	Doymuş sıvı, $s_f$	Doymuş Buhar., $s_{fg}$	Doymuş buhar., $s_g$
60	-36.95	0.0007098	0.31121	3.798	205.32	209.12	3.841	223.95	227.79	0.01634	0.94807	0.96441
70	-33.87	0.0007144	0.26929	7.680	203.20	210.88	7.730	222.00	229.73	0.03267	0.92775	0.96042
80	-31.13	0.0007185	0.23753	11.15	201.30	212.46	11.21	220.25	231.46	0.04711	0.90999	0.95710
90	-28.65	0.0007223	0.21263	14.31	199.57	213.88	14.37	218.65	233.02	0.06008	0.89419	0.95427
100	-26.37	0.0007259	0.19254	17.21	197.98	215.19	17.28	217.16	234.44	0.07188	0.87995	0.95183
120	-22.32	0.0007324	0.16212	22.40	195.11	217.51	22.49	214.48	236.97	0.09275	0.85503	0.94779
140	-18.77	0.0007383	0.14014	26.98	192.57	219.54	27.08	212.08	239.16	0.11087	0.83368	0.94456
160	-15.60	0.0007437	0.12348	31.09	190.27	221.35	31.21	209.90	241.11	0.12693	0.81496	0.94190
180	-12.73	0.0007487	0.11041	34.83	188.16	222.99	34.97	207.90	242.86	0.14139	0.79826	0.93965
200	-10.09	0.0007533	0.099867	38.28	186.21	224.48	38.43	206.03	244.46	0.15457	0.78316	0.93773
240	-5.38	0.0007620	0.083897	44.48	182.67	227.14	44.66	202.62	247.28	0.17794	0.75664	0.93458
280	-1.25	0.0007699	0.072352	49.97	179.50	229.46	50.18	199.54	249.72	0.19829	0.73381	0.93210
320	2.46	0.0007772	0.063604	54.92	176.61	231.52	55.16	196.71	251.88	0.21637	0.71369	0.93006
360	5.82	0.0007841	0.056738	59.44	173.94	233.38	59.72	194.08	253.81	0.23270	0.69566	0.92836
400	8.91	0.0007907	0.051201	63.62	171.45	235.07	63.94	191.62	255.55	0.24761	0.67929	0.92691
450	12.46	0.0007985	0.045619	68.45	168.54	237.00	68.81	188.71	257.53	0.26465	0.66069	0.92535
500	15.71	0.0008059	0.041118	72.93	165.82	238.75	73.33	185.98	259.30	0.28023	0.64377	0.92400
550	18.73	0.0008130	0.037408	77.10	163.25	240.35	77.54	183.38	260.92	0.29461	0.62821	0.92282
600	21.55	0.0008199	0.034295	81.02	160.81	241.83	81.51	180.90	262.40	0.30799	0.61378	0.92177
650	24.20	0.0008266	0.031646	84.72	158.48	243.20	85.26	178.51	263.77	0.32051	0.60030	0.92081
700	26.69	0.0008331	0.029361	88.24	156.24	244.48	88.82	176.21	265.03	0.33230	0.58763	0.91994
750	29.06	0.0008395	0.027371	91.59	154.08	245.67	92.22	173.98	266.20	0.34345	0.57567	0.91912
800	31.31	0.0008458	0.025621	94.79	152.00	246.79	95.47	171.82	267.29	0.35404	0.56431	0.91835
850	33.45	0.0008520	0.024069	97.87	149.98	247.85	98.60	169.71	268.31	0.36413	0.55349	0.91762
900	35.51	0.0008580	0.022683	100.83	148.01	248.85	101.61	167.66	269.26	0.37377	0.54315	0.91692
950	37.48	0.0008641	0.021438	103.69	146.10	249.79	104.51	165.64	270.15	0.38301	0.53323	0.91624
1000	39.37	0.0008700	0.020313	106.45	144.23	250.68	107.32	163.67	270.99	0.39189	0.52368	0.91558
1200	46.29	0.0008934	0.016715	116.70	137.11	253.81	117.77	156.10	273.87	0.42441	0.48863	0.91303
1400	52.40	0.0009166	0.014107	125.94	130.43	256.37	127.22	148.90	276.12	0.45315	0.45734	0.91050
1600	57.88	0.0009400	0.012123	134.43	124.04	258.47	135.93	141.93	277.86	0.47911	0.42873	0.90784
1800	62.87	0.0009639	0.010559	142.33	117.83	260.17	144.07	135.11	279.17	0.50294	0.40204	0.90498
2000	67.45	0.0009886	0.009288	149.78	111.73	261.51	151.76	128.33	280.09	0.52509	0.37675	0.90184
2500	77.54	0.0010566	0.006936	166.99	96.47	263.45	169.63	111.16	280.79	0.57531	0.31695	0.89226
3000	86.16	0.0011406	0.005275	183.04	80.22	263.26	186.46	92.63	279.09	0.62118	0.25776	0.87894



TABLO A-13

Kızgın soğutucu akışkan-134a

$T$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/(kg.K)	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/(kg.K)	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/(kg.K)
$P = 0.06 \text{ MPa } (T_{\text{doy}} = -36.95^\circ\text{C})$				$P = 0.10 \text{ MPa } (T_{\text{doy}} = -26.37^\circ\text{C})$				$P = 0.14 \text{ MPa } (T_{\text{doy}} = -18.77^\circ\text{C})$				
Doymuş	0.31121	209.12	227.79	0.9644	0.19254	215.19	234.44	0.9518	0.14014	219.54	239.16	0.9446
-20	0.33608	220.60	240.76	1.0174	0.19841	219.66	239.50	0.9721				
-10	0.35048	227.55	248.58	1.0477	0.20743	226.75	247.49	1.0030	0.14605	225.91	246.36	0.9724
0	0.36476	234.66	256.54	1.0774	0.21630	233.95	255.58	1.0332	0.15263	233.23	254.60	1.0031
10	0.37893	241.92	264.66	1.1066	0.22506	241.30	263.81	1.0628	0.15908	240.66	262.93	1.0331
20	0.39302	249.35	272.94	1.1353	0.23373	248.79	272.17	1.0918	0.16544	248.22	271.38	1.0624
30	0.40705	256.95	281.37	1.1636	0.24233	256.44	280.68	1.1203	0.17172	255.93	279.97	1.0912
40	0.42102	264.71	289.97	1.1915	0.25088	264.25	289.34	1.1484	0.17794	263.79	288.70	1.1195
50	0.43495	272.64	298.74	1.2191	0.25937	272.22	298.16	1.1762	0.18412	271.79	297.57	1.1474
60	0.44883	280.73	307.66	1.2463	0.26783	280.35	307.13	1.2035	0.19025	279.96	306.59	1.1749
70	0.46269	288.99	316.75	1.2732	0.27626	288.64	316.26	1.2305	0.19635	288.28	315.77	1.2020
80	0.47651	297.41	326.00	1.2997	0.28465	297.08	325.55	1.2572	0.20242	296.75	325.09	1.2288
90	0.49032	306.00	335.42	1.3260	0.29303	305.69	334.99	1.2836	0.20847	305.38	334.57	1.2553
100	0.50410	314.74	344.99	1.3520	0.30138	314.46	344.60	1.3096	0.21449	314.17	344.20	1.2814
$P = 0.18 \text{ MPa } (T_{\text{doy}} = -12.73^\circ\text{C})$				$P = 0.20 \text{ MPa } (T_{\text{doy}} = -10.09^\circ\text{C})$				$P = 0.24 \text{ MPa } (T_{\text{doy}} = -5.38^\circ\text{C})$				
Doymuş	0.11041	222.99	242.86	0.9397	0.09987	224.48	244.46	0.9377	0.08390	227.14	247.28	0.9346
-10	0.11189	225.02	245.16	0.9484	0.09991	224.55	244.54	0.9380				
0	0.11722	232.48	253.58	0.9798	0.10481	232.09	253.05	0.9698	0.08617	231.29	251.97	0.9519
10	0.12240	240.00	262.04	1.0102	0.10955	239.67	261.58	1.0004	0.09026	238.98	260.65	0.9831
20	0.12748	247.64	270.59	1.0399	0.11418	247.35	270.18	1.0303	0.09423	246.74	269.36	1.0134
30	0.13248	255.41	279.25	1.0690	0.11874	255.14	278.89	1.0595	0.09812	254.61	278.16	1.0429
40	0.13741	263.31	288.05	1.0975	0.12322	263.08	287.72	1.0882	0.10193	262.59	287.06	1.0718
50	0.14230	271.36	296.98	1.1256	0.12766	271.15	296.68	1.1163	0.10570	270.71	296.08	1.1001
60	0.14715	279.56	306.05	1.1532	0.13206	279.37	305.78	1.1441	0.10942	278.97	305.23	1.1280
70	0.15196	287.91	315.27	1.1805	0.13641	287.73	315.01	1.1714	0.11310	287.36	314.51	1.1554
80	0.15673	296.42	324.63	1.2074	0.14074	296.25	324.40	1.1983	0.11675	295.91	323.93	1.1825
90	0.16149	305.07	334.14	1.2339	0.14504	304.92	333.93	1.2249	0.12038	304.60	333.49	1.2092
100	0.16622	313.88	343.80	1.2602	0.14933	313.74	343.60	1.2512	0.12398	313.44	343.20	1.2356
$P = 0.28 \text{ MPa } (T_{\text{doy}} = -1.25^\circ\text{C})$				$P = 0.32 \text{ MPa } (T_{\text{doy}} = 2.46^\circ\text{C})$				$P = 0.40 \text{ MPa } (T_{\text{doy}} = 8.91^\circ\text{C})$				
Doymuş	0.07235	229.46	249.72	0.9321	0.06360	231.52	251.88	0.9301	0.051201	235.07	255.55	0.9269
0	0.07282	230.44	250.83	0.9362								
10	0.07646	238.27	259.68	0.9680	0.06609	237.54	258.69	0.9544	0.051506	235.97	256.58	0.9305
20	0.07997	246.13	268.52	0.9987	0.06925	245.50	267.66	0.9856	0.054213	244.18	265.86	0.9628
30	0.08338	254.06	277.41	1.0285	0.07231	253.50	276.65	1.0157	0.056796	252.36	275.07	0.9937
40	0.08672	262.10	286.38	1.0576	0.07530	261.60	285.70	1.0451	0.059292	260.58	284.30	1.0236
50	0.09000	270.27	295.47	1.0862	0.07823	269.82	294.85	1.0739	0.061724	268.90	293.59	1.0528
60	0.09324	278.56	304.67	1.1142	0.08111	278.15	304.11	1.1021	0.064104	277.32	302.96	1.0814
70	0.09644	286.99	314.00	1.1418	0.08395	286.62	313.48	1.1298	0.066443	285.86	312.44	1.1094
80	0.09961	295.57	323.46	1.1690	0.08675	295.22	322.98	1.1571	0.068747	294.53	322.02	1.1369
90	0.10275	304.29	333.06	1.1958	0.08953	303.97	332.62	1.1840	0.071023	303.32	331.73	1.1640
100	0.10587	313.15	342.80	1.2222	0.09229	312.86	342.39	1.2105	0.073274	312.26	341.57	1.1907
110	0.10897	322.16	352.68	1.2483	0.09503	321.89	352.30	1.2367	0.075504	321.33	351.53	1.2171
120	0.11205	331.32	362.70	1.2742	0.09775	331.07	362.35	1.2626	0.077717	330.55	361.63	1.2431
130	0.11512	340.63	372.87	1.2997	0.10045	340.39	372.54	1.2882	0.079913	339.90	371.87	1.2688
140	0.11818	350.09	383.18	1.3250	0.10314	349.86	382.87	1.3135	0.082096	349.41	382.24	1.2942



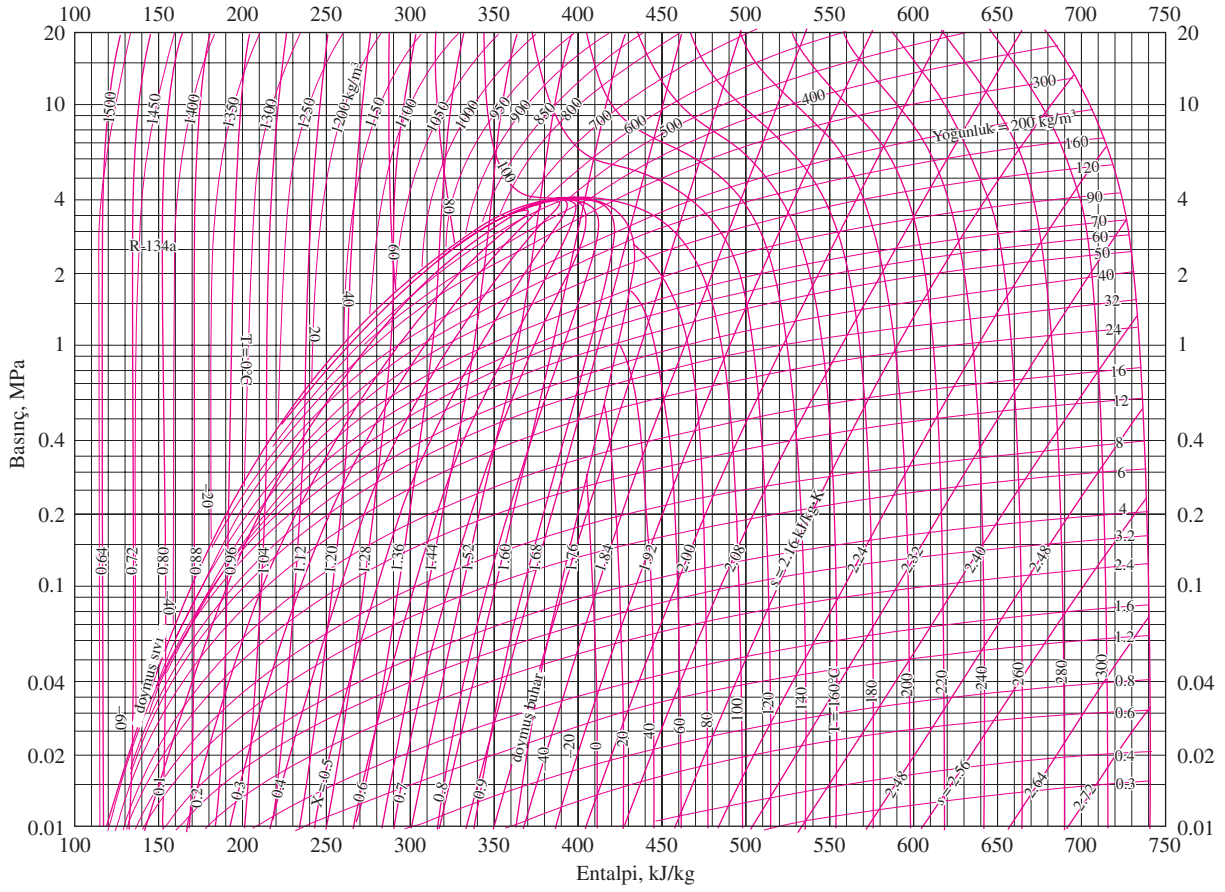
## 906 | Termodinamik

TABLO A-13

Kızgın soğutucu akışkan-134a (Devam)

$T$ °C	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/(kg.K)	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/(kg.K)	$v$ m <sup>3</sup> /kg	$u$ kJ/kg	$h$ kJ/kg	$s$ kJ/(kg.K)
<b><math>P = 0.50</math> MPa (<math>T_{\text{doy}} = 15.71^\circ\text{C}</math>)</b>				<b><math>P = 0.60</math> MPa (<math>T_{\text{doy}} = 21.55^\circ\text{C}</math>)</b>				<b><math>P = 0.70</math> MPa (<math>T_{\text{doy}} = 26.69^\circ\text{C}</math>)</b>				
Doym.	0.041118	238.75	259.30	0.9240	0.034295	241.83	262.40	0.9218	0.029361	244.48	265.03	0.9199
20	0.042115	242.40	263.46	0.9383								
30	0.044338	250.84	273.01	0.9703	0.035984	249.22	270.81	0.9499	0.029966	247.48	268.45	0.9313
40	0.046456	259.26	282.48	1.0011	0.037865	257.86	280.58	0.9816	0.031696	256.39	278.57	0.9641
50	0.048499	267.72	291.96	1.0309	0.039659	266.48	290.28	1.0121	0.033322	265.20	288.53	0.9954
60	0.050485	276.25	301.50	1.0599	0.041389	275.15	299.98	1.0417	0.034875	274.01	298.42	1.0256
70	0.052427	284.89	311.10	1.0883	0.043069	283.89	309.73	1.0705	0.036373	282.87	308.33	1.0549
80	0.054331	293.64	320.80	1.1162	0.044710	292.73	319.55	1.0987	0.037829	291.80	318.28	1.0835
90	0.056205	302.51	330.61	1.1436	0.046318	301.67	329.46	1.1264	0.039250	300.82	328.29	1.1114
100	0.058053	311.50	340.53	1.1705	0.047900	310.73	339.47	1.1536	0.040642	309.95	338.40	1.1389
110	0.059880	320.63	350.57	1.1971	0.049458	319.91	349.59	1.1803	0.042010	319.19	348.60	1.1658
120	0.061687	329.89	360.73	1.2233	0.050997	329.23	359.82	1.2067	0.043358	328.55	358.90	1.1924
130	0.063479	339.29	371.03	1.2491	0.052519	338.67	370.18	1.2327	0.044688	338.04	369.32	1.2186
140	0.065256	348.83	381.46	1.2747	0.054027	348.25	380.66	1.2584	0.046004	347.66	379.86	1.2444
150	0.067021	358.51	392.02	1.2999	0.055522	357.96	391.27	1.2838	0.047306	357.41	390.52	1.2699
160	0.068775	368.33	402.72	1.3249	0.057006	367.81	402.01	1.3088	0.048597	367.29	401.31	1.2951
<b><math>P = 0.80</math> MPa (<math>T_{\text{doy}} = 31.31^\circ\text{C}</math>)</b>				<b><math>P = 0.90</math> MPa (<math>T_{\text{doy}} = 35.51^\circ\text{C}</math>)</b>				<b><math>P = 1.00</math> MPa (<math>T_{\text{doy}} = 39.37^\circ\text{C}</math>)</b>				
Doym.	0.025621	246.79	267.29	0.9183	0.022683	248.85	269.26	0.9169	0.020313	250.68	270.99	0.9156
40	0.027035	254.82	276.45	0.9480	0.023375	253.13	274.17	0.9327	0.020406	251.30	271.71	0.9179
50	0.028547	263.86	286.69	0.9802	0.024809	262.44	284.77	0.9660	0.021796	260.94	282.74	0.9525
60	0.029973	272.83	296.81	1.0110	0.026146	271.60	295.13	0.9976	0.023068	270.32	293.38	0.9850
70	0.031340	281.81	306.88	1.0408	0.027413	280.72	305.39	1.0280	0.024261	279.59	303.85	1.0160
80	0.032659	290.84	316.97	1.0698	0.028630	289.86	315.63	1.0574	0.025398	288.86	314.25	1.0458
90	0.033941	299.95	327.10	1.0981	0.029806	299.06	325.89	1.0860	0.026492	298.15	324.64	1.0748
100	0.035193	309.15	337.30	1.1258	0.030951	308.34	336.19	1.1140	0.027552	307.51	335.06	1.1031
110	0.036420	318.45	347.59	1.1530	0.032068	317.70	346.56	1.1414	0.028584	316.94	345.53	1.1308
120	0.037625	327.87	357.97	1.1798	0.033164	327.18	357.02	1.1684	0.029592	326.47	356.06	1.1580
130	0.038813	337.40	368.45	1.2061	0.034241	336.76	367.58	1.1949	0.030581	336.11	366.69	1.1846
140	0.039985	347.06	379.05	1.2321	0.035302	346.46	378.23	1.2210	0.031554	345.85	377.40	1.2109
150	0.041143	356.85	389.76	1.2577	0.036349	356.28	389.00	1.2467	0.032512	355.71	388.22	1.2368
160	0.042290	366.76	400.59	1.2830	0.037384	366.23	399.88	1.2721	0.033457	365.70	399.15	1.2623
170	0.043427	376.81	411.55	1.3080	0.038408	376.31	410.88	1.2972	0.034392	375.81	410.20	1.2875
180	0.044554	386.99	422.64	1.3327	0.039423	386.52	422.00	1.3221	0.035317	386.04	421.36	1.3124
<b><math>P = 1.20</math> MPa (<math>T_{\text{doy}} = 46.29^\circ\text{C}</math>)</b>				<b><math>P = 1.40</math> MPa (<math>T_{\text{doy}} = 52.40^\circ\text{C}</math>)</b>				<b><math>P = 1.60</math> MPa (<math>T_{\text{doy}} = 57.88^\circ\text{C}</math>)</b>				
Doym.	0.016715	253.81	273.87	0.9130	0.014107	256.37	276.12	0.9105	0.012123	258.47	277.86	0.9078
50	0.017201	257.63	278.27	0.9267								
60	0.018404	267.56	289.64	0.9614	0.015005	264.46	285.47	0.9389	0.012372	260.89	280.69	0.9163
70	0.019502	277.21	300.61	0.9938	0.016060	274.62	297.10	0.9733	0.013430	271.76	293.25	0.9535
80	0.020529	286.75	311.39	1.0248	0.017023	284.51	308.34	1.0056	0.014362	282.09	305.07	0.9875
90	0.021506	296.26	322.07	1.0546	0.017923	294.28	319.37	1.0364	0.015215	292.17	316.52	1.0194
100	0.022442	305.80	332.73	1.0836	0.018778	304.01	330.30	1.0661	0.016014	302.14	327.76	1.0500
110	0.023348	315.38	343.40	1.1118	0.019597	313.76	341.19	1.0949	0.016773	312.07	338.91	1.0795
120	0.024228	325.03	354.11	1.1394	0.020388	323.55	352.09	1.1230	0.017500	322.02	350.02	1.1081
130	0.025086	334.77	364.88	1.1664	0.021155	333.41	363.02	1.1504	0.018201	332.00	361.12	1.1360
140	0.025927	344.61	375.72	1.1930	0.021904	343.34	374.01	1.1773	0.018882	342.05	372.26	1.1632
150	0.026753	354.56	386.66	1.2192	0.022636	353.37	385.07	1.2038	0.019545	352.17	383.44	1.1900
160	0.027566	364.61	397.69	1.2449	0.023355	363.51	396.20	1.2298	0.020194	362.38	394.69	1.2163
170	0.028367	374.78	408.82	1.2703	0.024061	373.75	407.43	1.2554	0.020830	372.69	406.02	1.2421
180	0.029158	385.08	420.07	1.2954	0.024757	384.10	418.76	1.2807	0.021456	383.11	417.44	1.2676



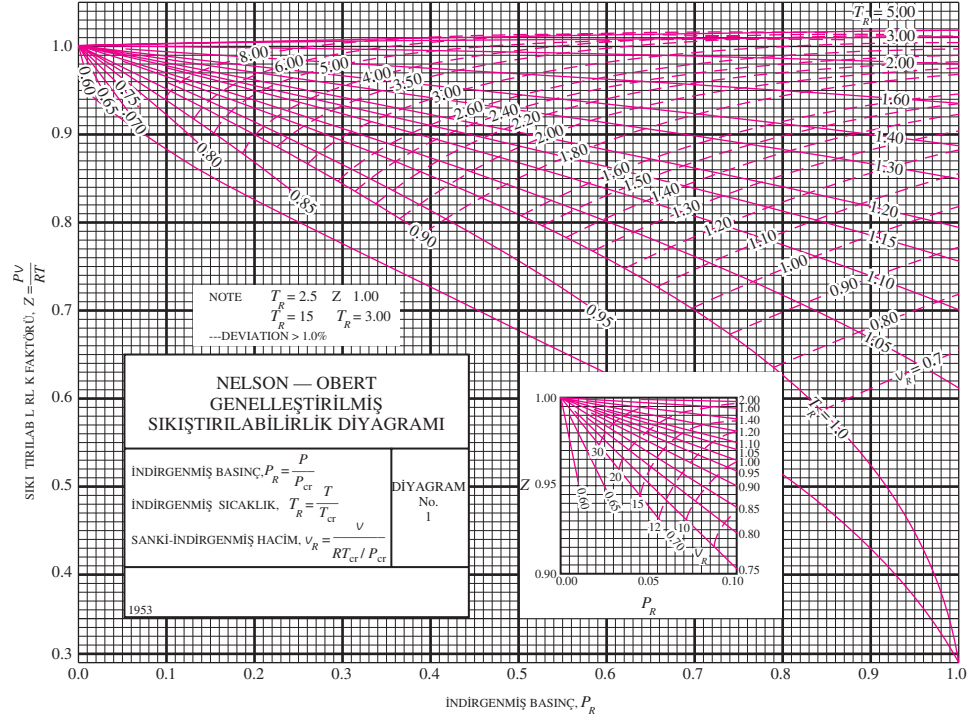
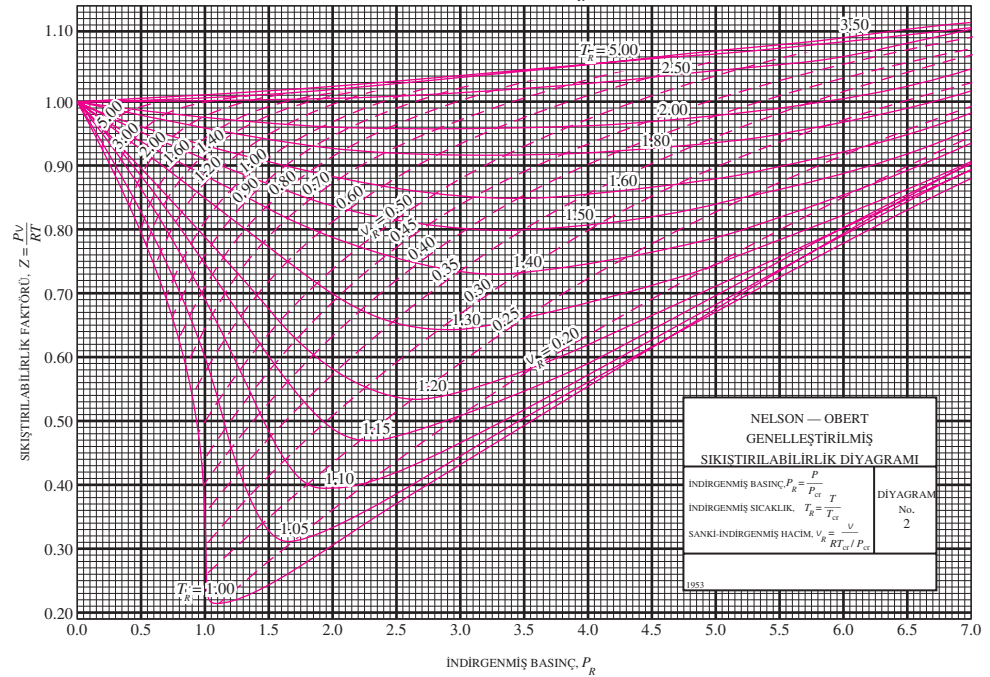


### ŞEKİL A-14

Soğutucu akışkan 134a'nın P-h diyagramı.

Not: Diyagram için kullanılan referans noktası, R-134a tablolarında kullanılanı farklıdır. Bu nedenle problemler çözülürken özellik verilerinin tamamı ya tablolardan, ya da diyagramlardan alınmalı, her ikisi birlikte kullanılmamalıdır.

"American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA'nun izni alınarak basılmıştır.

(a) Düşük basınçlar,  $0 < P_R < 1.0$ (b) Orta basınçlar,  $0 < P_R < 7$ **ŞEKİL A-15**

Nelson–Obert'in genelleştirilmiş sıkıştırılabilirlik diyagramı.

“Dr. Edward E. Obert, University of Wisconsin” in izni alınarak kullanılmıştır.

TABLO A-16

Yüksek seviyede atmosferin özellikleri

Yükseklik, m	Sıcaklık, °C	Basınç, kPa	Yer Çekimi g, m/s <sup>2</sup>	Ses hızı, m/s	Yoğunluk, kg/m <sup>3</sup>	viskozite, $\mu$ , kg/(m.s)	Isıl İletkenlik, W/m · K
0	15.00	101.33	9.807	340.3	1.225	$1.789 \times 10^{-5}$	0.0253
200	13.70	98.95	9.806	339.5	1.202	$1.783 \times 10^{-5}$	0.0252
400	12.40	96.61	9.805	338.8	1.179	$1.777 \times 10^{-5}$	0.0252
600	11.10	94.32	9.805	338.0	1.156	$1.771 \times 10^{-5}$	0.0251
800	9.80	92.08	9.804	337.2	1.134	$1.764 \times 10^{-5}$	0.0250
1000	8.50	89.88	9.804	336.4	1.112	$1.758 \times 10^{-5}$	0.0249
1200	7.20	87.72	9.803	335.7	1.090	$1.752 \times 10^{-5}$	0.0248
1400	5.90	85.60	9.802	334.9	1.069	$1.745 \times 10^{-5}$	0.0247
1600	4.60	83.53	9.802	334.1	1.048	$1.739 \times 10^{-5}$	0.0245
1800	3.30	81.49	9.801	333.3	1.027	$1.732 \times 10^{-5}$	0.0244
2000	2.00	79.50	9.800	332.5	1.007	$1.726 \times 10^{-5}$	0.0243
2200	0.70	77.55	9.800	331.7	0.987	$1.720 \times 10^{-5}$	0.0242
2400	-0.59	75.63	9.799	331.0	0.967	$1.713 \times 10^{-5}$	0.0241
2600	-1.89	73.76	9.799	330.2	0.947	$1.707 \times 10^{-5}$	0.0240
2800	-3.19	71.92	9.798	329.4	0.928	$1.700 \times 10^{-5}$	0.0239
3000	-4.49	70.12	9.797	328.6	0.909	$1.694 \times 10^{-5}$	0.0238
3200	-5.79	68.36	9.797	327.8	0.891	$1.687 \times 10^{-5}$	0.0237
3400	-7.09	66.63	9.796	327.0	0.872	$1.681 \times 10^{-5}$	0.0236
3600	-8.39	64.94	9.796	326.2	0.854	$1.674 \times 10^{-5}$	0.0235
3800	-9.69	63.28	9.795	325.4	0.837	$1.668 \times 10^{-5}$	0.0234
4000	-10.98	61.66	9.794	324.6	0.819	$1.661 \times 10^{-5}$	0.0233
4200	-12.3	60.07	9.794	323.8	0.802	$1.655 \times 10^{-5}$	0.0232
4400	-13.6	58.52	9.793	323.0	0.785	$1.648 \times 10^{-5}$	0.0231
4600	-14.9	57.00	9.793	322.2	0.769	$1.642 \times 10^{-5}$	0.0230
4800	-16.2	55.51	9.792	321.4	0.752	$1.635 \times 10^{-5}$	0.0229
5000	-17.5	54.05	9.791	320.5	0.736	$1.628 \times 10^{-5}$	0.0228
5200	-18.8	52.62	9.791	319.7	0.721	$1.622 \times 10^{-5}$	0.0227
5400	-20.1	51.23	9.790	318.9	0.705	$1.615 \times 10^{-5}$	0.0226
5600	-21.4	49.86	9.789	318.1	0.690	$1.608 \times 10^{-5}$	0.0224
5800	-22.7	48.52	9.785	317.3	0.675	$1.602 \times 10^{-5}$	0.0223
6000	-24.0	47.22	9.788	316.5	0.660	$1.595 \times 10^{-5}$	0.0222
6200	-25.3	45.94	9.788	315.6	0.646	$1.588 \times 10^{-5}$	0.0221
6400	-26.6	44.69	9.787	314.8	0.631	$1.582 \times 10^{-5}$	0.0220
6600	-27.9	43.47	9.786	314.0	0.617	$1.575 \times 10^{-5}$	0.0219
6800	-29.2	42.27	9.785	313.1	0.604	$1.568 \times 10^{-5}$	0.0218
7000	-30.5	41.11	9.785	312.3	0.590	$1.561 \times 10^{-5}$	0.0217
8000	-36.9	35.65	9.782	308.1	0.526	$1.527 \times 10^{-5}$	0.0212
9000	-43.4	30.80	9.779	303.8	0.467	$1.493 \times 10^{-5}$	0.0206
10,000	-49.9	26.50	9.776	299.5	0.414	$1.458 \times 10^{-5}$	0.0201
12,000	-56.5	19.40	9.770	295.1	0.312	$1.422 \times 10^{-5}$	0.0195
14,000	-56.5	14.17	9.764	295.1	0.228	$1.422 \times 10^{-5}$	0.0195
16,000	-56.5	10.53	9.758	295.1	0.166	$1.422 \times 10^{-5}$	0.0195
18,000	-56.5	7.57	9.751	295.1	0.122	$1.422 \times 10^{-5}$	0.0195

Kaynak: U.S. Standard Atmosphere Supplements, U.S. Government Printing Office, 1966. Değerler 45°enlemindeki koşulların yıl boyu ortalamalarına dayalıdır ve yılın herhangi bir anına ve hava yapısına bağlı olarak değişir. Deniz seviyesindeki ( $z = 0$ ) koşullar  $P = 101.325$  kPa,  $T = 15^\circ\text{C}$ ,  $\rho = 1.2250$  kg/m<sup>3</sup>,  $g = 9.80665$  m/s<sup>2</sup> olarak alınmıştır.

## 910 | Termodinamik

TABLO A-17

Havanın mükemmel-gaz özellikleri

$T$ K	$h$ kJ/kg	$P_r$	$u$ kJ/kg	$v_r$	$s^\circ$ kJ/(kg.K)	$T$ K	$h$ kJ/kg	$P_r$	$u$ kJ/kg	$v_r$	$s^\circ$ kJ/(kg.K)
200	199.97	0.3363	142.56	1707.0	1.29559	580	586.04	14.38	419.55	115.7	2.37348
210	209.97	0.3987	149.69	1512.0	1.34444	590	596.52	15.31	427.15	110.6	2.39140
220	219.97	0.4690	156.82	1346.0	1.39105	600	607.02	16.28	434.78	105.8	2.40902
230	230.02	0.5477	164.00	1205.0	1.43557	610	617.53	17.30	442.42	101.2	2.42644
240	240.02	0.6355	171.13	1084.0	1.47824	620	628.07	18.36	450.09	96.92	2.44356
250	250.05	0.7329	178.28	979.0	1.51917	630	638.63	19.84	457.78	92.84	2.46048
260	260.09	0.8405	185.45	887.8	1.55848	640	649.22	20.64	465.50	88.99	2.47716
270	270.11	0.9590	192.60	808.0	1.59634	650	659.84	21.86	473.25	85.34	2.49364
280	280.13	1.0889	199.75	738.0	1.63279	660	670.47	23.13	481.01	81.89	2.50985
285	285.14	1.1584	203.33	706.1	1.65055	670	681.14	24.46	488.81	78.61	2.52589
290	290.16	1.2311	206.91	676.1	1.66802	680	691.82	25.85	496.62	75.50	2.54175
295	295.17	1.3068	210.49	647.9	1.68515	690	702.52	27.29	504.45	72.56	2.55731
298	298.18	1.3543	212.64	631.9	1.69528	700	713.27	28.80	512.33	69.76	2.57277
300	300.19	1.3860	214.07	621.2	1.70203	710	724.04	30.38	520.23	67.07	2.58810
305	305.22	1.4686	217.67	596.0	1.71865	720	734.82	32.02	528.14	64.53	2.60319
310	310.24	1.5546	221.25	572.3	1.73498	730	745.62	33.72	536.07	62.13	2.61803
315	315.27	1.6442	224.85	549.8	1.75106	740	756.44	35.50	544.02	59.82	2.63280
320	320.29	1.7375	228.42	528.6	1.76690	750	767.29	37.35	551.99	57.63	2.64737
325	325.31	1.8345	232.02	508.4	1.78249	760	778.18	39.27	560.01	55.54	2.66176
330	330.34	1.9352	235.61	489.4	1.79783	780	800.03	43.35	576.12	51.64	2.69013
340	340.42	2.149	242.82	454.1	1.82790	800	821.95	47.75	592.30	48.08	2.71787
350	350.49	2.379	250.02	422.2	1.85708	820	843.98	52.59	608.59	44.84	2.74504
360	360.58	2.626	257.24	393.4	1.88543	840	866.08	57.60	624.95	41.85	2.77170
370	370.67	2.892	264.46	367.2	1.91313	860	888.27	63.09	641.40	39.12	2.79783
380	380.77	3.176	271.69	343.4	1.94001	880	910.56	68.98	657.95	36.61	2.82344
390	390.88	3.481	278.93	321.5	1.96633	900	932.93	75.29	674.58	34.31	2.84856
400	400.98	3.806	286.16	301.6	1.99194	920	955.38	82.05	691.28	32.18	2.87324
410	411.12	4.153	293.43	283.3	2.01699	940	977.92	89.28	708.08	30.22	2.89748
420	421.26	4.522	300.69	266.6	2.04142	960	1000.55	97.00	725.02	28.40	2.92128
430	431.43	4.915	307.99	251.1	2.06533	980	1023.25	105.2	741.98	26.73	2.94468
440	441.61	5.332	315.30	236.8	2.08870	1000	1046.04	114.0	758.94	25.17	2.96770
450	451.80	5.775	322.62	223.6	2.11161	1020	1068.89	123.4	776.10	23.72	2.99034
460	462.02	6.245	329.97	211.4	2.13407	1040	1091.85	133.3	793.36	23.29	3.01260
470	472.24	6.742	337.32	200.1	2.15604	1060	1114.86	143.9	810.62	21.14	3.03449
480	482.49	7.268	344.70	189.5	2.17760	1080	1137.89	155.2	827.88	19.98	3.05608
490	492.74	7.824	352.08	179.7	2.19876	1100	1161.07	167.1	845.33	18.896	3.07732
500	503.02	8.411	359.49	170.6	2.21952	1120	1184.28	179.7	862.79	17.886	3.09825
510	513.32	9.031	366.92	162.1	2.23993	1140	1207.57	193.1	880.35	16.946	3.11883
520	523.63	9.684	374.36	154.1	2.25997	1160	1230.92	207.2	897.91	16.064	3.13916
530	533.98	10.37	381.84	146.7	2.27967	1180	1254.34	222.2	915.57	15.241	3.15916
540	544.35	11.10	389.34	139.7	2.29906	1200	1277.79	238.0	933.33	14.470	3.17888
550	555.74	11.86	396.86	133.1	2.31809	1220	1301.31	254.7	951.09	13.747	3.19834
560	565.17	12.66	404.42	127.0	2.33685	1240	1324.93	272.3	968.95	13.069	3.21751
570	575.59	13.50	411.97	121.2	2.35531						



TABLO A-17

Havanın mükemmel-gaz özellikleri (Devam)

$T$ K	$h$ kJ/kg	$P_r$	$u$ kJ/kg	$v_r$	$s^\circ$ kJ/(kg.K)	$T$ K	$h$ kJ/kg	$P_r$	$u$ kJ/kg	$v_r$	$s^\circ$ kJ/(kg.K)
1260	1348.55	290.8	986.90	12.435	3.23638	1600	1757.57	791.2	1298.30	5.804	3.52364
1280	1372.24	310.4	1004.76	11.835	3.25510	1620	1782.00	834.1	1316.96	5.574	3.53879
1300	1395.97	330.9	1022.82	11.275	3.27345	1640	1806.46	878.9	1335.72	5.355	3.55381
1320	1419.76	352.5	1040.88	10.747	3.29160	1660	1830.96	925.6	1354.48	5.147	3.56867
1340	1443.60	375.3	1058.94	10.247	3.30959	1680	1855.50	974.2	1373.24	4.949	3.58335
1360	1467.49	399.1	1077.10	9.780	3.32724	1700	1880.1	1025	1392.7	4.761	3.5979
1380	1491.44	424.2	1095.26	9.337	3.34474	1750	1941.6	1161	1439.8	4.328	3.6336
1400	1515.42	450.5	1113.52	8.919	3.36200	1800	2003.3	1310	1487.2	3.994	3.6684
1420	1539.44	478.0	1131.77	8.526	3.37901	1850	2065.3	1475	1534.9	3.601	3.7023
1440	1563.51	506.9	1150.13	8.153	3.39586	1900	2127.4	1655	1582.6	3.295	3.7354
1460	1587.63	537.1	1168.49	7.801	3.41247	1950	2189.7	1852	1630.6	3.022	3.7677
1480	1611.79	568.8	1186.95	7.468	3.42892	2000	2252.1	2068	1678.7	2.776	3.7994
1500	1635.97	601.9	1205.41	7.152	3.44516	2050	2314.6	2303	1726.8	2.555	3.8303
1520	1660.23	636.5	1223.87	6.854	3.46120	2100	2377.7	2559	1775.3	2.356	3.8605
1540	1684.51	672.8	1242.43	6.569	3.47712	2150	2440.3	2837	1823.8	2.175	3.8901
1560	1708.82	710.5	1260.99	6.301	3.49276	2200	2503.2	3138	1872.4	2.012	3.9191
1580	1733.17	750.0	1279.65	6.046	3.50829	2250	2566.4	3464	1921.3	1.864	3.9474

Not:  $P_r$  (bağıl basınç) ve  $v_r$  (bağıl özgül hacim) özellikleri, izantropik durum değişimlerinin çözümlenmesinde kullanılan boyutsuz büyüklüklere dir. Basınç ve özgül hacim özellikleriyle karıştırılmamalıdır.

Kaynak: Kenneth Wark, *Termodinamik*, 4th ed. (New York: McGraw-Hill, 1983), pp. 785–86, tablo A–5. İlk olarak "J. H. Keenan and J. Kaye, *Gas Tables* (New York: John Wiley & Sons, 1948)"adlı kaynakta yayınlanmıştır.


**912 | Termodinamik**
**TABLO A-18**

 N<sub>2</sub>, Azotun mükemmel gaz özellikleri

$T$ K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/(kmol.K)	$T$ K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/(kmol.K)
0	0	0	0	600	17,563	12,574	212.066
220	6,391	4,562	182.639	610	17,864	12,792	212.564
230	6,683	4,770	183.938	620	18,166	13,011	213.055
240	6,975	4,979	185.180	630	18,468	13,230	213.541
250	7,266	5,188	186.370	640	18,772	13,450	214.018
260	7,558	5,396	187.514	650	19,075	13,671	214.489
270	7,849	5,604	188.614	660	19,380	13,892	214.954
280	8,141	5,813	189.673	670	19,685	14,114	215.413
290	8,432	6,021	190.695	680	19,991	14,337	215.866
298	8,669	6,190	191.502	690	20,297	14,560	216.314
300	8,723	6,229	191.682	700	20,604	14,784	216.756
310	9,014	6,437	192.638	710	20,912	15,008	217.192
320	9,306	6,645	193.562	720	21,220	15,234	217.624
330	9,597	6,853	194.459	730	21,529	15,460	218.059
340	9,888	7,061	195.328	740	21,839	15,686	218.472
350	10,180	7,270	196.173	750	22,149	15,913	218.889
360	10,471	7,478	196.995	760	22,460	16,141	219.301
370	10,763	7,687	197.794	770	22,772	16,370	219.709
380	11,055	7,895	198.572	780	23,085	16,599	220.113
390	11,347	8,104	199.331	790	23,398	16,830	220.512
400	11,640	8,314	200.071	800	23,714	17,061	220.907
410	11,932	8,523	200.794	810	24,027	17,292	221.298
420	12,225	8,733	201.499	820	24,342	17,524	221.684
430	12,518	8,943	202.189	830	24,658	17,757	222.067
440	12,811	9,153	202.863	840	24,974	17,990	222.447
450	13,105	9,363	203.523	850	25,292	18,224	222.822
460	13,399	9,574	204.170	860	25,610	18,459	223.194
470	13,693	9,786	204.803	870	25,928	18,695	223.562
480	13,988	9,997	205.424	880	26,248	18,931	223.927
490	14,285	10,210	206.033	890	26,568	19,168	224.288
500	14,581	10,423	206.630	900	26,890	19,407	224.647
510	14,876	10,635	207.216	910	27,210	19,644	225.002
520	15,172	10,848	207.792	920	27,532	19,883	225.353
530	15,469	11,062	208.358	930	27,854	20,122	225.701
540	15,766	11,277	208.914	940	28,178	20,362	226.047
550	16,064	11,492	209.461	950	28,501	20,603	226.389
560	16,363	11,707	209.999	960	28,826	20,844	226.728
570	16,662	11,923	210.528	970	29,151	21,086	227.064
580	16,962	12,139	211.049	980	29,476	21,328	227.398
590	17,262	12,356	211.562	990	29,803	21,571	227.728



TABLO A-18

N<sub>2</sub>, Azotun mükemmel gaz özellikleri (Devam)

$T$ K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/(kmol.K)	$T$ K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/(kmol.K)
1000	30,129	21,815	228.057	1760	56,227	41,594	247.396
1020	30,784	22,304	228.706	1780	56,938	42,139	247.798
1040	31,442	22,795	229.344	1800	57,651	42,685	248.195
1060	32,101	23,288	229.973	1820	58,363	43,231	248.589
1080	32,762	23,782	230.591	1840	59,075	43,777	248.979
1100	33,426	24,280	231.199	1860	59,790	44,324	249.365
1120	34,092	24,780	231.799	1880	60,504	44,873	249.748
1140	34,760	25,282	232.391	1900	61,220	45,423	250.128
1160	35,430	25,786	232.973	1920	61,936	45,973	250.502
1180	36,104	26,291	233.549	1940	62,654	46,524	250.874
1200	36,777	26,799	234.115	1960	63,381	47,075	251.242
1220	37,452	27,308	234.673	1980	64,090	47,627	251.607
1240	38,129	27,819	235.223	2000	64,810	48,181	251.969
1260	38,807	28,331	235.766	2050	66,612	49,567	252.858
1280	39,488	28,845	236.302	2100	68,417	50,957	253.726
1300	40,170	29,361	236.831	2150	70,226	52,351	254.578
1320	40,853	29,378	237.353	2200	72,040	53,749	255.412
1340	41,539	30,398	237.867	2250	73,856	55,149	256.227
1360	42,227	30,919	238.376	2300	75,676	56,553	257.027
1380	42,915	31,441	238.878	2350	77,496	57,958	257.810
1400	43,605	31,964	239.375	2400	79,320	59,366	258.580
1420	44,295	32,489	239.865	2450	81,149	60,779	259.332
1440	44,988	33,014	240.350	2500	82,981	62,195	260.073
1460	45,682	33,543	240.827	2550	84,814	63,613	260.799
1480	46,377	34,071	241.301	2600	86,650	65,033	261.512
1500	47,073	34,601	241.768	2650	88,488	66,455	262.213
1520	47,771	35,133	242.228	2700	90,328	67,880	262.902
1540	48,470	35,665	242.685	2750	92,171	69,306	263.577
1560	49,168	36,197	243.137	2800	94,014	70,734	264.241
1580	49,869	36,732	243.585	2850	95,859	72,163	264.895
1600	50,571	37,268	244.028	2900	97,705	73,593	265.538
1620	51,275	37,806	244.464	2950	99,556	75,028	266.170
1640	51,980	38,344	244.896	3000	101,407	76,464	266.793
1660	52,686	38,884	245.324	3050	103,260	77,902	267.404
1680	53,393	39,424	245.747	3100	105,115	79,341	268.007
1700	54,099	39,965	246.166	3150	106,972	80,782	268.601
1720	54,807	40,507	246.580	3200	108,830	82,224	269.186
1740	55,516	41,049	246.990	3250	110,690	83,668	269.763

Kaynak: A-18 - A-25 Tabloları, "Kenneth Wark, *Termodinamik*, 4th ed. (New York: McGraw-Hill, 1983), pp. 787-98. Adlı kaynaktan uyarlanmıştır. Tablolar ilk olarak "JANAF, *Thermochemical Tables*, NSRDS-NBS-37, 1971" adlı kaynakta yayınlanmıştır.


**914 | Termodinamik**
**TABLO A-19**

 O<sub>2</sub> Oksijenin mükemmel gaz özellikleri

$T$ K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/(kmol.K)	$T$ K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/(kmol.K)
0	0	0	0	600	17,929	12,940	226.346
220	6,404	4,575	196.171	610	18,250	13,178	226.877
230	6,694	4,782	197.461	620	18,572	13,417	227.400
240	6,984	4,989	198.696	630	18,895	13,657	227.918
250	7,275	5,197	199.885	640	19,219	13,898	228.429
260	7,566	5,405	201.027	650	19,544	14,140	228.932
270	7,858	5,613	202.128	660	19,870	14,383	229.430
280	8,150	5,822	203.191	670	20,197	14,626	229.920
290	8,443	6,032	204.218	680	20,524	14,871	230.405
298	8,682	6,203	205.033	690	20,854	15,116	230.885
300	8,736	6,242	205.213	700	21,184	15,364	231.358
310	9,030	6,453	206.177	710	21,514	15,611	231.827
320	9,325	6,664	207.112	720	21,845	15,859	232.291
330	9,620	6,877	208.020	730	22,177	16,107	232.748
340	9,916	7,090	208.904	740	22,510	16,357	233.201
350	10,213	7,303	209.765	750	22,844	16,607	233.649
360	10,511	7,518	210.604	760	23,178	16,859	234.091
370	10,809	7,733	211.423	770	23,513	17,111	234.528
380	11,109	7,949	212.222	780	23,850	17,364	234.960
390	11,409	8,166	213.002	790	24,186	17,618	235.387
400	11,711	8,384	213.765	800	24,523	17,872	235.810
410	12,012	8,603	214.510	810	24,861	18,126	236.230
420	12,314	8,822	215.241	820	25,199	18,382	236.644
430	12,618	9,043	215.955	830	25,537	18,637	237.055
440	12,923	9,264	216.656	840	25,877	18,893	237.462
450	13,228	9,487	217.342	850	26,218	19,150	237.864
460	13,525	9,710	218.016	860	26,559	19,408	238.264
470	13,842	9,935	218.676	870	26,899	19,666	238.660
480	14,151	10,160	219.326	880	27,242	19,925	239.051
490	14,460	10,386	219.963	890	27,584	20,185	239.439
500	14,770	10,614	220.589	900	27,928	20,445	239.823
510	15,082	10,842	221.206	910	28,272	20,706	240.203
520	15,395	11,071	221.812	920	28,616	20,967	240.580
530	15,708	11,301	222.409	930	28,960	21,228	240.953
540	16,022	11,533	222.997	940	29,306	21,491	241.323
550	16,338	11,765	223.576	950	29,652	21,754	241.689
560	16,654	11,998	224.146	960	29,999	22,017	242.052
570	16,971	12,232	224.708	970	30,345	22,280	242.411
580	17,290	12,467	225.262	980	30,692	22,544	242.768
590	17,609	12,703	225.808	990	31,041	22,809	242.120



TABLO A-19

O<sub>2</sub> Oksijenin imükemmel gaz özellikleri (Devam)

$T$ K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/(kmol.K)	$T$ K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/(kmol.K)
1000	31,389	23,075	243.471	1760	58,880	44,247	263.861
1020	32,088	23,607	244.164	1780	59,624	44,825	264.283
1040	32,789	24,142	244.844	1800	60,371	45,405	264.701
1060	33,490	24,677	245.513	1820	61,118	45,986	265.113
1080	34,194	25,214	246.171	1840	61,866	46,568	265.521
1100	34,899	25,753	246.818	1860	62,616	47,151	265.925
1120	35,606	26,294	247.454	1880	63,365	47,734	266.326
1140	36,314	26,836	248.081	1900	64,116	48,319	266.722
1160	37,023	27,379	248.698	1920	64,868	48,904	267.115
1180	37,734	27,923	249.307	1940	65,620	49,490	267.505
1200	38,447	28,469	249.906	1960	66,374	50,078	267.891
1220	39,162	29,018	250.497	1980	67,127	50,665	268.275
1240	39,877	29,568	251.079	2000	67,881	51,253	268.655
1260	40,594	30,118	251.653	2050	69,772	52,727	269.588
1280	41,312	30,670	252.219	2100	71,668	54,208	270.504
1300	42,033	31,224	252.776	2150	73,573	55,697	271.399
1320	42,753	31,778	253.325	2200	75,484	57,192	272.278
1340	43,475	32,334	253.868	2250	77,397	58,690	273.136
1360	44,198	32,891	254.404	2300	79,316	60,193	273.891
1380	44,923	33,449	254.932	2350	81,243	61,704	274.809
1400	45,648	34,008	255.454	2400	83,174	63,219	275.625
1420	46,374	34,567	255.968	2450	85,112	64,742	276.424
1440	47,102	35,129	256.475	2500	87,057	66,271	277.207
1460	47,831	35,692	256.978	2550	89,004	67,802	277.979
1480	48,561	36,256	257.474	2600	90,956	69,339	278.738
1500	49,292	36,821	257.965	2650	92,916	70,883	279.485
1520	50,024	37,387	258.450	2700	94,881	72,433	280.219
1540	50,756	37,952	258.928	2750	96,852	73,987	280.942
1560	51,490	38,520	259.402	2800	98,826	75,546	281.654
1580	52,224	39,088	259.870	2850	100,808	77,112	282.357
1600	52,961	39,658	260.333	2900	102,793	78,682	283.048
1620	53,696	40,227	260.791	2950	104,785	80,258	283.728
1640	54,434	40,799	261.242	3000	106,780	81,837	284.399
1660	55,172	41,370	261.690	3050	108,778	83,419	285.060
1680	55,912	41,944	262.132	3100	110,784	85,009	285.713
1700	56,652	42,517	262.571	3150	112,795	86,601	286.355
1720	57,394	43,093	263.005	3200	114,809	88,203	286.989
1740	58,136	43,669	263.435	3250	116,827	89,804	287.614


**916 | Termodinamik**
**TABLO A-20**

 CO<sub>2</sub>, Karbon dioksitin mükemmel gaz özellikleri

$T$ K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/(kmol.K)	$T$ K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/(kmol.K)
0	0	0	0	600	22,280	17,291	243.199
220	6,601	4,772	202.966	610	22,754	17,683	243.983
230	6,938	5,026	204.464	620	23,231	18,076	244.758
240	7,280	5,285	205.920	630	23,709	18,471	245.524
250	7,627	5,548	207.337	640	24,190	18,869	246.282
260	7,979	5,817	208.717	650	24,674	19,270	247.032
270	8,335	6,091	210.062	660	25,160	19,672	247.773
280	8,697	6,369	211.376	670	25,648	20,078	248.507
290	9,063	6,651	212.660	680	26,138	20,484	249.233
298	9,364	6,885	213.685	690	26,631	20,894	249.952
300	9,431	6,939	213.915	700	27,125	21,305	250.663
310	9,807	7,230	215.146	710	27,622	21,719	251.368
320	10,186	7,526	216.351	720	28,121	22,134	252.065
330	10,570	7,826	217.534	730	28,622	22,522	252.755
340	10,959	8,131	218.694	740	29,124	22,972	253.439
350	11,351	8,439	219.831	750	29,629	23,393	254.117
360	11,748	8,752	220.948	760	30,135	23,817	254.787
370	12,148	9,068	222.044	770	30,644	24,242	255.452
380	12,552	9,392	223.122	780	31,154	24,669	256.110
390	12,960	9,718	224.182	790	31,665	25,097	256.762
400	13,372	10,046	225.225	800	32,179	25,527	257.408
410	13,787	10,378	226.250	810	32,694	25,959	258.048
420	14,206	10,714	227.258	820	33,212	26,394	258.682
430	14,628	11,053	228.252	830	33,730	26,829	259.311
440	15,054	11,393	229.230	840	34,251	27,267	259.934
450	15,483	11,742	230.194	850	34,773	27,706	260.551
460	15,916	12,091	231.144	860	35,296	28,125	261.164
470	16,351	12,444	232.080	870	35,821	28,588	261.770
480	16,791	12,800	233.004	880	36,347	29,031	262.371
490	17,232	13,158	233.916	890	36,876	29,476	262.968
500	17,678	13,521	234.814	900	37,405	29,922	263.559
510	18,126	13,885	235.700	910	37,935	30,369	264.146
520	18,576	14,253	236.575	920	38,467	30,818	264.728
530	19,029	14,622	237.439	930	39,000	31,268	265.304
540	19,485	14,996	238.292	940	39,535	31,719	265.877
550	19,945	15,372	239.135	950	40,070	32,171	266.444
560	20,407	15,751	239.962	960	40,607	32,625	267.007
570	20,870	16,131	240.789	970	41,145	33,081	267.566
580	21,337	16,515	241.602	980	41,685	33,537	268.119
590	21,807	16,902	242.405	990	42,226	33,995	268.670



TABLO A-20

CO<sub>2</sub>, Karbon dioksitin mükemmel gaz özellikleri (Devam)

$T$ K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/(kmol.K)	$T$ K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/(kmol.K)
1000	42,769	34,455	269.215	1760	86,420	71,787	301.543
1020	43,859	35,378	270.293	1780	87,612	72,812	302.217
1040	44,953	36,306	271.354	1800	88,806	73,840	302.884
1060	46,051	37,238	272.400	1820	90,000	74,868	303.544
1080	47,153	38,174	273.430	1840	91,196	75,897	304.198
1100	48,258	39,112	274.445	1860	92,394	76,929	304.845
1120	49,369	40,057	275.444	1880	93,593	77,962	305.487
1140	50,484	41,006	276.430	1900	94,793	78,996	306.122
1160	51,602	41,957	277.403	1920	95,995	80,031	306.751
1180	52,724	42,913	278.361	1940	97,197	81,067	307.374
1200	53,848	43,871	297.307	1960	98,401	82,105	307.992
1220	54,977	44,834	280.238	1980	99,606	83,144	308.604
1240	56,108	45,799	281.158	2000	100,804	84,185	309.210
1260	57,244	46,768	282.066	2050	103,835	86,791	310.701
1280	58,381	47,739	282.962	2100	106,864	89,404	312.160
1300	59,522	48,713	283.847	2150	109,898	92,023	313.589
1320	60,666	49,691	284.722	2200	112,939	94,648	314.988
1340	61,813	50,672	285.586	2250	115,984	97,277	316.356
1360	62,963	51,656	286.439	2300	119,035	99,912	317.695
1380	64,116	52,643	287.283	2350	122,091	102,552	319.011
1400	65,271	53,631	288.106	2400	125,152	105,197	320.302
1420	66,427	54,621	288.934	2450	128,219	107,849	321.566
1440	67,586	55,614	289.743	2500	131,290	110,504	322.808
1460	68,748	56,609	290.542	2550	134,368	113,166	324.026
1480	66,911	57,606	291.333	2600	137,449	115,832	325.222
1500	71,078	58,606	292.114	2650	140,533	118,500	326.396
1520	72,246	59,609	292.888	2700	143,620	121,172	327.549
1540	73,417	60,613	292.654	2750	146,713	123,849	328.684
1560	74,590	61,620	294.411	2800	149,808	126,528	329.800
1580	76,767	62,630	295.161	2850	152,908	129,212	330.896
1600	76,944	63,741	295.901	2900	156,009	131,898	331.975
1620	78,123	64,653	296.632	2950	159,117	134,589	333.037
1640	79,303	65,668	297.356	3000	162,226	137,283	334.084
1660	80,486	66,592	298.072	3050	165,341	139,982	335.114
1680	81,670	67,702	298.781	3100	168,456	142,681	336.126
1700	82,856	68,721	299.482	3150	171,576	145,385	337.124
1720	84,043	69,742	300.177	3200	174,695	148,089	338.109
1740	85,231	70,764	300.863	3250	177,822	150,801	339.069



## 918 | Termodinamik

TABLO A – 21

CO, Karbon monoksitin mükemmel gaz özellikleri

$T$ K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/(kmo.K)	$T$ K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/(kmo.K)
0	0	0	0	600	17,611	12,622	218.204
220	6,391	4,562	188.683	610	17,915	12,843	218.708
230	6,683	4,771	189.980	620	18,221	13,066	219.205
240	6,975	4,979	191.221	630	18,527	13,289	219.695
250	7,266	5,188	192.411	640	18,833	13,512	220.179
260	7,558	5,396	193.554	650	19,141	13,736	220.656
270	7,849	5,604	194.654	660	19,449	13,962	221.127
280	8,140	5,812	195.713	670	19,758	14,187	221.592
290	8,432	6,020	196.735	680	20,068	14,414	222.052
298	8,669	6,190	197.543	690	20,378	14,641	222.505
300	8,723	6,229	197.723	700	20,690	14,870	222.953
310	9,014	6,437	198.678	710	21,002	15,099	223.396
320	9,306	6,645	199.603	720	21,315	15,328	223.833
330	9,597	6,854	200.500	730	21,628	15,558	224.265
340	9,889	7,062	201.371	740	21,943	15,789	224.692
350	10,181	7,271	202.217	750	22,258	16,022	225.115
360	10,473	7,480	203.040	760	22,573	16,255	225.533
370	10,765	7,689	203.842	770	22,890	16,488	225.947
380	11,058	7,899	204.622	780	23,208	16,723	226.357
390	11,351	8,108	205.383	790	23,526	16,957	226.762
400	11,644	8,319	206.125	800	23,844	17,193	227.162
410	11,938	8,529	206.850	810	24,164	17,429	227.559
420	12,232	8,740	207.549	820	24,483	17,665	227.952
430	12,526	8,951	208.252	830	24,803	17,902	228.339
440	12,821	9,163	208.929	840	25,124	18,140	228.724
450	13,116	9,375	209.593	850	25,446	18,379	229.106
460	13,412	9,587	210.243	860	25,768	18,617	229.482
470	13,708	9,800	210.880	870	26,091	18,858	229.856
480	14,005	10,014	211.504	880	26,415	19,099	230.227
490	14,302	10,228	212.117	890	26,740	19,341	230.593
500	14,600	10,443	212.719	900	27,066	19,583	230.957
510	14,898	10,658	213.310	910	27,392	19,826	231.317
520	15,197	10,874	213.890	920	27,719	20,070	231.674
530	15,497	11,090	214.460	930	28,046	20,314	232.028
540	15,797	11,307	215.020	940	28,375	20,559	232.379
550	16,097	11,524	215.572	950	28,703	20,805	232.727
560	16,399	11,743	216.115	960	29,033	21,051	233.072
570	16,701	11,961	216.649	970	29,362	21,298	233.413
580	17,003	12,181	217.175	980	29,693	21,545	233.752
590	17,307	12,401	217.693	990	30,024	21,793	234.088





TABLO A-21

CO, Karbon monoksitin mükemmel gaz özellikleri (Devam)

$T$ K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/(kmol.K)	$T$ K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/(kmol.K)
1000	30,355	22,041	234.421	1760	56,756	42,123	253.991
1020	31,020	22,540	235.079	1780	57,473	42,673	254.398
1040	31,688	23,041	235.728	1800	58,191	43,225	254.797
1060	32,357	23,544	236.364	1820	58,910	43,778	255.194
1080	33,029	24,049	236.992	1840	59,629	44,331	255.587
1100	33,702	24,557	237.609	1860	60,351	44,886	255.976
1120	34,377	25,065	238.217	1880	61,072	45,441	256.361
1140	35,054	25,575	238.817	1900	61,794	45,997	256.743
1160	35,733	26,088	239.407	1920	62,516	46,552	257.122
1180	36,406	26,602	239.989	1940	63,238	47,108	257.497
1200	37,095	27,118	240.663	1960	63,961	47,665	257.868
1220	37,780	27,637	241.128	1980	64,684	48,221	258.236
1240	38,466	28,426	241.686	2000	65,408	48,780	258.600
1260	39,154	28,678	242.236	2050	67,224	50,179	259.494
1280	39,844	29,201	242.780	2100	69,044	51,584	260.370
1300	40,534	29,725	243.316	2150	70,864	52,988	261.226
1320	41,226	30,251	243.844	2200	72,688	54,396	262.065
1340	41,919	30,778	244.366	2250	74,516	55,809	262.887
1360	42,613	31,306	244.880	2300	76,345	57,222	263.692
1380	43,309	31,836	245.388	2350	78,178	58,640	264.480
1400	44,007	32,367	245.889	2400	80,015	60,060	265.253
1420	44,707	32,900	246.385	2450	81,852	61,482	266.012
1440	45,408	33,434	246.876	2500	83,692	62,906	266.755
1460	46,110	33,971	247.360	2550	85,537	64,335	267.485
1480	46,813	34,508	247.839	2600	87,383	65,766	268.202
1500	47,517	35,046	248.312	2650	89,230	67,197	268.905
1520	48,222	35,584	248.778	2700	91,077	68,628	269.596
1540	48,928	36,124	249.240	2750	92,930	70,066	270.285
1560	49,635	36,665	249.695	2800	94,784	71,504	270.943
1580	50,344	37,207	250.147	2850	96,639	72,945	271.602
1600	51,053	37,750	250.592	2900	98,495	74,383	272.249
1620	51,763	38,293	251.033	2950	100,352	75,825	272.884
1640	52,472	38,837	251.470	3000	102,210	77,267	273.508
1660	53,184	39,382	251.901	3050	104,073	78,715	274.123
1680	53,895	39,927	252.329	3100	105,939	80,164	274.730
1700	54,609	40,474	252.751	3150	107,802	81,612	275.326
1720	55,323	41,023	253.169	3200	109,667	83,061	275.914
1740	56,039	41,572	253.582	3250	111,534	84,513	276.494


**920 | Termodinamik**
**TABLO A-22**

 H<sub>2</sub>, Hidrojenin mükemmel gaz özellikleri

$T$ K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/(kmol.K)	$T$ K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/(kmol.K)
0	0	0	0	1440	42,808	30,835	177.410
260	7,370	5,209	126.636	1480	44,091	31,786	178.291
270	7,657	5,412	127.719	1520	45,384	32,746	179.153
280	7,945	5,617	128.765	1560	46,683	33,713	179.995
290	8,233	5,822	129.775	1600	47,990	34,687	180.820
298	8,468	5,989	130.574	1640	49,303	35,668	181.632
300	8,522	6,027	130.754	1680	50,622	36,654	182.428
320	9,100	6,440	132.621	1720	51,947	37,646	183.208
340	9,680	6,853	134.378	1760	53,279	38,645	183.973
360	10,262	7,268	136.039	1800	54,618	39,652	184.724
380	10,843	7,684	137.612	1840	55,962	40,663	185.463
400	11,426	8,100	139.106	1880	57,311	41,680	186.190
420	12,010	8,518	140.529	1920	58,668	42,705	186.904
440	12,594	8,936	141.888	1960	60,031	43,735	187.607
460	13,179	9,355	143.187	2000	61,400	44,771	188.297
480	13,764	9,773	144.432	2050	63,119	46,074	189.148
500	14,350	10,193	145.628	2100	64,847	47,386	189.979
520	14,935	10,611	146.775	2150	66,584	48,708	190.796
560	16,107	11,451	148.945	2200	68,328	50,037	191.598
600	17,280	12,291	150.968	2250	70,080	51,373	192.385
640	18,453	13,133	152.863	2300	71,839	52,716	193.159
680	19,630	13,976	154.645	2350	73,608	54,069	193.921
720	20,807	14,821	156.328	2400	75,383	55,429	194.669
760	21,988	15,669	157.923	2450	77,168	56,798	195.403
800	23,171	16,520	159.440	2500	78,960	58,175	196.125
840	24,359	17,375	160.891	2550	80,755	59,554	196.837
880	25,551	18,235	162.277	2600	82,558	60,941	197.539
920	26,747	19,098	163.607	2650	84,368	62,335	198.229
960	27,948	19,966	164.884	2700	86,186	63,737	198.907
1000	29,154	20,839	166.114	2750	88,008	65,144	199.575
1040	30,364	21,717	167.300	2800	89,838	66,558	200.234
1080	31,580	22,601	168.449	2850	91,671	67,976	200.885
1120	32,802	23,490	169.560	2900	93,512	69,401	201.527
1160	34,028	24,384	170.636	2950	95,358	70,831	202.157
1200	35,262	25,284	171.682	3000	97,211	72,268	202.778
1240	36,502	26,192	172.698	3050	99,065	73,707	203.391
1280	37,749	27,106	173.687	3100	100,926	75,152	203.995
1320	39,002	28,027	174.652	3150	102,793	76,604	204.592
1360	40,263	28,955	175.593	3200	104,667	78,061	205.181
1400	41,530	29,889	176.510	3250	106,545	79,523	205.765



TABLO A-23

H<sub>2</sub>O, Su buharının mükemmel gaz özellikleri

$T$ K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/(kmol.K)	$T$ K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/(kmol.K)
0	0	0	0	600	20,402	15,413	212.920
220	7,295	5,466	178.576	610	20,765	15,693	213.529
230	7,628	5,715	180.054	620	21,130	15,975	214.122
240	7,961	5,965	181.471	630	21,495	16,257	214.707
250	8,294	6,215	182.831	640	21,862	16,541	215.285
260	8,627	6,466	184.139	650	22,230	16,826	215.856
270	8,961	6,716	185.399	660	22,600	17,112	216.419
280	9,296	6,968	186.616	670	22,970	17,399	216.976
290	9,631	7,219	187.791	680	23,342	17,688	217.527
298	9,904	7,425	188.720	690	23,714	17,978	218.071
300	9,966	7,472	188.928	700	24,088	18,268	218.610
310	10,302	7,725	190.030	710	24,464	18,561	219.142
320	10,639	7,978	191.098	720	24,840	18,854	219.668
330	10,976	8,232	192.136	730	25,218	19,148	220.189
340	11,314	8,487	193.144	740	25,597	19,444	220.707
350	11,652	8,742	194.125	750	25,977	19,741	221.215
360	11,992	8,998	195.081	760	26,358	20,039	221.720
370	12,331	9,255	196.012	770	26,741	20,339	222.221
380	12,672	9,513	196.920	780	27,125	20,639	222.717
390	13,014	9,771	197.807	790	27,510	20,941	223.207
400	13,356	10,030	198.673	800	27,896	21,245	223.693
410	13,699	10,290	199.521	810	28,284	21,549	224.174
420	14,043	10,551	200.350	820	28,672	21,855	224.651
430	14,388	10,813	201.160	830	29,062	22,162	225.123
440	14,734	11,075	201.955	840	29,454	22,470	225.592
450	15,080	11,339	202.734	850	29,846	22,779	226.057
460	15,428	11,603	203.497	860	30,240	23,090	226.517
470	15,777	11,869	204.247	870	30,635	23,402	226.973
480	16,126	12,135	204.982	880	31,032	23,715	227.426
490	16,477	12,403	205.705	890	31,429	24,029	227.875
500	16,828	12,671	206.413	900	31,828	24,345	228.321
510	17,181	12,940	207.112	910	32,228	24,662	228.763
520	17,534	13,211	207.799	920	32,629	24,980	229.202
530	17,889	13,482	208.475	930	33,032	25,300	229.637
540	18,245	13,755	209.139	940	33,436	25,621	230.070
550	18,601	14,028	209.795	950	33,841	25,943	230.499
560	18,959	14,303	210.440	960	34,247	26,265	230.924
570	19,318	14,579	211.075	970	34,653	26,588	231.347
580	19,678	14,856	211.702	980	35,061	26,913	231.767
590	20,039	15,134	212.320	990	35,472	27,240	232.184


**922 | Termodinamik**
**TABLO A-23**

 H<sub>2</sub>O, Su buharının mükemmel gaz özellikleri (Devam)

$T$ K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/(kmol.K)	$T$ K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/(kmol.K)
1000	35,882	27,568	232.597	1760	70,535	55,902	258.151
1020	36,709	28,228	233.415	1780	71,523	56,723	258.708
1040	37,542	28,895	234.223	1800	72,513	57,547	259.262
1060	38,380	29,567	235.020	1820	73,507	58,375	259.811
1080	39,223	30,243	235.806	1840	74,506	59,207	260.357
1100	40,071	30,925	236.584	1860	75,506	60,042	260.898
1120	40,923	31,611	237.352	1880	76,511	60,880	261.436
1140	41,780	32,301	238.110	1900	77,517	61,720	261.969
1160	42,642	32,997	238.859	1920	78,527	62,564	262.497
1180	43,509	33,698	239.600	1940	79,540	63,411	263.022
1200	44,380	34,403	240.333	1960	80,555	64,259	263.542
1220	45,256	35,112	241.057	1980	81,573	65,111	264.059
1240	46,137	35,827	241.773	2000	82,593	65,965	264.571
1260	47,022	36,546	242.482	2050	85,156	68,111	265.838
1280	47,912	37,270	243.183	2100	87,735	70,275	267.081
1300	48,807	38,000	243.877	2150	90,330	72,454	268.301
1320	49,707	38,732	244.564	2200	92,940	74,649	269.500
1340	50,612	39,470	245.243	2250	95,562	76,855	270.679
1360	51,521	40,213	245.915	2300	98,199	79,076	271.839
1380	52,434	40,960	246.582	2350	100,846	81,308	272.978
1400	53,351	41,711	247.241	2400	103,508	83,553	274.098
1420	54,273	42,466	247.895	2450	106,183	85,811	275.201
1440	55,198	43,226	248.543	2500	108,868	88,082	276.286
1460	56,128	43,989	249.185	2550	111,565	90,364	277.354
1480	57,062	44,756	249.820	2600	114,273	92,656	278.407
1500	57,999	45,528	250.450	2650	116,991	94,958	279.441
1520	58,942	46,304	251.074	2700	119,717	97,269	280.462
1540	59,888	47,084	251.693	2750	122,453	99,588	281.464
1560	60,838	47,868	252.305	2800	125,198	101,917	282.453
1580	61,792	48,655	252.912	2850	127,952	104,256	283.429
1600	62,748	49,445	253.513	2900	130,717	106,605	284.390
1620	63,709	50,240	254.111	2950	133,486	108,959	285.338
1640	64,675	51,039	254.703	3000	136,264	111,321	286.273
1660	65,643	51,841	255.290	3050	139,051	113,692	287.194
1680	66,614	52,646	255.873	3100	141,846	116,072	288.102
1700	67,589	53,455	256.450	3150	144,648	118,458	288.999
1720	68,567	54,267	257.022	3200	147,457	120,851	289.884
1740	69,550	55,083	257.589	3250	150,272	123,250	290.756



TABLO A-24

O, Tek atomlu oksijenin mükemmel gaz özellikleri

$T$ K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/(kmol.K)	$T$ K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/(kmol.K)
0	0	0	0	2400	50,894	30,940	204.932
298	6,852	4,373	160.944	2450	51,936	31,566	205.362
300	6,892	4,398	161.079	2500	52,979	32,193	205.783
500	11,197	7,040	172.088	2550	54,021	32,820	206.196
1000	21,713	13,398	186.678	2600	55,064	33,447	206.601
1500	32,150	19,679	195.143	2650	56,108	34,075	206.999
1600	34,234	20,931	196.488	2700	57,152	34,703	207.389
1700	36,317	22,183	197.751	2750	58,196	35,332	207.772
1800	38,400	23,434	198.941	2800	59,241	35,961	208.148
1900	40,482	24,685	200.067	2850	60,286	36,590	208.518
2000	42,564	25,935	201.135	2900	61,332	37,220	208.882
2050	43,605	26,560	201.649	2950	62,378	37,851	209.240
2100	44,646	27,186	202.151	3000	63,425	38,482	209.592
2150	45,687	27,811	202.641	3100	65,520	39,746	210.279
2200	46,728	28,436	203.119	3200	67,619	41,013	210.945
2250	47,769	29,062	203.588	3300	69,720	42,283	211.592
2300	48,811	29,688	204.045	3400	71,824	43,556	212.220
2350	49,852	30,314	204.493	3500	73,932	44,832	212.831

TABLO A-25

OH, Hidroksilin mükemmel gaz özellikleri

$T$ K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/(kmol.K)	$T$ K	$\bar{h}$ kJ/kmol	$\bar{u}$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/(kmol.K)
0	0	0	0	2400	77,015	57,061	248.628
298	9,188	6,709	183.594	2450	78,801	58,431	249.364
300	9,244	6,749	183.779	2500	80,592	59,806	250.088
500	15,181	11,024	198.955	2550	82,388	61,186	250.799
1000	30,123	21,809	219.624	2600	84,189	62,572	251.499
1500	46,046	33,575	232.506	2650	85,995	63,962	252.187
1600	49,358	36,055	234.642	2700	87,806	65,358	252.864
1700	52,706	38,571	236.672	2750	89,622	66,757	253.530
1800	56,089	41,123	238.606	2800	91,442	68,162	254.186
1900	59,505	43,708	240.453	2850	93,266	69,570	254.832
2000	62,952	46,323	242.221	2900	95,095	70,983	255.468
2050	64,687	47,642	243.077	2950	96,927	72,400	256.094
2100	66,428	48,968	243.917	3000	98,763	73,820	256.712
2150	68,177	50,301	244.740	3100	102,447	76,673	257.919
2200	69,932	51,641	245.547	3200	106,145	79,539	259.093
2250	71,694	52,987	246.338	3300	109,855	82,418	260.235
2300	73,462	54,339	247.116	3400	113,578	85,309	261.347
2350	75,236	55,697	247.879	3500	117,312	88,212	262.429



TABLO A-26

25°C sıcaklık ve 1atm basınçta Oluşum entalpisi, oluşum Gibbs fonksiyonu ve mutlak entropi

Madde	Kimyasal Formül	$\bar{h}_f^\circ$ kJ/kmol	$\bar{g}_f^\circ$ kJ/kmol	$\bar{s}^\circ$ kJ/(kmol.K)
Karbon	C(s)	0	0	5.74
Hidrojen	H <sub>2</sub> (g)	0	0	130.68
Azot	N <sub>2</sub> (g)	0	0	191.61
Oksijen	O <sub>2</sub> (g)	0	0	205.04
Karbon monoksit	CO(g)	-110,530	-137,150	197.65
Karbon dioksit	CO <sub>2</sub> (g)	-393,520	-394,360	213.80
Su buharı	H <sub>2</sub> O(g)	-241,820	-228,590	188.83
Su	H <sub>2</sub> O(l)	-285,830	-237,180	69.92
Hidrojen peroksit	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (g)	-136,310	-105,600	232.63
Amonyak	NH <sub>3</sub> (g)	-46,190	-16,590	192.33
Metan	CH <sub>4</sub> (g)	-74,850	-50,790	186.16
Asetilen	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> (g)	+226,730	+209,170	200.85
Etilen	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> (g)	+52,280	+68,120	219.83
Etan	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> (g)	-84,680	-32,890	229.49
Propilen	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> (g)	+20,410	+62,720	266.94
Propan	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub> (g)	-103,850	-23,490	269.91
n-Bütan	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub> (g)	-126,150	-15,710	310.12
n-Oktan	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> (g)	-208,450	+16,530	466.73
n-Oktan	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub> (l)	-249,950	+6,610	360.79
n-Dodekan	C <sub>12</sub> H <sub>26</sub> (g)	-291,010	+50,150	622.83
Benzen	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> (g)	+82,930	+129,660	269.20
Metil alkol	CH <sub>3</sub> OH(g)	-200,670	-162,000	239.70
Metil alkol	CH <sub>3</sub> OH(l)	-238,660	-166,360	126.80
Etil alkol	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH(g)	-235,310	-168,570	282.59
Etil alkol	C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH(l)	-277,690	-174,890	160.70
Oksijen	O(g)	+249,190	+231,770	161.06
Hidrojen	H(g)	+218,000	+203,290	114.72
Azot	N(g)	+472,650	+455,510	153.30
Hidroksil	OH(g)	+39,460	+34,280	183.70

Kaynak: JANAF, *Thermochemical Tables* (Midland, MI: Dow Chemical Co., 1971); *Selected Values of Chemical Thermodynamic Properties*, NBS Technical Note 270-3, 1968; and *API Research Project 44* (Carnegie Press, 1953).



TABLO A-27

Bilinen bazı yakıtların ve hidrokarbonların özellikleri

Yakıt (hal)	Kimyasal Formülü	Mol kütlesi, kg/kmol	Yoğunluk, <sup>1</sup> kg/L	Buharlaştırma entalpisi, <sup>2</sup> kJ/kg	Özgül ısı, <sup>1</sup> $c_p$ kJ/kg · K	Üst ısııl değer, <sup>3</sup> kJ/kg	Alt ısııl değer, <sup>3</sup> kJ/kg
Karbon (s)	C	12.011	2	—	0.708	32,800	32,800
Hidrojen (g)	H	2.016	—	—	14.4	141,800	120,000
Karbon monoksit (g)	CO	28.013	—	—	1.05	10,100	10,100
Metan (g)	CH <sub>4</sub>	16.043	—	509	2.20	55,530	50,050
Metanol (ℓ)	CH <sub>4</sub> O	32.042	0.790	1168	2.53	22,660	19,920
Asetilen (g)	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	26.038	—	—	1.69	49,970	48,280
Etan (g)	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	30.070	—	172	1.75	51,900	47,520
Etanol (ℓ)	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> O	46.069	0.790	919	2.44	29,670	26,810
Propan (ℓ)	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	44.097	0.500	335	2.77	50,330	46,340
Bütan (ℓ)	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	58.123	0.579	362	2.42	49,150	45,370
1-Pentan (ℓ)	C <sub>5</sub> H <sub>10</sub>	70.134	0.641	363	2.20	47,760	44,630
İzopentan (ℓ)	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	72.150	0.626	—	2.32	48,570	44,910
Benzen (ℓ)	C <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	78.114	0.877	433	1.72	41,800	40,100
Heksen (ℓ)	C <sub>6</sub> H <sub>12</sub>	84.161	0.673	392	1.84	47,500	44,400
Heksan (ℓ)	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	86.177	0.660	366	2.27	48,310	44,740
Toluen (ℓ)	C <sub>7</sub> H <sub>8</sub>	92.141	0.867	412	1.71	42,400	40,500
Heptan (ℓ)	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	100.204	0.684	365	2.24	48,100	44,600
Oktan (ℓ)	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	114.231	0.703	363	2.23	47,890	44,430
Dekan (ℓ)	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	142.285	0.730	361	2.21	47,640	44,240
Benzin (ℓ)	C <sub>n</sub> H <sub>1.87n</sub>	100–110	0.72–0.78	350	2.4	47,300	44,000
Hafif dizel (ℓ)	C <sub>n</sub> H <sub>1.8n</sub>	170	0.78–0.84	270	2.2	46,100	43,200
Ağır dizel (ℓ)	C <sub>n</sub> H <sub>1.7n</sub>	200	0.82–0.88	230	1.9	45,500	42,800
Doğal gaz (g)	C <sub>n</sub> H <sub>3.8n</sub> N <sub>0.1n</sub>	18	—	—	2	50,000	45,000

<sup>1</sup> 1 atm basınç ve 20°C sıcaklıkta.<sup>2</sup>Sıvı yakıtlar için 25°C sıcaklıkta, gaz yakıtlar için 1 atm basınç ve normal kaynama sıcaklığında.<sup>3</sup>25°C sıcaklıkta. Isıl değerleri kJ/kmol cinsinden elde etmek için yakıtın mol kütlesi ile çarpınız.


**926 | Termodinamik**
**TABLO A-28**
 $K_p$  denge sabitinin doğal logaritması

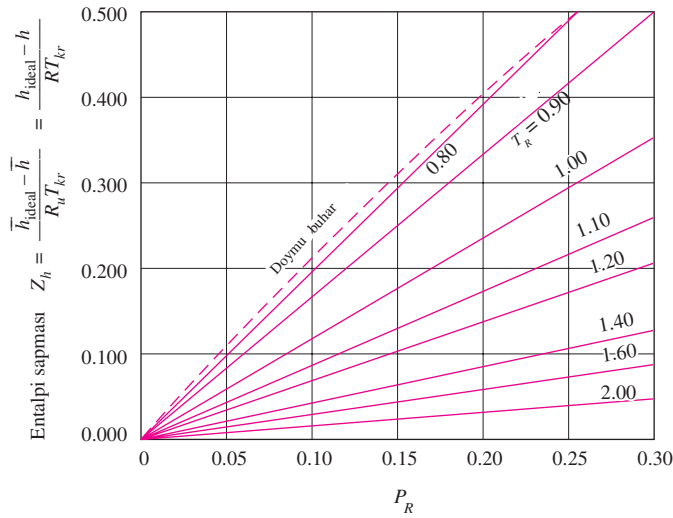
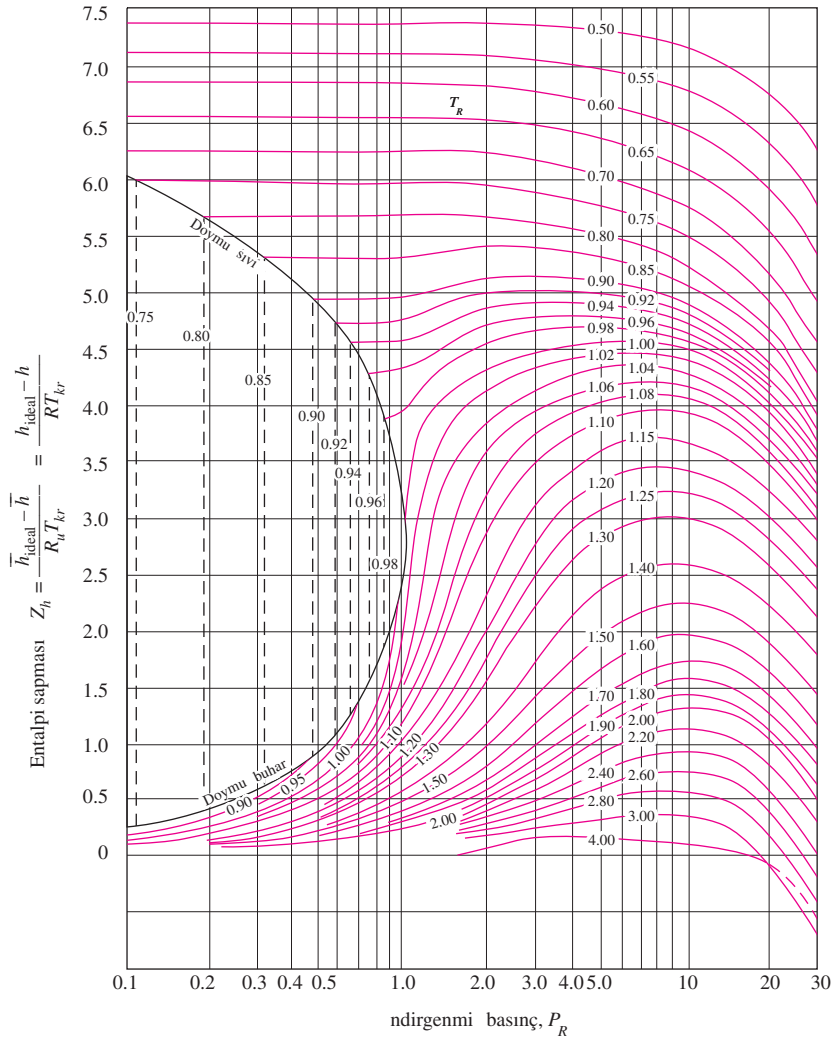
 $\nu_A A + \nu_B B \rightleftharpoons \nu_C C + \nu_D D$  reaksiyonu için  $K_p$  denge sabiti  $K_p \equiv \frac{P_C^{\nu_C} P_D^{\nu_D}}{P_A^{\nu_A} P_B^{\nu_B}}$  şeklinde tanımlanır

Temp., K	$H_2 \rightleftharpoons 2H$	$O_2 \rightleftharpoons 2O$	$N_2 \rightleftharpoons 2N$	$H_2O \rightleftharpoons H_2 + \frac{1}{2}O_2$	$H_2O \rightleftharpoons \frac{1}{2}H_2 + OH$	$CO_2 \rightleftharpoons CO + \frac{1}{2}O_2$	$\frac{1}{2}N_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightleftharpoons NO$
298	-164.005	-186.975	-367.480	-92.208	-106.208	-103.762	-35.052
500	-92.827	-105.630	-213.372	-52.691	-60.281	-57.616	-20.295
1000	-39.803	-45.150	-99.127	-23.163	-26.034	-23.529	-9.388
1200	-30.874	-35.005	-80.011	-18.182	-20.283	-17.871	-7.569
1400	-24.463	-27.742	-66.329	-14.609	-16.099	-13.842	-6.270
1600	-19.637	-22.285	-56.055	-11.921	-13.066	-10.830	-5.294
1800	-15.866	-18.030	-48.051	-9.826	-10.657	-8.497	-4.536
2000	-12.840	-14.622	-41.645	-8.145	-8.728	-6.635	-3.931
2200	-10.353	-11.827	-36.391	-6.768	-7.148	-5.120	-3.433
2400	-8.276	-9.497	-32.011	-5.619	-5.832	-3.860	-3.019
2600	-6.517	-7.521	-28.304	-4.648	-4.719	-2.801	-2.671
2800	-5.002	-5.826	-25.117	-3.812	-3.763	-1.894	-2.372
3000	-3.685	-4.357	-22.359	-3.086	-2.937	-1.111	-2.114
3200	-2.534	-3.072	-19.937	-2.451	-2.212	-0.429	-1.888
3400	-1.516	-1.935	-17.800	-1.891	-1.576	0.169	-1.690
3600	-0.609	-0.926	-15.898	-1.392	-1.088	0.701	-1.513
3800	0.202	-0.019	-14.199	-0.945	-0.501	1.176	-1.356
4000	0.934	0.796	-12.660	-0.542	-0.044	1.599	-1.216
4500	2.486	2.513	-9.414	0.312	0.920	2.490	-0.921
5000	3.725	3.895	-6.807	0.996	1.689	3.197	-0.686
5500	4.743	5.023	-4.666	1.560	2.318	3.771	-0.497
6000	5.590	5.963	-2.865	2.032	2.843	4.245	-0.341

Kaynak: J. Van Wylen and Richard E. Sonntag, *Fundamentals of Classical Termodinamik*, English/SI Version, 3rd ed. (New York: John Wiley & Sons, 1986), p. 723, table A.14. "JANAF, *Thermochemical Tables* (Midland, MI: Thermal Research Laboratory, The Dow Chemical Company, 1971)" adlı kaynaktan verilen termodinamik verilere dayalıdır.





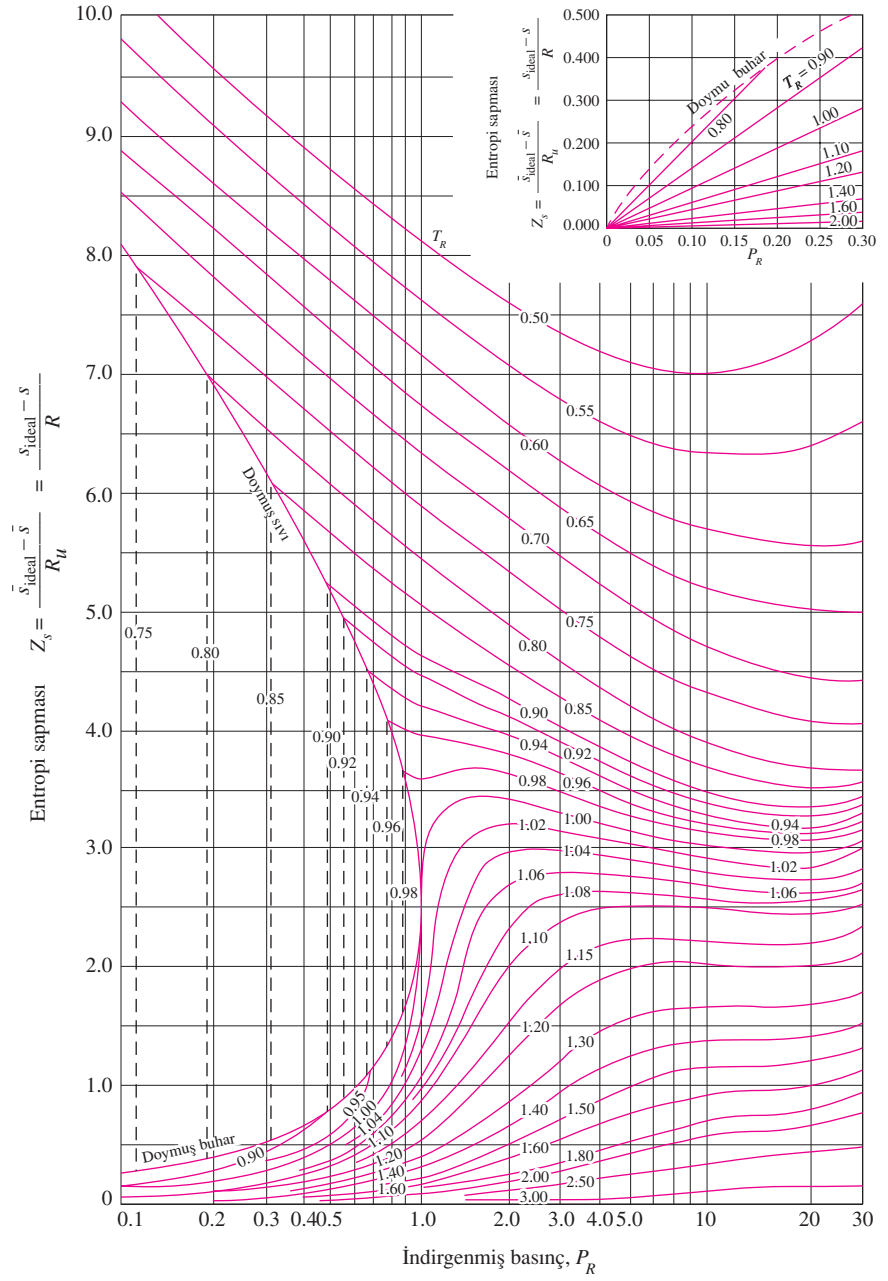


**ŞEKİL A-29**

Genelleştirilmiş entalpi sapma diyagramı

Kaynak: John R. Howell and Richard O. Buckius, Fundamentals of Engineering Thermodynamics, SI Version (New York: McGraw-Hill, 1987), p. 558, fig. C.2, and p. 561, fig. C.5.



**ŞEKİL A-30**

Genelleştirilmiş entropi sapma diyagramı

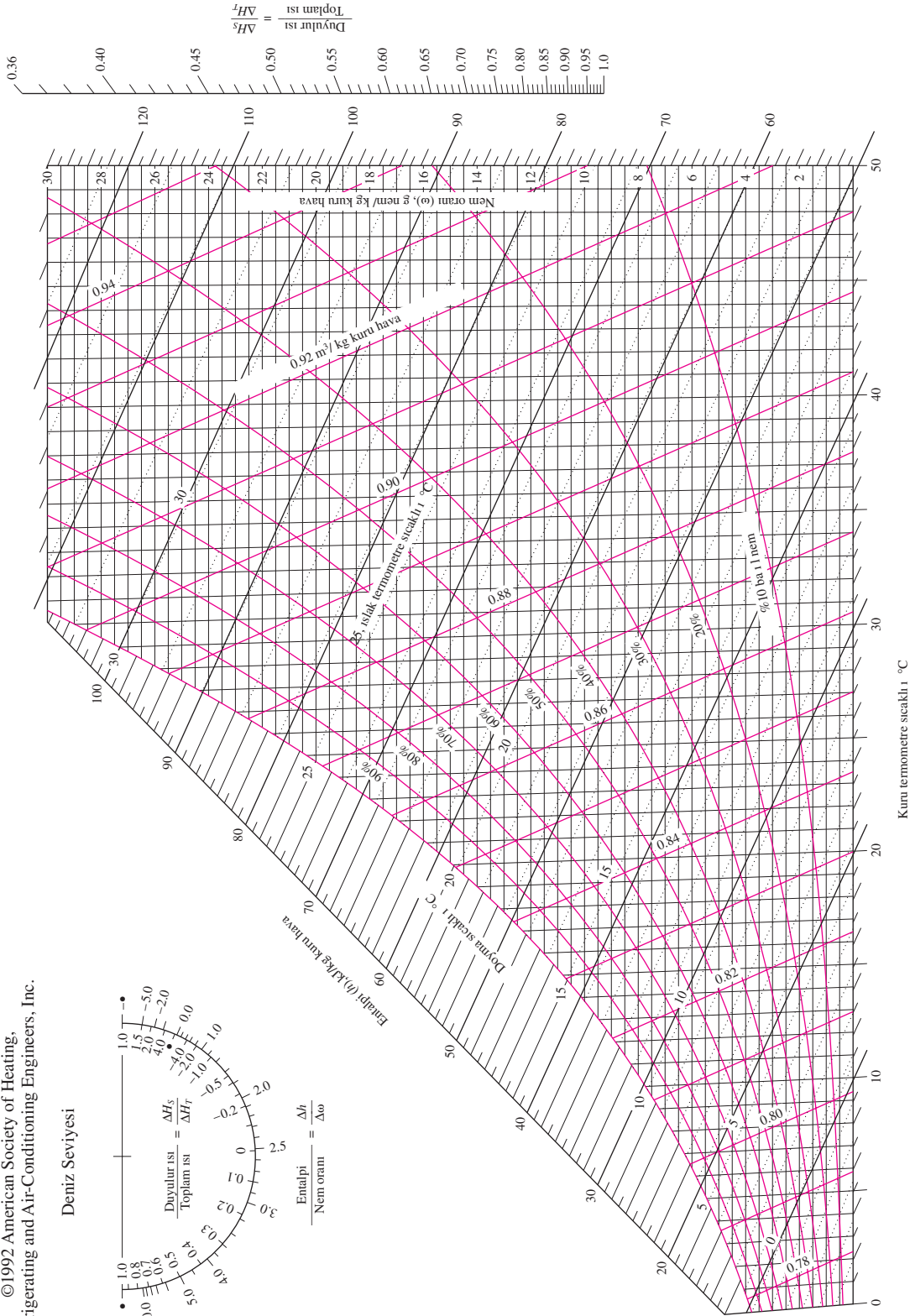
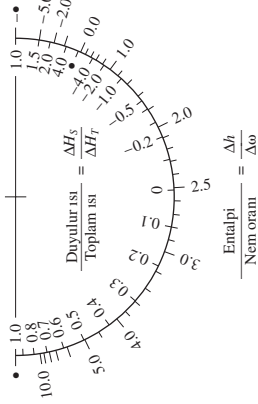
Kaynak: John R. Howell and Richard O. Buckius, Fundamentals of Engineering Termodinamik, SI Version (New York: McGraw-Hill, 1987), p. 559, fig. C.3, and p. 561, fig. C.5.



**ASHRAE Psikrometrik Diyagram No. 1**  
Normal Sıcaklık  
Barometrik Basıncı: 101.325 kPa

©1992 American Society of Heating,  
Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.

Deniz Seviyesi



Center for Applied Thermodynamic Studies, University of Idaho Üniversitesi tarafından hazırlanmıştır.

**ŞEKİL-31**

1 atm toplam basınç için psikrometrik diyagram

"American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA" nın izniyle basılmıştır.

## 930 | Termodinamik

$$Ma^* = Ma \sqrt{\frac{k+1}{2+(k-1)Ma^2}}$$

$$\frac{A}{A^*} = \frac{1}{Ma} \left[ \left( \frac{2}{k+1} \right) \left( 1 + \frac{k-1}{2} Ma^2 \right) \right]^{0.5(k+1)/(k-1)}$$

$$\frac{P}{P_0} = \left( 1 + \frac{k-1}{2} Ma^2 \right)^{-k/(k-1)}$$

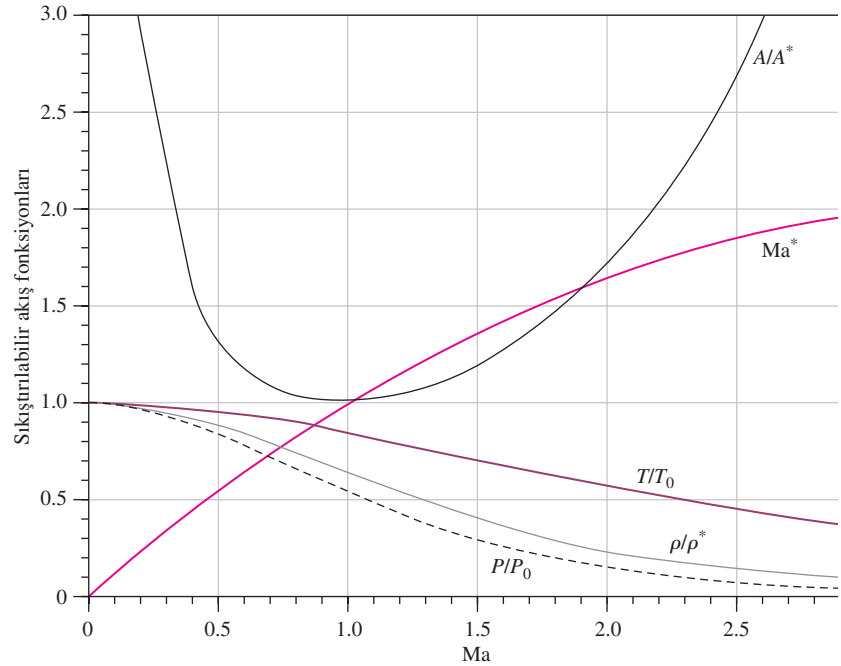
$$\frac{\rho}{\rho_0} = \left( 1 + \frac{k-1}{2} Ma^2 \right)^{-1/(k-1)}$$

$$\frac{T}{T_0} = \left( 1 + \frac{k-1}{2} Ma^2 \right)^{-1}$$

TABLO A-32

$k = 1.4$  olan bir mükemmel gaz için bir-boyutlu, izantropik sıkıştırılabilir akış fonksiyonları

Ma	Ma*	A/A*	P/P <sub>0</sub>	ρ/ρ <sub>0</sub>	T/T <sub>0</sub>
0	0	∞	1.0000	1.0000	1.0000
0.1	0.1094	5.8218	0.9930	0.9950	0.9980
0.2	0.2182	2.9635	0.9725	0.9803	0.9921
0.3	0.3257	2.0351	0.9395	0.9564	0.9823
0.4	0.4313	1.5901	0.8956	0.9243	0.9690
0.5	0.5345	1.3398	0.8430	0.8852	0.9524
0.6	0.6348	1.1882	0.7840	0.8405	0.9328
0.7	0.7318	1.0944	0.7209	0.7916	0.9107
0.8	0.8251	1.0382	0.6560	0.7400	0.8865
0.9	0.9146	1.0089	0.5913	0.6870	0.8606
1.0	1.0000	1.0000	0.5283	0.6339	0.8333
1.2	1.1583	1.0304	0.4124	0.5311	0.7764
1.4	1.2999	1.1149	0.3142	0.4374	0.7184
1.6	1.4254	1.2502	0.2353	0.3557	0.6614
1.8	1.5360	1.4390	0.1740	0.2868	0.6068
2.0	1.6330	1.6875	0.1278	0.2300	0.5556
2.2	1.7179	2.0050	0.0935	0.1841	0.5081
2.4	1.7922	2.4031	0.0684	0.1472	0.4647
2.6	1.8571	2.8960	0.0501	0.1179	0.4252
2.8	1.9140	3.5001	0.0368	0.0946	0.3894
3.0	1.9640	4.2346	0.0272	0.0760	0.3571
5.0	2.2361	25.000	0.0019	0.0113	0.1667
∞	2.2495	∞	0	0	0



$$T_{01} = T_{02}$$

$$Ma_2 = \sqrt{\frac{(k-1)Ma_1^2 + 2}{2kMa_1^2 - k + 1}}$$

$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{1 + kMa_1^2}{1 + kMa_2^2} = \frac{2kMa_1^2 - k + 1}{k + 1}$$

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{P_2/P_1}{T_2/T_1} = \frac{(k+1)Ma_1^2}{2 + (k-1)Ma_1^2} = \frac{V_1}{V_2}$$

$$\frac{T_2}{T_1} = \frac{2 + Ma_1^2(k-1)}{2 + Ma_2^2(k-1)}$$

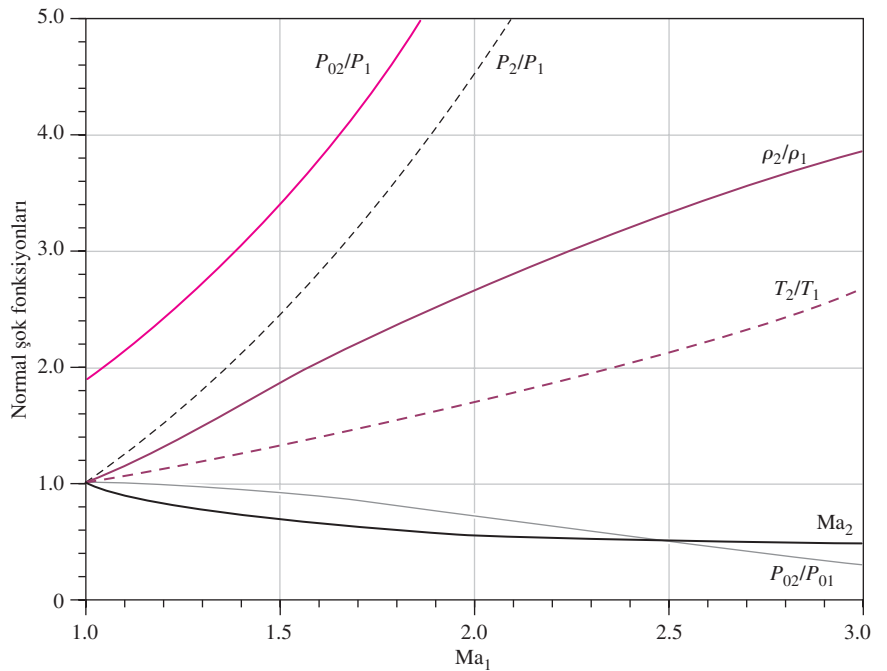
$$\frac{P_{02}}{P_{01}} = \frac{Ma_1 \left[ 1 + Ma_2^2(k-1)/2 \right]^{(k+1)/(2(k-1))}}{Ma_2 \left[ 1 + Ma_1^2(k-1)/2 \right]}$$

$$\frac{P_{02}}{P_1} = \frac{(1 + kMa_1^2) \left[ 1 + Ma_2^2(k-1)/2 \right]^{k/(k-1)}}{1 + kMa_2^2}$$

TABLO A-33

k = 1.4 olan bir mükemmel gaz için bir-boyutlu normal şok fonksiyonları

Ma <sub>1</sub>	Ma <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> /P <sub>1</sub>	ρ <sub>2</sub> /ρ <sub>1</sub>	T <sub>2</sub> /T <sub>1</sub>	P <sub>02</sub> /P <sub>01</sub>	P <sub>02</sub> /P <sub>1</sub>
1.0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.8929
1.1	0.9118	1.2450	1.1691	1.0649	0.9989	2.1328
1.2	0.8422	1.5133	1.3416	1.1280	0.9928	2.4075
1.3	0.7860	1.8050	1.5157	1.1909	0.9794	2.7136
1.4	0.7397	2.1200	1.6897	1.2547	0.9582	3.0492
1.5	0.7011	2.4583	1.8621	1.3202	0.9298	3.4133
1.6	0.6684	2.8200	2.0317	1.3880	0.8952	3.8050
1.7	0.6405	3.2050	2.1977	1.4583	0.8557	4.2238
1.8	0.6165	3.6133	2.3592	1.5316	0.8127	4.6695
1.9	0.5956	4.0450	2.5157	1.6079	0.7674	5.1418
2.0	0.5774	4.5000	2.6667	1.6875	0.7209	5.6404
2.1	0.5613	4.9783	2.8119	1.7705	0.6742	6.1654
2.2	0.5471	5.4800	2.9512	1.8569	0.6281	6.7165
2.3	0.5344	6.0050	3.0845	1.9468	0.5833	7.2937
2.4	0.5231	6.5533	3.2119	2.0403	0.5401	7.8969
2.5	0.5130	7.1250	3.3333	2.1375	0.4990	8.5261
2.6	0.5039	7.7200	3.4490	2.2383	0.4601	9.1813
2.7	0.4956	8.3383	3.5590	2.3429	0.4236	9.8624
2.8	0.4882	8.9800	3.6636	2.4512	0.3895	10.5694
2.9	0.4814	9.6450	3.7629	2.5632	0.3577	11.3022
3.0	0.4752	10.3333	3.8571	2.6790	0.3283	12.0610
4.0	0.4350	18.5000	4.5714	4.0469	0.1388	21.0681
5.0	0.4152	29.0000	5.0000	5.8000	0.0617	32.6335
∞	0.3780	∞	6.0000	∞	0	∞





## 932 | Termodinamik

$$\frac{T_0}{T_0^*} = \frac{(k+1)Ma^2[2+(k-1)Ma^2]}{(1+kMa^2)^2}$$

$$\frac{P_0}{P_0^*} = \frac{k+1}{1+kMa^2} \left( \frac{2+(k-1)Ma^2}{k+1} \right)^{k/(k-1)}$$

$$\frac{T}{T^*} = \left( \frac{Ma(1+k)}{1+kMa^2} \right)^2$$

$$\frac{P}{P^*} = \frac{1+k}{1+kMa^2}$$

$$\frac{V}{V^*} = \frac{\rho^*}{\rho} = \frac{(1+k)Ma^2}{1+kMa^2}$$

### TABLO A-34

$k = 1.4$  olan bir mükemmel gaz için Rayleigh akış fonksiyonları

Ma	$T_0/T_0^*$	$P_0/P_0^*$	$T/T^*$	$P/P^*$	$V/V^*$
0.0	0.0000	1.2679	0.0000	2.4000	0.0000
0.1	0.0468	1.2591	0.0560	2.3669	0.0237
0.2	0.1736	1.2346	0.2066	2.2727	0.0909
0.3	0.3469	1.1985	0.4089	2.1314	0.1918
0.4	0.5290	1.1566	0.6151	1.9608	0.3137
0.5	0.6914	1.1141	0.7901	1.7778	0.4444
0.6	0.8189	1.0753	0.9167	1.5957	0.5745
0.7	0.9085	1.0431	0.9929	1.4235	0.6975
0.8	0.9639	1.0193	1.0255	1.2658	0.8101
0.9	0.9921	1.0049	1.0245	1.1246	0.9110
1.0	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
1.2	0.9787	1.0194	0.9118	0.7958	1.1459
1.4	0.9343	1.0777	0.8054	0.6410	1.2564
1.6	0.8842	1.1756	0.7017	0.5236	1.3403
1.8	0.8363	1.3159	0.6089	0.4335	1.4046
2.0	0.7934	1.5031	0.5289	0.3636	1.4545
2.2	0.7561	1.7434	0.4611	0.3086	1.4938
2.4	0.7242	2.0451	0.4038	0.2648	1.5252
2.6	0.6970	2.4177	0.3556	0.2294	1.5505
2.8	0.6738	2.8731	0.3149	0.2004	1.5711
3.0	0.6540	3.4245	0.2803	0.1765	1.5882

