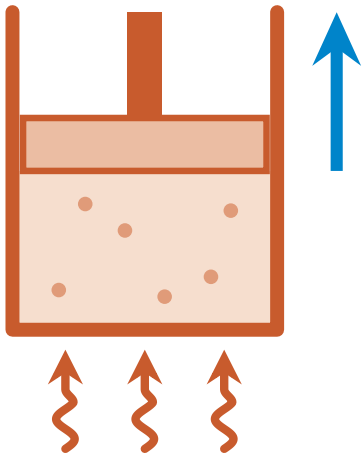
TERMODİNAMİK 1

SORU KİTABI

ÖRNEK SAYFALAR

8 ünite · 154 soru · adım adım çözümler



Ertan Sinan Şahin

ertansinansahin.com

Bu kitap nasıl kullanılır?

- Her ünite, soruların dayandığı tanım ve formülleri özetleyen bir hatırlatma kutusuyla açılır.
- Zorluk: ★☆☆ temel ★★☆ orta ★★★ ileri. Her ünitede birkaç çoktan seçmeli kavram sorusu vardır; ünitenin son sorusu, birden çok konuyu birleştiren sınav tipi bir karma sorudur.
- Her sorunun altındaki noktalı alan sizin çözümünüz içindir. Önce kendiniz çözün; takıldığınızda hatırlatma kutusuna ve ders notuna dönün, çözüme en son bakın.
- Bütün çözümler kitabın sonundadır. Sorunun yanındaki Çözüm → bağlantısı çözüme, çözümdeki ← Soru bağlantısı soruya götürür. Kısa cevaplar **CEVAP** kutusundadır.
- **Özellik tabloları:** Sorular kitabın sonundaki *Ek: Özellik Tabloları* ile çözülür; tabloda doğrudan bulunmayan değerler doğrusal enterpolasyonla bulunur.
- **Ortak üniteler:** Ünite 7–8 (entropi, ekserji) *Termodinamik 2* kitabında da vardır; ikinci dersi bu konularla başlayan okullar için o kitapta tekrar yer alır.
- **Vize ve final:** Vize çoğunlukla temel kavramlara, enerji analizine, saf maddelerin özelliklerine ve kapalı sistemlere (Ünite 1–4) kadardır; final kontrol hacimlerini, ikinci yasayı ve entropiyi (Ünite 5–7) ekler. Bazı okullarda birinci ders ekserjiyle (Ünite 8) biter. Konu sırası ve kapsamı okuldan okula değişir; kendi dersinizin izlencesine göre çalışacağınız üniteleri seçin. Bazı üniversitelerde bu dersin adı Mühendislik Termodinamiği'dir.

İçindekiler

Sayfa numaraları tam kitaba aittir. Renkli üniteler bu örnekte vardır; tıklayınca o üniteye gidersiniz.

1 Temel Kavramlar ..... 14 soru 4

2 Enerji, Enerji Aktarımı ve Genel Enerji Analizi ..... 18 soru 13

3 **Saf Maddelerin Özellikleri** ..... 20 soru 23

4 Kapalı Sistemlerin Enerji Analizi ..... 20 soru 34

5 **Kontrol Hacimlerinin Kütle ve Enerji Analizi** ..... 24 soru 44

6 Termodinamiğin İkinci Yasası ..... 18 soru 57

7 **Entropi** ..... 24 soru 68

8 Ekserji ..... 16 soru 82

Çözümler 90

Ek: Özellik Tabloları 152

3. ÜNİTE

SAF MADDELERİN ÖZELLİKLERİ

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

kuruluk derecesi $x = \dfrac{m_g}{m_f + m_g}$

doymuş karışım (y: v, u, h, s)

$y = y_f + x\,y_{fg}, \quad y_{fg} = y_g - y_f$

doğrusal enterpolasyon

$y = y_1 + (y_2 - y_1)\dfrac{x - x_1}{x_2 - x_1}$

sıkıştırılmış sıvı (tablo yoksa)

$v \approx v_f(T), \quad h \approx h_f(T) + v_f(T)[P - P_{\text{sat}}(T)]$

ideal gaz (P, T mutlak) $Pv = RT, \quad PV = mRT$

gaz sabiti $R = \dfrac{R_u}{M}, \quad R_u = 8.314\ \text{kJ/(kmol·K)}$

sabit kütleli ideal gaz $\dfrac{P_1V_1}{T_1} = \dfrac{P_2V_2}{T_2}$

sıkıştırılabilirlik çarpanı $Z = \dfrac{Pv}{RT} = \dfrac{v_{\text{gerçek}}}{v_{\text{ideal}}}$

indirgenmiş özellikler

$P_R = \dfrac{P}{P_{\text{cr}}}, \quad T_R = \dfrac{T}{T_{\text{cr}}}, \quad v_R = \dfrac{v}{RT_{\text{cr}}/P_{\text{cr}}}$

Bu ünitede ve sonraki ünitelerde özellikler yalnız kitabın sonundaki Ek tablolarından okunur: su için Tablo T-2–T-6, R-134a için T-7–T-9, gazların molar kütlesi, gaz sabiti ve kritik nokta özellikleri için T-1, ideal gaz özgül ısıları için T-10, sıkıştırılabilirlik çarpanı için T-12 diyagramı. Tabloda bulunmayan değerler doğrusal enterpolasyonla bulunur ve çözümde yazılı gösterilir. Basınçlar aksi söylenmedikçe mutlaktır; gösterge basıncı açıkça belirtilir. İdeal gaz (mükemmel gaz) bağıntısında sıcaklık kelvindir: $T\,[\text{K}] = T\,[^\circ\text{C}] + 273.15$. Doymuş sıvı-buhar karışımı (ıslak buhar) yalnız doyma çizgileri arasındaki bölgede tanımlıdır; kuruluk derecesi x başka bölgelerde kullanılmaz. Diyagramdan okunan Z iki anlamlı basamakla verilir. Şekillerde süreç mavi, sabit basınç ve sabit sıcaklık çizgileri gri kesikli, ısı aktarımı kırmızı okla çizilir.

Faz değişimi ve özellik diyagramları

3.2 ★☆☆ Çözüm →

Aşağıdaki su hâllerinden hangisi kızgın buhardır?

A) $P = 200$ kPa, $T = 110\ ^\circ\text{C}$

B) $P = 1$ MPa, $v = 0.15\ \text{m}^3/\text{kg}$

C) $T = 150\ ^\circ\text{C}$, $v = 0.3\ \text{m}^3/\text{kg}$

D) $P = 300$ kPa, $T = 140\ ^\circ\text{C}$

E) $T = 80\ ^\circ\text{C}$, $P = 50$ kPa

3.4 ★☆☆ Çözüm →

Erzurum'da atmosfer basıncı yaklaşık 81 kPa'dır. Bir düdüklü tencerenin supabı gösterge basıncı 70 kPa'ya ulaşınca açılır ve buharı dışarı vererek basıncı bu değerde tutar.

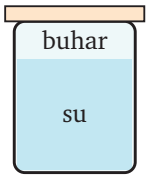
a. Tencere içinde yemeğin piştiği sıcaklık nedir?

b. Aynı yemek Erzurum'da kapağı açık bir tencerede pişirilseydi su kaç derecede kaynardı? Düdüklü tencere pişirme sıcaklığını ne kadar yükseltir?

c. Erzurum'da pişirme sıcaklığının 120 °C olması isteniyorsa supap hangi gösterge basıncına ayarlanmalıdır?

Karma sorular

3.18 ★★★ Çözüm →



Kimya laboratuvarında hidrotermal sentez için 250 mL'lik rijit bir hidrotermal reaktörün hacmince %75'i 25 °C'de sıvı suyla doldurulur, kalan kısmın havası alınır ve reaktör kapatılarak ısıtılır.

a. 180 °C'de reaktördeki basıncı, kuruluk derecesini ve sıvının reaktör hacmindeki payını bulunuz.

b. Isıtma sürerse reaktör hangi sıcaklıkta tamamen sıvıyla dolar? Bu sıcaklığın ötesinde ne olur?

c. Reaktörün astarı en çok 250 °C'ye dayanır. Bu sıcaklığa kadar reaktör sıvıyla tamamen dolmasın diye 25 °C'de en çok yüzde kaç doldurulabilir?

5. ÜNİTE

KONTROL HACİMLERİNİN KÜTLE VE ENERJİ ANALİZİ

kütlesel debi $\dot{m} = \rho\, VA = \dfrac{VA}{v}, \quad \dot{V} = VA$

sürekli akışta kütle $\sum \dot{m}_{\text{gir}} = \sum \dot{m}_{\text{çık}}$

akış işi; akan akışkanın enerjisi

$w_{\text{akış}} = Pv, \quad \theta = h + \dfrac{V^2}{2} + gz$

sürekli akış, tek giriş ve çıkış

$q_{\text{net,giren}} - w_{\text{net,çıkan}} = h_2 - h_1 + \dfrac{V_2^2 - V_1^2}{2} + g\,(z_2 - z_1)$

sürekli akış, genel

$\dot{Q}_{\text{net,giren}} - \dot{W}_{\text{net,çıkan}} = \sum \dot{m}_{\text{çık}}\,\theta_{\text{çık}} - \sum \dot{m}_{\text{gir}}\,\theta_{\text{gir}}$

kısılma vanası $h_{\text{çık}} \approx h_{\text{gir}}$

sıkıştırılamaz akışkan (pompa) $\Delta h = c\,\Delta T + v\,\Delta P$

sürekli olmayan akış (düzgün)

$Q_{\text{net,giren}} - W_{\text{net,çıkan}} = \sum m_{\text{çık}}\theta_{\text{çık}} - \sum m_{\text{gir}}\theta_{\text{gir}} + (m_2 u_2 - m_1 u_1)$

Kontrol hacmi (açık sistem), sınırından kütlenin geçtiği bir uzay bölgesidir. İşaret kuralı: enerji dengesi giren ve çıkan enerji akışlarıyla yazılır; $\dot{E}_{\text{giren}} - \dot{E}_{\text{çıkan}}$ farkı kontrol hacmindeki enerjinin değişim hızına eşittir; sürekli akışta bu fark sıfırdır. Yönü bilinen ısı ve iş pozitif büyüklük olarak giren/çıkan indisiyle verilir ($\dot{Q}_{\text{giren}}$, $\dot{W}_{\text{çıkan}}$ …); yönü baştan belli değilse net büyüklük ($\dot{Q}_{\text{net,giren}}$, $\dot{W}_{\text{net,çıkan}}$) kullanılır ve eksi çıkarsa yönü cümleyle söylenir. Aksi söylenmedikçe akış süreklidir; potansiyel enerji değişimleri ihmal edilir; kinetik enerji lüle ve yayıcıda hesaba katılır, öteki cihazlarda hızlar verilmemişse ihmal edilir. Hız metre bölü saniye ile yazılınca $V^2/2$ joule/kilogram çıkar; entalpiyle toplamak için 1000'e bölünür. Su ve R-134a özellikleri Tablo T-2–T-9'dan, gaz sabiti Tablo T-1'den okunur; ideal gazlarda sabit özgül ısılar (Tablo T-10(a)) ya da havanın sıcaklığa bağlı entalpisi (Tablo T-11) kullanılır. Sıkıştırılmış sıvı tablo dışındaysa $h \approx h_f(T)$ alınır. Şemalarda kütle akışı siyah, ısı kırmızı, iş mavi okla gösterilir.

Lüle ve yayıcı

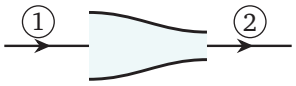
5.5 ★★☆ Çözüm →

Bir vakum distilasyon kolonunu boşaltan buhar ejektöründe, 700 kPa'da doymuş buhar lüleye 30 m/s hızla girer. Lüle çıkışında basınç 20 kPa, buharın kuruluk derecesi 0.85'tir. Lüleden 0.25 kg/s buhar geçer; lüle adyabatiktir.

a. Lüle çıkışındaki buhar hızını bulunuz.

b. Lülenin giriş ve çıkış kesit alanlarını bulunuz.

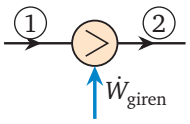
c. Çıkıştaki yüksek hızın ejektördeki görevi nedir?



lüle

Türbin, kompresör ve pompa

5.7 ★☆☆ Çözüm →



Bir havalimanı terminalinin bölgesel soğutma (soğuk su) dağıtım devresinde bir pompa, 10 °C'deki 55 kg/s suyun basıncını 350 kPa artırır; pompa milinden 26 kW güç alır. Pompa adyabatiktir; giriş ve çıkış borularının çapları ve yükseklikleri aynıdır.

a. Birim kütleye verilen işi ve bunun basınç artışına giden bölümünü ($v\,\Delta P$) bulunuz.

b. Suyun pompadaki sıcaklık artışını bulunuz.

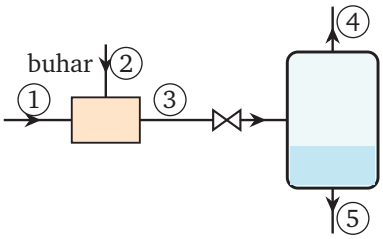
Karışma odaları ve ısı değiştiriciler

5.18 ★★★ Çözüm →

Bir süt fabrikasının UHT (çok yüksek sıcaklıkta kısa süreli ısıl işlem) hattında ürün, doğrudan buhar enjeksiyonuyla ısıtılır: 75 °C'deki 0.5 kg/s ürüne 600 kPa'da doymuş buhar püskürtülür ve karışım basınç altında 140 °C'ye ısınır. Kısa bir bekletmeden sonra karışım bir vakum odasına (flaş odası) kısılır; orada bir kısmı ani buharlaşmayla (flaş) buhara dönüşür ve buhar ayrılır. Ürünün özellikleri su kabul edilir; sıvılar için $h \approx h_f(T)$; enjektör ve flaş odası adyabatiktir.

a. Gereken buhar debisini ve ürüne kütlece eklenen suyun yüzdesini bulunuz.

b. Flaş odasında ayrılan buharın kütlesi püskürtülen buharınkine eşit olmalıdır (ürün sulanmasın). Flaş odasının sıcaklığı ve basıncı ne olmalıdır? (Flaş odasından doymuş sıvı ve doymuş buhar çıkar.)



7. ÜNİTE
ENTROPİ

entropi (içten tersinir) $$dS = \left(\frac{\delta Q}{T}\right)_{\text{iç tr}}$$

Clausius eşitsizliği $$\oint \frac{\delta Q}{T} \le 0$$

kapalı sistem entropi dengesi
$$S_2 - S_1 = \sum \frac{Q_k}{T_k} + S_{\text{üretim}}$$

sürekli akış entropi dengesi
$$\sum \dot{m} s_{\text{çık}} - \sum \dot{m} s_{\text{gir}} = \sum \frac{\dot{Q}_k}{T_k} + \dot{S}_{\text{üretim}}$$

entropinin artışı ilkesi $$S_{\text{üretim}} \ge 0$$

kapalı sistem enerji dengesi
$$Q_{\text{giren}} - W_{\text{çıkan}} = m(u_2 - u_1)$$

sürekli akış enerji dengesi
$$\dot{Q}_{\text{giren}} - \dot{W}_{\text{çıkan}} = \dot{m}(h_{\text{çık}} - h_{\text{gir}})$$

Carnot verimi $$\eta_{\text{Carnot}} = 1 - \frac{T_L}{T_H}$$

doymuş karışım $$y = y_f + x\, y_{fg} \quad (y : v, u, h, s)$$

Gibbs denklemleri ($T\,ds$ bağıntıları)
$$T\,ds = du + P\,dv = dh - v\,dP$$

sıkıştırılamaz madde $$s_2 - s_1 = c \ln \frac{T_2}{T_1}$$

ideal gaz $$Pv = RT, \quad \Delta u = c_v\,\Delta T, \quad \Delta h = c_p\,\Delta T$$

ideal gaz, sabit c_p $$s_2 - s_1 = c_p \ln \frac{T_2}{T_1} - R \ln \frac{P_2}{P_1}$$

ideal gaz, hava tablosu $$s_2 - s_1 = s_2^\circ - s_1^\circ - R \ln \frac{P_2}{P_1}$$

izantropik, hava tablosu $$\frac{P_{r2}}{P_{r1}} = \frac{P_2}{P_1}, \quad \frac{v_{r2}}{v_{r1}} = \frac{v_2}{v_1}$$

izantropik, sabit k $$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^{k-1} = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{(k-1)/k}$$

tersinir sürekli akış işi (verilen) $$w_{\text{giren}} = \int_1^2 v\,dP$$

izantropik verimler $$\eta_{\text{T}} = \frac{h_1 - h_{2a}}{h_1 - h_{2s}}, \quad \eta_{\text{K}} = \frac{h_{2s} - h_1}{h_{2a} - h_1}$$

Kapalı sistemler ve kontrol hacimleri (açık sistemler) için enerji dengesi, ideal gaz bağıntıları ve Carnot verimi hatırlatma kutusundadır. Enerji dengelerinde büyüklükler pozitif yazılır, yön "giren" ve "çıkan" indisleriyle gösterilir. Entropi dengesinde ise Q_k, sıcaklığı T_k olan sınır parçasından geçen ısıdır ve cebirseldir: sisteme giren ısı pozitif, sistemden çıkan ısı negatif alınır. Dengelerde sıcaklık kelvindir: $T\,[\text{K}] = T\,[^\circ\text{C}] + 273.15$. Özellikler Ek tablolarından okunur: su için Tablo T-2–T-5, R-134a için T-7–T-9, gaz sabiti için T-1, sabit özgül ısılar ve k için T-10 (300 K), havanın sıcaklığa bağlı özellikleri (h, u, s°, P_r, v_r) için T-11. İdeal gazlarda sabit özgül ısı mı hava tablosu mu kullanılacağı soruda belirtilir. Sıvı suda $v \approx v_f(T)$, $h \approx h_f(T)$, $s \approx s_f(T)$ (doymuş sıvı yaklaşımı) alınır. Kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilir. Alt indis s izantropik, a gerçek çıkış hâlini gösterir. T-s diyagramlarında izantropik süreç düşey, tersinmez süreç kesikli çizilir.

Entropi ve entropinin artışı ilkesi

7.3 ★★☆ Çözüm →

Bir patent başvurusunda, çevrim yapan bir aygıtın her çevrimde 600 K'deki bir kaynaktan 500 kJ ve 400 K'deki ikinci bir kaynaktan 200 kJ ısı aldığı, 300 K'deki çevreye de ısı attığı bildirilir. Başvuru sahibi iki çalışma kipi tanımlar: A kipinde aygıt çevrim başına 250 kJ, B kipinde 330 kJ iş üretir.

a. Her kipte çevreye atılan ısıyı bulunuz ve kiplerin olanaklı olup olmadığını Clausius eşitsizliğiyle belirleyiniz.

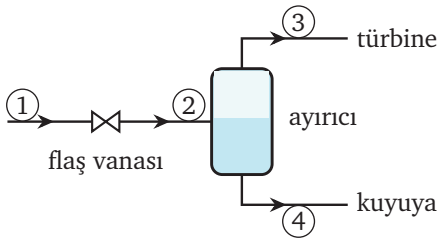
b. Bu ısı kaynaklarıyla bir çevrimde en çok ne kadar iş üretilebilir?

c. A kipinde çevrim başına ne kadar entropi üretilir?

Entropi dengesi

7.21 ★★☆ Çözüm →

Tek flaşlı bir jeotermal santralde kuyudan 220 °C'de doymuş sıvı olarak gelen 120 kg/s jeotermal su (1), bir flaş vanasında 400 kPa'ya kısılır (2); oluşan karışım bir ayırıcıda doymuş buhar (3) ve doymuş sıvı (4) olarak ayrılır. Buhar türbine, sıvı yeniden yeraltına gönderilir. Vana ve ayırıcı adyabatiktir.



a. Vanadan çıkan karışımın kuruluk derecesini ve türbine giden buhar debisini bulunuz.

b. Vanadaki entropi üretim hızını bulunuz.

c. İdeal bir ayırıcıda entropi üretilmediğini entropi dengesiyle gösteriniz.

ÇÖZÜMLER

3 SAF MADDELERİN ÖZELLİKLERİ

3.2

← Soru

Basınç verilmişse T, $T_{\text{sat}}(P)$ ile; sıcaklık verilmişse P, $P_{\text{sat}}(T)$ ile ya da v, v_f ve v_g ile karşılaştırılır.

(D): Tablo T-3'ten $T_{\text{sat}}(300\ \text{kPa}) = 133.52\ ^\circ\text{C}$. $T = 140\ ^\circ\text{C} > T_{\text{sat}}$ olduğundan su kızgın buhardır. **D** doğrudur.

- (A): Tablo T-3'ten $T_{\text{sat}}(200\ \text{kPa}) = 120.21\ ^\circ\text{C}$; $T < T_{\text{sat}}$: sıkıştırılmış sıvı.
- (B): Tablo T-3'ten 1 MPa'da $v_f = 0.001127$, $v_g = 0.19436\ \text{m}^3/\text{kg}$; $v_f < v < v_g$: doymuş karışım.
- (C): Tablo T-2'den 150 °C'de $v_f = 0.001091$, $v_g = 0.39245\ \text{m}^3/\text{kg}$; $v_f < v < v_g$: doymuş karışım.
- (E): Tablo T-2'den $P_{\text{sat}}(80\ ^\circ\text{C}) = 47.414$ kPa; $P > P_{\text{sat}}$: sıkıştırılmış sıvı. Basınç doyma basıncından yalnız biraz büyük olsa da su kaynamaz.

CEVAP D

3.4

← Soru

Tencerede su ile buhar bir arada bulunur (doymuş karışım); sıcaklık, tencere içindeki *mutlak* basıncın doyma sıcaklığıdır.

a. $P = 70 + 81 = 151$ kPa. Tablo T-3'te 150 kPa'da 111.35 °C, 175 kPa'da 116.04 °C:

$$T = 111.35 + (116.04 - 111.35)\frac{151 - 150}{175 - 150} = 111.54 \approx 111.5\ ^\circ\text{C}.$$

b. Açık tencerede $P = 81$ kPa. Tablo T-3'te 80 kPa'da 93.49 °C, 90 kPa'da 96.69 °C:

$$T = 93.49 + (96.69 - 93.49)\frac{81 - 80}{90 - 80} = 93.81 \approx 93.8\ ^\circ\text{C}.$$

Düdüklü tencere pişirme sıcaklığını $111.54 - 93.81 = 17.7$ K yükseltir. Yükseklerde suyun 100 °C'nin altında kaynaması pişirmeyi yavaşlatır; düdüklü tencere bunu giderir.

c. Tablo T-2'den $P_{\text{sat}}(120\ ^\circ\text{C}) = 198.67$ kPa. Gösterge basıncı

$$P_{\text{gösterge}} = 198.67 - 81 = 117.67 \approx 118\ \text{kPa}.$$

CEVAP a. 111.5 °C b. 93.8 °C; 17.7 K yüksek c. 118 kPa (gösterge)

3.18

← Soru

Reaktör rijit ve kapalıdır: kütle ve özgül hacim ısıtma boyunca sabittir. Tablo T-2'den $v_f(25\ ^\circ\text{C}) = 0.001003\ \text{m}^3/\text{kg}$:

$$m = \frac{0.75(250 \times 10^{-6})}{0.001003} = 0.18694\ \text{kg},$$

$$v = \frac{250 \times 10^{-6}}{0.18694} = 0.0013373\ \text{m}^3/\text{kg}.$$

a. Tablo T-2'den (180 °C): $P_{\text{sat}} = 1002.8$ kPa, $v_f = 0.001127$, $v_g = 0.19384\ \text{m}^3/\text{kg}$. $v_f < v < v_g$: doymuş karışım, $P = 1002.8 \approx 1003$ kPa.

$$x = \frac{0.0013373 - 0.001127}{0.19384 - 0.001127} = 0.001091.$$

Sıvı hacmi

$$V_f = m(1-x)v_f = 0.18694(0.998909)(0.001127) = 2.1045 \times 10^{-4}\ \text{m}^3;$$

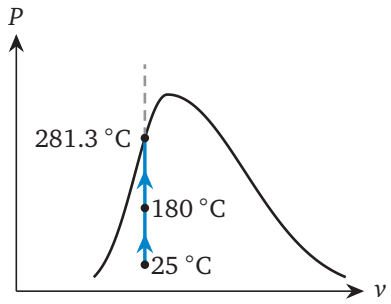
sıvı reaktörün %84.2'sini doldurur. Isınan sıvı genleşir; buharlaşan kütle ise çok küçüktür.

b. Reaktör, doymuş sıvının özgül hacmi reaktörünkine eşit olunca, $v_f(T) = 0.0013373\ \text{m}^3/\text{kg}$ iken tamamen sıvıyla dolar. Tablo T-2'de 280 °C'de $v_f = 0.001333$, 290 °C'de $0.001366\ \text{m}^3/\text{kg}$:

$$T = 280 + 10\frac{0.0013373 - 0.001333}{0.001366 - 0.001333} = 281.3\ ^\circ\text{C}.$$

Bu noktadan sonra hâl doyma çizgisinden ayrılıp sıkıştırılmış sıvı bölgesine geçer. Sıvının hacmi basınçla çok az değiştiğinden, ısıtma sürerse basınç doyma basıncının (≈ 6.6 MPa) çok üstüne hızla çıkar ve reaktör patlayabilir.

ertansinansahin.com



c. 250 °C'ye kadar dolmaması için $v \geq v_f(250\ ^\circ\text{C}) = 0.001252\ \text{m}^3/\text{kg}$ (Tablo T-2) olmalıdır. Doldurma oranı $V_{su}/V = m\,v_f(25\ ^\circ\text{C})/(mv) = v_f(25\ ^\circ\text{C})/v$ olduğundan

$$\frac{V_{su}}{V} \leq \frac{0.001003}{0.001252} = 0.801.$$

Reaktör 25 °C'de en çok %80.1 doldurulabilir; %75'lik doldurma bu sınırın altındadır. Laboratuvarlarda güvenlik payıyla daha düşük oranlar kullanılır.

CEVAP a. 1003 kPa, $x = 0.001091$, %84.2 b. 281.3 °C; basınç hızla artar c. %80.1

5 KONTROL HACİMLERİNİN KÜTLE VE ENERJİ ANALİZİ

5.5

← Soru

Varsayımlar: sürekli akış; adyabatik; iş yok; potansiyel enerji değişimi yok.

Kontrol hacmi lüledir.

1 hâli: Tablo T-3'ten (700 kPa, doymuş buhar) $h_1 = 2762.8$ kJ/kg, $v_1 = 0.27277\ \text{m}^3/\text{kg}$. 2 hâli: Tablo T-3'ten (20 kPa) $h_f = 251.42$, $h_{fg} = 2357.5$ kJ/kg, $v_f = 0.001017$, $v_g = 7.648\ \text{m}^3/\text{kg}$:

$$h_2 = 251.42 + 0.85(2357.5) = 2255.3\ \text{kJ/kg},$$

$$v_2 = 0.001017 + 0.85(7.6470) = 6.5010\ \text{m}^3/\text{kg}.$$

a. Enerji dengesi ($h_1 - h_2 = 507.5$ kJ/kg):

$$V_2 = \sqrt{2(507.5 \times 1000) + 30^2} = 1007.9 \approx 1008\ \text{m/s}.$$

b. $A = \dot{m}v/V$:

$$A_1 = \frac{0.25(0.27277)}{30} = 2.273 \times 10^{-3} \approx 2.27 \times 10^{-3}\ \text{m}^2,$$

$$A_2 = \frac{0.25(6.5010)}{1007.9} = 1.6125 \times 10^{-3} \approx 1.61 \times 10^{-3}\ \text{m}^2.$$

Özgül hacim 24 kat artarken hız 34 kat artar; çıkış alanı girişinkinden küçüktür (çaplar yaklaşık 53.8 ve 45.3 mm).

c. Lüle, buharın entalpisini kinetik enerjiye çevirir. Hızlı ve düşük basınçlı jet, kolondaki gazı sürükleyerek emer; sonra karışım bir yayıcıda yavaşlar ve basıncı yükselir. Böylece hareketli parçası olmayan bir vakum pompası elde edilir.

CEVAP a. 1008 m/s b. $A_1 = 2.27 \times 10^{-3}\ \text{m}^2$, $A_2 = 1.61 \times 10^{-3}\ \text{m}^2$

5.7

← Soru

Varsayımlar: sürekli akış; adyabatik; kinetik ve potansiyel enerji değişimi yok; sıvı su sıkıştırılamaz.

Kontrol hacmi pompadır.

a. Pompaya $\dot{W}_{giren} = 26$ kW güç verilir; birim kütle başına $w_{giren} = 26/55 = 0.4727$ kJ/kg. Enerji dengesi $w_{giren} = h_2 - h_1 = \Delta u + v\,\Delta P$. Tablo T-2'den $v_f(10\ ^\circ\text{C}) = 0.001000\ \text{m}^3/\text{kg}$:

$$v\,\Delta P = 0.001000(350) = 0.350\ \text{kJ/kg};$$

verilen işin $0.350/0.4727 = $ %74'ü basınç artışına gider.

b. Kalan bölüm sürtünmeyle suyun iç enerjisine geçer:

$$\Delta u = 0.4727 - 0.350 = 0.1227\ \text{kJ/kg}.$$

Tablo T-2'den $u_f(10\ ^\circ\text{C}) = 42.02$, $u_f(15\ ^\circ\text{C}) = 62.98$ kJ/kg; bu aralıkta $c = 20.96/5 = 4.192$ kJ/(kg·K):

$$\Delta T = \frac{0.1227}{4.192} = 0.0293\ \text{K}.$$

Artış ölçülemeyecek kadar küçüktür, ama $55(0.1227) = 6.75$ kW'lık bir ısı yüküdür; soğutma grubu bu yükü de çeker.

CEVAP a. 0.4727 kJ/kg; $v\,\Delta P = 0.350$ kJ/kg (%74) b. 0.0293 K

5.18

← Soru

Varsayımlar: sürekli akış; adyabatik; iş yok; kinetik ve potansiyel enerji değişimi yok.

Hâller: 1 ürün (75 °C), 2 buhar, 3 ısıtılmış karışım (140 °C), 4 flaş buharı, 5 ürün (flaş odası çıkışı).

ertansinansahin.com

Tablo T-2'den $h_1 = h_f(75\,^\circ\text{C}) = 314.03$, $h_3 = h_f(140\,^\circ\text{C}) = 589.16$ kJ/kg (karışımın basıncı $P_{\text{sat}}(140\,^\circ\text{C}) = 361.54$ kPa'dan büyük tutulur, karışım sıvıdır). Tablo T-3'ten $h_2 = h_g(600\text{ kPa}) = 2756.1$ kJ/kg.

a. Enjektör: $\dot{m}_1 h_1 + \dot{m}_2 h_2 = (\dot{m}_1 + \dot{m}_2) h_3$:

$$\dot{m}_2 = 0.5\,\frac{589.16 - 314.03}{2756.1 - 589.16} = 0.06348 \approx 0.0635 \text{ kg/s}.$$

Ürüne kütlece $0.06348/0.5 = \%12.7$ su eklenir.

b. Flaş odası (h_3 kısılmada değişmez): $\dot{m}_4 = \dot{m}_2$, $\dot{m}_5 = \dot{m}_1$ olmalıdır. Enerji dengesi, oda sıcaklığı T ile

$$\begin{aligned} 0.5\,h_f(T) + 0.06348\,h_g(T) &= 0.56348(589.16) \\ &= 331.98 \text{ kW}. \end{aligned}$$

Sol yan Tablo T-2'den iki satırda hesaplanır:

$$\begin{aligned} 75\,^\circ\text{C}:&\ 0.5(314.03) + 0.06348(2634.6) \\ &= 324.27 \text{ kW} \quad (\text{fark } -7.71), \\ 80\,^\circ\text{C}:&\ 0.5(335.01) + 0.06348(2643.0) \\ &= 335.29 \text{ kW} \quad (\text{fark } +3.31). \end{aligned}$$

Fark sıfır olacak biçimde enterpolasyon:

$$T = 75 + 5\,\frac{7.71}{7.71 + 3.31} = 78.50 \approx 78.5\,^\circ\text{C}.$$

Basınç bu sıcaklığın doyma basıncıdır; Tablo T-2'de 75 °C'de 38.595, 80 °C'de 47.414 kPa, oran 0.6997:

$$P = 38.595 + 0.6997(8.819) = 44.77 \approx 44.8 \text{ kPa}.$$

Ürün flaş odasından 78.5 °C'de, girişteki su oranıyla çıkar. Çıkış sıcaklığı 75 °C'den biraz yüksektir, çünkü püskürtülen buharın entalpisi (600 kPa'da) ayrılan buharınkinden büyüktür. Ani buharlaşma ürünü saniyeler içinde soğutur ve ürünün tadını bozan uçucu kokuları da alır.

CEVAP a. 0.0635 kg/s; %12.7 b. 78.5 °C; 44.8 kPa

7 ENTROPİ

7.3

← Soru

Varsayımlar: depolar sabit sıcaklıklı; ısılar depo sıcaklıklarında aktarılır.

a. Çevrimin enerji dengesi $Q_L = 500 + 200 - W_{\text{net,çıkan}}$: A kipinde $Q_L = 450$ kJ, B kipinde $Q_L = 370$ kJ. Isılar depo sıcaklıklarında aktarılır:

$$\begin{aligned} \oint \frac{\delta Q}{T} &= \frac{500}{600} + \frac{200}{400} - \frac{450}{300} \\ &= 0.8333 + 0.5 - 1.5 = -0.1667 \text{ kJ/K}. \end{aligned}$$

A: integral negatif, çevrim olanaklıdır (tersinmez).

$$\oint \frac{\delta Q}{T} = 0.8333 + 0.5 - \frac{370}{300} = +0.1 \text{ kJ/K}.$$

B: integral pozitif; Clausius eşitsizliği çiğnenir, çevrim olanaksızdır.

b. En çok iş tersinir çevrimde, $\oint \delta Q/T = 0$ iken elde edilir:

$$Q_{L,\text{en az}} = 300(0.8333 + 0.5) = 400 \text{ kJ},$$

$$W_{\text{en çok}} = 700 - 400 = 300 \text{ kJ}.$$

B kipinin 330 kJ'lük iddiası bu sınırı aşar.

c. Aygıt ve depolar birlikte ele alınırsa çevrimde akışkanın entropisi değişmez; depoların entropi değişimlerinin toplamı üretilen entropidir:

$$S_{\text{üretim}} = -\oint \frac{\delta Q}{T} = 0.1667 \text{ kJ/K}.$$

CEVAP a. A: 450 kJ, olanaklı; B: 370 kJ, olanaksız b. 300 kJ c. 0.1667 kJ/K

ertansinansahin.com

7.21 ← Soru

Varsayımlar: sürekli akış; adyabatik.

Tablo T-2'den (220 °C): $h_1 = h_f = 943.58$ kJ/kg, $s_1 = s_f = 2.5177$ kJ/(kg·K). Tablo T-3'ten (400 kPa): $h_f = 604.65$, $h_{fg} = 2133.4$ kJ/kg; $s_f = 1.7765$, $s_{fg} = 5.1190$ kJ/(kg·K).

a. Vanada $h_2 = h_1$:

$$x_2 = \frac{943.58 - 604.65}{2133.4} = 0.1589,$$

$$\dot{m}_3 = 0.1589(120) = 19.06 \text{ kg/s}.$$

b. Entropi:

$$s_2 = 1.7765 + 0.1589(5.1190) = 2.5898 \text{ kJ/(kg·K)},$$

$$\dot{S}_{\text{üretim}} = 120(2.5898 - 2.5177) = 8.65 \text{ kW/K}.$$

c. Ayırıcıda $\dot{m}_3 = x_2\,\dot{m}$, $\dot{m}_4 = (1 - x_2)\,\dot{m}$; $s_3 = s_g$, $s_4 = s_f$:

$$\begin{aligned}\dot{S}_{\text{üretim}} &= \dot{m}_3 s_g + \dot{m}_4 s_f - \dot{m} s_2 \\ &= \dot{m}\,[x_2 s_g + (1 - x_2) s_f - (s_f + x_2 s_{fg})] = 0.\end{aligned}$$

Ayırıcı yalnız iki fazı birbirinden ayırır; karışımın hâlini değiştirmez.

CEVAP a. $x_2 = 0.1589$; 19.06 kg/s
b. 8.65 kW/K c. $\dot{S}_{\text{üretim}} = 0$

ertansinansahin.com

EK: ÖZELLİK TABLOLARI

Bu ekteki değerler gerçek akışkan hâl denklemlerinden (su için IAPWS-95, R-134a için uluslararası standart denklem) ve ideal gaz özgül ısılarından hesaplanmıştır; birimler SI'dır. Tabloda bulunmayan hâller için **doğrusal enterpolasyon** yapılır: $x_1 < x < x_2$ ise $y = y_1 + (y_2 - y_1)(x - x_1)/(x_2 - x_1)$. Kızgın buhar ve sıkıştırılmış sıvı tablolarında hem sıcaklık hem basınç ara değerse önce iki basınçta sıcaklığa göre, sonra basınca göre enterpolasyon yapılır (çift enterpolasyon). Sorulardaki sayısal sonuçlar bu tablolardaki değerlerle ve bu kuralla hesaplanmıştır.

Bu örnekte Ek'ten yalnız seçilen soruların kullandığı tablolar (T-1, T-2, T-3) vardır. Kitabın tamamındaki Ek 12 tablo ve 17 sayfadır: su, buz, R-134a, ideal gazlar, hava ve sıkıştırılabilirlik diyagramı.

Tablo T-1 Molar kütle, gaz sabiti ve kritik nokta özellikleri

Madde	Formül	M kg/kmol	R kJ/(kg·K)	T_{cr} K	P_{cr} MPa	v_{cr} m³/kmol	Z_{cr}
Hidrojen	H_2	2.016	4.124	33.1	1.296	0.0645	0.303
Helyum	He	4.003	2.077	5.2	0.2283	0.0575	0.304
Metan	CH_4	16.043	0.5183	190.6	4.599	0.0986	0.286
Amonyak	NH_3	17.031	0.4882	405.6	11.36	0.0730	0.246
Su	H_2O	18.015	0.4615	647.1	22.06	0.0559	0.229
Neon	Ne	20.180	0.4120	44.4	2.662	0.0415	0.299
Etilen	C_2H_4	28.054	0.2964	282.4	5.042	0.1309	0.281
Azot	N_2	28.014	0.2968	126.2	3.396	0.0894	0.289
Karbon monoksit	CO	28.010	0.2968	132.9	3.498	0.0922	0.292
Hava	—	28.97	0.2870	132.5	3.786	0.0845	0.290
Etan	C_2H_6	30.070	0.2765	305.3	4.872	0.1458	0.280
Oksijen	O_2	31.998	0.2598	154.6	5.046	0.0750	0.294
Metanol	CH_3OH	32.042	0.2595	513.4	8.216	0.1138	0.219
Argon	Ar	39.950	0.2081	150.7	4.863	0.0746	0.290
Propilen	C_3H_6	42.081	0.1976	364.2	4.555	0.1833	0.276
Karbon dioksit	CO_2	44.009	0.1889	304.1	7.377	0.0941	0.275
Diazot monoksit	N_2O	44.013	0.1889	309.5	7.245	0.0972	0.274
Propan	C_3H_8	44.097	0.1885	369.9	4.251	0.2000	0.276
Etanol	C_2H_5OH	46.069	0.1805	514.7	6.268	0.1686	0.247
Bütan (*n*-)	C_4H_{10}	58.124	0.1430	425.1	3.796	0.2549	0.274
Kükürt dioksit	SO_2	64.058	0.1298	430.6	7.887	0.1238	0.273
Klor	Cl_2	70.900	0.1173	416.9	7.642	0.1258	0.277
Benzen	C_6H_6	78.114	0.1064	562.0	4.906	0.2563	0.269
Kripton	Kr	83.798	0.09922	209.5	5.525	0.0922	0.292
R-134a	CH_2FCF_3	102.030	0.08149	374.2	4.059	0.1993	0.260
Ksenon	Xe	131.290	0.06333	289.7	5.842	0.1190	0.289

$R = R_u/M$, $R_u = 8.31446$ kJ/(kmol·K). Molar kütleler IUPAC standart atom kütlelerinden; havanın molar kütlesi geleneksel değerdir. $Z_{cr} = P_{cr}v_{cr}/(R_u T_{cr})$; havanın kritik noktası sözde saf madde modelinindir. Madde sırası molar kütleye göredir.

Tablo T-2 Doymuş su: sıcaklık tablosu

		Özgül hacim m^3/kg		İç enerji kJ/kg		Entalpi kJ/kg			Entropi kJ/(kg·K)		
T, °C	P_{doy}, kPa	v_f	v_g	u_f	u_g	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_{fg}	s_g
0.01	0.6117	0.001000	205.99	0.000	2374.9	0.001	2500.9	2500.9	0.0000	9.1555	9.1555
5	0.8726	0.001000	147.01	21.019	2381.8	21.020	2489.0	2510.1	0.0763	8.9486	9.0248
10	1.2282	0.001000	106.30	42.020	2388.6	42.021	2477.2	2519.2	0.1511	8.7487	8.8998
15	1.7058	0.001001	77.875	62.980	2395.5	62.981	2465.4	2528.3	0.2245	8.5558	8.7803
20	2.3393	0.001002	57.757	83.912	2402.3	83.914	2453.5	2537.4	0.2965	8.3695	8.6660
25	3.1699	0.001003	43.337	104.83	2409.1	104.83	2441.7	2546.5	0.3672	8.1894	8.5566
30	4.2470	0.001004	32.878	125.73	2415.9	125.73	2429.8	2555.5	0.4368	8.0152	8.4520
35	5.6290	0.001006	25.205	146.63	2422.7	146.63	2417.9	2564.5	0.5051	7.8466	8.3517
40	7.3849	0.001008	19.515	167.53	2429.4	167.53	2406.0	2573.5	0.5724	7.6831	8.2555
45	9.5950	0.001010	15.252	188.43	2436.1	188.43	2394.0	2582.4	0.6386	7.5247	8.1633
50	12.352	0.001012	12.027	209.33	2442.7	209.34	2381.9	2591.3	0.7038	7.3710	8.0748
55	15.762	0.001015	9.5643	230.24	2449.3	230.26	2369.8	2600.1	0.7680	7.2218	7.9898
60	19.946	0.001017	7.6672	251.16	2455.9	251.18	2357.7	2608.8	0.8313	7.0769	7.9081
65	25.042	0.001020	6.1935	272.09	2462.4	272.12	2345.4	2617.5	0.8937	6.9359	7.8296
70	31.201	0.001023	5.0395	293.03	2468.9	293.07	2333.0	2626.1	0.9551	6.7989	7.7540
75	38.595	0.001026	4.1289	313.99	2475.2	314.03	2320.6	2634.6	1.0158	6.6654	7.6812
80	47.414	0.001029	3.4052	334.96	2481.6	335.01	2308.0	2643.0	1.0756	6.5355	7.6111
85	57.867	0.001032	2.8258	355.95	2487.8	356.01	2295.3	2651.3	1.1346	6.4088	7.5434
90	70.182	0.001036	2.3591	376.97	2494.0	377.04	2282.5	2659.5	1.1929	6.2853	7.4781
95	84.608	0.001040	1.9806	398.00	2500.0	398.09	2269.5	2667.6	1.2504	6.1647	7.4151
100	101.42	0.001043	1.6718	419.06	2506.0	419.17	2256.4	2675.6	1.3072	6.0469	7.3541
110	143.38	0.001052	1.2093	461.26	2517.7	461.42	2229.6	2691.1	1.4188	5.8193	7.2381
120	198.67	0.001060	0.89121	503.60	2528.9	503.81	2202.1	2705.9	1.5279	5.6012	7.1291
130	270.28	0.001070	0.66800	546.09	2539.5	546.38	2173.7	2720.1	1.6346	5.3918	7.0264
140	361.54	0.001080	0.50845	588.77	2549.6	589.16	2144.3	2733.4	1.7392	5.1901	6.9293
150	476.16	0.001091	0.39245	631.66	2559.1	632.18	2113.7	2745.9	1.8418	4.9953	6.8371
160	618.23	0.001102	0.30678	674.79	2567.8	675.47	2082.0	2757.4	1.9426	4.8066	6.7491
170	792.19	0.001114	0.24259	718.20	2575.7	719.08	2048.8	2767.9	2.0417	4.6233	6.6650
180	1002.8	0.001127	0.19384	761.92	2582.8	763.05	2014.2	2777.2	2.1392	4.4448	6.5840
190	1255.2	0.001141	0.15636	806.00	2589.0	807.43	1977.9	2785.3	2.2355	4.2704	6.5059
200	1554.9	0.001157	0.12721	850.47	2594.2	852.27	1939.7	2792.0	2.3305	4.0996	6.4302
210	1907.7	0.001173	0.10429	895.39	2598.3	897.63	1899.6	2797.3	2.4245	3.9318	6.3563
220	2319.6	0.001190	0.086092	940.82	2601.2	943.58	1857.4	2800.9	2.5177	3.7663	6.2840
230	2797.1	0.001209	0.071503	986.81	2602.9	990.19	1812.7	2802.9	2.6101	3.6027	6.2128
240	3346.9	0.001229	0.059705	1033.4	2603.1	1037.6	1765.4	2803.0	2.7020	3.4403	6.1423
250	3976.2	0.001252	0.050083	1080.8	2601.8	1085.8	1715.2	2800.9	2.7935	3.2785	6.0721
260	4692.3	0.001276	0.042173	1129.0	2598.7	1135.0	1661.6	2796.6	2.8849	3.1167	6.0016
270	5503.0	0.001303	0.035621	1178.1	2593.7	1185.3	1604.4	2789.7	2.9765	2.9539	5.9304
280	6416.6	0.001333	0.030153	1228.3	2586.4	1236.9	1543.0	2779.9	3.0685	2.7894	5.8579
290	7441.8	0.001366	0.025555	1279.9	2576.5	1290.0	1476.7	2766.7	3.1612	2.6222	5.7834
300	8587.9	0.001404	0.021660	1332.9	2563.6	1345.0	1404.6	2749.6	3.2552	2.4507	5.7059
310	9865.1	0.001448	0.018335	1387.9	2547.1	1402.2	1325.7	2727.9	3.3510	2.2734	5.6244
320	11284	0.001499	0.015471	1445.3	2526.0	1462.2	1238.4	2700.6	3.4494	2.0878	5.5372
330	12858	0.001561	0.012979	1505.8	2499.2	1525.9	1140.2	2666.0	3.5518	1.8903	5.4422
340	14601	0.001638	0.010781	1570.6	2464.4	1594.5	1027.3	2621.8	3.6601	1.6755	5.3356
350	16529	0.001740	0.008802	1642.1	2418.1	1670.9	892.75	2563.6	3.7784	1.4326	5.2110
360	18666	0.001895	0.006949	1726.3	2351.8	1761.7	719.83	2481.5	3.9167	1.1369	5.0536
370	21044	0.002215	0.004954	1844.1	2230.3	1890.7	443.83	2334.5	4.1112	0.6901	4.8012
373.95	22064	0.003106	0.003106	2015.7	2015.7	2084.3	0.000	2084.3	4.4070	0.0000	4.4070

Referans: üçlü noktada (0.01 °C) doymuş sıvı suyun iç enerjisi ve entropisi sıfırdır. Değerler IAPWS-95 hâl denkleminden hesaplanmıştır. f: doymuş sıvı, g: doymuş buhar, $h_{fg} = h_g - h_f$, $s_{fg} = s_g - s_f$, $u_{fg} = u_g - u_f$.

Örnek sayfalar · Kitabın tamamı: ertansinansahin.com

Tablo T-3 Doymuş su: basınç tablosu

		Özgül hacim m^3/kg		İç enerji kJ/kg		Entalpi kJ/kg			Entropi kJ/(kg·K)		
P, kPa	T_{doy}, °C	v_f	v_g	u_f	u_g	h_f	h_{fg}	h_g	s_f	s_{fg}	s_g
1	6.97	0.001000	129.18	29.298	2384.5	29.299	2484.4	2513.7	0.1059	8.8690	8.9749
2	17.49	0.001001	66.987	73.426	2398.9	73.428	2459.4	2532.9	0.2606	8.4620	8.7226
3	24.08	0.001003	45.653	100.97	2407.9	100.98	2443.9	2544.8	0.3543	8.2221	8.5764
4	28.96	0.001004	34.791	121.38	2414.5	121.39	2432.3	2553.7	0.4224	8.0510	8.4734
5	32.87	0.001005	28.185	137.74	2419.8	137.75	2423.0	2560.7	0.4762	7.9176	8.3938
7.5	40.29	0.001008	19.233	168.74	2429.8	168.75	2405.3	2574.0	0.5763	7.6738	8.2501
10	45.81	0.001010	14.670	191.80	2437.2	191.81	2392.1	2583.9	0.6492	7.4996	8.1488
15	53.97	0.001014	10.020	225.93	2448.0	225.94	2372.3	2598.3	0.7549	7.2522	8.0071
20	60.06	0.001017	7.6480	251.40	2456.0	251.42	2357.5	2608.9	0.8320	7.0752	7.9072
25	64.96	0.001020	6.2032	271.93	2462.4	271.96	2345.5	2617.4	0.8932	6.9370	7.8302
30	69.10	0.001022	5.2284	289.24	2467.7	289.27	2335.3	2624.5	0.9441	6.8234	7.7675
40	75.86	0.001026	3.9930	317.58	2476.3	317.62	2318.4	2636.1	1.0261	6.6429	7.6690
50	81.32	0.001030	3.2400	340.49	2483.2	340.54	2304.7	2645.2	1.0912	6.5018	7.5930
60	85.93	0.001033	2.7317	359.84	2489.0	359.91	2292.9	2652.9	1.1454	6.3857	7.5311
70	89.93	0.001036	2.3648	376.68	2493.9	376.75	2282.7	2659.4	1.1921	6.2869	7.4790
75	91.76	0.001037	2.2170	384.36	2496.1	384.44	2277.9	2662.4	1.2132	6.2425	7.4557
80	93.49	0.001039	2.0871	391.63	2498.2	391.71	2273.5	2665.2	1.2330	6.2009	7.4339
90	96.69	0.001041	1.8694	405.10	2502.1	405.20	2265.1	2670.3	1.2696	6.1246	7.3943
100	99.61	0.001043	1.6939	417.40	2505.6	417.50	2257.4	2674.9	1.3028	6.0561	7.3588
101.325	99.97	0.001043	1.6732	418.95	2506.0	419.06	2256.5	2675.5	1.3069	6.0475	7.3544
125	105.97	0.001048	1.3749	444.22	2513.0	444.35	2240.5	2684.9	1.3741	5.9099	7.2840
150	111.35	0.001053	1.1593	466.97	2519.2	467.13	2226.0	2693.1	1.4337	5.7893	7.2230
175	116.04	0.001057	1.0036	486.82	2524.5	487.00	2213.1	2700.1	1.4850	5.6865	7.1715
200	120.21	0.001061	0.88568	504.49	2529.1	504.70	2201.5	2706.2	1.5302	5.5967	7.1269
250	127.41	0.001067	0.71866	535.08	2536.8	535.34	2181.1	2716.5	1.6072	5.4452	7.0524
300	133.52	0.001073	0.60576	561.10	2543.2	561.43	2163.5	2724.9	1.6717	5.3199	6.9916
350	138.86	0.001079	0.52418	583.88	2548.5	584.26	2147.7	2732.0	1.7274	5.2128	6.9401
400	143.61	0.001084	0.46238	604.22	2553.1	604.65	2133.4	2738.1	1.7765	5.1190	6.8955
450	147.90	0.001088	0.41390	622.65	2557.1	623.14	2120.2	2743.4	1.8205	5.0356	6.8560
500	151.83	0.001093	0.37481	639.54	2560.7	640.09	2108.0	2748.1	1.8604	4.9603	6.8207
600	158.83	0.001101	0.31558	669.72	2566.8	670.38	2085.8	2756.1	1.9308	4.8284	6.7592
700	164.95	0.001108	0.27277	696.23	2571.8	697.00	2065.8	2762.8	1.9918	4.7153	6.7071
800	170.41	0.001115	0.24034	719.97	2576.0	720.86	2047.4	2768.3	2.0457	4.6160	6.6616
900	175.35	0.001121	0.21489	741.55	2579.6	742.56	2030.5	2773.0	2.0940	4.5272	6.6213
1000	179.88	0.001127	0.19436	761.39	2582.7	762.52	2014.6	2777.1	2.1381	4.4470	6.5850
1200	187.96	0.001139	0.16326	796.96	2587.8	798.33	1985.4	2783.7	2.2159	4.3058	6.5217
1400	195.04	0.001149	0.14078	828.36	2591.8	829.97	1958.9	2788.8	2.2835	4.1839	6.4675
1600	201.37	0.001159	0.12374	856.60	2594.8	858.46	1934.4	2792.8	2.3435	4.0765	6.4199
1800	207.11	0.001168	0.11037	882.37	2597.2	884.47	1911.4	2795.9	2.3975	3.9800	6.3775
2000	212.38	0.001177	0.099585	906.14	2599.1	908.50	1889.8	2798.3	2.4468	3.8923	6.3390
2500	223.95	0.001197	0.079949	958.91	2602.1	961.91	1840.0	2801.9	2.5543	3.7015	6.2558
3000	233.85	0.001217	0.066664	1004.7	2603.2	1008.3	1794.8	2803.2	2.6455	3.5400	6.1856
3500	242.56	0.001235	0.057058	1045.5	2602.9	1049.8	1752.8	2802.6	2.7254	3.3989	6.1243
4000	250.35	0.001253	0.049776	1082.5	2601.7	1087.5	1713.3	2800.8	2.7968	3.2728	6.0696
5000	263.94	0.001286	0.039446	1148.2	2597.0	1154.6	1639.6	2794.2	2.9210	3.0527	5.9737
6000	275.58	0.001319	0.032448	1206.0	2589.9	1213.9	1570.7	2784.6	3.0278	2.8623	5.8901
7000	285.83	0.001352	0.027378	1258.2	2581.0	1267.7	1505.0	2772.6	3.1224	2.6924	5.8148
8000	295.01	0.001385	0.023526	1306.2	2570.5	1317.3	1441.4	2758.7	3.2081	2.5369	5.7450
9000	303.34	0.001418	0.020490	1351.1	2558.5	1363.9	1379.1	2742.9	3.2870	2.3922	5.6791
10000	311.00	0.001453	0.018030	1393.5	2545.2	1408.1	1317.4	2725.5	3.3606	2.2553	5.6160
11000	318.08	0.001489	0.015990	1434.1	2530.5	1450.4	1255.9	2706.3	3.4303	2.1242	5.5545
12000	324.68	0.001526	0.014264	1473.1	2514.3	1491.5	1194.0	2685.4	3.4967	1.9972	5.4939
13000	330.85	0.001566	0.012780	1511.1	2496.5	1531.5	1131.2	2662.7	3.5608	1.8728	5.4336
14000	336.67	0.001610	0.011485	1548.4	2477.1	1571.0	1066.9	2637.9	3.6232	1.7495	5.3727
15000	342.16	0.001657	0.010338	1585.3	2455.6	1610.2	1000.5	2610.7	3.6846	1.6260	5.3106
16000	347.35	0.001709	0.009309	1622.3	2431.8	1649.7	931.10	2580.8	3.7457	1.5006	5.2463
17000	352.29	0.001769	0.008371	1659.9	2405.2	1690.0	857.47	2547.5	3.8077	1.3710	5.1787
18000	356.99	0.001840	0.007502	1699.0	2374.8	1732.1	777.74	2509.8	3.8718	1.2342	5.1061
19000	361.47	0.001927	0.006677	1740.5	2339.1	1777.2	688.85	2466.0	3.9401	1.0855	5.0256
20000	365.75	0.002040	0.005865	1786.4	2295.0	1827.2	585.13	2412.3	4.0156	0.9158	4.9314
21000	369.83	0.002206	0.004996	1841.2	2233.7	1887.6	451.04	2338.6	4.1064	0.7015	4.8079
22000	373.71	0.002704	0.003647	1951.8	2092.8	2011.3	161.75	2173.1	4.2945	0.2501	4.5446
22064	373.95	0.003106	0.003106	2015.7	2015.7	2084.3	0.000	2084.3	4.4070	0.0000	4.4070

Referans, kaynak ve simgeler Tablo T-2 ile aynı.

KİTABIN TAMAMINDA

- 8 ünite, 154 soru ve hepsinin adım adım çözümü.
- Her ünitenin başında, soruların dayandığı bağıntıları özetleyen hatırlatma kutusu.
- Temel, orta ve ileri düzeyde sorular; her sorunun altında kendi çözümünüz için noktalı alan.
- Sorudan çözüme, çözümden soruya tek tıkla geçiş.
- Kitabın sonunda 12 özellik tablosu (17 sayfa): doymuş ve kızgın su buharı, sıkıştırılmış sıvı, buz, R-134a, ideal gaz özgül ısıları, hava tablosu ve genelleştirilmiş sıkıştırılabilirlik diyagramı.

ertansinansahin.com