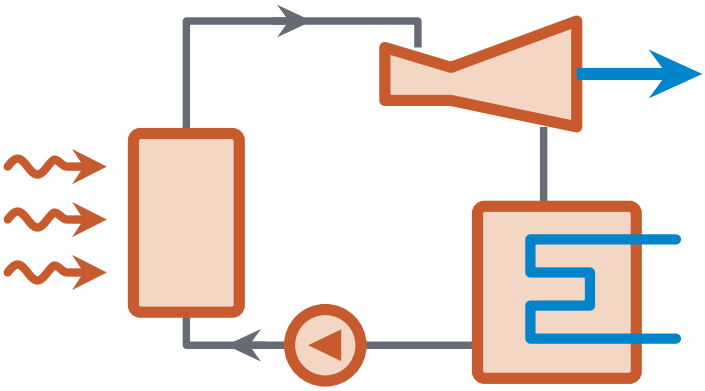
TERMODİNAMİK 2

SORU KİTABI

ÖRNEK SAYFALAR

10 ünite · 168 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 1* kitabındakilerle aynıdır. İkinci dersi bu konularla başlayan okullar için buraya alınmıştır; birinci derste işleyenler için tekrar niteliğindedir. Kitap Ünite 7 ile başlar: önceki ünitelerden enerji dengesi, özellik tablolarının kullanımı ve ikinci yasa bilinir kabul edilir ve gerektiği yerde hatırlatma kutusunda kısaca verilir.
- **Vize ve final:** Vize çoğunlukla Ünite 7–10'u (entropi, ekserji, güç çevrimleri), final Ünite 11–16'yı (soğutma çevrimleri, termodinamik özellik bağıntıları, gaz ve gaz-buhar karışımları, yanma, kimyasal denge) kapsar. Konu seçimi okuldan okula değişir; kendi dersinizin izlencesine göre çalışacağınız üniteleri seçin.

İçindekiler

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

7 Entropi ..... 24 soru 4

8 Ekserji ..... 16 soru 18

9 **Gaz Akışkanlı Güç Çevrimleri** ..... 20 soru 26

10 Buharlı ve Birleşik Güç Çevrimleri ..... 20 soru 38

11 Soğutma ve Isı Pompası Çevrimleri ..... 16 soru 52

12 Termodinamik Özellik Bağıntıları ..... 12 soru 63

13 **Gaz Karışımları** ..... 14 soru 70

14 **Gaz-Buhar Karışımları ve İklimlendirme** ..... 18 soru 78

15 Kimyasal Tepkimeler ve Yanma ..... 16 soru 87

16 Kimyasal ve Faz Dengesi ..... 12 soru 96

Çözümler 102

Ek: Özellik Tabloları 185

9. ÜNİTE

GAZ AKIŞKANLI GÜÇ ÇEVRİMLERİ

ısıl verim	$\eta_{th} = \dfrac{w_{net,çıkan}}{q_{giren}} = 1 - \dfrac{q_{çıkan}}{q_{giren}}$	Brayton (soğuk hava)	$\eta_{th} = 1 - \dfrac{1}{r_p^{(k-1)/k}}$
sıkıştırma oranı	$r = \dfrac{V_{max}}{V_{min}}$	geri iş oranı	$r_{gi} = \dfrac{w_K}{w_T}$
ortalama efektif basınç	$OEB = \dfrac{w_{net,çıkan}}{v_{max} - v_{min}}$	izantropik verimler	$\eta_K = \dfrac{h_{2s} - h_1}{h_2 - h_1}, \quad \eta_T = \dfrac{h_3 - h_4}{h_3 - h_{4s}}$
Otto (soğuk hava)	$\eta_{th} = 1 - \dfrac{1}{r^{k-1}}$	rejeneratör etkinliği	$\varepsilon = \dfrac{h_5 - h_2}{h_4 - h_2}$
Diesel ($r_c = v_3/v_2$)	$\eta_{th} = 1 - \dfrac{1}{r^{k-1}} \dfrac{r_c^k - 1}{k(r_c - 1)}$	jet itki	$F = \dot{m}(V_{çık} - V_{gir}), \quad \eta_{itki} = \dfrac{F\, V_{uçak}}{\dot{Q}_{giren}}$
izantropik (sabit c_p)	$\dfrac{T_2}{T_1} = \left(\dfrac{v_1}{v_2}\right)^{k-1} = \left(\dfrac{P_2}{P_1}\right)^{(k-1)/k}$	ekserji yıkımı	$x_{yıkım} = T_0\left(s_{çık} - s_{gir} + \dfrac{q_{çıkan}}{T_L} - \dfrac{q_{giren}}{T_H}\right)$
izantropik (Tablo T-11)	$\dfrac{P_{r2}}{P_{r1}} = \dfrac{P_2}{P_1}, \quad \dfrac{v_{r2}}{v_{r1}} = \dfrac{v_2}{v_1}$		

Hava standardı varsayımları: çalışma akışkanı kapalı bir çevrimde dolaşan ideal gaz havadır; bütün süreçler içten tersinirdir; yanma, dış bir kaynaktan ısı verilmesiyle, egzoz ise çevreye ısı atılmasıyla modellenir. Soğuk hava standardında özgül ısılar sabit ve 300 K değerlerindedir (Tablo T-10(a): $c_p = 1.005$, $c_v = 0.7178$ kJ/(kg·K), $k = 1.4$); gaz sabiti Tablo T-1'den $R = 0.2870$ kJ/(kg·K)'dir. Sıcaklığa bağlı özgül ısılarla çözülen sorularda hava özellikleri (h, u, s°, P_r, v_r) Tablo T-11'den okunur ve ara değerler doğrusal enterpolasyonla bulunur; hangi yolun kullanılacağı soruda söylenir. Sıcaklıklar kelvindir. Aksi söylenmedikçe kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilir. q, w, $\dot{Q}$ ve $\dot{W}$ pozitif büyüklüklerdir; yönleri alt indiste (giren, çıkan) yazılıdır; kompresör işi w_K çevrime verilen, türbin işi w_T ve net iş $w_{net,çıkan}$ çevrimden alınan iştir. Ekserji (kullanılabilirlik) hesaplarında ölü hâl soruda verilir. Şekillerde ısı aktarımı kırmızı, iş mavi, kütle akışı siyah okla; çevrim mavi, ideal (izantropik) karşılaştırma süreçleri gri kesikli çizilir.

Hava standardı ve pistonlu motorlar

9.1 ★☆☆ Çözüm →

Pistonlu motorlar ve hava standardı varsayımları ile ilgili aşağıdaki ifadelerden hangisi doğrudur?

A) Ortalama efektif basınç, çevrimin net işinin strok hacmine bölünmesiyle bulunur; farklı boyuttaki motorları karşılaştırmaya yarar.

B) Sıkıştırma oranı, silindirdeki en büyük basıncın en küçük basınca oranıdır.

C) Hava standardı varsayımlarında yanma, çalışma akışkanından dışarıya ısı atılmasıyla modellenir.

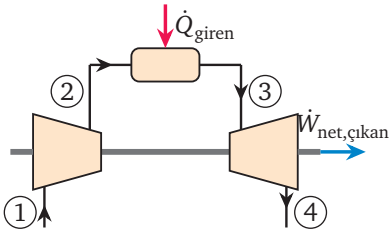
D) Soğuk hava standardında havanın özgül ısıları sıcaklıkla artar.

E) Dört zamanlı bir motorda her silindir her devirde bir güç stroku yapar.

Brayton çevrimi

9.11 ★☆☆ Çözüm →

Bir havalimanının acil durum jeneratörünü süren gaz türbini, basınç oranı 9 olan ideal Brayton çevrimiyle modellenir. Hava kompresöre 290 K'de girer; türbin giriş sıcaklığı 1250 K'dir; hava debisi 15 kg/s'dir. Soğuk hava standardını kullanınız.



a. Kompresör ve türbin çıkış sıcaklıklarını bulunuz.

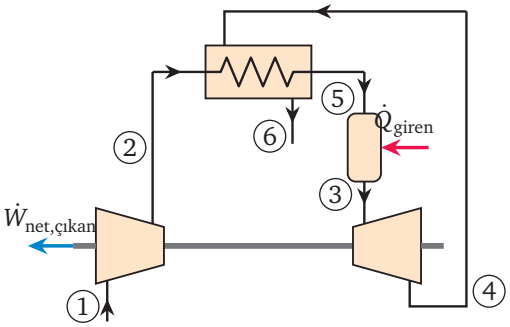
b. Geri iş oranını ve ısıl verimi bulunuz.

c. Net gücü, yanma odasındaki ısı verme hızını ve yakıtın alt ısıl değeri 43 000 kJ/kg ise saatte yakılan yakıt miktarını (kg/h) bulunuz.

Rejenerasyon, ara soğutma ve ara ısıtma

9.15 ★★☆ Çözüm →

Bir alışveriş merkezinin elektriğinin bir bölümünü üreten mikrotürbinde basınç oranı 7, kompresör giriş sıcaklığı 300 K, türbin giriş sıcaklığı 1200 K'dir. Kompresörün izantropik verimi 0.85, türbininki 0.88'dir. Soğuk hava standardını kullanınız.



a. Rejeneratör yokken net işi ve ısıl verimi bulunuz.

b. Isıl verimin 0.36 olması için rejeneratörün etkinliği en az ne olmalıdır?

c. Bu durumda egzoz gazının rejeneratör çıkış sıcaklığı kaç kelvindir?

13. ÜNİTE

GAZ KARIŞIMLARI

kütle ve mol kesri

$$\mathrm{mf}_i = \frac{m_i}{m}, \quad y_i = \frac{N_i}{N}, \quad \mathrm{mf}_i = y_i \frac{M_i}{M_m}$$

görünür (ortalama) molar kütle, gaz sabiti

$$M_m = \sum y_i M_i = \frac{1}{\sum \mathrm{mf}_i / M_i}, \quad R_m = \frac{R_u}{M_m}$$

Dalton (karışımın T ve V'sinde)

$$P_i = y_i P, \quad P = \sum P_i$$

Amagat (karışımın T ve P'sinde)

$$V_i = y_i V, \quad V = \sum V_i$$

Kay kuralı (gerçek gaz karışımı)

$$T'_{\mathrm{cr}} = \sum y_i T_{\mathrm{cr},i}, \quad P'_{\mathrm{cr}} = \sum y_i P_{\mathrm{cr},i}$$

karışımın özellikleri

$$U = \sum m_i u_i, \quad H = \sum m_i h_i, \quad S = \sum m_i s_i$$

özgül ısılar (kütle başına)

$$c_{p,m} = \sum \mathrm{mf}_i \, c_{p,i}, \quad c_{v,m} = \sum \mathrm{mf}_i \, c_{v,i}$$

bileşenin entropi değişimi

$$\Delta s_i = c_{p,i} \ln \frac{T_2}{T_1} - R_i \ln \frac{P_{i,2}}{P_{i,1}}$$

aynı T ve P'de karışma $\quad S_{\text{üretim}} = -R_u \sum N_i \ln y_i$

en az ayırma işi (T_0'da)

$$W_{\min,\text{giren}} = -R_u T_0 \sum N_i \ln y_i$$

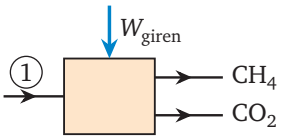
ekserji yıkımı $\quad X_{\text{yıkım}} = T_0 S_{\text{üretim}}$

Bu ünitede karışımdaki her bileşen ideal gaz kabul edilir (gerçek gaz karışımı yalnız Kay kuralı sorusundadır); bileşen, karışımın sıcaklığında ve hacminde tek başına bulunuyormuş gibi davranır. Molar kütle, gaz sabiti ve kritik nokta özellikleri Tablo T-1'den, sabit özgül ısılar (300 K) Tablo T-10(a)'dan, sıcaklığa bağlı molar entalpiler Tablo T-15(a)'dan, sıkıştırılabilirlik çarpanı Tablo T-12 diyagramından okunur. $R_u = 8.314$ kJ/(kmol·K). Hacimce (volumetrik) analiz, ideal gaz karışımında mol analizine eşittir. Kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edilir. Isı ve iş pozitif büyüklüklerdir; yönleri giren/çıkan indisiyle gösterilir (Q_{giren}, $\dot{Q}_{\text{çıkan}}$, $W_{b,\text{çıkan}}$); yönü baştan belli değilse net büyüklük ($Q_{\text{net,giren}}$) kullanılır. Ekserji (kullanılabilirlik) hesaplarında ölü hâl soruda verilir.

Karma sorular

13.13 ★★★ Çözüm →

Bir biyometan tesisinde 25 °C, 101.325 kPa'daki biyogaz (molce %60 CH_4, %40 CO_2) saf metan ve saf CO_2 olarak ayrılır; ürünler de 25 °C, 101.325 kPa'dadır. Tesis, normal metreküp (0 °C, 101.325 kPa) ham biyogaz başına 0.25 kWh elektrik harcar. Metanın alt ısıl değeri yaklaşık 50 000 kJ/kg'dır.



a. Bir kilomol biyogazı ayırmak için gereken en az işi bulunuz.

b. En az işi kilogram metan başına bulunuz ve metanın alt ısıl değeriyle karşılaştırınız.

c. Tesisin ikinci yasa verimini bulunuz.

14. ÜNİTE

GAZ-BUHAR KARIŞIMLARI VE İKLİMLENDİRME

toplam basınç $P = P_a + P_v$

özgül nem (kuru hava başına)
$\omega = \dfrac{m_v}{m_a} = \dfrac{0.622\,P_v}{P - P_v}$

bağıl nem (P_g: T'deki doyma basıncı)
$\phi = \dfrac{P_v}{P_g(T)}$

entalpi (kJ/kg kuru hava, T °C)
$h = c_p T + \omega\, h_g(T)$

kuru havanın özgül hacmi $v = \dfrac{R_a T}{P_a}$

çiğ noktası $P_g(T_{çn}) = P_v$

adyabatik doyma (2: doymuş çıkış, $T_2 \approx T_{yt}$)
$\omega_1 = \dfrac{c_p(T_2 - T_1) + \omega_2 h_{fg2}}{h_{g1} - h_{f2}}$

kütle dengesi (kuru hava ve su ayrı ayrı)
$\sum \dot{m}_{gir} = \sum \dot{m}_{çık}$

enerji dengesi (sürekli akış)
$\dot{Q}_{giren} + \sum(\dot{m}h)_{gir} = \dot{Q}_{çıkan} + \sum(\dot{m}h)_{çık}$

adyabatik karışma $\dfrac{\dot{m}_{a1}}{\dot{m}_{a2}} = \dfrac{\omega_2 - \omega_3}{\omega_3 - \omega_1} = \dfrac{h_2 - h_3}{h_3 - h_1}$

Kuru hava ve su buharı ideal gaz kabul edilir; kuru hava için $c_p = 1.005$ kJ/(kg·K) (Tablo T-10(a)), $R_a = 0.2870$ kJ/(kg·K) ve $0.622 = 18.015/28.97$ (Tablo T-1) alınır. P_g (doymuş buhar basıncı), h_g ve h_f Tablo T-2'den (gerekirse T-3'ten) doğrusal enterpolasyonla okunur. ω (kg su buharı/kg kuru hava) ve h kuru hava kütlesi başınadır; entalpinin referansı 0 °C'de kuru hava ve sıvı sudur. Psikrometrik diyagram (Tablo T-14) 101.325 kPa içindir; diyagramdan okunan değerler "≈" ile iki anlamlı basamakla verilir. Akış süreklidir; kinetik ve potansiyel enerji ihmal edilir. Şemalarda hava siyah, ısı kırmızı okla; psikrometrik diyagramda süreç mavi çizgiyle gösterilir.

Adyabatik doyma, yaş termometre ve psikrometrik diyagram

14.7 ★☆☆ Çözüm →

Havanın kuru termometre sıcaklığı T, yaş termometre sıcaklığı T_{yt} ve çiğ noktası sıcaklığı $T_{çn}$ ile ilgili aşağıdaki ifadelerden hangisi doğrudur?

A) Doymamış havada yaş termometre sıcaklığı çiğ noktası sıcaklığından küçüktür.

B) Yaş termometre sıcaklığı yalnız havanın kuru termometre sıcaklığına bağlıdır; havanın neminden etkilenmez.

C) Adyabatik doyma sürecinde havanın özgül nemi azalır, sıcaklığı artar.

D) Kuru ve yaş termometre sıcaklıkları arasındaki fark büyüdükçe havanın bağıl nemi de büyür.

E) Doymuş havada kuru termometre, yaş termometre ve çiğ noktası sıcaklıkları birbirine eşittir.

İklimlendirme süreçleri

14.11 ★★☆ Çözüm →

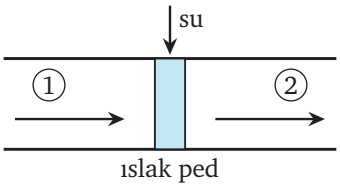
Şanlıurfa'da bir tavuk kümesi ped-fan sistemiyle serinletilir: 40 °C'de, bağıl nemi %15 olan dış hava 4 m^3/s debiyle ıslak pedlerden geçer. Pedlerin doyma verimi $\eta = (T_1 - T_2)/(T_1 - T_{yt}) = 0.85$'tir ($T_{yt}$: dış havanın yaş termometre sıcaklığı). Basınç 101.325 kPa'dır.

a. Tablo T-14'e göre dış havanın yaş termometre sıcaklığı kaç °C'dir?

b. Ped çıkışındaki havanın sıcaklığını (°C) ve bağıl nemini bulunuz.

c. Pedlerde saatte kaç kilogram su buharlaşır?

d. Bu yöntemle hava teorik olarak en çok kaç °C'ye soğutulabilir? Yöntem nemli iklimlerde neden etkili değildir?



Karma sorular

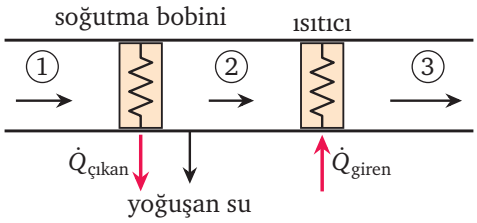
14.17 ★★★ Çözüm →

Bir çikolata fabrikasının paketleme salonuna (çikolatanın yüzeyinde nem ve şeker çiçeklenmesi olmasın diye) 20 °C'de, bağıl nemi %45 olan hava verilmelidir. Yazın dış hava 33 °C'de, bağıl nemi %55'tir. Dış hava önce soğutma bobininde doymuş hâle gelinceye kadar soğutularak nemi alınır (2 hâli), sonra bir ısıtıcıda 20 °C'ye ısıtılır (3 hâli). Yoğuşan su bobinden 2 hâlinin sıcaklığında ayrılır. Kuru hava debisi 1.5 kg/s, basınç 101.325 kPa'dır.

a. Bobin çıkışında havanın sıcaklığı kaç °C olmalıdır?

b. Yoğuşan su debisini (kg/h), bobinin soğutma yükünü (kW) ve ısıtıcının gücünü (kW) bulunuz.

c. 1 ve 3 hâllerinin entalpilerini Tablo T-14'ten okuyup hesapla karşılaştırınız.



ÇÖZÜMLER

9 GAZ AKIŞKANLI GÜÇ ÇEVRİMLERİ

9.1

← Soru

Ortalama efektif basınç (OEB), pistona güç stroku boyunca etkiseydi çevrimin net işini yapacak sabit basınçtır: $\text{OEB} = W_{\text{net,çıkan}}/(V_{\max} - V_{\min})$. Net iş strok hacmine bölündüğü için motor boyutundan bağımsızdır. **A** doğrudur.

- (B): Sıkıştırma oranı bir *hacim* oranıdır: $r = V_{\max}/V_{\min}$.
- (C): Yanma, dış bir kaynaktan çalışma akışkanına ısı *verilmesiyle* modellenir; egzoz ise ısı atılmasıyla.
- (D): Soğuk hava standardında özgül ısılar sabittir ve oda sıcaklığındaki (300 K) değerleriyle alınır.
- (E): Dört zamanlı motorda bir çevrim iki devirde tamamlanır; her silindir iki devirde bir güç stroku yapar.

CEVAP A

9.11

← Soru

Varsayımlar: soğuk hava standardı; sürekli akış; izantropik sıkıştırma ve genişleme; kinetik ve potansiyel enerji ihmal.

$r_p^{(k-1)/k} = 9^{0.2857} = 1.8734$.

a. İzantropik sıkıştırma ve genişleme:

$$T_2 = 290(1.8734) = 543.3\ \text{K},$$

$$T_4 = \frac{1250}{1.8734} = 667.2\ \text{K}.$$

b. Kompresör ve türbin işleri:

$$w_{\text{K}} = 1.005(543.3 - 290) = 254.57\ \text{kJ/kg},$$

$$w_{\text{T}} = 1.005(1250 - 667.2) = 585.71\ \text{kJ/kg},$$

$$r_{\text{gi}} = \frac{254.57}{585.71} = 0.4346 \approx 0.435,$$

$$\eta_{\text{th}} = 1 - \frac{1}{1.8734} = 0.4662 \approx 0.466.$$

Türbin işinin yaklaşık %43'ü kompresörü döndürmeye gider; gaz türbinlerinde geri iş oranı buharlı çevrimlerinkinden çok büyüktür.

c. $w_{\text{net,çıkan}} = 585.71 - 254.57 = 331.14$ kJ/kg, $q_{\text{giren}} = 1.005(1250 - 543.3) = 710.23$ kJ/kg:

$$\dot{W}_{\text{net,çıkan}} = 15(331.14) = 4967\ \text{kW},$$

$$\dot{Q}_{\text{giren}} = 15(710.23) = 10\,653 \approx 10\,650\ \text{kW},$$

$$\dot{m}_{\text{yakıt}} = \frac{10\,653}{43\,000} = 0.2477\ \text{kg/s} = 892\ \text{kg/h}.$$

CEVAP a. 543.3 K; 667.2 K b. 0.435; 0.466 c. 4967 kW; 10 650 kW; 892 kg/h

9.15

← Soru

Varsayımlar: soğuk hava standardı; kompresör ve türbin adyabatik; basınç kayıpları yok; kinetik ve potansiyel enerji ihmal.

$7^{0.2857} = 1.7436$. Hâller: 1 kompresör girişi, 2 kompresör çıkışı, 5 rejeneratör çıkışı (yanma odası girişi), 3 türbin girişi, 4 türbin çıkışı, 6 egzoz.

a. İzantropik ve gerçek sıcaklıklar:

$$T_{2s} = 300(1.7436) = 523.09\ \text{K},$$

$$T_2 = 300 + \frac{223.09}{0.85} = 562.46\ \text{K},$$

$$T_{4s} = \frac{1200}{1.7436} = 688.22\ \text{K},$$

$$T_4 = 1200 - 0.88(511.78) = 749.63\ \text{K}.$$

$$w_{\text{net,çıkan}} = 1.005\big[(1200 - 749.63) - (562.46 - 300)\big]$$

$$= 188.85 \approx 188.9\ \text{kJ/kg},$$

$$q_{\text{giren}} = 1.005(1200 - 562.46) = 640.73\ \text{kJ/kg},$$

$$\eta_{\text{th}} = \frac{188.85}{640.73} = 0.2947 \approx 0.295.$$

b. Net iş rejeneratörle değişmez. $\eta_{\text{th}} = 0.36$ için gereken ısı ve yanma odası giriş sıcaklığı:

$$q_{\text{giren}} = \frac{188.85}{0.36} = 524.58\ \text{kJ/kg},$$

$$T_5 = 1200 - \frac{524.58}{1.005} = 678.03\ \text{K},$$

$$\varepsilon = \frac{T_5 - T_2}{T_4 - T_2} = \frac{115.57}{187.17} = 0.61746 \approx 0.617.$$

c. Rejeneratörde sıcak gazın verdiği ısı havanın

ertansinansahin.com

aldığına eşittir:

$$T_6 = T_4 - (T_5 - T_2) = 749.63 - 115.57 = 634.06 \approx 634.1 \text{ K}.$$

Kontrol: $T_6 = 634.1 \text{ K} > T_2 = 562.46 \text{ K}$; ısı sıcaktan soğuğa akar.

CEVAP a. 188.9 kJ/kg; 0.295 b. $\varepsilon = 0.617$ c. 634.1 K

13 GAZ KARIŞIMLARI

13.13

← Soru

Varsayımlar: sürekli akış; ideal gaz karışımı; en az iş için tersinir ayırma; giriş ve çıkışlar T_0 ve P_0'da.

a. Ayırma, aynı T ve P'de karışmanın tersidir. En az iş tersinir ayırmanın işidir ($T_0 = 298.15$ K, $R_u T_0 = 2478.8$ kJ/kmol):

$$\begin{aligned}\bar{w}_{\text{min,giren}} &= -R_u T_0 (y_{CH_4} \ln y_{CH_4} + y_{CO_2} \ln y_{CO_2}) \\ &= 2478.8[0.60(0.5108) + 0.40(0.9163)] \\ &= 2478.8(0.67301) = 1668 \text{ kJ/kmol}.\end{aligned}$$

b. Bir kilomol biyogazdaki metan $0.60(16.043) = 9.626$ kg'dır (Tablo T-1). Kilogram metan başına en az iş:

$$w_{\text{min,giren}} = \frac{1668.3}{9.626} = 173.3 \text{ kJ/kg}.$$

Alt ısıl değere oranı:

$$\frac{173.3}{50\,000} = 0.00347 \approx \%0.35.$$

Teorik olarak, metanın taşıdığı enerjinin binde 3.5'i ayırmaya yeter.

c. İdeal gazın normal hâldeki molar hacmi $R_u T/P = 8.314(273.15)/101.325 = 22.413 \text{ m}^3/\text{kmol}$. Gerçek iş:

$$\bar{w}_{\text{giren}} = 0.25(3600)(22.413) = 20\,172 \text{ kJ/kmol},$$

$$\eta_{II} = \frac{\bar{w}_{\text{min,giren}}}{\bar{w}_{\text{giren}}} = \frac{1668.3}{20\,172} = 0.0827.$$

Tesis en az işin yaklaşık 12 katını harcar; gerçek iş metan enerjisinin %4.2'si kadardır (20 172/9.626 = 2096 kJ/kg metan).

CEVAP a. 1668 kJ/kmol b. kg metan başına 173.3 kJ/kg; alt ısıl değerin %0.35'i c. $\eta_{II} = 0.0827$

14 GAZ-BUHAR KARIŞIMLARI VE İKLİMLENDİRME

14.7

← Soru

Doymuş havada fitilden buharlaşma olmaz, yaş termometre soğumaz: $T_{yt} = T$. Doymuş havada $P_v = P_g(T)$ olduğundan çiğ noktası da T'dir. **E** doğrudur.

- (A): Doymamış havada sıralama $T_{çn} < T_{yt} < T$'dir (Tablo T-14'te bir noktadan yaş termometre çizgisi boyunca doyma eğrisine ulaşılan sıcaklık, yatay gidilerek ulaşılan sıcaklıktan büyüktür).
- (B): Fitilden buharlaşma hızı havanın nemine bağlıdır; aynı T'de kuru havada T_{yt} daha düşüktür.
- (C): Adyabatik doymada hava su buharlaştırır: özgül nemi artar, buharlaşma ısısını kendi duyulur ısısından verdiği için sıcaklığı düşer.
- (D): Fark büyüdükçe fitilden buharlaşma artar, yani hava daha kurudur; bağıl nem küçülür.

CEVAP E

ertansinansahin.com

14.11

← Soru

Varsayımlar: sürekli akış; ped adyabatik; eklenen suyun entalpisi ihmal ($h_2 \approx h_1$).

a. Tablo T-14'te $T = 40\,^\circ\text{C}$ ile $\phi = \%15$ (%10 ve %20 eğrilerinin ortası) kesişiminden geçen yaş termometre çizgisi 20 çizgisine çok yakındır: $T_{yt} \approx 20\,^\circ\text{C}$.

b. Doyma veriminden:

$$T_2 = 40 - 0.85(40 - 20) = 23.0 \approx 23\,^\circ\text{C}.$$

Tablo T-2'den $P_g(40\,^\circ\text{C}) = 7.3849$ kPa, $h_g(40\,^\circ\text{C}) = 2573.5$ kJ/kg:

$$P_{v1} = 0.15(7.3849) = 1.1077 \text{ kPa},$$

$$\omega_1 = \frac{0.622(1.1077)}{101.325 - 1.1077} = 0.006875,$$

$$h_1 = 1.005(40) + 0.006875(2573.5) = 57.89 \text{ kJ/kg}.$$

23 °C, Tablo T-2'de 20 ve 25 °C satırları arasındadır (oran 0.6): $h_g = 2537.4 + 0.6(9.1) = 2542.9$ kJ/kg, $P_g = 2.3393 + 0.6(0.8306) = 2.8377$ kPa. $h_2 = h_1$:

$$\omega_2 = \frac{57.89 - 1.005(23.0)}{2542.9} = 0.013676,$$

$$P_{v2} = \frac{0.013676(101.325)}{0.622 + 0.013676} = 2.1800 \text{ kPa},$$

$$\phi_2 = \frac{2.1800}{2.8377} = 0.768 \approx \%77.$$

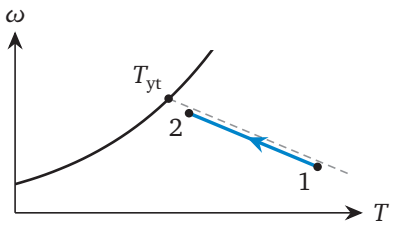
c. Kuru hava debisi ve buharlaşan su:

$$v_1 = \frac{0.2870(313.15)}{100.217} = 0.8968 \text{ m}^3/\text{kg},$$

$$\dot{m}_a = \frac{4}{0.8968} = 4.460 \text{ kg/s}.$$

$$\dot{m}_{su} = \dot{m}_a(\omega_2 - \omega_1) = 4.460(0.006801)$$
$$= 0.03033 \text{ kg/s} = 109 \approx 110 \text{ kg/h}.$$

(Sonuç T_{yt} okumasına bağlıdır; T_{yt}'nin 0.3 K farklı okunması T_2'yi yaklaşık 0.3 K değiştirir.)



d. Doyma verimi 1 olsaydı hava doymuş hâle gelinceye kadar, yani yaş termometre sıcaklığına ($\approx 20\,^\circ\text{C}$) soğurdu. Nemli havada T_{yt} kuru termometre sıcaklığına yakındır; buharlaşacak su azdır ve soğuma küçük kalır. Kuru ve sıcak iklimde ise aynı yöntem havayı 40 °C'den 23 °C'ye indirir.

CEVAP a. $T_{yt} \approx 20\,^\circ\text{C}$ b. $T_2 \approx 23\,^\circ\text{C}$, $\phi_2 \approx \%77$ c. ≈ 110 kg/h d. $\approx 20\,^\circ\text{C}$ (yaş termometre sıcaklığı)

14.17

← Soru

Varsayımlar: sürekli akış; ısıtıcıda nem değişmez ($\omega_2 = \omega_3$); kinetik ve potansiyel enerji ihmal.

a. 2 hâli doymuştur ve özgül nemi 3 hâlininkine eşittir; bobin çıkış sıcaklığı 3 hâlinin çiğ noktasıdır. Tablo T-2'den $P_g(20\,^\circ\text{C}) = 2.3393$ kPa:

$$P_{v3} = 0.45(2.3393) = 1.0527 \text{ kPa},$$

$$\omega_3 = \frac{0.622(1.0527)}{101.325 - 1.0527} = 0.0065299.$$

Tablo T-2'de 5 °C'de 0.8726 kPa, 10 °C'de 1.2282 kPa:

$$T_2 = 5 + 5\,\frac{1.0527 - 0.8726}{1.2282 - 0.8726} = 7.53 \approx 7.5\,^\circ\text{C}.$$

b. 1 hâli: 33 °C için 30 ve 35 °C satırları arasında (0.6 oranı) $P_g = 4.2470 + 0.6(1.382) = 5.0762$ kPa, $h_g = 2555.5 + 0.6(9.0) = 2560.9$ kJ/kg:

$$\omega_1 = \frac{0.622(0.55)(5.0762)}{101.325 - 2.7919} = 0.017624,$$

$$h_1 = 1.005(33) + 0.017624(2560.9) = 78.30 \text{ kJ/kg}.$$

2 hâli (7.53 °C; 5 ve 10 °C satırları arasında, oran 0.5064): $h_g = 2514.7$ kJ/kg, $h_f = 31.66$ kJ/kg.

$$h_2 = 1.005(7.53) + 0.0065299(2514.7) = 23.99 \text{ kJ/kg},$$

$$h_3 = 1.005(20) + 0.0065299(2537.4) = 36.67 \text{ kJ/kg}.$$

Yoğuşan su:

$$\dot{m}_{su} = \dot{m}_a(\omega_1 - \omega_3) = 1.5(0.011094)$$
$$= 0.016641 \text{ kg/s} = 59.9 \text{ kg/h}.$$

Bobinin enerji dengesi:

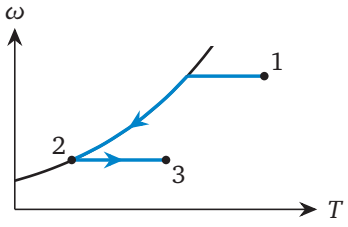
$$\dot{Q}_{\text{çıkan}} = \dot{m}_a\left[(h_1 - h_2) - (\omega_1 - \omega_3)h_f\right]$$
$$= 1.5\left[54.31 - 0.011094(31.66)\right] = 80.9 \text{ kW}.$$

$$\dot{Q}_{\text{giren}} = \dot{m}_a(h_3 - h_2) = 1.5(12.68) = 19.0 \text{ kW}.$$

Nem almak için hava 20 °C'nin çok altına soğutulup yeniden ısıtılır; düşük nem istenen salonlarda yeniden ısıtma kaçınılmazdır.

ertansinansahin.com

c. Tablo T-14'te 1 hâli (33 °C, %55) 70 ve 80 entalpi çizgileri arasında 80'e yakın: $h_1 \approx 78$ kJ/kg; 3 hâli (20 °C, %45) 30 ve 40 çizgileri arasında: $h_3 \approx 37$ kJ/kg. Okumalar hesapla (78.30 ve 36.67 kJ/kg) uyumludur. Aşağıdaki şekil şematiktir; ölçekli okuma Tablo T-14'ten yapılır.



CEVAP a. 7.5 °C b. 59.9 kg/h; 80.9 kW; 19.0 kW c. $h_1 \approx 78$, $h_3 \approx 37$ kJ/kg (hesap: 78.30, 36.67)

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-14) vardır. Kitabın tamamındaki Ek 18 tablo ve 23 sayfadır: su, buz, R-134a, ideal gazlar, hava, sıkıştırılabilirlik ve sapma diyagramları, psikrometrik diyagram, yanma ve kimyasal denge tabloları.

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.

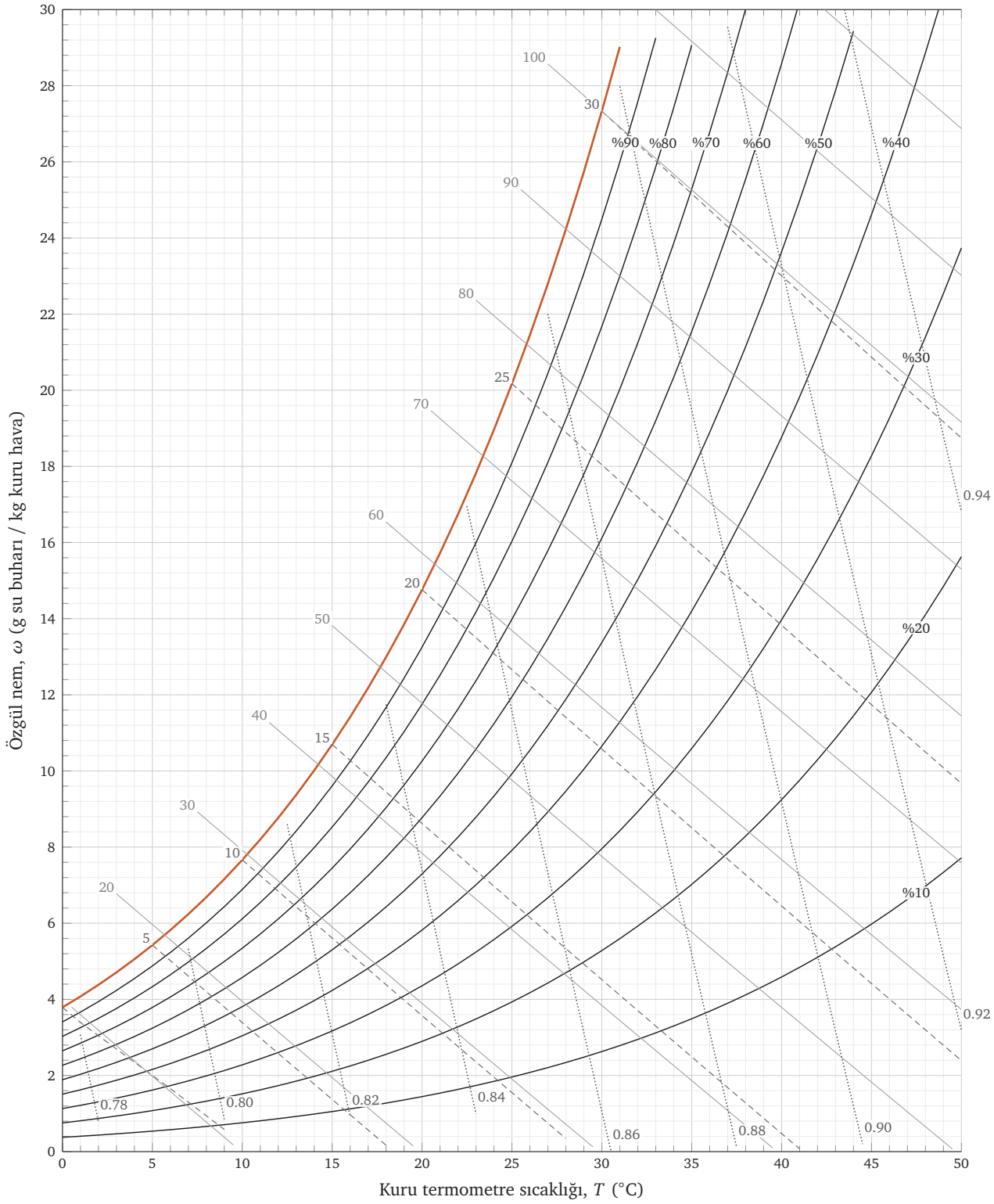
Tablo T-2 Doymuş su: sıcaklık tablosu

		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-14 Psikrometrik diyagram (101.325 kPa)



Düz siyah eğriler bağıl nem ϕ (renkli: doyma, $\phi = \%100$); kesikli çizgiler yaş termometre sıcaklığı T_{yt} (°C, etiket doyma eğrisinde); ince gri çizgiler entalpi h (kJ/kg kuru hava, 0 °C'de kuru hava ve sıvı su referansı; etiket doyma eğrisinin solundaki uzantıda); noktalı çizgiler özgül hacim v (m^3/kg kuru hava, etiket altta). Gerçek nemli hava özelliklerinden (ASHRAE RP-1485) hesaplanmıştır.

KİTABIN TAMAMINDA

- 10 ünite, 168 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 18 özellik tablosu (23 sayfa): su buharı, R-134a, hava ve ideal gaz tabloları, sıkıştırılabilirlik ve sapma diyagramları, psikrometrik diyagram, oluşum entalpisi, ısıl değer ve denge sabiti tabloları.

ertansinansahin.com