

Termodinamik: Mühendislik Yaklaşımıyla, 5. Baskı
Yunus A. Çengel, Michael A. Boles
Çeviri Editörü: Ali PINARBAŞI
McGraw-Hill, 2008

Bölüm 14

GAZ-BUHAR KARIŞIMLARI VE İKLİMLENDİRME

Prof. Dr. Ali PINARBAŞI

Amaçlar

- Kuru hava ve atmosferik hava arasındaki farkın anlaşılması.
- Atmosferik havanın özgül nemi ile bağıl neminin tanımlanması ve hesaplanması.
- Atmosferik havanın çiy noktası sıcaklığının hesaplanması.
- Atmosferik havanın adyabatik doyma sıcaklığı ile yaş termometre sıcaklığı arasındaki ilişkinin kurulması.
- Atmosferik havanın özelliklerinin belirlenmesi için Psikrometrik diyagramdan yararlanılması.
- Çeşitli iklimlendirme işlemlerine kütle ve enerji korunumu ilkelerinin uygulanması.

KURU HAVA VE ATMOSFERİK HAVA

Atmosferik hava: Hava azot, oksijen ve küçük miktarlardaki başka gazlardan oluşan bir karışımdır.

Atmosfer içindeki hava bir miktar su buharı (veya *nem*) içerir ve bu nedenle **atmosferik hava** diye adlandırılır.

Kuru hava: Diğer taraftan içinde su buharı bulunmayan hava ise **kuru hava** diye nitelenir.

$$h_{\text{kuru hava}} = c_p T = (1.005 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}) T \quad (\text{kJ/kg})$$

$$\Delta h_{\text{kuru hava}} = c_p \Delta T = (1.005 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}) \Delta T \quad (\text{kJ/kg})$$

Burada T , $^\circ\text{C}$ olarak havanın sıcaklığını ve ΔT sıcaklık değişimini göstermektedir.

İklimlendirme uygulamalarında entalpi *değişimleri* (Δh) üzerinde durulur ve söz konusu değişim seçilen referans sıcaklığından bağımsızdır.

Bu nedenle havadaki su buharı, tek başına bulunması durumunda nasıl davranıyorsa öyle davranır ve $Pv=RT$ ideal gaz hal denklemini sağlar. Böylelikle atmosferik hava, basıncı kuru havanın* (Pa) ve su buharının (P_v) kısmi basınçlarının toplamı olan, ideal bir gaz karışımı olarak incelenebilir

$$P = P_a + P_v \quad (\text{kPa})$$

P_a Kuru havanın kısmi basıncı

P_v Buharın kısmi basıncı (Buhar basıncı)

Su buharının kısmi basıncı genellikle **buhar basıncı** diye nitelenir. Bu basınç, su buharının atmosferik hava sıcaklığı ve hacminde tek başına olması durumunda sahip olacağı basıncı göstermektedir.

KURU HAVA

$T, ^\circ\text{C}$	$c_p, \text{kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C}$
-10	1.0038
0	1.0041
10	1.0045
20	1.0049
30	1.0054
40	1.0059
50	1.0065

-10 ile 50 °C arasındaki, havanın c_p değeri 1.005 kJ/kg.°C alınabilir ve bu değer % 0.2'den az hataya neden olur.

Havadaki su buharının da kuru hava gibi ideal bir gaz olarak kabul edilmesi çok büyük kolaylık sağlar. Hatta bunun için hassaslıktan bir miktar ödün verilmesi bile göze alınabilir. 50°C sıcaklıkta, suyun doyma basıncı 12.3 kPa'dır. Bu değerden daha düşük basınçlarda, doymuş buhar halinde olsa bile su buharı çok az bir hatayla (%0.2'nin altında) ideal gaz olarak ele alınabilir.

Su için:

$$h_g = 2500.9 \text{ kJ/kg at } 0^\circ\text{C}$$

$$c_{p,avg} = 1.82 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C at } -10 \text{ to } 50^\circ\text{C range}$$

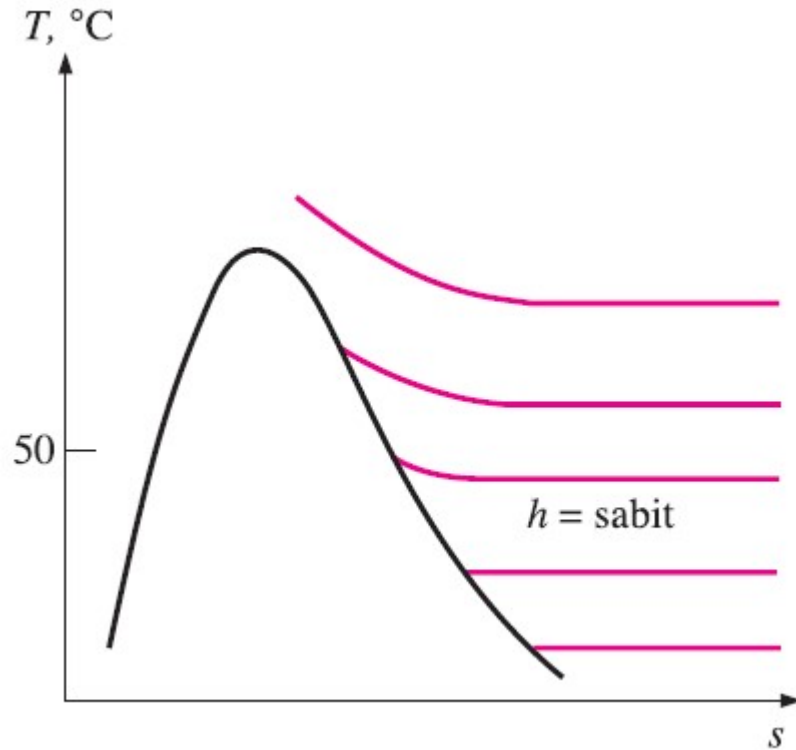
$$h_g(T) \cong 2500.9 + 1.82T \quad (\text{kJ/kg}) \quad T, ^\circ\text{C'dir.}$$

$$h_g(T) \cong 1060.9 + 0.435T \quad (\text{Btu/lbm}) \quad T, ^\circ\text{F'dır.}$$

$h = h(T)$ su buharı ideal bir gazdır.(Entalpisi yalnızca sıcaklığın fonksiyonu olup, $h=h(T)$ şeklinde ifade edilebilir.)

$$h_v(T, \text{düşük } P) \cong h_g(T)$$

Yukarıdaki bağıntı -10°C ile 50°C arasında su buharının entalpisini aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi ihmal edilebilecek bir hatayla vermektedir.



50°C altında, $h = \text{const.}$ lines coincide with the $T = \text{const.}$ lines in the superheated vapor region of water.

SU BUHARI			
$T, ^\circ\text{C}$	$h_g, \text{kJ/kg}$		Fark kJ/kg
	Tablo A-4	Denk. 14-4	
-10	2482.1	2482.7	-0.6
0	2500.9	2500.9	0.0
10	2519.2	2519.1	0.1
20	2537.4	2537.3	0.1
30	2555.6	2555.5	0.1
40	2573.5	2573.7	-0.2
50	2591.3	2591.9	-0.6

-10 ile 50°C arasındaki suyun h_g değeri ($h_g(T) \cong 2500.9 + 1.82 T$) yardımıyla küçük bir hatayla hesaplanabilir.

HAVANIN ÖZGÜL NEMİ VE BAĞIL NEMİ

Mutlak veya Özgül Nem (Nem Oranı): Havadaki su buharı miktarı değişik biçimlerde tanımlanabilir. Bunu yapmanın muhtemelen en mantıklı yolu bir birim kuru hava kütesinde bulunan su buharı kütesinin doğrudan dikkate alınmasıdır. Bu değer mutlak veya özgül nem (aynı zamanda nem oranı) diye adlandırılır ve ω ile gösterilir:

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} \quad (\text{kg su buharı/kg kuru hava})$$

Özgül nem aşağıdaki bağıntıyla da ifade edilebilir:

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} = \frac{P_v V / R_v T}{P_a V / R_a T} = \frac{P_v / R_v}{P_a / R_a} = 0.622 \frac{P_v}{P_a}$$

veya P toplam basınç olmak üzere:

$$\omega = \frac{0.622 P_v}{P - P_v} \quad (\text{kg su buharı/kg kuru hava})$$

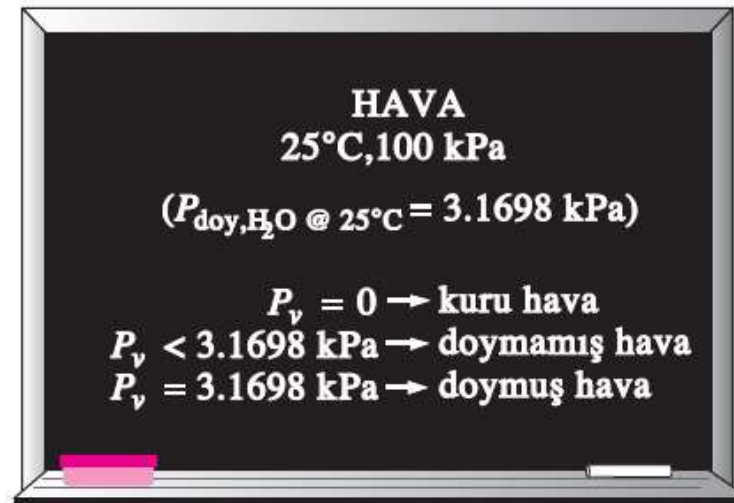
şeklinde tanımlanabilir.

Doymuş hava: Nem ile doygun havadır.

Nispi nem: Doymuş havaya eklenmeye çalışılan her bir buhar molekülü yoğuşacaktır. Belirli bir sıcaklık ve basınçta bulunan doymuş havadaki su buharı miktarı P_v 'nin, aynı sıcaklıktaki suyun doyma basıncı olan P_g ile değiştirilmesi ile hesaplanabilir.

$$\phi = \frac{m_v}{m_g} = \frac{P_v V / R_v T}{P_g V / R_v T} = \frac{P_v}{P_g}$$

$$P_g = P_{\text{doy}} @ T$$

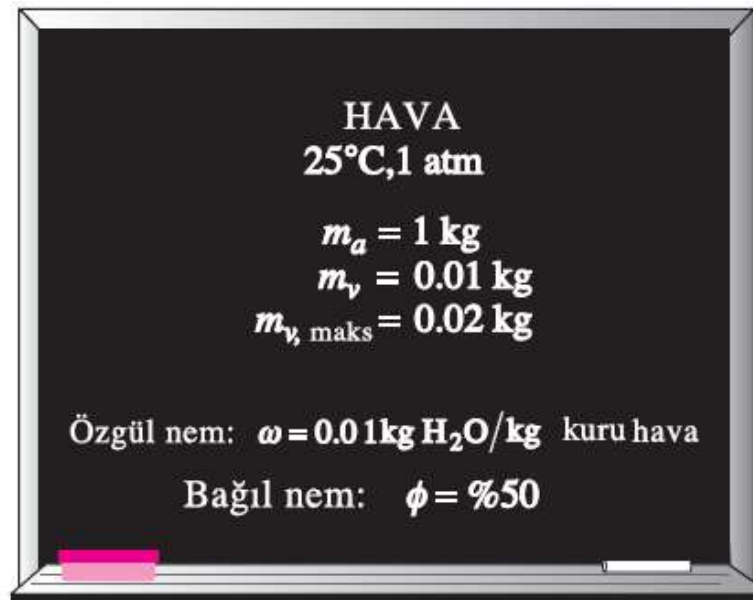


Doymuş havada, buharın basıncı, doymuş su buharının basıncına eşittir.

Bir ortamda kendimizi ne kadar rahat hissettiğimiz, havanın içerdiği su buharı miktarıyla tam olarak ilişkilidir.

Ancak bu rahatlığın mertebesi havanın içerdiği su buharı miktarının (m_v), aynı sıcaklıktaki havada bulunabilecek en fazla su buharı miktarına (m_g) oranına daha fazla bağlıdır.

Bu iki büyüklüğün oranına bağıl nem adı verilir ve ϕ ile gösterilir



Özgül nem 1 kg kuru havadaki su buharının gerçek miktarıdır, bağıl nem ise gerçek miktarının verilen sıcaklıkta havada bulunabilecek en yüksek su buharı miktarına oranıdır.

$$\phi = \frac{\omega P}{(0.622 + \omega)P_g} \quad \text{ve} \quad \omega = \frac{0.622\phi P_g}{P - \phi P_g}$$

Bağıl nem 0 (kuru hava için) ile 1 (doymuş hava için) değerleri arasında değişir. Havada bulunabilecek su buharı miktarının sıcaklığa bağlı olduğuna dikkat edilmelidir. Bundan dolayı havanın özgül nemi sabit kalsa bile, bağıl nemi sıcaklıkla değişir. Atmosferik hava, kuru hava ve su buharının bir karışımıdır. Bu nedenle havanın entalpisi kuru hava ve su buharının entalpileri yardımıyla ifade edilir.

Birçok uygulamada, hava-subuharı karışımındaki kuru hava kütlesi sabit kalırken, su buharı kütlesi değişir. Bundan dolayı atmosferik havanın entalpisi, hava-su buharı karışımının birim kütlesi yerine kuruhavanın birim kütlesi için ifade edilir.

Atmosferik havanın toplam entalpisi yaygın bir özellik olduğundan, kuru havanın ve su buharının entalpilerinin toplamıdır: Denklemin her iki tarafı m_a ile bölünürse:

$$H = H_a + H_v = m_a h_a + m_v h_v$$

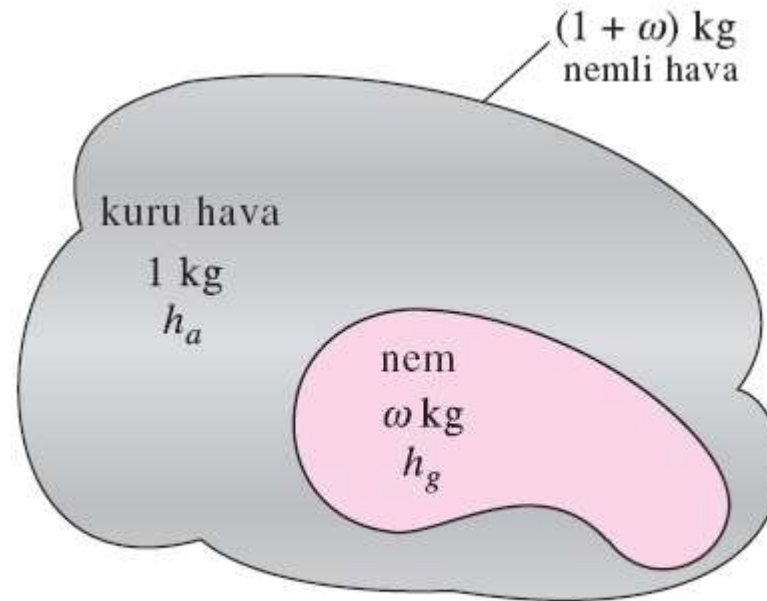
$$h = \frac{H}{m_a} = h_a + \frac{m_v}{m_a} h_v = h_a + \omega h_v$$

$$h = h_a + \omega h_g \quad (\text{kJ/kg kuru hava})$$

$$h_v \cong h_g$$

Kuru termometre sıcaklığı: Atmosferik havanın sıcaklığı, aşağıda tartışılacak olan diğer sıcaklıklardan ayrılabilmesi için sıkça kuru termometre sıcaklığı olarak da adlandırılır.

Kuru ve doymuş havanın nispi nemi nedir?

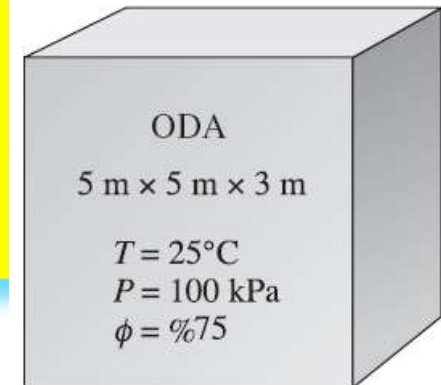


$$h = h_a + \omega h_g \text{ kJ/kg kuru hava}$$

Nemli (atmosferik) havanın entalpisi kuru havanın birim kütlesine göre belirtilir.

Örnek 14-1

5 m x 5 m x 3 m boyutlarındaki bir odada 25°C sıcaklık, 100 kPa basınç ve %75 bağıl nemde hava bulunmaktadır. (a) Kuru havanın kısmi basıncını, (b) havanın özgül nemini, (c) birim kuru hava kütlesi için havanın entalpisini, (d) odadaki kuru hava ve su buharının kütlelerini hesaplayınız.



(a) Kuru havanın kısmi basıncı

$$P_a = P - P_v$$

$$P_v = \phi P_g = \phi P_{\text{doy @ 25°C}} = (0.75)(3.1698 \text{ kPa}) = 2.38 \text{ kPa}$$

$$P_a = (100 - 2.38) \text{ kPa} = \mathbf{97.62 \text{ kPa}}$$

(b) Havanın özgül nemi

$$\omega = \frac{0.622 P_v}{P - P_v} = \frac{(0.622)(2.38 \text{ kPa})}{(100 - 2.38) \text{ kPa}} = \mathbf{0.0152 \text{ kg H}_2\text{O/kg kuru hava}}$$

(c) Birim kuru hava kütlesi için havanın entalpisini

$$\begin{aligned} h &= h_a + \omega h_v \cong c_p T + \omega h_g \\ &= (1.005 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C})(25^\circ\text{C}) + (0.0152)(2546.5 \text{ kJ/kg}) \\ &= \mathbf{63.8 \text{ kJ/kg kuru hava}} \end{aligned}$$

$(h_g(T) \cong 2500.9 + 1.82 T)$ yardımıyla küçük bir hatayla hesaplanabilir.

$$h_g @ 25^\circ\text{C} \cong 2500.9 + 1.82(25) = 2546.4 \text{ kJ/kg}$$

(d) Hem kuru hava hem de su buharı odanın tüm hacmini doldurmaktadır. Bu nedenle her bir gazın hacmi odanın hacmine eşittir:

$$V_a = V_v = V_{\text{oda}} = (5 \text{ m})(5 \text{ m})(3 \text{ m}) = 75 \text{ m}^3$$

$$m_a = \frac{P_a V_a}{R_a T} = \frac{(97.62 \text{ kPa})(75 \text{ m}^3)}{(0.287 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg} \cdot \text{K})(298 \text{ K})} = \mathbf{85.61 \text{ kg}}$$

$$m_v = \frac{P_v V_v}{R_v T} = \frac{(2.38 \text{ kPa})(75 \text{ m}^3)}{(0.4615 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg} \cdot \text{K})(298 \text{ K})} = \mathbf{1.30 \text{ kg}}$$

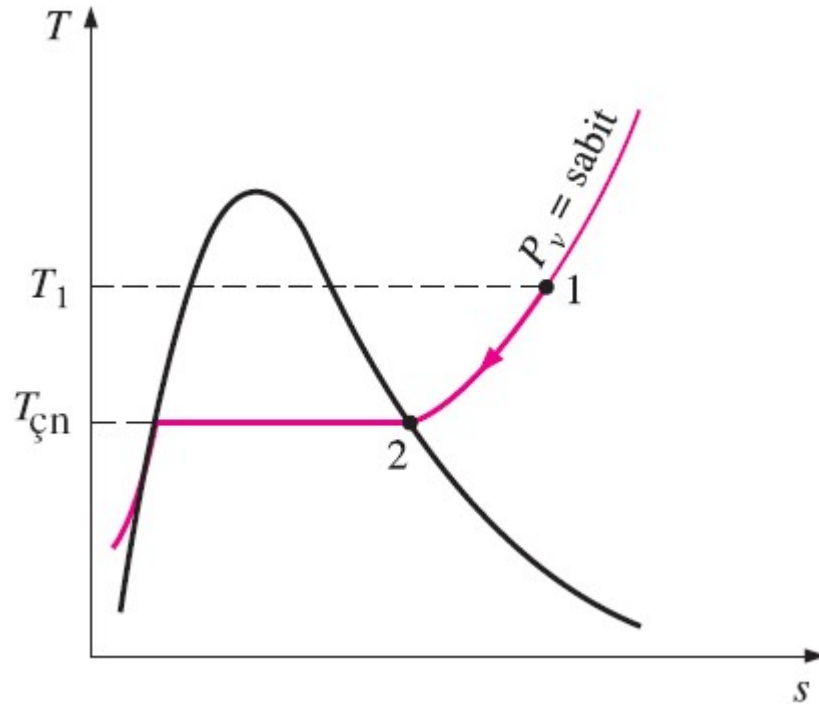
Havadaki su buharının kütlesi $\omega = \frac{m_v}{m_a}$ yardımıyla da hesaplanabilir.

$$m_v = \omega m_a = (0.0152)(85.61 \text{ kg}) = 1.30 \text{ kg}$$

ÇİY NOKTASI SICAKLIĞI

ÇİY NOKTASI SICAKLIĞI $T_{\text{çn}}$: Çiy noktası sıcaklığı $T_{\text{çn}}$, hava sabit basınçta soğutulduğunda yoğuşmanın başladığı sıcaklık diye tanımlanır.

$$T_{\text{çn}} = T_{\text{doy}} @ P_v$$



Nemli havanın sabit basınçta soğutulması ve suyun T-s diyagramında çiy noktası sıcaklığı.

Hava sabit basınçta soğurken, buhar basıncı P_v de sabit kalır. Böylelikle havadaki buhar (1 hali), doymuş buhar hattına (2 hali) gelinceye kadar sabit basınçta soğuma işleminden geçer. Bu noktada ki (2 hali) sıcaklık çiy noktası sıcaklığıdır ve sıcaklığın daha da düşmesi durumunda, buharın bir bölümü yoğuşarak karışımdan ayrılır.

Bunun sonucu olarak havadaki su buharı ve dolayısı ile P_v 'de azalır.

Yoğuşma işlemi sırasında hava doymuş halde kalır ve bağıl nemin yüzde yüz olduğu doymuş buhar eğrisini izler.

Doymuş havanın çiy noktası sıcaklığı ile kuru termometre sıcaklığı aynıdır



Soğuk içeceğin sıcaklığı çevre havanın çiy noktası sıcaklığının altında olduğu zaman kutu “terler”.

Nemli ve sıcak bir yaz gününde, buzdolabından soğuk bir kutu soda çıkarıldığı zaman dış yüzeyinin buğulandığı görülür.

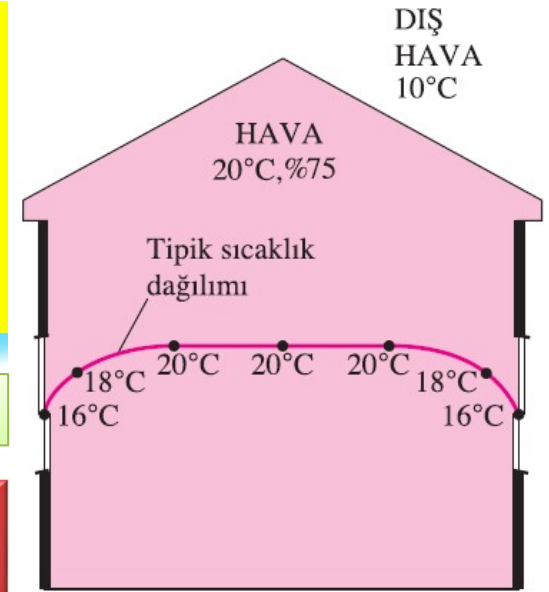
Kutu yüzeyinde buğulanma olması, soda sıcaklığının çevre havasının çiy noktası sıcaklığının altında olduğunu gösterir

Örnek 14-2

Soğuk havalarda, pencerelerin iç yüzeylerinde sık sık yoğuşma olduğu görülür. Bunun nedeni pencere yüzeyine yakın hava sıcaklıklarının daha düşük olmasıdır. Şekildeki evin içindeki hava 20 °C sıcaklığında ve %75 bağıl nemdedir. Pencerenin iç yüzeyinde yoğuşmanın başlayacağı cam sıcaklığını belirleyiniz.

Havanın 20 °C'deki doyma basıncı $P_{\text{doy}}=2.3392$ kPa'dır.

Bir evin içindeki sıcaklık genellikle tek düze değildir. Kışın dış hava sıcaklığı düştüğü zaman pencere ve duvarlara yakın olan iç hava sıcaklığı da düşer. Bu nedenle evin içindeki toplam basınç ve buhar basıncı sabit kalmasına karşın, pencere ve duvarlara yakın havanın sıcaklığı, iç bölgelere oranla daha düşüktür. Bunun sonucu olarak pencere ve duvarların yakınındaki hava, yoğuşma başlayıncaya kadar P_v =sabit olmak üzere soğur. Hava çiy noktası sıcaklığına ($T_{\text{çn}}$) kadar soğuduğu zaman yoğuşma başlar.



$$T_{\text{çn}} = T_{\text{doy}} @ P_v$$

$$P_v = \phi P_g @ 20^\circ\text{C} = (0.75)(2.3392 \text{ kPa}) = 1.754 \text{ kPa}$$

$$T_{\text{çn}} = T_{\text{doy}} @ 1.754 \text{ kPa} = 15.4^\circ\text{C}$$

Eğer pencerenin iç yüzeylerinde yoğuşma olması istenmiyorsa, cam yüzeyi 15.4°C'nin üzerinde tutulmalıdır.

ADYABATİK DOYMA VE YAŞ TERMOMETRE SICAKLIKLARI

Bağıl nem ve özgül nem terimleri mühendislikte ve atmosfer bilimlerinde sık olarak kullanılır ve sıcaklık ve basınç gibi kolayca ölçülebilen özelliklerle ilişkilerinin kurulması gerekir.

Bağıl nemi belirlemenin bir yolu, yukarıda açıklandığı biçimde havanın çiy noktası sıcaklığını bulmaktır. Çiy noktası sıcaklığı bilindiğinde, buhar basıncı P_v ve buna bağlı olarak bağıl nem hesaplanabilir. Bu yaklaşım basit olmasına rağmen uygulamada pratik değildir.

Kütle dengesi:

$$\dot{m}_{a_1} = \dot{m}_{a_2} = \dot{m}_a \quad (\text{Kuru havanın debisi sabittir})$$

$$\dot{m}_{w_1} + \dot{m}_f = \dot{m}_{w_2} \quad (\text{Havadaki su buharının debisi, buharlaşan tamamlama suyunun (sıvı) debisi } \dot{m}_f \text{ ile artar.})$$

$$\dot{m}_a \omega_1 + \dot{m}_f = \dot{m}_a \omega_2$$

$$\dot{m}_f = \dot{m}_a (\omega_2 - \omega_1)$$

Enerji dengesi: ($\dot{Q} = 0$ ve $\dot{W} = 0$)

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

$$\dot{m}_a h_1 + \dot{m}_f h_{f_2} = \dot{m}_a h_2$$

$$\dot{m}_a h_1 + \dot{m}_a (\omega_2 - \omega_1) h_{f_2} = \dot{m}_a h_2$$

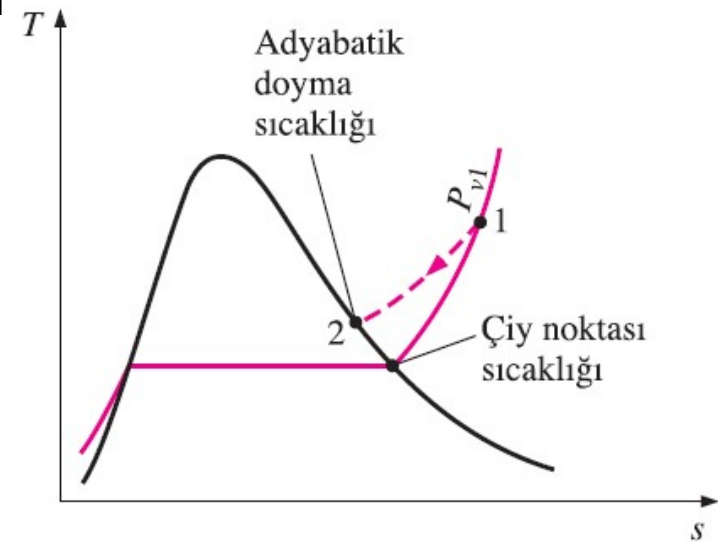
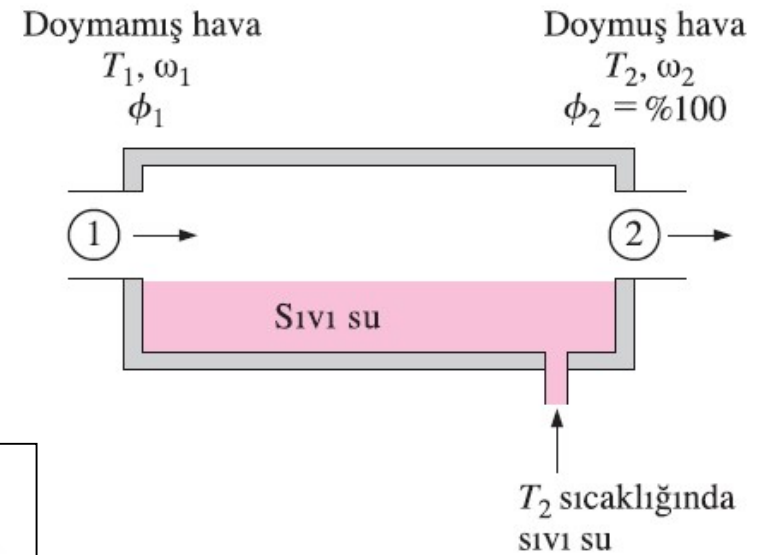
Her iki taraf $\dot{m}_a$ ile bölünürse

$$h_1 + (\omega_2 - \omega_1) h_{f_2} = h_2$$

$$(c_p T_1 + \omega_1 h_{g_1}) + (\omega_2 - \omega_1) h_{f_2} = (c_p T_2 + \omega_2 h_{g_2})$$

$$\omega_1 = \frac{c_p (T_2 - T_1) + \omega_2 h_{fg_2}}{h_{g_1} - h_{f_2}}$$

$$\omega_2 = \frac{0.622 P_{g_2}}{P_2 - P_{g_2}}$$



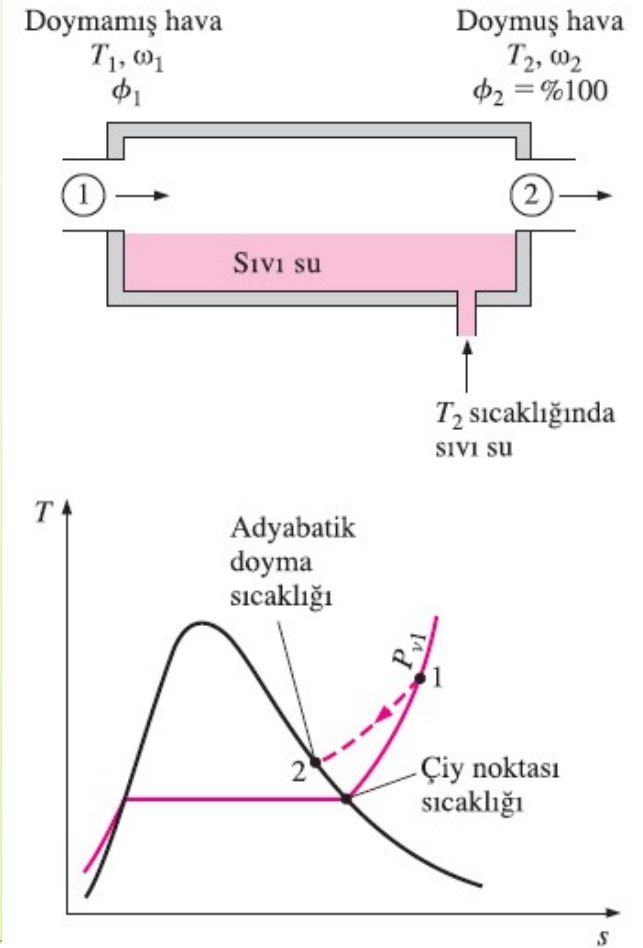
Mutlak veya bağıl nemi belirlemenin bir başka yöntemi de Şekil'de gösterilen adyabatik doyma işlemidir.

Sistem içinde su bulunan yalıtılmış uzun bir kanaldan oluşmaktadır.

Doymamış hava akımı, kanala ω_1 özgül nemi ile T_1 sıcaklığında girer ve kararlı bir akışla suyun üzerinden geçer. Bu akış sırasında bir miktar su buharlaşarak

havaya karışır. Söz konusu işlemle havanın nem oranı artar, buharlaşan suyun buharlaşma gizli ısısının bir bölümü havadan sağlandığı için sıcaklığı düşer.

Eğer kanal yeterince uzunsa, hava kanaldan doymuş olarak ($\phi = \%100$) ve **adyabatik doyma sıcaklığı** adı verilen T_2 sıcaklığında çıkar.

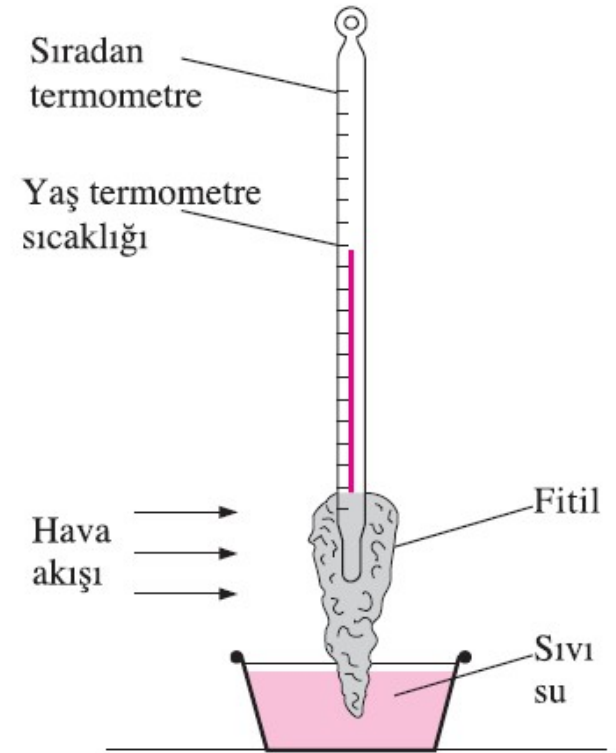


Yukarıda açıklanan adyabatik doyma işlemi, havanın mutlak veya bağıl nemini hesaplamak için bir yol sağlar. Diğer taraftan çıkışta doymuş hava elde edilebilmesi için kanalın çok uzun olmasını ya da iyi bir püskürtme düzeninin kurulmasını gerekli kılar.

Uygulama açısından daha elverişli bir yöntem, Şekil’de gösterildiği gibi ucuna ıslak pamuklu fitil sarılmış bir termometrenin üzerinden hava akışının sağlanması olmaktadır. Bu şekilde ölçülen sıcaklık yaş termometre sıcaklığı T_{yt} diye bilinir ve iklimlendirme uygulamalarında sıkça kullanılır.

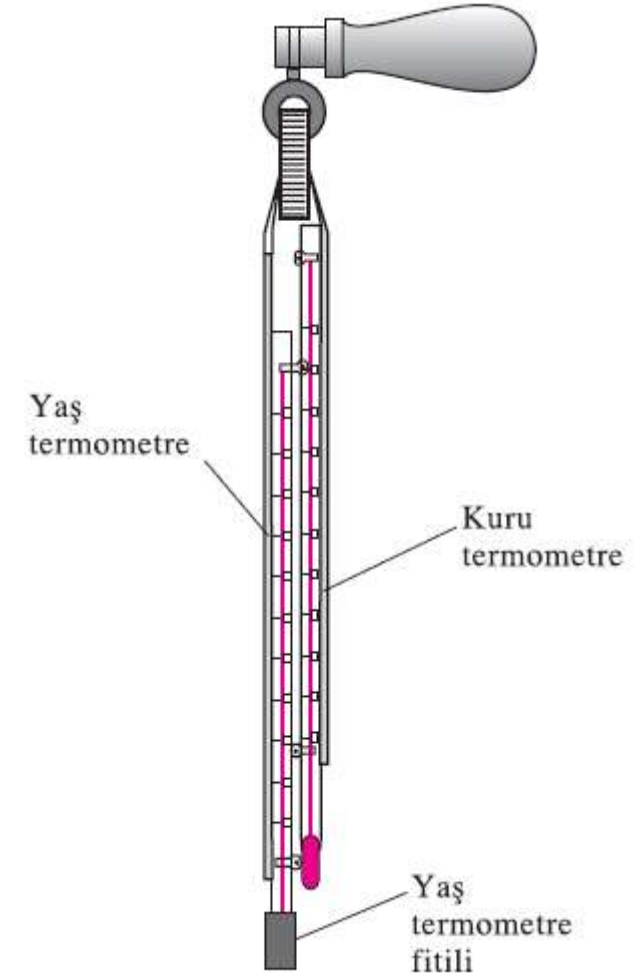
Bu yöntemin dayandığı temel ilke de adyabatik doymaya benzerdir.

Doymamış hava ıslak fitilin üzerinden geçerken, fitildeki nemin bir miktarı buharlaşır. Bunun sonucu olarak suyun (fitilin) sıcaklığı düşer ve havadan suya ısı geçişine neden olan bir sıcaklık farkını oluşturur. Bir süre sonra, sudan buharlaşma nedeniyle olan ısı kaybı, sıcaklık farkından dolayı havadan suya olan ısı geçişine eşitlenir ve su bir denge sıcaklığında sabitlenir.



Bu noktada termometreden okunan sıcaklık yaş termometre sıcaklığıdır. Yaş termometre sıcaklığı aynı zamanda ıslak fitilli termometrenin sabitlendiği bir sisteminkendi etrafında döndürülmesi ile de ölçülebilir. Bu durumda hava yerine termometre hareket ettirilir. Şekil’de gösterilen, sallanan psikrometre yaş Termometre sıcaklığını bu yolla ölçen bir cihazdır. Genelde cihaz üzerine yerleştirilmiş bir ikinci termometreyle kuru termometre sıcaklığı da eş zamanlı ölçülür.

Elektronikteki gelişmeler nemin hassas ve hızlı bir biçimde doğrudan ölçülmesine olanak sağlamıştır. Sallanan psikrometreler ve ıslak fitilli termometreler artık yavaş yavaş geçmişte kalmaktadır. Bugün absorbladığı su buharı miktarına göre kapasitansı değişen ince bir polimer tabakasını kullanarak, bağıl nemi %1 hassaslıkla, bir iki saniye içinde ölçebilen, elle taşınır elektronik psikrometreler vardır.



Örnek 14-3

1 atm (101.325 kPa) basınçtaki atmosferik havanın kuru ve yaş termometre sıcaklıkları, sallanan psikrometre ile ölçülmüş, sırasıyla 25 °C ve 15 °C olarak bulunmuştur. Havanın (a) özgül nemini, (b) bağıl nemini, (c) birim kuru hava kütlesi için entalpisini hesaplayınız.

(a) Özgül nem ω_1

$$\omega_1 = \frac{c_p(T_2 - T_1) + \omega_2 h_{fg2}}{h_{g1} - h_{f2}}$$

$$\omega_2 = \frac{0.622 P_{g2}}{P_2 - P_{g2}} = \frac{(0.622)(1.7057 \text{ kPa})}{(101.325 - 1.7057) \text{ kPa}} = 0.01065 \text{ kg H}_2\text{O/kg kuru hava}$$

$$\omega_1 = \frac{(1.005 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C})[(15 - 25)^\circ\text{C}] + (0.01065)(2465.4 \text{ kJ/kg})}{(2546.5 - 62.982) \text{ kJ/kg}} = \mathbf{0.00653 \text{ kg H}_2\text{O/kg kuru hava}}$$

(b) Bağıl nem ϕ_1

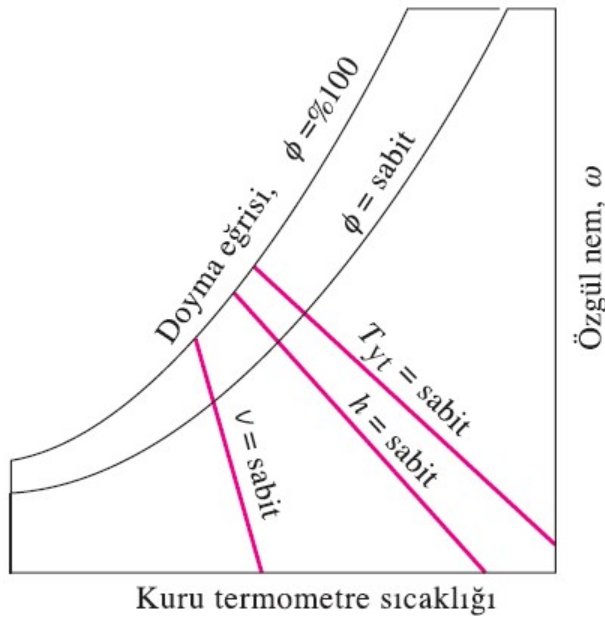
$$\phi_1 = \frac{\omega_1 P_2}{(0.622 + \omega_1) P_{g1}} = \frac{(0.00653)(101.325 \text{ kPa})}{(0.622 + 0.00653)(3.1698 \text{ kPa})} = \mathbf{0.332 \text{ veya } \%33.2}$$

(c) Birim kuru hava kütlesi için havanın entalpisini

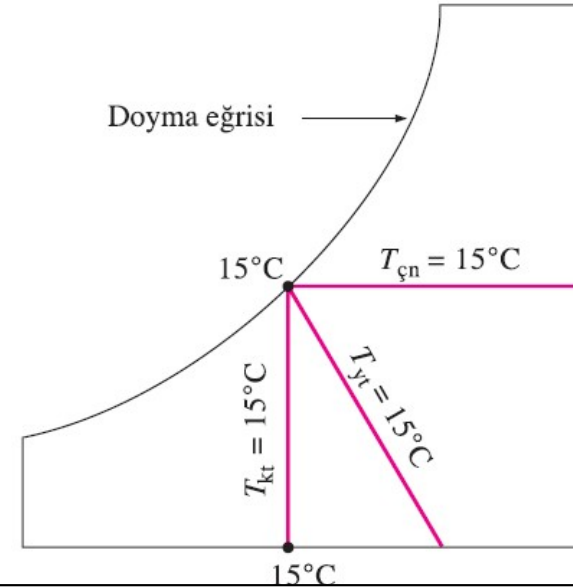
$$\begin{aligned} h_1 &= h_{a1} + \omega_1 h_{v1} \cong c_p T_1 + \omega_1 h_{g1} \\ &= (1.005 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C})(25^\circ\text{C}) + (0.00653)(2546.5 \text{ kJ/kg}) \\ &= \mathbf{41.8 \text{ kJ/kg kuru hava}} \end{aligned}$$

PSİKROMETRİK DİYAGRAM

PSİKROMETRİK DİYAGRAM: Verilen bir basınçtaki atmosferik havanın hali, iki bağımsız yeğin özellik tarafından kesin olarak belirlenebilir. Geri kalan özellikler yukarıda verilen bağıntılardan kolaylıkla hesaplanabilir. Bir iklimlendirme sisteminin tasarımı sırasında bu hesaplar çok sayıda farklı hal için tekrarlandığından, en sabırlı mühendislerin bile bunalmasına neden olabilirler. Bu nedenle bilgisayarda yapılmış hesaplamalar ya da bu hesaplamaları bir kez yapıp sonuçları kolay okunabilecek diyagramlarla ifade etmenin faydaları vardır. Bu diyagramlara **psikrometrik diyagramlar** adı verilir.



Şematik bir psikometrik diyagram



Doymuş hava için, kuru termometre, yaş termometre ve çiy noktası sıcaklıkları eşittir.

Örnek 14-4

Bir odanın içindeki havanın basıncı 1 atmosfer, sıcaklığı 35°C, bağıl nemi %40'tır. Psikrometrik diyagramı kullanarak havanın (a) özgül nemini, (b) birim kuru hava kütlesi için entalpisini, (c) yaş termometre sıcaklığını, (d) çiy noktası sıcaklığını ve (e) birim kuru hava kütlesi için özgül hacmini hesaplayınız.

(a) Diyagram üzerinde belirlenen halden sağa doğru ω eksenini kesecek şekilde yatay bir doğru çizilmesi ile özgül nem bulunur .

$$\omega = 0.0142 \text{ kg H}_2\text{O/kg kuru hava}$$

b) Birim kuru hava kütlesi için havanın entalpisini, belirlenen halden h =sabit doğrularına paralel bir doğru çizerek bulunur.

$$h = 71.5 \text{ kJ/kg kuru hava}$$

(c) Yaş termometre sıcaklığı belirlenen halden, T_{yt} sabit doğrularına paralel bir doğru çizerek bulunur.

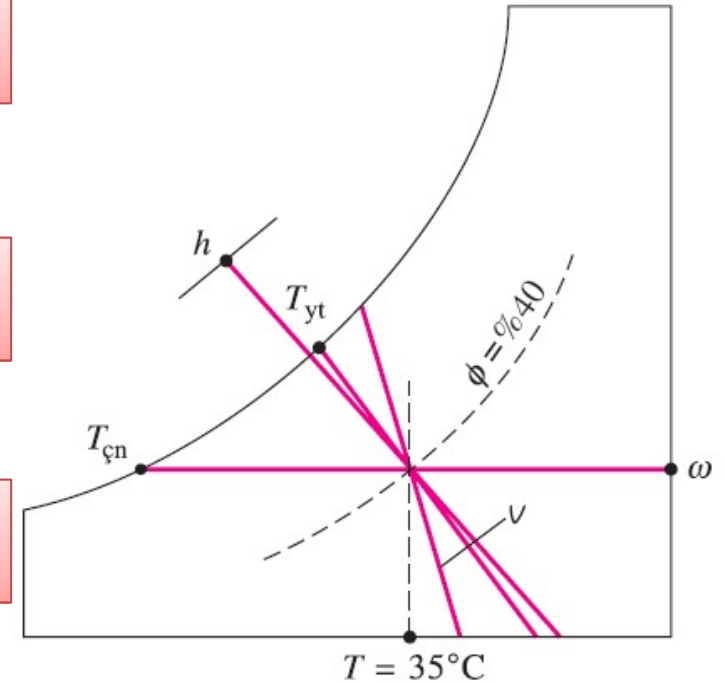
$$T_{yt} = 24^\circ\text{C}$$

(d) Çiy noktası sıcaklığı, sola doğru yatay çizilen doğrunun doyma eğrisini kestiği noktada,

$$T_{\text{çn}} = 19.4^\circ\text{C}$$

(e) Birim kuru hava kütlesi için havanın özgül hacmi,

$$\nu = 0.893 \text{ m}^3/\text{kg kuru hava}$$

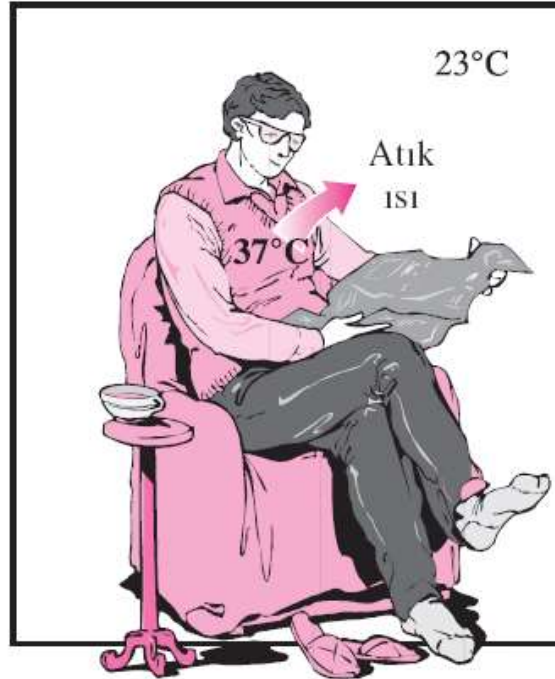


İNSAN KONFORU-İKLİMLENDİRME

İnsanların doğasından gelen zayıf bir yanları vardır: kendilerini rahatta hissetmek isterler. Ne çok sıcak ne de çok soğuk, ne çok nemli ne de çok kuru olmayan bir ortamda yaşamayı arzu ederler. Ancak insan vücudunun rahat edebileceği koşullarla, iklim koşulları genellikle birbiriyle uyuşmadığından konfor koşullarını sağlamak kolay değildir. İnsan vücudunun rahat edebileceği koşulların, kısaca konforun Sağlanması için yüksek yada düşük sıcaklık veya nem gibi konfordan uzaklaşmaya neden olan etkenleri sürekli denetim altında tutmayı gerektirir. Mühendisler olarak görevimiz İnsanların kendilerini rahat hissetmelerini sağlamaktır.



İnsan vücudu yakıtı yenilen besinler olan bir ısı makinesi olarak ele alınabilir. Herhangi bir ısı makinesinin yaptığı gibi, insan vücudu sürekli bir şekilde çalışabilmek için ürettiği atık ısıyı çevreye atmak zorundadır. Isı üretimi miktarı o sırada yaptığı işe göre değişir. Yetişkin bir erkek için ortalama değerler uyurken 87 W, dinlenirken veya masa başında çalışırken 115 W, bowling oynarken 230 W, ağır bedensel iş yaparken ise 440 W'tır.



Vücut atık ısını çevreye kolaylıkla verebildiği durumlarda rahat eder.



İnsanın vücut rahatlığını etkileyen bir başka önemli etken de, vücutla duvar ve pencereler gibi çevre yüzeyler arasında ışınlama ile ısı geçişidir. Güneş ışığı uzayda ışınlama ile yayılır. Ateşle aranızdaki hava soğuk olmasına karşın bir ateşin karşısında ısınırsınız. Benzer şekilde duvarları veya tavanı daha düşük sıcaklıkta olan ılık bir odada üşürsünüz. Çünkü vücuttan çevre yüzeylere ısı geçişi ışınlama ile olur.

Yetişkin bir kadın için söz konusu değerler %15 daha azdır. Aradaki fark vücut sıcaklığından değil vücut ölçülerinden gelmektedir. Sağlıklı bir insan vücudunun iç bölgelerinin sıcaklığı 37°C dolaylarında sabittir. İnsan vücudu atık ısınıncı çevreye kolaylıkla verebildiği ortamlarda kendini rahat hisseder

Oto servis istasyonları gibi zor ısıtılabilen yerlerde bu nedenle ısıtım ısıtıcıları kullanılır.

İnsanın vücut rahatlığı veya konforu temel olarak üç etkene bağlıdır.

Bunlar (kuru termometre) sıcaklık, bağıl nem ve hava devinimidir.

Vücudun buharlaşma yoluyla atabileceği ısıyı belirlediğinden, bağıl nemin de konfor üzerinde önemli ölçüde etkisi bulunur.

Bağıl nem havanın ne kadar nemi daha alabileceğinin bir ölçüsüdür.

Terleme yoluyla ısı geçişini yüksek bağıl nem yavaşlatırken, düşük bağıl nem ise hızlandırır.

İnsanların çoğu %40 ile %60 arasında bir bağıl nemi tercih ederler.

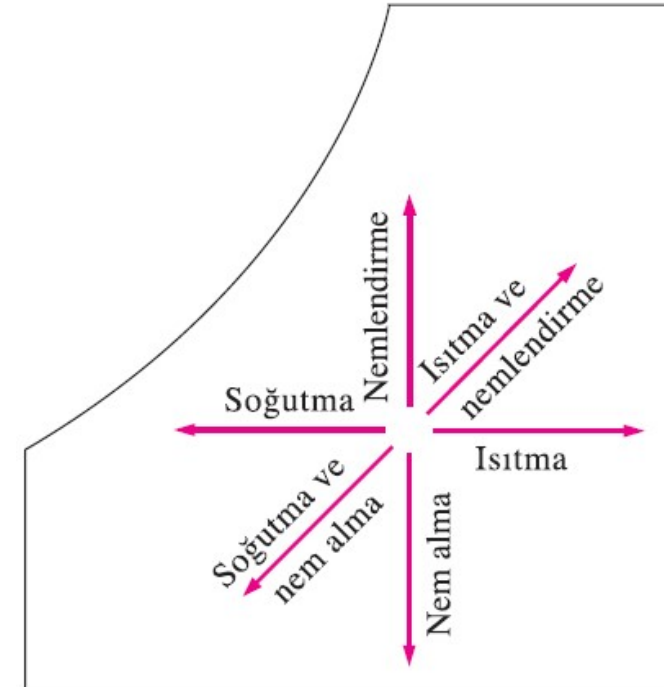
İKLİMLENDİRME İŞLEMLERİ

Yaşanılan bir ortamı ya da endüstriyel bir tesisi istenilen sıcaklık ve nemde tutabilmek için iklimlendirme adı verilen işlemlere gerek duyulur.

Bu işlemler;

Duyulur ısıtma (sıcaklığın yükseltilmesi),
Duyulur soğutma (sıcaklığın düşürülmesi),
Nemlendirme (su buharının eklenmesi) ve
nem alma (su buharının havadan ayrılması).

Havayı istenen sıcaklık ve nem düzeyine getirmek için bazen bu işlemlerden birkaçının bir arada uygulanmasını gerektirir.



Değişik iklimlendirme işlemleri psikrometrik diyagram üzerinde gösterilmiştir. Duyulur ısıtma ve duyulur soğutma işlemleri sırasında havadaki nem miktarı sabit ($\omega = \text{sabit}$) olduğundan diyagramda bu işlemler yatay birer doğru olarak görülürler. Hava kış aylarında ısıtılır ve nemlendirilirken, yaz aylarında soğutulur ve nemi alınır. Bu işlemlerin psikrometrik diyagramda nasıl gösterilebileceğinin incelenmesinde fayda bulunmaktadır.

İklimlendirme işlemleri genellikle kararlı akışlı açık sistemlerde gerçekleşir. Bu nedenle sistemler için kütle korunumu $\dot{m}_g = \dot{m}_\zeta$ bağıntısı hem *kuru hava* hem de *su* için ifade edilmelidir:

Kütle dengesi

$$\dot{m}_{\text{giren}} = \dot{m}_{\text{çıkan}}$$

Kuru hava kütle dengesi: $\sum_g \dot{m}_a = \sum_\zeta \dot{m}_a \quad (\text{kg/s})$

Su kütle dengesi: $\sum_g \dot{m}_w = \sum_\zeta \dot{m}_w \quad \text{veya} \quad \sum_g \dot{m}_a \omega = \sum_\zeta \dot{m}_a \omega$

Enerji dengesi

$$\dot{E}_{\text{giren}} = \dot{E}_{\text{çıkan}}$$

$$\dot{Q}_g + \dot{W}_g + \sum_g \dot{m}h = \dot{Q}_\zeta + \dot{W}_\zeta + \sum_\zeta \dot{m}h$$

Enerji denkleminde kinetik ve potansiyel enerji değişimleri ihmal edildiğinde, kararlı akışta enerji dengesi bağıntısı $E_g = E_\zeta$ bu durumda, olarak ifade edilebilir. İş terimi genellikle sadece *fan işi* girdisinden oluşur ve enerjiden dengesi bağıntısının diğer terimleriyle karşılaştırıldığı zaman küçük olduğu görülür. Aşağıda iklimlendirmede sıkça karşılaşılan işlemler ayrı ayrı ele alınacaktır.

Duyulur Isıtma ve Soğutma ($\omega = \text{sabit}$)

Evlerin birçoğunda soba, radyatör, ısı pompası veya elektrikli ısıtma sistemleri vardır. Bu sistemlerde ki hava, bir kanal içine yerleştirilmiş sıcak bir akışkanın dolaştığı boruların veya direnç tellerinin üzerinden dolaştırılması ile ısıtılır.

Bu işlem sırasında havanın nemlendirilmesi ya da havadan nem alınması söz konusu olmadığından havadaki nem miktarı sabit kalır. Başka bir deyişle, nemlendirme veya nem almanın söz konusu olmadığı bir ısıtma (veya soğutma) işleminde, havanın özgül nemi sabit kalır ($\omega = \text{sabit}$). Bu tür bir ısıtma işlemi, psikrometrik diyagramda yatay bir doğru olarak görünen sabit özgül nem doğrusunu izleyerek, artan kuru termometre sıcaklığı yönünde gelişir.

Kuru hava kütle dengesi

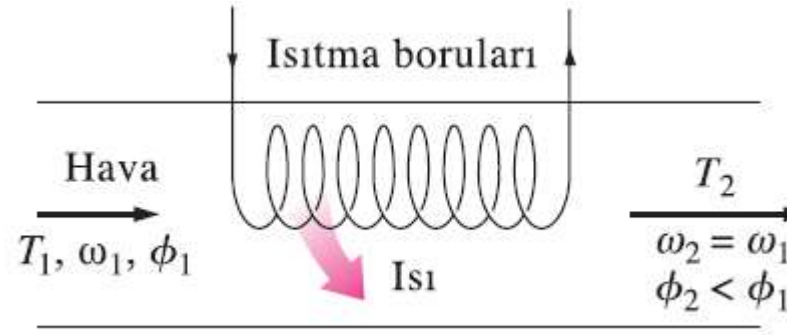
$$\dot{m}_{a_1} = \dot{m}_{a_2} = \dot{m}_a$$

Suyun Kütle dengesi

$$\omega_1 = \omega_2$$

Enerji dengesi

$$\dot{Q} = \dot{m}_a(h_2 - h_1) \text{ veya } q = h_2 - h_1$$

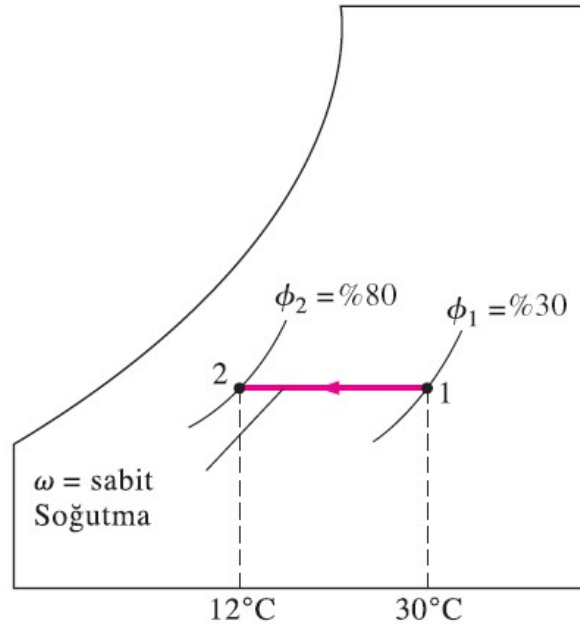


Dikkat edilirse bir ısıtma işlemi sırasında özgül nem ω sabit kalsa bile havanın bağıl nemi azalır. Bu durum havadaki nem miktarının, havada aynı sıcaklıkta bulunabilecek en fazla nem miktarına oranının bağıl nem olarak tanımlanması ve bulunabilecek nem miktarında sıcaklıkla artmasından kaynaklanır.

Bundan dolayı, havanın ısıtılması ile bağıl nem konfor koşullarının çok altına inebilir ve sonucunda deri kuruması, solunum zorluğu ve statik elektriğin artması ortaya çıkabilir.

Nemlendirme veya nem almanın olmadığı ısıtma ya da soğutma işlemlerinde kütlenin korunumu denklemi, kuru hava için $m_{a1} = m_{a2} = m_a$ ve su için $\omega_1 = \omega_2$ bağıntılarına dönüşür. Fan işi olsa bile ihmal edildiğinde, enerjinin korunumu denklemi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir:

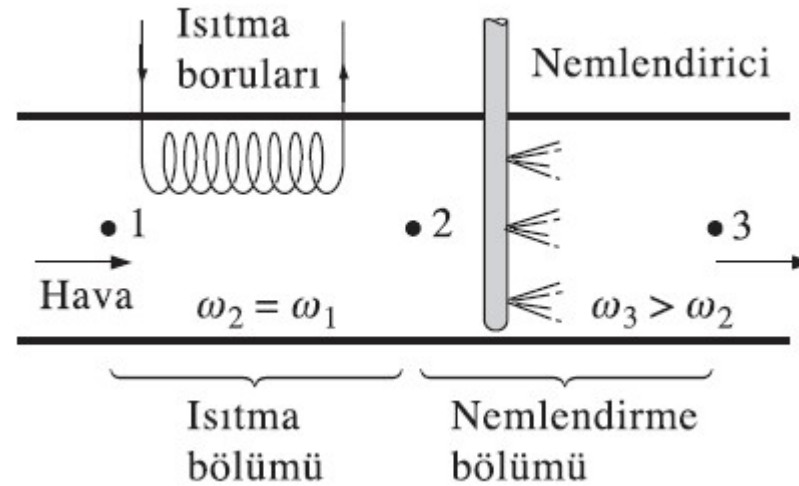
Q veya q **Burada h_1 ve h_2 sırasıyla, havanın ısıtma ya da soğutma bölümüne giriş ve çıkışında, birim kuru hava kütlesi için entalpileridir.**



Duyulur soğutma sırasında özgül nem sabit kalır, fakat bağıl nem artar.

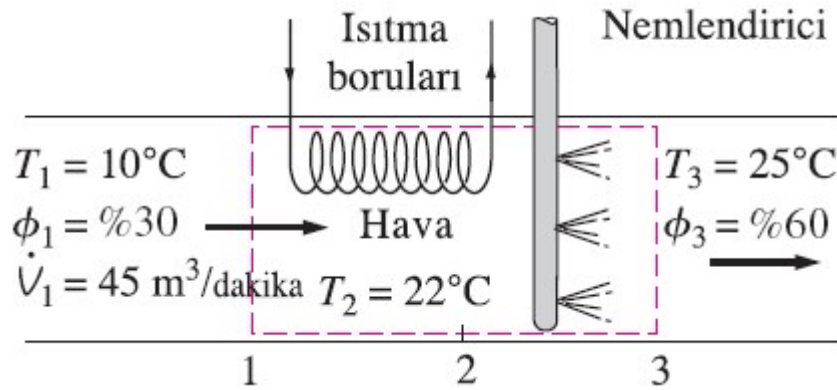
Nemlendirme ile Isıtma

Duyulur ısıtmada ortaya çıkan düşük bağıl nem ile ilgili sorunlar, ısıtılan havanın nemlendirilmesiyle yok edilebilir. Bu işlem, havanın önce bir ısıtma bölümünden (1–2 hal değişimi) ve daha sonra bir nemlendirme bölümünden (2–3 hal değişimi) geçirilmesi ile sağlanır.

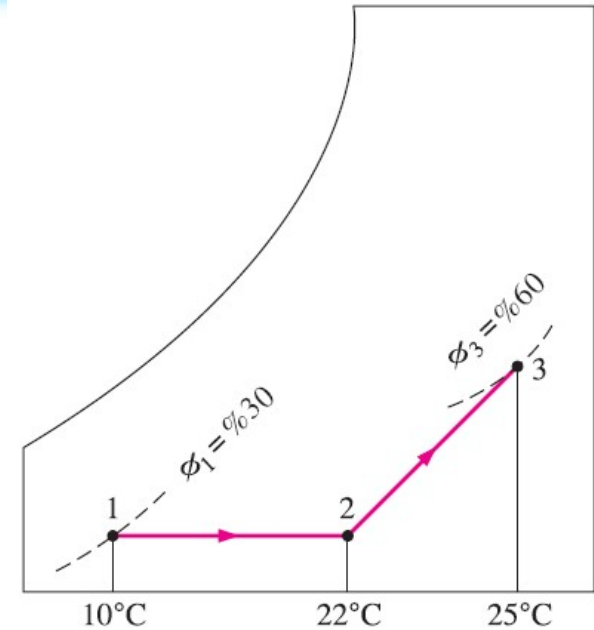


Örnek 14-5

Dış hava, sürekli akışlı bir iklimlendirme sistemine 10 °C sıcaklık ve %30 bağıl nemde 45 m³/dakika debiyle girmekte, sistemden 25 °C sıcaklık ve %60 bağıl nemde çıkmaktadır. Dış hava önce ısıtma bölümüne 22 °C sıcaklığa ısıtılmakta, daha sonra nemlendirme bölümünde içine sıcak buhar püskürtülerek istenen koşullara getirilmektedir. Tüm işlem boyunca toplam basıncın 100 kPa olduğunu kabul ederek, (a) ısıtma bölümünde havaya birim zamanda verilen ısıyı, (b) nemlendirme için gerekli buhar debisini hesaplayınız.



(a) Isıtma bölümünde kütle ve enerji dengesi uygulandığında



Kuru hava kütle dengesi: $\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2} = \dot{m}_a$

Su kütle dengesi: $\dot{m}_{a1}\omega_1 = \dot{m}_{a2}\omega_2 \rightarrow \omega_1 = \omega_2$

Enerji dengesi: $\dot{Q}_g + \dot{m}_a h_1 = \dot{m}_a h_2 \rightarrow \dot{Q}_g = \dot{m}_a (h_2 - h_1)$

$$P_{v_1} = \phi_1 P_{g_1} = \phi P_{\text{doy}@ 10^\circ\text{C}} = (0.3)(1.2281 \text{ kPa}) = 0.368 \text{ kPa}$$

$$P_{a_1} = P_1 - P_{v_1} = (100 - 0.368) \text{ kPa} = 99.632 \text{ kPa}$$

$$v_1 = \frac{R_a T_1}{P_a} = \frac{(0.287 \text{ kPa} \cdot \text{m}^3/\text{kg} \cdot \text{K})(283 \text{ K})}{99.632 \text{ kPa}} = 0.815 \text{ m}^3/\text{kg kuru hava}$$

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{V}_1}{v_1} = \frac{45 \text{ m}^3/\text{dak}}{0.815 \text{ m}^3/\text{kg}} = 55.2 \text{ kg/dak}$$

$$\omega_1 = \frac{0.622 P_{v_1}}{P_1 - P_{v_1}} = \frac{0.622(0.368 \text{ kPa})}{(100 - 0.368) \text{ kPa}} = 0.0023 \text{ kg H}_2\text{O/kg kuru hava}$$

$\omega_1 = \omega_2$ olduğu dikkate alınır

$$\begin{aligned} h_1 &= c_p T_1 + \omega_1 h_{g_1} = (1.005 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C})(10^\circ\text{C}) + (0.0023)(2519.2 \text{ kJ/kg}) \\ &= 15.8 \text{ kJ/kg kuru hava} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h_2 &= c_p T_2 + \omega_2 h_{g_2} = (1.005 \text{ kJ/kg} \cdot ^\circ\text{C})(22^\circ\text{C}) + (0.0023)(2541.0 \text{ kJ/kg}) \\ &= 28.0 \text{ kJ/kg kuru hava} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{\text{giren}} &= \dot{m}_a (h_2 - h_1) = (55.2 \text{ kg/min})[(28.0 - 15.8) \text{ kJ/kg}] \\ &= \mathbf{673 \text{ kJ/dakika}} \end{aligned}$$

(b) Nemlendirme bölümünde su için kütle dengesi

$$\dot{m}_{a_2}\omega_2 + \dot{m}_w = \dot{m}_{a_3}\omega_3 \quad \dot{m}_w = \dot{m}_a(\omega_3 - \omega_2)$$

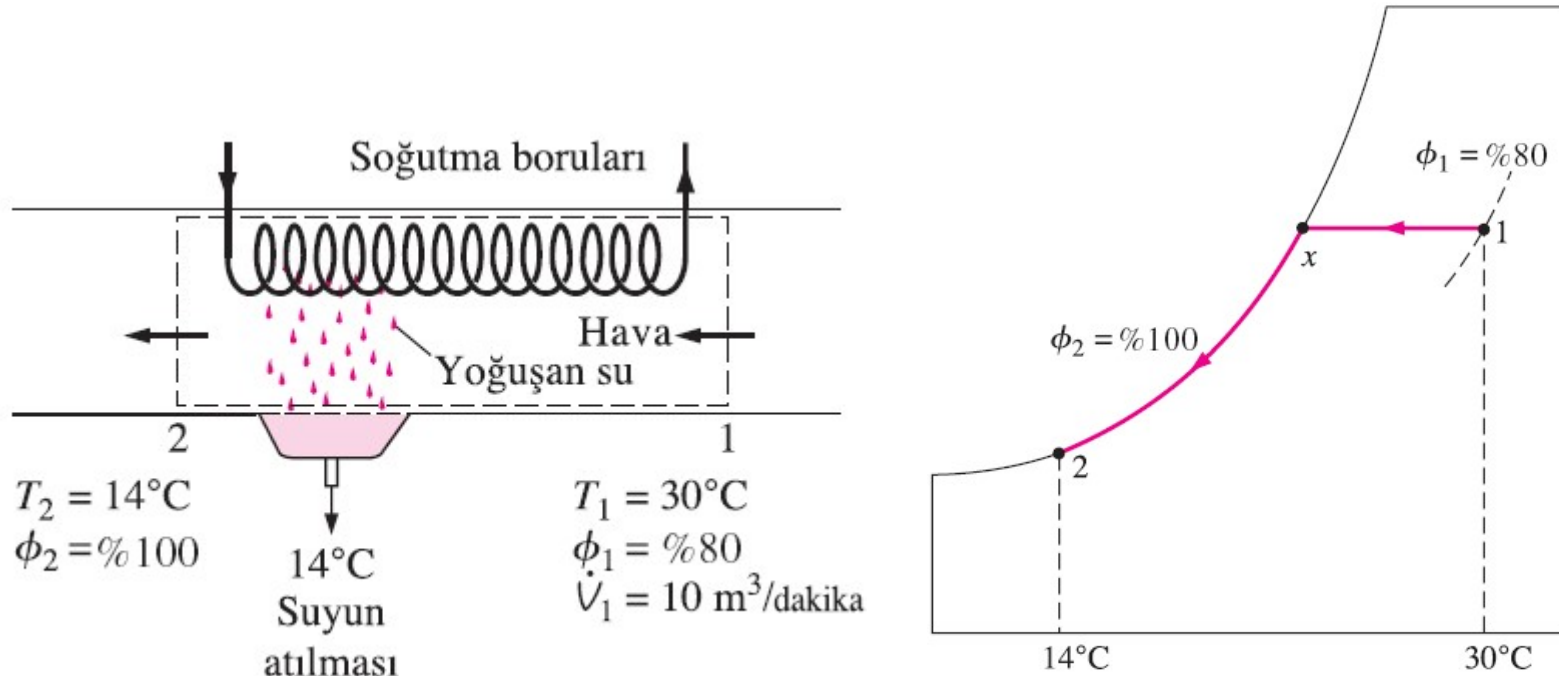
$$\omega_3 = \frac{0.622\phi_3 P_{g_3}}{P_3 - \phi_3 P_{g_3}} = \frac{0.622(0.60)(3.1698 \text{ kPa})}{[100 - (0.60)(3.1698)] \text{ kPa}}$$
$$= 0.01206 \text{ kg H}_2\text{O/kg kuru hava}$$

$$\dot{m}_w = (55.2 \text{ kg/dak})(0.01206 - 0.0023)$$
$$= \mathbf{0.539 \text{ kg/dakika}}$$

Sonuçta 0.539 kg/dakika su gereksinimi günde bir ton'a karşılık gelir ki bu değer oldukça önemli bir miktardır.

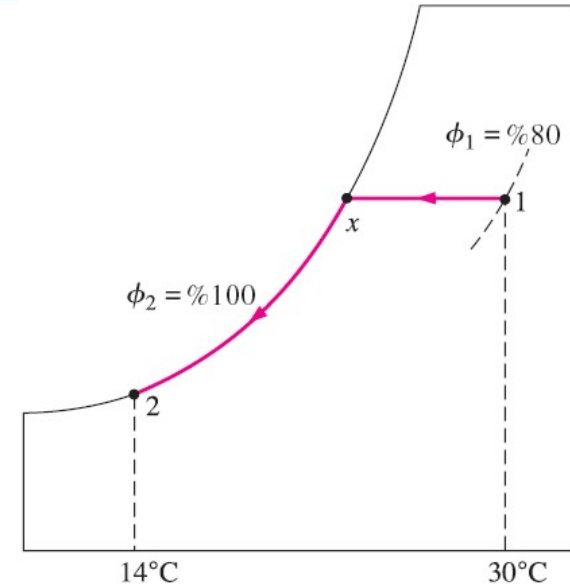
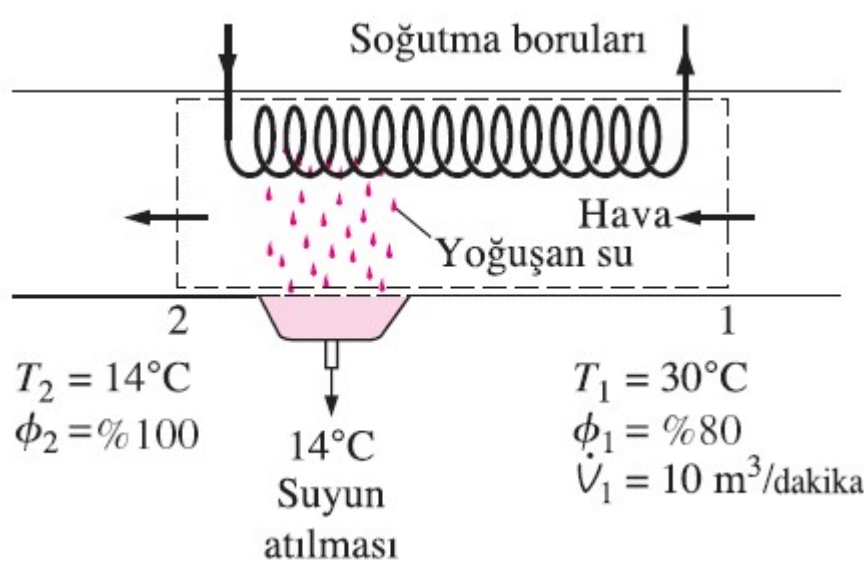
Soğutma ile Nem Alma

Duyulur soğutma sırasında havanın özgül nemi sabit kalır, fakat bağıl nemi artar. Eğer bağıl nem arzu edilmeyen değerlere ulaşırsa, havadan bir miktar su buharını uzaklaştırmak, başka bir deyişle nem almak gerekebilir. Bunu gerçekleştirmek için havanın çiy noktası sıcaklığından daha düşük bir sıcaklığa soğutulması gerekir.



Örnek 14-6

Pencere tipi bir klima cihazına hava 1 atm, 30 °C ve %80 bağıl nemde 10 m³/dak debiyle girmekte 14 °C'de doymuş hava olarak çıkmaktadır. Bu işlem sırasında havada bulunan suyun yoğunlaşan bölümü de dışarı 14 °C'de alınmaktadır. Ortamdan çekilen ısı ile havadan uzaklaştırılan nem miktarlarını hesaplayınız.



Doymuş suyun 14 °C'deki entalpisi 58.8 kJ/kg'dır. Havanın giriş ve çıkış koşulları tam olarak tanımlanmış ve toplam basınç 1 atm'dir. Bundan dolayı her iki durum için havanın özellikleri psikrometrik diyagramdan aşağıda verildiği üzere bulunabilir:

$$h_1 = 85.4 \text{ kJ/kg kuru hava}$$

$$h_2 = 39.3 \text{ kJ/kg kuru hava}$$

$$\omega_1 = 0.0216 \text{ kg H}_2\text{O/kg kuru hava ve}$$

$$\omega_2 = 0.0100 \text{ kg H}_2\text{O/kg kuru hava}$$

$$v_1 = 0.889 \text{ m}^3/\text{kg kuru hava}$$

Kuru hava kütle dengesi: $\dot{m}_{a_1} = \dot{m}_{a_2} = \dot{m}_a$

Su kütle dengesi: $\dot{m}_{a_1}\omega_1 = \dot{m}_{a_2}\omega_2 + \dot{m}_w \rightarrow \dot{m}_w = \dot{m}_a(\omega_1 - \omega_2)$

Enerji dengesi: $\sum_g \dot{m}h = \dot{Q}_\zeta + \sum_\zeta \dot{m}h \rightarrow \dot{Q}_\zeta = \dot{m}(h_1 - h_2) - \dot{m}_w h_w$

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{V}_1}{v_1} = \frac{10 \text{ m}^3/\text{dakika}}{0.889 \text{ m}^3/\text{kg kuru hava}} = 11.25 \text{ kg/dakika}$$

$$\dot{m}_w = (11.25 \text{ kg/dak})(0.0216 - 0.0100) = \mathbf{0.131 \text{ kg/dakika}}$$

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{\text{çıkan}} &= (11.25 \text{ kg/dak})[(85.4 - 39.3) \text{ kJ/kg}] - (0.131 \text{ kg/dak})(58.8 \text{ kJ/kg}) \\ &= \mathbf{511 \text{ kJ/dakika}}\end{aligned}$$

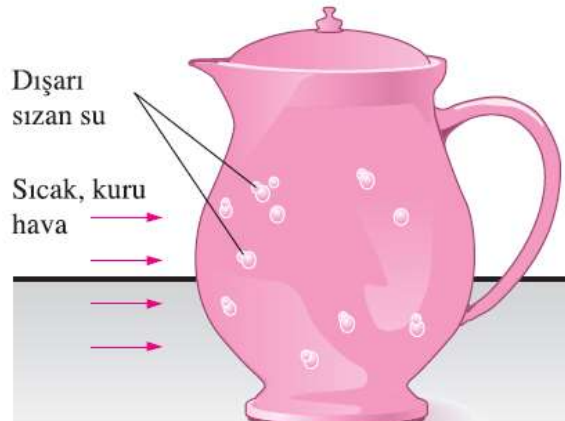
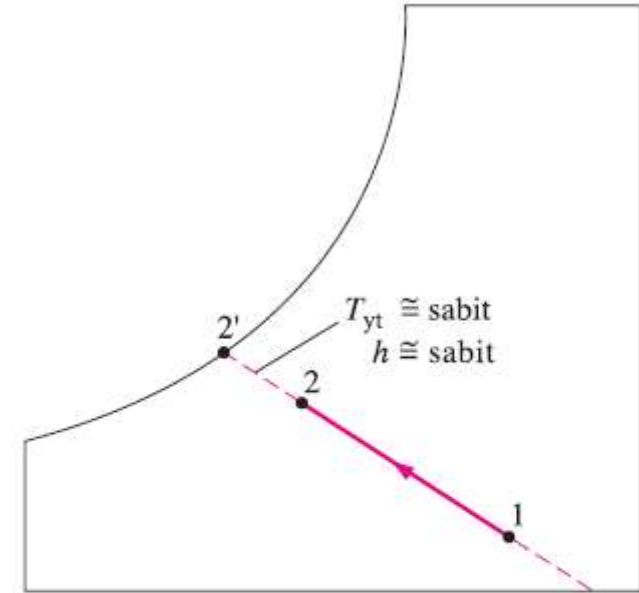
Böylelikle söz konusu klima cihazının havadan uzaklaştırdığı nem ve ısı miktarları sırası ile 0.131 kg/dakika ve 511 kJ/dakika'dır.

Buharlaşmalı soğutma

Buharlaşmalı soğutma basit bir ilkeye dayanır:

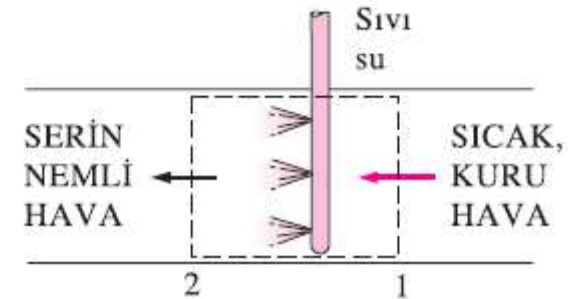
Su buharlaşırken, buharlaşma gizli ısısı suyun kendisinden ve onu çevreleyen havadan sağlanır. Bunun sonucu olarak işlem sırasında hem su hem de hava soğur.

Bu yöntem binlerce yıldan beri içme suyunu soğutmak için kullanılmıştır. Suyla dolu gözenekli bir kap veya testi, açık fakat gölgede bir yere bırakılır. Gözeneklerden dışarı az miktarda su sızar ve testi “**terler**”. Kuru bir ortamda bu su buharlaşır ve testide geri kalan suyu soğutur



Açık, rüzgarlı bir alana bırakılan testideki su buharlaşmalılı soğutmayla serinler.

$$T_{yt} \cong \text{sabit}$$
$$h \cong \text{sabit}$$



Çöl gibi çok sıcak ve kuru yörelerde iklimlendirmenin yüksek maliyetinden buharlaşmalılı soğutucular kullanarak sakınılabılır.

Hava Akımlarının Adyabatik Karıştırılması

İklimlendirme uygulamalarının bir çoğunda iki hava akımının karıştırılması gerekir. Bu durum özellikle büyük binalar, fabrika ile imalathaneler ve hastanelerin birçoğunda söz konusudur. Bu gibi yerlerde şartlandırılan havanın, temiz dış havayla belirli oranda karıştırıldıktan sonra yaşam hacimlerine yönlendirilmesi gerekir.

Karıştırma işlemi sırasında çevreye olan ısı geçişi genellikle azdır ve bu nedenle işlem adyabatik olarak kabul edilebilir. Ayrıca bu sırada iş etkileşimi olmayıp; kinetik ve potansiyel enerji değişimleri olsa bile ihmal edilebilecek büyüklükte dirler. Bu kabullerle, iki hava akımının adyabatik olarak karıştırılması sırasında kütle ve enerjinin korunumu denklemleri aşağıdaki gibi basitleştirilebilirler:

$$\frac{\dot{m}_{a_1}}{\dot{m}_{a_2}} = \frac{\omega_2 - \omega_3}{\omega_3 - \omega_1} = \frac{h_2 - h_3}{h_3 - h_1}$$

Kuru hava kütlesi:

$$\dot{m}_{a_1} + \dot{m}_{a_2} = \dot{m}_{a_3}$$

Su buharı kütlesi:

$$\omega_1 \dot{m}_{a_1} + \omega_2 \dot{m}_{a_2} = \omega_3 \dot{m}_{a_3}$$

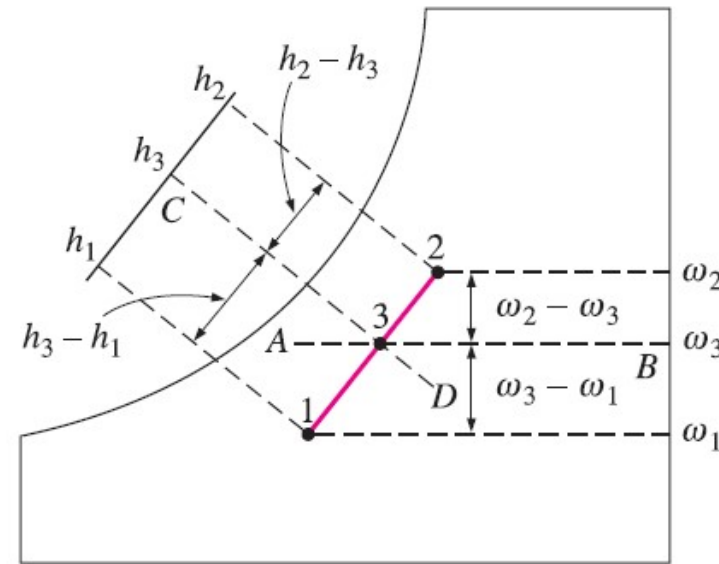
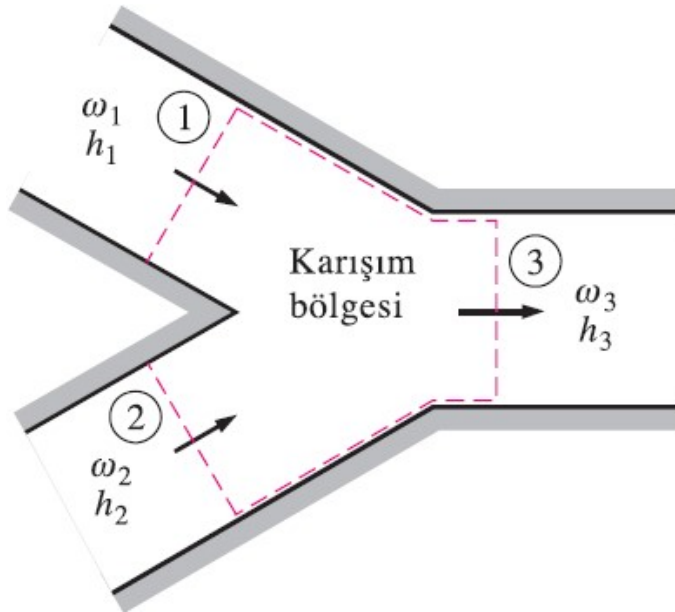
Enerji:

$$\dot{m}_{a_1} h_1 + \dot{m}_{a_2} h_2 = \dot{m}_{a_3} h_3$$

Karıştırma işlemi iki hava akımının birleştirilmesi ile yerine getirilir. Bu denklemin psikrometrik diyagram üzerinde bilgi verici geometrik bir yorumu bulunur. Denklem $\omega_2 - \omega_3$ ile $\omega_3 - \omega_1$ oranının m_{a1} ile m_{a2} oranına eşit olduğunu göstermektedir. Bu koşulu sağlayan haller AB kesikli doğruyla belirtilmiştir.

$h_2 - h_3$ ile $h_3 - h_1$ oranı da yine m_{a1} ile m_{a2} oranına eşittir. Bu koşulu sağlayan haller ise CD kesikli doğruyla gösterilmiştir.

Her iki koşulu sağlayan tek hal bu iki kesikli doğrunun kesim noktası olup, 1 ve 2 hallerini birleştiren doğru üzerindedir. yoğuşması kaçınılmaz olacaktır.



Örnek 14-8

Bir iklimlendirme sisteminin soğutma bölümünden 14°C sıcaklıkta doymuş halde çıkan $50\text{ m}^3/\text{dakika}$ debisindeki hava, 32°C sıcaklık, %60 bağıl nem ve $20\text{ m}^3/\text{dakika}$ debisindeki dış havayla karıştırılmaktadır. Karıştırma işleminin 1 atmosfer toplam basınçta gerçekleştiğini kabul ederek, karışımın özgül nemini, bağıl nemini, kuru termometre sıcaklığını ve hacimsel debisini hesaplayınız.

$$h_1 = 39.4\text{ kJ/kg kuru hava}$$

$$\omega_1 = 0.010\text{ kg H}_2\text{O/kg kuru hava}$$

$$\nu_1 = 0.826\text{ m}^3/\text{kg kuru hava}$$

$$h_2 = 79.0\text{ kJ/kg kuru hava}$$

$$\omega_2 = 0.0182\text{ kg H}_2\text{O/kg kuru hava}$$

$$\nu_2 = 0.889\text{ m}^3/\text{kg kuru hava}$$

$$\dot{m}_{a_1} = \frac{\dot{V}_1}{\nu_1} = \frac{50\text{ m}^3/\text{dak}}{0.826\text{ m}^3/\text{kg kuru hava}} = 60.5\text{ kg/dak}$$

$$\dot{m}_{a_2} = \frac{\dot{V}_2}{\nu_2} = \frac{20\text{ m}^3/\text{dak}}{0.889\text{ m}^3/\text{kg kuru hava}} = 22.5\text{ kg/dak}$$

$$\dot{m}_{a_3} = \dot{m}_{a_1} + \dot{m}_{a_2} = (60.5 + 22.5)\text{ kg/dak} = 83\text{ kg/dak}$$

$$\frac{\dot{m}_{a_1}}{\dot{m}_{a_2}} = \frac{\omega_2 - \omega_3}{\omega_3 - \omega_1} = \frac{h_2 - h_3}{h_3 - h_1}$$

$$\frac{60.5}{22.5} = \frac{0.0182 - \omega_3}{\omega_3 - 0.010} = \frac{79.0 - h_3}{h_3 - 39.4}$$

$$\omega_3 = \mathbf{0.0122\text{ kg H}_2\text{O/kg kuru hava}}$$

$$h_3 = 50.1\text{ kJ/kg kuru hava}$$

$$T_3 = 19.0^{\circ}\text{C}$$

$$\phi_3 = \%89$$

$$\nu_3 = 0.844 \text{ m}^3/\text{kg} \text{ kuru hava}$$

$$\dot{V}_3 = \dot{m}_{a_3} \nu_3 = (83 \text{ kg/dak}) (0.844 \text{ m}^3/\text{kg}) = 70.1 \text{ m}^3/\text{dak}$$

Dikkat edilirse karışımın hacimsel debisi, yaklaşık olarak giriş durumundaki akımların hacimsel debilerinin toplamına eşittir. Bu iklimlendirme uygulamalarında genellikle gözlenen bir durumdur.

Böylelikle şu sonuca varılabilir:

Farklı hallerdeki iki hava akımı (1 ve 2 halleri) adyabatik olarak karıştırıldığı zaman, karışımın hali (3 hali), psikrometrik diyagramda 1 ve 2 hallerini birleştiren doğru üzerinde olur; ayrıca 2-3 uzunluğunun 3-1 uzunluğuna oranı, kütle debilerinin oranı m_{a1} 'in m_{a2} 'ye oranına eşittir.

Doyma eğrisinin iç bükey oluşu ve yukarıdaki sonuç ilginç bir olasılığı ortaya çıkarmaktadır. 1 ve 2 hallerinin doyma eğrisinin yakınında olması durumunda, bu iki hali birleştiren doğru doyma eğrisini kesecek ve 3 hali doyma eğrisinin solunda kalabilecektir.

Bu durumda bir miktar su buharının yoğunlaşması kaçınılmaz olacaktır.

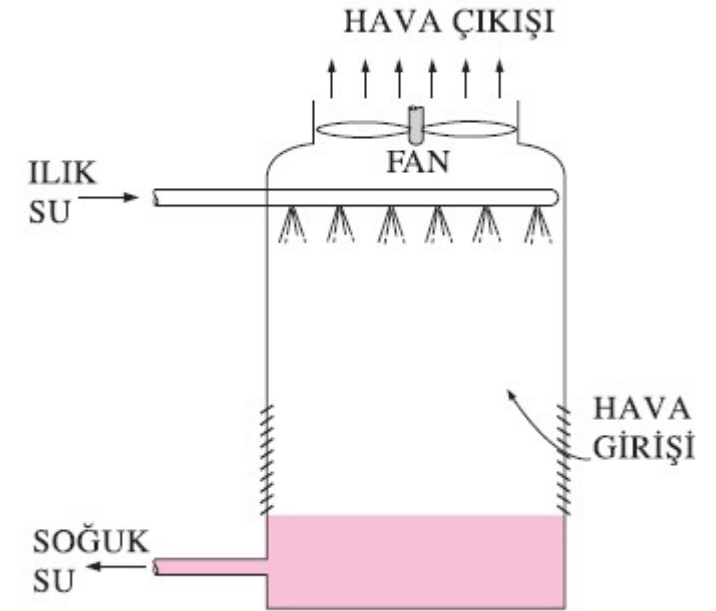
Islak Soğutma Kuleleri

Güç santralleri, büyük iklimlendirme sistemleri ve bazı endüstriler büyük miktarlarda atıkısı üretirler. Bu ısı genellikle yakınlardaki bir göl veya akarsudan çekilen soğutma suyuna verilir.

Ancak bazı durumlarda ya soğutma suyu temini sınırlıdır ya da ısıl kirlenme önemli bir kistas olarak göz önüne alınmak zorundadır. Bu gibi koşullarda, atık ısının atmosfere verilmesi gerekir.

Sistemde dolaştırılan soğutma suyu burada kaynak ile çukur (atmosfer) arasında ısı aktarımı için aracı akışkan görevini yerine getirir. Bunu gerçekleştirmenin yollarından biri ıslak soğutma kulelerini kullanmaktır.

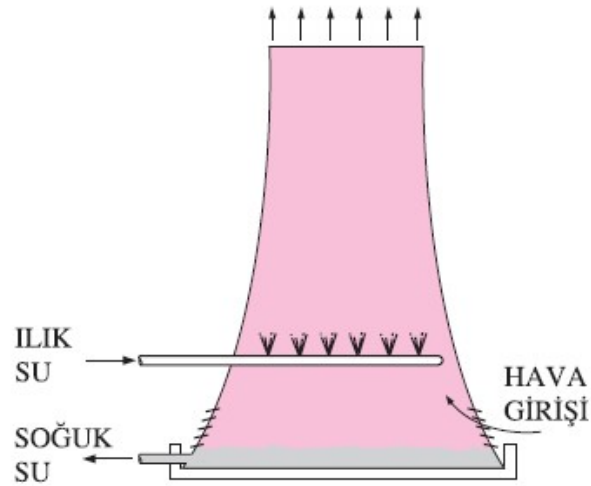
Islak soğutma kulesi aslında yarı kapalı bir buharlaşmalı soğutucudur.



Zorlanmış ters akışlı bir soğutma kulesi

Bir başka tür soğutma kulesi **doğal akışlı soğutma kulesi**dir. Bu tür bir kule şekil olarak bacaya benzer ve bir baca gibi de çalışır. Kule içindeki havanın su buharı miktarı fazla olduğundan kule dışındaki havaya oranla daha hafiftir. Bunun sonucu olarak kule içindeki hava yukarı doğru yükselir, dışarıdaki daha ağır hava aşağıdan kuleye girer. Böylece aşağıdan yukarıya doğru bir hava akımı oluşur. Hava akışının debisini atmosferik havanın koşulları belirler.

Doğal akışlı soğutma kulelerinde hava akışını sağlamak için dışarıdan bir güce gerek yoktur. Fakat bu tür kulelerin yapım giderleri zorlanmış akışlılara göre çok daha yüksektir. Doğal akışlı soğutma kulelerinin kesiti, hiperbolik olup, yüksekliği bazen 100 m'yi aşar. Kesitin hiperbolik olması herhangi bir termodinamik nedenden çok yapısal dayanıklılıkla ilgilidir.



Doğal Akışlı soğutma kulesi



Püskürtme havuzu

Örnek 14-9

Bir güç santralının yoğuşturucusunda 100 kg/s debi ile dolaşan soğutma suyu, ıslak soğutma kulesine 35 °C sıcaklıkta girmekte ve 22 °C'ye soğutulmaktadır. Soğutma, kuleye 1 atmosfer basınç, 20 °C sıcaklık, %60 bağıl nemde giren ve 30 °C sıcaklıkta doymuş olarak çıkan hava tarafından yapılmaktadır. Fanı çalıştırmak için gerekli gücü ihmal ederek, (a) soğutma kulesine giren havanın hacimsel debisini, (b) tamamlama suyunun debisini hesaplayınız.

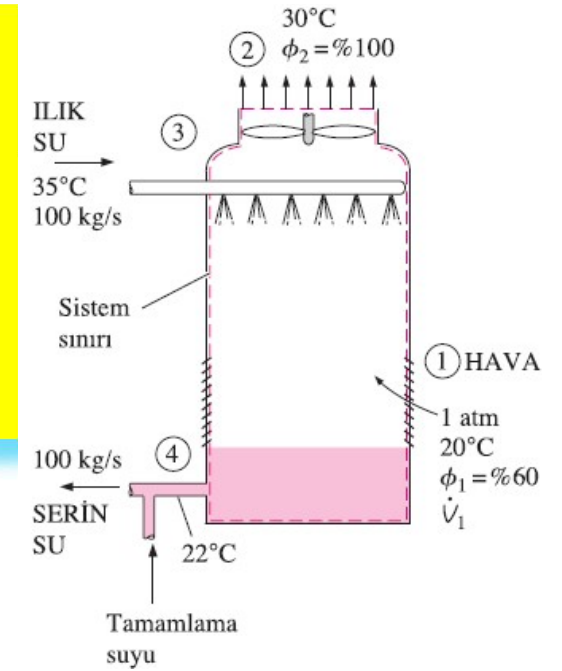
$$h_1 = 42.2 \text{ kJ/kg kuru hava}$$

$$\omega_1 = 0.0087 \text{ kg H}_2\text{O/kg kuru hava}$$

$$v_1 = 0.842 \text{ m}^3/\text{kg kuru hava}$$

$$h_2 = 100.0 \text{ kJ/kg kuru hava}$$

$$\omega_2 = 0.0273 \text{ kg su/kg kuru hava}$$



(a) Sürekli akışlı açık sisteme kütlenin ve enerjinin korunumu ilkeleri uygulanırsa

Kuru hava kütle dengesi:

$$\dot{m}_{a1} = \dot{m}_{a2} = \dot{m}_a$$

Su kütle dengesi:

$$\dot{m}_3 + \dot{m}_{a1}\omega_1 = \dot{m}_4 + \dot{m}_{a2}\omega_2$$

veya

$$\dot{m}_3 - \dot{m}_4 = \dot{m}_a(\omega_2 - \omega_1) = \dot{m}_{\text{tamamlama}}$$

Enerji dengesi:

$$\sum_{g^1} \dot{m}h = \sum_{\xi} \dot{m}h \rightarrow \dot{m}_{a1}h_1 + \dot{m}_3h_3 = \dot{m}_{a2}h_2 + \dot{m}_4h_4$$

veya

$$\dot{m}_3h_3 = \dot{m}_a(h_2 - h_1) + (\dot{m}_3 - \dot{m}_{\text{tamamlama}})h_4$$

Bu denklemlerden $\dot{m}_a$ çözülürse,

$$\dot{m}_a = \frac{\dot{m}_3(h_3 - h_4)}{(h_2 - h_1) - (\omega_2 - \omega_1)h_4}$$

$$\dot{m}_a = \frac{(100 \text{ kg/s})[(146.64 - 92.28) \text{ kJ/kg}]}{[(100.0 - 42.2) \text{ kJ/kg}] - [(0.0273 - 0.0087)(92.28) \text{ kJ/kg}]} = 96.9 \text{ kg/s}$$

Böylelikle kuleye giren havanın hacimsel debisi

$$\dot{V}_1 = \dot{m}_a v_1 = (96.9 \text{ kg/s})(0.842 \text{ m}^3/\text{kg}) = \mathbf{81.6 \text{ m}^3/\text{s}}$$

(b) Tamamlama suyunun kütle debisi, buharlaşarak havaya karışan suya eşittir:

$$\dot{m}_{\text{tamamlama}} = \dot{m}_a(\omega_2 - \omega_1) = (96.9 \text{ kg/s})(0.0273 - 0.0087) = \mathbf{1.80 \text{ kg/s}}$$

Görüldüğü gibi soğutma suyunun %98'den fazlası geri kazanılmakta ve yeniden dolaşıma sokulmaktadır.

ÖZET

- Mühendislik uygulamalarında en sık karşılaşılan gaz-buhar karışımı olan hava-su buharı karışımı incelendi.
- Atmosferdeki hava her zaman bir miktar su buharı içerir ve bu nedenle *atmosferik hava* diye nitelendirilir.
- Bunun tersi olarak, içinde su buharı bulunmayan hava ise *kuru hava* diye adlandırılır.
- İklimlendirme uygulamalarında karşılaşılan sıcaklık aralığında, hem kuru hava hem de su buharı ideal gaz kabul edilebilir.
- Bir hal değişimi sırasında kuru havanın entalpi değişimi aşağıdaki bağıntıyla hesaplanır.
- Atmosferik hava, basıncı kuru havanın kısmi basıncı P_g ile su buharının kısmi basıncı P_v 'nin toplamı olan ideal gaz karışımı olarak ele alınabilir.